



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

ESTUDIO DE LA VIABILIDAD DEL MÉTODO DE GRANOS GASTADOS
(BAGAZO) PARA LA ELABORACIÓN DE UNA CERVEZA ARTESANAL
LIBRE DE ALCOHOL

T E S I S

Que para obtener el título de:

INGENIERO EN ALIMENTOS

Presenta:

FERNANDO ENRIQUE LÓPEZ AGUILAR

ASESOR: Dr. ENRIQUE MARTÍNEZ MANRIQUE

COASESORA: I.A. VERÓNICA JIMENEZ VERA



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos

A mi papa, Enrique, por su mano dura y enseñarme siempre el buen ejemplo, por su infinito amor y cuidado, y por el simple hecho de darme la vida para vivirla a su lado. Por todo su apoyo y consejos que día a día me brinda, a él, gracias.

A mi mami, Fanny, por el amor de mamá tan necesario en cualquier etapa de la vida. Por el apoyo incondicional en mis días de estudio y su apoyo hasta el día de hoy en todo momento. Por darme la vida, a ella, gracias.

A mi abuelo, Fernando, por enseñarme tantas cosas de la vida que hoy en mi vida profesional aplico, entre ellas, la humildad. Por su amor tan infinito y su apoyo en todas y cada una de las cosas que hago. Porque hoy sin él, este trabajo no sería una realidad. A él, gracias.

A Sonia, mi novia, por su amor que desde el primer día que nos conocimos demostró. Por ser mi mano derecha y formar parte de mi vida desde hace tres años, a ella, gracias.

A Dios, por tantas bendiciones y satisfacciones que me ha dado. Por darme la vida y permitirme vivirla como hoy la vivo, gracias.

A mi asesor, el Dr. Enrique, y a mi co-asesora la profesora Vero, por su profesionalismo, conocimientos y tiempo dedicados a este trabajo. Por todo su apoyo, muchas gracias.

Agradezco infinitamente a la Universidad Nacional por darme la oportunidad de formarme como profesional, enseñarme a ser un buen ciudadano y por todas las personas que me permitió conocer, gracias.

A mis amigos de la Universidad; Buky, Luis Miguel, Bozz, Homs, Alejandro, Normix, Miguel, Alferez, Burro, Aviador, Naye, Tania, Mon, Ivón, Paty y Iare, por sus consejos y buenos momentos.

Trabajo realizado con el apoyo del programa
PIAPIVC-13 FES Cuautitlán, UNAM

ÍNDICE

	Página
I. Índice de tablas	
II. Índice de figuras	
Resumen.....	1
Introducción.....	2
1. Antecedentes.....	4
1.1 Generalidades de la cerveza.....	4
1.1.1 Definición general de cerveza.....	4
1.1.2 Historia de la producción de cerveza.....	4
1.1.3 Producción cervecera mundial y en México.....	6
1.1.4 Clasificación de los tipos y estilos de cerveza.....	8
1.2 Materias primas utilizadas en cervecería.....	10
1.2.1 Agua.....	10
1.2.2 Cebada y malta.....	12
1.2.3 Lúpulo.....	14
1.2.4 Levadura.....	17
1.2.5 Adjuntos.....	19
1.3 Proceso para la elaboración de cerveza.....	19
1.3.1 Descripción del proceso general para la elaboración de cerveza.....	21
1.4 Cerveza artesanal.....	33
1.4.1 Puntos para entender que es una cerveza artesanal y su diferencia con la cerveza industrial.....	33
1.4.2 La cerveza artesanal gana aceptabilidad entre los consumidores mexicanos.....	35
1.5 Cervezas sin alcohol.....	36
1.5.1 Normatividad en México y algunos países para considerar una cerveza como “bebida no alcohólica”.....	36
1.5.2 Tendencia actual sobre el consumo de cerveza sin alcohol.....	37
1.5.3 Características y beneficios de las cervezas sin alcohol.....	38
1.5.4 Métodos para la obtención de cervezas libre de alcohol (o de bajo contenido alcohólico).....	39
2. Metodología experimental.....	42
2.1 Objetivos.....	42
2.2 Materiales y métodos.....	43
2.2.1 Obtención del bagazo a partir de una maceración (madre) con condiciones de operación estandarizadas.....	43
2.2.2 Diseño de experimentos para efectuar las maceraciones a partir de bagazo.....	46
2.2.3 Maceración a partir de bagazo.....	49
2.2.4 Elaboración de una cerveza artesanal estilo Pale Ale (cerveza madre) y cervezas de bajo contenido alcohólico a partir de la maceración del bagazo.....	51
2.2.5 Técnicas empleadas para la determinación de propiedades físicas, químicas y fisicoquímicas: mostos dulces y cervezas.....	57
2.2.6 Pruebas sensoriales y encuesta hecha a consumidores.....	70
3. Análisis y discusión de resultados.....	72
4. Conclusiones y recomendaciones.....	95
5. Referencias.....	97
6. Anexos.....	101

I. ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Producción mundial de cerveza por país en 2012 y 2013.....	6
Tabla 2. Consumo mundial de cerveza por país en 2012 y 2013.....	7
Tabla 3. Consumo de cerveza per cápita por país en 2013.....	8
Tabla 4. Diferentes estilos de cerveza en el mundo y algunas de sus características.....	9
Tabla 5. Composición iónica del agua en los centros productores de cerveza (mg l^{-1}).....	11
Tabla 6. Análisis del agua para cinco estilos de cervezas diferentes.....	11
Tabla 7. Composición típica del lúpulo.....	15
Tabla 8. Algunas variedades de lúpulo que son importadas a México.....	16
Tabla 9. Condiciones de operación para la maceración madre.....	44
Tabla 10. Perfil de maceración tiempo-temperatura para la maceración madre.....	45
Tabla 11. Variables independientes y niveles de variación.....	47
Tabla 12. Porcentaje de humedad del bagazo	47
Tabla 13. Arreglo experimental.....	49
Tabla 14. Tiempos de adición de lúpulo durante el hervido.....	53
Tabla 15. Porcentaje de utilización del lúpulo en el hervido.....	55
Tabla 16. Resultados para el porcentaje de maltosa en los mostos dulces de baja densidad.....	72
Tabla 17. Resultados para el peso específico de los mostos de baja densidad.....	77
Tabla 18. Mostos seleccionados para la elaboración de cervezas de bajo contenido alcohólico.....	78
Tabla 19. Porcentaje Alcohol Volumen de las cervezas de bajo contenido alcohólico.....	79
Tabla 20. Propiedades físicas y fisicoquímicas de la cerveza madre y las cervezas sin alcohol.....	80
Tabla 21. Marcas de cervezas mencionadas por los consumidores.....	87
Tabla 22. Costo aproximado de una botella de 360 mL de cerveza artesanal sin alcohol.....	88
Tabla 23. Propiedades de la cerveza comercial y la cerveza sin alcohol I.....	92
Tabla A1. Azúcar reductor total requerido para completar la reducción de 10 mL de solución Soxhlet (método volumétrico de Lane-Eynon).....	101
Tabla A2. Contenido en alcohol por volumen correspondiente a una gravedad específica de $20^{\circ}\text{C}/20^{\circ}\text{C}$	102
Tabla A3. Gravedad específica y porcentaje de extracto real en peso.....	103
Tabla A4. Porcentajes en peso correspondientes a varios porcentajes en volumen en mezclas de alcohol etílico y agua.....	104

II. ÍNDICE DE FIGURAS

Página

Figura 1. a) Pintura que muestra a los sumerios en convivencia con la cerveza. b) Tabla sumeria del año 3100 a.C. donde se muestra el recibimiento de la cerveza.....	5
Figura 2. Espiguillas de cebada con vista lateral y superior: a) cebada de la especie <i>H. distichon</i> (dos carreras). b) cebada de la especie <i>H. vulgare</i> (seis carreras).....	12
Figura 3. Sección esquemática del corte longitudinal del grano de cebada.....	13
Figura 4. Fotografía de conos maduros de lúpulo: izq. flor macho, der. flor femenina.....	14
Figura 5. Diagrama de proceso general para la elaboración de cerveza.....	20
Figura 6. Fotografía de cebada terminada la germinación.....	23
Figura 7. Esquema del mecanismo de operación de un molino de rodillos.....	24
Figura 8. Esquema y fotografía de lauter tun: a) Partes de un lauter tun. b) Fotografía del interior de un lauter tun donde se aprecian las palas rotatorias removedoras y el fondo falso.....	29
Figura 9. a) Cuba de maceración b) Macerador enchaquetado.....	45
Figura 10. a) Filtro de acero inoxidable b) Vista superior de la torta de filtración natural (bagazo). c) Bote grado alimenticio.....	46
Figura 11. Prueba de humedad del bagazo.....	47
Figura 12. Molino y sémola de malta Pale Ale.....	49
Figura 13. a) Control de la temperatura durante la maceración. b) Vista superior de la torta de filtración. c) Vista lateral de la torta de filtración	50
Figura 14. Diagrama de proceso para la elaboración de cerveza madre y cervezas bajas en alcohol.....	52
Figura 15. Gráfico del comportamiento del lúpulo durante el hervor.....	53
Figura 16. Izquierda. Vista lateral del mosto amargo filtrado. Superior derecha. Vista superior del sistema de filtración. Inferior izquierda. Lúpulo gastado terminada la filtración. ...	55
Figura 17. Filtración de mostos para su análisis	59
Figura 18: Forma correcta de lectura del hidrómetro.....	63
Figura 19. Sistema de destilación para cervezas.....	64
Figura 20. Encuesta de estudio de mercado y prueba sensorial hedónica de 7 puntos aplicada a consumidores.....	71
Figura 21. Gráfica normal de efectos para el porcentaje de maltosa.....	74
Figura 22. Diagrama de Pareto de los efectos para el porcentaje de maltosa.....	75
Figura 23. Gráfica de cubos para el porcentaje de maltosa	76
Figura 24. Fotografía de la Cerveza 1 (a) y cerveza madre (b).....	83
Figura 25. Gráfica circular con los porcentajes de los resultados para la pregunta: ¿Conoce o ha escuchado hablas de la cerveza sin alcohol?.....	86
Figura 26. Gráfica circular con los porcentajes de los resultados para la pregunta: ¿Ha probado la cerveza sin alcohol?	86
Figura 27. Gráfica circular con los porcentajes de los resultados para la pregunta: ¿Conoce alguna marca de cerveza sin alcohol?	87
Figura 28. Imágenes de la presentación y logotipos de las cervezas sin alcohol al alcance de los consumidores mexicanos.....	88
Figura 29. Gráfica circular que muestra los porcentajes de los resultados para la pregunta: ¿Estaría dispuesto a pagar la cantidad de entre \$20.00 a \$25.00 por una cerveza artesanal sin alcohol (360 mL)?	89
Figura 30. Medias y desviaciones estándar calculadas para cada muestra de cerveza.....	89
Figura 31. Informe de resumen de resultados del análisis estadístico elaborado en Minitab.....	90
Figura 32. Informe de diagnóstico para los resultados de las tres cervezas.....	91

RESUMEN

La Asociación Cervecera Mexicana (Acermex), confirma la tendencia de que el consumo de cerveza de especialidad (artesanal) crece a más de 50% anual desde hace casi 10 años en el país. Por otra parte, la cerveza sin alcohol es un producto que satisface las necesidades adicionales de determinados consumidores que desean disfrutar una bebida refrescante como lo es la cerveza y que no quieren o no pueden tomar alcohol, y que en México puede ayudar a combatir los problemas de obesidad y sobrepeso y las muertes por accidentes automovilísticos que representan serios problemas entre la población. Es por eso que el objetivo del presente proyecto fue obtener una cerveza artesanal estilo Ale libre de alcohol (<2 % v/v) a partir de la maceración del bagazo para conocer la viabilidad del método en la industria cervecera artesanal. Se obtuvieron ocho mostos con diferente contenido en azúcares fermentables obtenidos mediante la maceración de bagazo a diferentes condiciones de operación (relación bagazo: sémola, relación bagazo-sémola: agua y perfil tiempo-temperatura) y empleando un diseño factorial 2³. Una vez elaborados los mostos se determinó su contenido en azúcares y se seleccionaron tres de ellos: el de más bajo contenido en azúcares, el de un nivel medio y el de nivel más alto en ellos. Seleccionados los mostos se elaboraron cervezas a partir de ellos para escoger las cervezas que fueran libres de alcohol (esto es menos del 2 % de Alc. Vol.) según la NOM-142-SSA1-1995. A partir del mosto de la primera maceración se elaboró una cerveza estilo Pale Ale a la cual se le determinaron sus propiedades físicas (peso específico (PE) y color) y fisicoquímicas (% Alcohol Volumen (% Alc. Vol.), pH, extracto real y contenido calórico) con el fin de compararlas con las mismas propiedades de las cervezas sin alcohol. Las dos cervezas consideradas como cervezas sin alcohol y una cerveza comercial sin alcohol, se sometieron a una prueba sensorial hedónica de nivel de agrado. Las propiedades físicas y fisicoquímicas de la cerveza elaborada a partir de bagazo de mayor aceptación entre los consumidores fueron comparadas con las de la cerveza comercial. Se concluyó que la cerveza obtenida a partir de las condiciones de maceración de relación de bagazo: sémola de 80-20 (%), una relación de bagazo-sémola: agua 1 a 4 y un perfil de maceración de 55 minutos fue la mejor calificada por los consumidores aunque con un nivel de agrado de “ni gusta ni disgusta”. La cerveza comercial obtuvo un nivel de agrado entre los consumidores de “gusta ligeramente”. Se concluye que el método para obtener cerveza sin alcohol puede ser viable en la industria cervecera artesanal, ya que se obtuvo una cerveza sin alcohol (1.07 % Alc. Vol.)

INTRODUCCIÓN

En México se estimó que en 2014 el consumo per cápita de cerveza ronda entre los 60 a 65 litros anuales, colocándonos como uno de los principales consumidores de América Latina (Pallares, 2014). La Acermex confirma la tendencia de que el consumo de cerveza de especialidad (artesanal o Premium) crece a más de 50% anual desde hace casi 10 años en el país. Esta bebida, sólo es producida por pequeñas y medianas empresa (Pymes) en México, y también la única cerveza fabricada por empresas 100% nacionales (Antúnez, 2013). En 2013, la Comisión Federal de Competencia Económica (COFECE) restringió los contratos de exclusividad de las dos principales cerveceras industriales del país (Grupo Modelo y Cuauhtémoc Moctezuma) para distribuir sus productos en establecimientos como restaurantes y tiendas de abarrotes, lo que trae como consecuencia la apertura a los pequeños productores y con ellos mayores oportunidades de competencia. Por esa razón se estima que para los próximos años, el mercado de las cervezas artesanales llegue a 2,3 o hasta 5% en producción nacional (Arteaga, 2013; NOTIMEX, 2014, Pallares, 2014). Con base en lo anterior, es claro que en México se debe trabajar en investigación científica y apoyo por parte de las dependencias de gobierno para generar el crecimiento pronosticado.

La NOM-142-SSA1-1995, establece que una bebida para ser considerada alcohólica debe tener una graduación alcohólica de 2 a 55% en volumen a 20°C. También define que una bebida alcohólica fermentada es el producto resultante de la fermentación principalmente alcohólica de materias primas de origen vegetal, pueden adicionarse de ingredientes y aditivos permitidos por la Secretaría de Salud (NOM-142-SSA1-1995). La NOM-142-SSA1/SCF1-2014 agrega a la definición anterior de bebida alcohólica fermentada que el contenido alcohólico deberá ser dentro del intervalo de 2.0 hasta 20.0 % Alc. Vol. (NOM-142-SSA1/SCF1-2014). También, por definición de la NMX-V-046 - NORMEX-2009, se señala que en una cerveza el contenido alcohólico no debe ser mayor al 6 % alcohol en volumen (PROFECO, 2011). Por lo tanto, se puede establecer que en México, una cerveza comúnmente es considerada como aquella con contenido alcohólico dentro del intervalo de 2 a 6 % Alc. Vol., además, que si una cerveza contiene menos del 2 % de Alc. Vol. no será considerada como bebida alcohólica según lo referenciado en la NOM-142-SSA1-1995.

Por otro lado, en México, la obesidad y el sobrepeso son el principal problema de salud pública, con el primer lugar a nivel mundial en niños y segundo en adultos, influyendo en alguna medida

en éstos últimos, el aporte calórico del alcohol (7 kcal/g). La Organización Panamericana de Salud publicó en 2013, que en México 24 mil personas mueren al año en accidentes automovilísticos relacionados con el consumo del alcohol y el INEGI destaca que en México los accidentes automovilísticos y la enfermedad alcohólica del hígado son dos de las cuatro principales causas de muerte entre la población de 35 a 44 años (Fuentes, 2014). Estos problemas son graves y la cerveza sin alcohol es una solución a ellos. Este producto es relativamente nuevo en el mercado y satisface las necesidades adicionales de determinados consumidores que desean disfrutar de una bebida refrescante como la cerveza y que no quieren o no pueden tomar alcohol (Martínez *et al.*, 2011); además, es considerada una bebida de bajo contenido calórico. En México el consumo de “cerveza sin alcohol” es todavía reducido aunque va en aumento con los años (Montoya, 2015).

Los métodos para obtener “cerveza sin alcohol” se pueden dividir en dos grandes grupos; procesos físicos y biológicos. Los primeros, se basan en la remoción suave del alcohol de una cerveza regular, donde la calidad sensorial del producto generalmente es buena pero se requiere de inversiones considerables en equipo. Los métodos biológicos se basan en la formación de etanol limitada durante la fermentación y generalmente se realizan en equipos de cervecería tradicional, no requiriendo de inversiones adicionales, pero los productos se caracterizan por una mala calidad en sabor y olor. (Brányik *et al.*, 2011). Uno de los métodos biológicos es obtener una cerveza a partir de la maceración de granos gastados o bagazo procedente de un macerado cervecero de alta densidad, obteniéndose un extracto, hirviéndose con lúpulo y fermentándose después, produciendo así una cerveza en el intervalo de 0.5 a 1.5 % Alc. Vol (Hornsey, 1999).

Por todo lo anterior, en este proyecto se pretende elaborar una cerveza artesanal sin alcohol estilo Ale a partir de bagazo, que tenga como características ser una bebida refrescante, saludable y de bajo contenido calórico, para así apoyar a los problemas de salud antes descritos, además de satisfacer las necesidades de los consumidores modernos. La intención del proyecto no solo es obtener un producto que ayude a la salud pública, sino además, conocer la viabilidad del método para ser implementado en la industria cervecera artesanal y así, apoyar a la investigación y al crecimiento de esta industria que tiende a crecer en el país.

1. ANTECEDENTES

1.1. Generalidades de la cerveza

1.1.1. Definición general de cerveza

En Normas Oficiales Mexicanas (NOM's) no existe una definición específica para cerveza, siendo lo más cercano a ello la definición de “bebida alcohólica fermentada”, la cual se describe en la NOM-142-SSA1/SCFI-2014 como: *producto resultante de la fermentación principalmente alcohólica de materias primas de origen vegetal, pueden adicionarse de ingredientes y aditivos permitidos en el “Acuerdo” por el que se determinan los aditivos y coadyuvantes en alimentos, bebidas y suplementos alimenticios, su uso y disposiciones sanitarias. Con contenido alcohólico de 2,0 hasta 20,0% Alc. Vol. (NOM-142-SSA1/SCFI-2014).*

Por su lado, la NMX-V-046-NORMEX-2009 citada por la PROFECO, señala que en una cerveza el contenido alcohólico no debe ser mayor al 6% alcohol en volumen (PROFECO, 2011). Sin embargo, por no ser de carácter obligatorio esta norma, una cerveza podrá contener sin mayor problema un porcentaje aún mayor que 6% (por ejemplo, algunas cervezas artesanales nacionales e importadas).

En el Reino Unido, la definición técnica describe a la cerveza como el licor fermentado producido principalmente a partir de cebada malteada pero que incluye otras fuentes de carbohidratos y a la que se añade lúpulo (Baxter y Hughes, 2004).

García-Garibay *et al.*, (2002), da una definición más amplia sobre cerveza, a la cuál define como aquella bebida alcohólica no destilada elaborada por medio de la fermentación de una solución de cereales, donde el almidón ha sido parcialmente hidrolizado y se le ha conferido por infusión el sabor del lúpulo. En sentido amplio podemos considerar como cerveza a la bebida preparada a partir de cualquier cereal, pero normalmente el término se refiere al producto elaborado a partir de malta de cebada, con o sin la adición de otros cereales no malteados (adjuntos).

1.1.2. Historia de la producción de cerveza

La cerveza es una bebida popular desde hace miles de años y su producción se considera a menudo como el proceso biotecnológico más antiguo (Baxter y Hughes, 2004). El arte de fabricar cerveza y vino se ha ido desarrollando a lo largo de 5,000 a 8,000 años. Debieron

producirse varios descubrimientos independientes, como el exponer al aire los jugos de frutas, o los extractos de cereales, y se obtuvieron bebidas fermentadas (Hough, 1990).

Suficientes pruebas científicas y arqueológicas han sido recopiladas hasta el punto de convencernos firmemente, de que lo que ahora conocemos como “cerveza” fue producida por vez primera, al final del cuarto milenio a.C., por los sumerios en el sur de Babilonia (Hornsey, 1999). Numerosas tabletas de arcilla hacen mención, 4000 años a.C., de una bebida que se obtiene de la fermentación de granos llamada *sikaru*, inclusive, la receta más vieja del mundo, escrita en estas tablillas se refieren a la elaboración de cerveza (Figura 1) (Berger, 1988; Hornsey, 1999).



Figura 1. a) Pintura que muestra a los sumerios en convivencia con la cerveza. b) Tabla sumeria del año 3100 a.C. donde se muestra el recibimiento de la cerveza.

Fuente: a) Aquí es Querétaro, 2013. b) Cerveza artesana, 2014

La cerveza y el pan fueron los ingredientes de mayor importancia en la dieta de los antiguos egipcios. En aquella época la cerveza se usaba para pagar y todos la bebían, desde el Faraón hasta sus súbditos. Se ha sugerido que las pirámides fueron construidas con una dieta de pan y cerveza. En esta época la elaboración de la cerveza era un misterio, porque se desconocían las razones que justificaban las distintas etapas del proceso de elaboración, la mayor parte de los cuales, como la fermentación, fueron descubiertos por casualidad (Hough, 1990).

Antes del siglo VIII, las cervezas eran elaboradas sin lúpulo, es en este siglo cuando en Bavaria se da su introducción, pero es hasta el siglo XVII cuando su uso se generaliza. Algunos hechos importantes que se dan en la historia de la cerveza son: Robert Boyle en 1661 y posteriormente Luis Pasteur, hacen estudios sobre fermentaciones; en 1677, Antonj Van Leewenhoek fue la primera persona que observó y describió a las levaduras al tomar muestras de cerveza; en el laboratorio Carlsberg, Emil Hansen desarrolla métodos para aislar células de levadura simple y

posterior subcultivo, lo que condujo a que su sistema de cultivo puro, se usara en producción a gran escala en 1883 (este sistema ha resultado ser la base de todos los modernos protocolos de cultivo de levadura) (Hornsey, 1999).

1.1.3. Producción cervecera mundial y en México

La cerveza es la bebida alcohólica más popular en el mundo, y la tercera bebida más popular después del agua y el té. Su producción está en constante aumento desde hace 29 años (Statista, 2015; Kirin Beer University, 2014). Una investigación de la Kirin Beer University (2014), reporta que la producción mundial de cerveza en 2013 alcanzó unos 192.94 millones de kilolitros (kL), un incremento de alrededor del 0.7% respecto al 2012.

En su ranking mundial de producción de cerveza (ver tabla 1), la Kirin Beer University posiciona a México como el sexto país con mayor producción de cerveza con 8.250 millones de kL, sin presentar incremento respecto al año 2012, pero un incremento del 1.2% respecto a 2011. China se corona como el mayor productor de cerveza a nivel mundial, con 46.54 millones de kL producidos en 2013, dejando muy por detrás al segundo lugar que es Estados Unidos con una producción de 22.43 millones de kL. La tercera, cuarta y quinta posición la ocupan Brasil (13.46 millones), Alemania (9.43 millones) y Rusia (8.91 millones) respectivamente.

Tabla 1. Producción mundial de cerveza por país en 2012 y 2013.

		2013			2012	
Posición en 2013	Posición en 2012	País	Volumen de producción (kL)	Tasa de crecimiento de 2012 a 2013 (%)	Volumen de producción (kL)	Tasa de crecimiento de 2011 a 2012
1	1	China	46,543,800	4.9	44,348,600	-1.2
2	2	Estados Unidos	22,430,300	-2.5	23,006,500	1.6
3	3	Brasil	13,460,000	-2.0	13,734,700	4.1
4	5	Alemania	9,436,500	-0.3	9,461,800	-1.0
5	4	Rusia	8,912,100	-8.5	9,740,000	-2.1
6	6	México	8,250,000	0.0	8,250,000	1.2
7	7	Japón	5,532,100	-1.0	5,590,800	-0.7
8	8	Reino Unido	4,195,600	-0.2	4,204,000	-8.0
9	9	Polonia	3,956,000	0.7	3,929,000	9.1
10	10	España	3,270,000	-1.0	3,303,100	-1.6

Fuente: Kirin Beer University Report: Global Beer Production by Country in 2013, 2013.

Por otro lado, en su reporte de 2013 sobre consumo mundial de cerveza por país, la Kirin Beer University (ver tabla 2), México se posiciona como el sexto país de mayor consumo en cerveza con un volumen de 673, 000 kL, solo por debajo de Alemania. En el primer puesto se posiciona China con 4. 63 millones de kL, seguido de Estados Unidos con 2.40 millones, Brasil con 1.25 millones de kL y Rusia con 1 millón de kilolitros. Respecto a 2012, México tiene una disminución de 1.9% en 2013, ya que en 2012 el consumo fue de un total de 685, 000 kL.

Tabla 2. Consumo mundial de cerveza por país en 2012 y 2013.

		2013			2012
Posición en 2013	Posición en 2012	País	Volumen de Consumo (kilolitros)	Tasa de crecimiento de 2012 a 2013 (%)	Volumen de producción (kilolitros)
1	1	China	4,631,300	4.8	4,420,000
2	2	Estados Unidos	2,408,200	-1.3	2,440,900
3	3	Brasil	1,252,000	-2.0	1,277,600
4	4	Rusia	1,005,600	-8.0	1,093,000
5	5	Alemania	841,000	-2.2	859,800
6	6	México	673,000	-1.9	685,700
7	7	Japón	548,900	-1.0	554,400
8	8	Reino Unido	424,200	-1.3	429,800
9	9	España	364,800	-0.6	367,000
10	11	Vietnam	360,100	7.3	335,800

Fuente: Kirin Beer University, 2014.

La PROFECO difundió en 2013 que cada mexicano ingiere anualmente un promedio de 62 litros de cerveza, cifra no muy lejana a lo publicado por la Kirin Beer University sobre el año 2012, donde asegura que el consumo de cerveza per cápita en México es de 59.9 litros, posicionándolo en el lugar 32 a nivel mundial (González, 2013; Kirin Beer University, 2014).

Para 2013, la Kirin Beer University reporta el consumo per cápita por país (ver Tabla 3), donde la lista la encabeza República Checa con un consumo per cápita anual de 147.1 litros de cerveza, seguido de Namibia con 108.6 litros y Austria con 105.9 litros. En este ranking de 2013, México no figura dentro los 35 primeros países según el consumo per cápita nacional (Kirin Beer University, 2014).

Tabla 3. Consumo de cerveza per cápita por país en 2013.

Posición en 2013	Posición en 2014	País	Volumen de consumo (litros)
1	1	República Checa	147.1
2	2	Namibia	108.6
3	3	Austria	105.9
4	4	Alemania	101.7
5	5	Belice	99.4
6	8	Estonia	93.6
7	6	Polonia	91.9
8	7	Lituania	89.5
9	10	Romania	79.9
10	11	Finlandia	79.6

Fuente: Kirin Beer University, 2014.

1.1.4. Clasificación de los tipos y estilos de cerveza

Miles de marcas de cerveza son producidas en todo el mundo y la mayoría de ellas se pueden clasificar en los estilos de cerveza definidos que se han desarrollado a lo largo del tiempo en diferentes países o regiones. Dependiendo del proceso utilizado, una primera clasificación puede hacerse en base al proceso de fermentación en: cervezas de alta fermentación (cervezas ale) y cervezas de baja fermentación (cervezas lager). Las cervezas ale representan solo un pequeño porcentaje del total de la producción y consumo de cerveza. Son muy comunes en Gran Bretaña, Alemania, provincias del Este de Canadá, Estados Unidos y Bélgica. Sin embargo, las cervezas lager es el estilo dominante en casi todos los países y representa más del 90% de la cerveza producida a nivel mundial (Pavsler y Buiatti, 2009).

La fermentación de las cervezas ale se lleva a temperaturas relativamente cálidas (15 a 25°C) por medio de levaduras de fermentación alta (Bamforth, 2009) comúnmente usando cepas de *Saccharomyces cerevisiae*. A estas temperaturas, la levadura produce una cantidad significativa de ésteres y otros aromas y sabores secundarios y el resultado es a menudo una cerveza con pocos compuestos “afrutados”, parecidos aunque no limitados a; manzana, pera, piña, plátano, ciruela o ciruela pasa. Típicamente con más cuerpo que las lager (Pavsler y Buiatti, 2009).

Por su lado, las cervezas lager son típicamente elaboradas a condiciones de baja temperatura, utilizando cepas de levaduras *Saccharomyces pastorianus* o *Saccharomyces carlsbergensis* y luego almacenadas (la palabra “lager” viene del alemán *lagern* que significa “almacenar”) en un lugar fresco para su maduración.

La diferencia más evidente entre las cervezas lager y ale, es el uso distinto de la cepa de levadura. Las cervezas lager normalmente se someten a una fermentación primaria de entre 8 a 15°C, seguida de una segunda fermentación prolongada entre -1 a 4°C (la *fase lagering*). Ahora, con un moderno control de fermentación, la mayoría de las fábricas de cerveza utilizan periodos cortos de almacenamiento en frío, típicamente de 1 a 3 semanas (Pavlsler y Buiatti, 2009).

Dentro de estos dos grandes grupos de cervezas existen subgrupos o estilos de cervezas, que son muchos y variados, dependiendo del país o región, ingredientes utilizados, métodos de producción, entre otros. La Tabla 4 muestra una compilación general de algunos estilos de cerveza manufacturados en todo el mundo.

Tabla 4. Diferentes estilos de cerveza en el mundo y algunas de sus características.

	Nombre del estilo de cerveza	Características
Ale-fermentación alta	Pale Ale	Clara (cobriza), fabricadas a partir de maltas pálidas, fuertemente lupulada (muy amarga), muy aromatizadas, poco dulces, mucho cuerpo.
	Bitter	Cervezas claras, mucho lúpulo (amargas), mucho cuerpo (pale ale de barril), secas, afrutadas.
	Brown Ale	Fabricadas con maltas que proporcionan un color intenso (oscura), generalmente más dulce y menos cargada de lúpulo que las pálidas, menos alcohol.
	Mild Ale	Suave (poco densa), semiobscura, dulce, de moderado amargor, afrutada, con bajo contenido alcohólico.
	India Pale Ale	Fuertemente lupulada y alto contenido alcohólico
	Stout y Porter	Muy oscuras (negras), mucho cuerpo, intensamente amargas, sabores tostados, dulces o secas.

Fuente: García *et al.*, 2002; Hough, 1990; Pavlsler y Buiatti, 2009

Tabla 4. Diferentes estilos de cerveza en el mundo y algunas de sus características (continuación)

Lager-fermentación baja	Pale (Hell o Pilsner)	Fabricada con maltas pálidas (cervezas claras), secas y aromatizadas con mucho lúpulo, amarga.
	Munich, Dunkel o Dark	Fabricada con maltas oscuras, sabor intenso, aromática, más fuertes que las pálidas, mucho cuerpo, algunas veces ligeramente dulces.
	Bock, Marzen	Pueden ser claras, semi-oscuras u oscuras, mucho cuerpo, alto contenido alcohólico, alto nivel de lúpulo, consideradas cervezas de gran fuerza.
	Dortmunder	Similar a la Pilsner pero con menos lúpulo y menos cuerpo, cervezas secas.
	Viena	Semiobscura, consistencia suave (poca densidad), sabor a malta y ligeramente suave, algunos sabores tostados. Carbonatación moderada.

Fuente: García *et al.*, 2002; Hough, 1990; Pavsler y Buiatti, 2009

1.2. Materias primas utilizadas en cervecería

1.2.1. Agua

Aproximadamente el 95% de la cerveza es agua (Hough, 1990; Serna, 2013), y la calidad de la misma afecta en gran medida la calidad del producto terminado. Para el cervecero, la dureza del agua es de primordial importancia durante el proceso, particularmente durante la maceración, ya que se requiere un intervalo óptimo de pH y la dureza influye fuertemente sobre ello (Hornsey, 1999; Serna, 2013).

Antes del conocimiento que actualmente se tiene de la química del agua, las plantas cerveceras dependían exclusivamente de su fuente de agua local para la producción de cerveza. El agua se extraía de corrientes, ríos, pozos artesanos, agua de fuente o manantial, entre otros, y la composición química natural de estas aguas determinaba las características del producto final, e históricamente las características de los diferentes estilos de cerveza fueron influenciadas por la composición del agua usada en su manufactura. Los reputados centros cerveceros, como Londres, Birmingham, Edimburgo, Burton-upon-Trend y Munich, se hicieron todos famosos por determinados estilos de cerveza resultantes de las características propias de las aguas de la

cervecera (Hornsey, 1999; Eumann, 2006). En las Tablas 5 y 6 se reportan datos sobre la composición química del agua en algunos de estos centros cerveceros.

Actualmente, toda el agua puede ser modificada químicamente y así estandarizar su composición a utilizar dentro de la cervecería, esto independientemente del estilo de cerveza que se desee producir.

Tabla 5. Composición iónica del agua en los centros productores de cerveza (mg l^{-1}).

	Burton-on-Trent	Pilsen	Munich	London	Dublin	Dortmund
Na^+	54	32	10	24	12	69
Mg^{2+}	24	8	19	4	4	23
Ca^{2+}	352	7	80	90	119	260
Cl^-	16	5	1	18	19	106
SO_4^{2-}	820	6	6	58	54	283
HCO_3^-	320	37	333	123	319	549

Fuente: Hough, 1990

Tabla 6. Análisis del agua para cinco estilos de cervezas diferentes.

	Pilsen (mg L^{-1})	Burton-upon-Trent (mg L^{-1})	Munich (mg L^{-1})	Dormund (mg L^{-1})	Viena (mg L^{-1})
Ca^{2+}	7.1	268	75.8	262.3	162.8
Mg^{2+}	2.4	62.1	18.1	22.9	67.6
HCO_3^-	14	280	151.5	282.4	242.9
SO_4^{2-}	4.8	638.3	9.6	289.2	216.3
NO_3^-	Trazas	31	Trazas	Trazas	Trazas
Cl^-	5	36	2	107	39
Dureza total ($^{\circ}\text{F}$)	0.9	29	8.2	23.5	21.6
Dureza temporal ($^{\circ}\text{F}$)	0.7	7.4	8	9.4	17.3
Dureza permanente ($^{\circ}\text{F}$)	0.2	21.6	0.3	14.1	4.3
Alcalinidad residual ($^{\circ}\text{F}$)	0.5	0.2	5.9	3.1	4.4

Fuente: Hornsey, 1999

Existen dos clases de dureza: permanente y temporal. La primera es causada por CaSO_4 , CaO , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, MgSO_4 , MgO y $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$, mientras que la segunda es causada por los bicarbonatos de calcio ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$) y magnesio ($\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$). La dureza temporal será la responsable de uno de los principales problemas del agua cervecera, debido a que la disociación de los bicarbonatos

determina un aumento del pH en la cuba de maceración. La dureza total, es la suma de ambas durezas citadas anteriormente. Existen diversas unidades para la dureza, algunas de las cuales son:

Francia, donde 1° francés (°F) = $10 \frac{mg}{l} CaCO_3$

Alemania, donde 1° alemán (°D) = $10 \frac{mg}{l} CaO$

Reino Unido, donde 1° inglés (°E) = $14.3 \frac{mg}{l} CaCO_3$

Estados Unidos de América, donde 1° americano (°USA) = $1 \frac{mg}{l} CaCO_3$

Con lo anterior, podemos afirmar que el agua utilizada influirá en gran medida en las características finales de la cerveza, pudiendo ser aceptadas o rechazadas por el consumidor.

1.2.2. Cebada

Botánicamente, la cebada pertenece a la familia de las Gramíneas, plantas herbáceas con flores. Toda la cebada pertenece a la especie *Hordeum spontaneum*, de la que existen varias especies, pero siendo dos variedades o especies las de importancia en la industria cervecera: *H. vulgare* y *H. distichon* (ver Figura 2). La *H. vulgare* es comúnmente llamada de seis carreras o seis hileras y se cultiva y usa principalmente en Norteamérica. Por otro lado, la especie *H. distichon* es conocida como cebada de dos carreras, que se cultiva y utiliza principalmente en Europa (García *et al.*, 2002). Las denominaciones de dos y seis carreras (hileras) vienen de la agrupación de los granos en el raquis que se puede apreciar viendo a la espiga desde arriba.

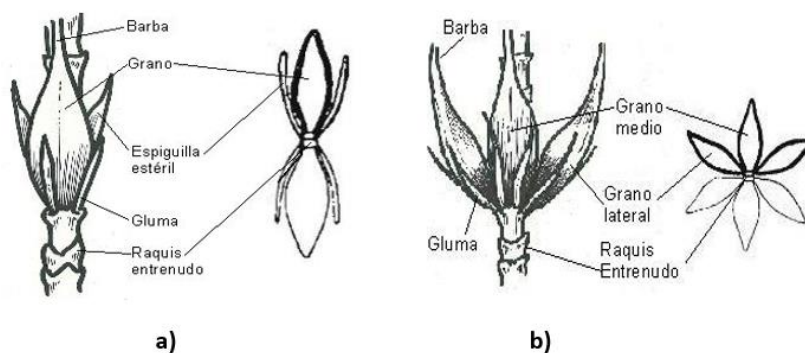


Figura 2. Espiguillas de cebada con vista lateral y superior: **a)** cebada de la especie *H. distichon* (dos carreras) y **b)** cebada de la especie *H. vulgare* (seis carreras).

Fuente: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015.

La cebada es un grano cubierto, es decir, cuenta con una cubierta externa que protege al grano del ataque de insectos y de hongos; además, que lo hace resistente a climas extremos. Si

hacemos un corte longitudinal a un grano de cebada (Figura 3), podemos apreciar secciones que son características del grano y que juegan un papel importante en la fabricación de la cerveza y del desarrollo del mismo grano.

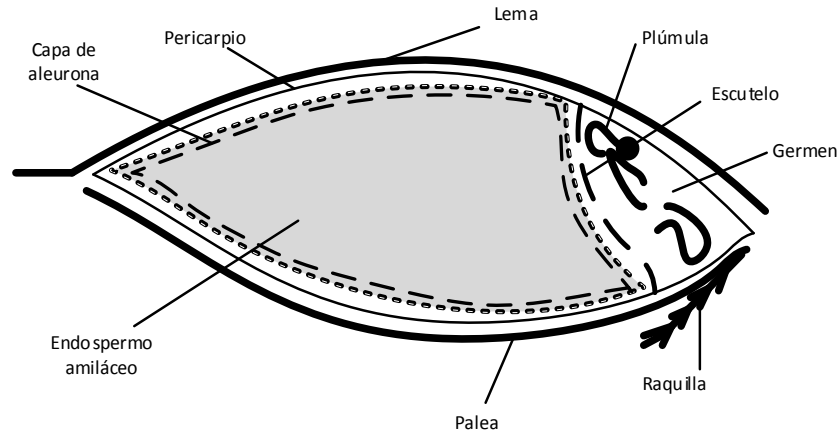


Figura 3. Sección esquemática del corte longitudinal del grano de cebada

Dentro de las secciones más importantes tenemos (García *et al.*, 2002; Hornsey, 1999; Hough, 1990):

a) Lema y palea: cubierta del grano que lo protege del ataque de insectos y hongos. Es un material lignocelulósico, fibroso y correoso. Es selectivamente permeable, no solo impide la salida de azúcares y aminoácidos del grano, sino también la entrada de microorganismos.

b) Pericarpio: capa delgada rica en β – glucanos unidos covalentemente a la celulosa de la cubierta y así manteniéndola fusionada.

c) Aleurona: se localiza en la periferia del endospermo constituida por células de pequeño tamaño, ricas en proteína y exentas de granos de almidón. Tiene un grosor de tres células teniendo una actividad respiratoria y metabólica intensa. En ella se sintetizan fitohormonas y enzimas hidrolíticas durante la germinación.

d) Germen o embrión: localizado en la parte dorsal del grano, contiene las células que generan las raíces, hojas y tallo. En él existe alta actividad respiratoria y metabólica.

e) Escutelo: su función es separar al endospermo del germen a modo de escudo. Tiene una función secretora, permitiendo la liberación de enzimas hidrolíticas del embrión al endospermo amiláceo.

f) **Endospermo:** depósito de nutrientes y reserva alimenticia del grano. La mayor parte del endospermo está constituido de células de gran tamaño, provistas de granos de almidón grandes y pequeños, recubiertos de proteína; también contienen algo de grasa. Cada grano de cebada contiene hasta el 90% de carbohidratos, de los cuales un 80-85% están en forma de gránulos de almidón, razón por la cual la cebada se ha convertido en el cereal preferido del cervecero

En cervecería, la cebada debe ser convertida en malta en el proceso de malteo, cuyo principal objetivo es el desarrollo de enzimas que permitan hidrolizar el almidón de la malta en azúcares, además de impartir características organolépticas específicas a cada malta. Si bien algunas fábricas utilizan una mezcla de cebada malteada y no malteada, esta última se utiliza en una proporción menor al 30%, garantizando así que las enzimas de la malta bastarán para degradar todo el almidón, las proteínas y las paredes celulares (Hough, 1990). El término de “malta” será el utilizado para la malta específicamente de cebada y así se entenderá. Si el origen es otro cereal, por ejemplo trigo, se deberá citar “malta de trigo”, y así para los demás cereales.

1.2.3. Lúpulo

Con nombre científico *Humulus lupulus*, el lúpulo pertenece botánicamente a la familia *Cannabaceae* de plantas con flores. Es una planta perenne trepadora capaz de alcanzar una



Figura 4. Fotografía de conos maduros de lúpulo: izquierda flor macho, derecha flor femenina.

Fuente: Gil, 2013.

altura de 6 m. La especie es dioica, es decir, los órganos masculinos y femeninos se encuentran en plantas diferentes, siendo el tamaño de la inflorescencia, la diferencia morfológica más evidente entre las plantas macho y hembra. La cabeza de la flor macho tiene unos 5 mm de diámetro mientras que las flores hembra tienen del orden de 15-20 mm de diámetro (Figura 4) (Hornsey, 1999). Desde el punto de vista cervecero, la parte útil de la planta de lúpulo es el cono femenino (o estróbilo), ya que contienen la mayor parte de las glándulas de resina, mientras que la flor macho contiene relativamente pocas glándulas de resina y las inflorescencias son caducas después del florecimiento (Hornsey, 1999; García *et al.*, 2002).

Actualmente, el lúpulo se cultiva en todas las regiones templadas del mundo (Hornsey, 1999), siendo Estados Unidos, China, Alemania, República Checa, Eslovenia y Reino Unido los principales productores a nivel mundial (Magadán *et al.*, 2011; Cameroni, 2012).

La función principal del lúpulo en la fabricación de cerveza es la de saborizante, siendo en gran medida responsable del sabor amargo y aroma característico de la cerveza, aunque sin duda una segunda función, pero no por ello menos importante, es la de conservador, ya que inhibe microorganismos patógenos e indeseables. También será responsable de una parte de la estabilidad de la espuma.

Los componentes importantes del lúpulo desde el punto de vista cervecero son las resinas y los aceites esenciales. De la composición total del lúpulo seco un 15% lo constituyen las resinas. La mayor parte del amargor propio del lúpulo está concentrado en una fracción llamada resina blanda, dividida a su vez en una fracción denominada α – ácidos y otra denominada β – ácidos. Los principales α – ácidos son humulona, cohumulona y adhumulona, mientras que los β – ácidos mas importantes son la lupulona, colupulona y adlupulona. Estos compuestos sufren diferentes reacciones químicas, principalmente de isomerización e hidrólisis durante la etapa de cocción, generando unas sustancias denominadas iso-ácidos, los cuales tiene una mayor capacidad de solubilidad, mayor amargor y mayor poder antiséptico. Los aceites esenciales se encuentran en una proporción de alrededor de 0.5% del lúpulo seco. Contribuyen al aroma y “bouquet” de la cerveza y en algunos casos son los únicos responsables del estilo de la cerveza (Hornsey, 1999; García *et al.*, 2002). La composición del lúpulo puede quedar más o menos dentro de los valores que se muestran en la tabla siguiente (Tabla 7):

Tabla 7. Composición típica del lúpulo.

Componente	% de la muestra	Componente	% de la muestra
Agua	10.0	Monosacáridos	2.0
Resinas totales	15.0	Proteínas (N*6.25)	15.0
Aceites esenciales	0.5	Aminoácidos	0.1
Taninos	4.0	Celulosa y lignina	10.4
Pectina	2.0	Cenizas	8.0
Lípidos y ceras	3.0	-----	-----

Fuente: Hornsey, 1999.

En México podemos encontrar una gran variedad de lúpulos que son importados de diferentes regiones del mundo, las cuales se encuentran disponibles en las distintas casas de insumos cerveceros distribuidas en todo el país. La Tabla 8 reúne algunas variedades comercializadas en nuestro país, así como algunas de sus características y usos en diferentes estilos de cerveza.

Tabla 8. Algunas variedades de lúpulo que son importadas a México

Variedad o nombre	Características	% de Alfa-ácidos	Estilos de cerveza en los que se emplea
CASCADE	Derivado de una cruce entre Fuggles y el Lúpulo Ruso Serebrianker. El aroma resultante es de fuerza media y muy distintivo, posee toques florales, a especias y cítricos, con un suave toque a uvas. Puede ser usado para agregar sabor y aroma, así como amargor.	4.5-7.0	Adecuado para todo tipo de Ales y es típico de American Pales. Aunque también es utilizado en algunas Lagers.
FUGGLE	Un clásico lúpulo de aroma inglés. Su aroma es terroso y poco dulce. Típicamente es un lúpulo para agregar sabor y aroma, sin embargo, puede usarse también para adicionar amargor.	4.0-5.5	Utilizado en English Ales, Porters, Milds, Bitters y Lámbicas.
U.K. GOLDING	Este lúpulo es parte de un grupo antiguo, tradicional y popular de lúpulos aromáticos desarrollados antes de 1790 en Inglaterra. Tiende a tener un sabor suave y dulce, cítrico y floral.	4.0-7.0	Se puede utilizar en todos los estilos de Ale Inglesa, en algunos belgas y es bueno para hacer dry hopping.
CHINOOK	El lúpulo Chinook es una variedad de amargor y de características de aroma. Con altos ácidos alfa, y un maravilloso carácter herbal que da un gran aroma casi ahumado cuando es usado como un lúpulo aromático durante los últimos minutos del hervido o en <i>dry hopping</i> . Aromas de intensidad media como; especiados, a pino y a uva.	12-14	Excelente para estilos americanos, Pale Ales, IPA's, Stout, Porter
NUGGET	Un lúpulo con un excelente amargor, pero que tiene un fuerte aroma herbal y a maderas. Es un lúpulo muy versátil, que puede ser utilizado para diferentes estilos de cerveza.	12.5-14.5	Extra Special Bitter, Pale Ale, Stout, Barley Wine, Stouts.
LIBERTY	El lúpulo Liberty es una variedad creada en América en 1983 y comercializado a partir de 1991. Es noble en su aroma y perfil de sabor. Es ligeramente dulce, con notas a canela y un poco resinoso.	3-5	Es bueno para cervezas suaves y aromáticas, como una Pilsner, Lager, Bock e incluso una Cream Ale.

Fuente: Brewmasters, 2015

Tabla 8. Algunas variedades de lúpulo que son importadas a México (continuación)

Variedad o nombre	Características	% de Alfa-ácidos	Estilos de cerveza en los que se emplea
COLUMBUS	Un lúpulo de gran carácter amargo. Uno de los tres Lúpulos “C”, junto con Centennial y Cascade. Permite impartir tanto amargor como aroma. Es utilizado para agregar amargor principalmente y aroma cuando se usa en la parte final del hervido o en dry hopping. Posee aromas a tierra, especias, olor picante, con notas cítricas fuertes, pero no tan fuertes como Cascade.	14-16	Es utilizado en American Ales, en IPA’s, Pale Ales y Stouts principalmente.
CENTENNIAL	Seleccionado de una cruce de Brewer’s Gold. Posee aroma de intensidad media, con tonos florales y cítricos. Es un lúpulo muy balanceado.	9.5-11.5	Muy utilizado en Ales, y en cervezas de trigo.

Fuente: Brewmasters, 2015

En la actualidad y con el paso del tiempo se han desarrollado métodos de tratamientos para hacer que la transportación y el almacenamiento del lúpulo sea más o menos cómodo, ya que el utilizar el balote (saco de 76 kg de peso de lúpulo entero) implica una complicación en cuanto a volumen y tomando en cuenta que en realidad el cervecero solamente utiliza del 5 al 15 % de material activo del volumen total. Las principales presentaciones que podemos encontrar actualmente de lúpulo son los polvos de lúpulo, pellets comprimidos de lúpulo y los extractos de lúpulo.

1.2.4. Levadura

La levadura es un organismo unicelular que se reproduce vegetativamente por gemación y será el microorganismo responsable de metabolizar y convertir los azúcares fermentables (hexosas, disacáridos y trisacáridos) que contiene el mosto dulce en alcohol y dióxido de carbono, por medio del proceso llamado fermentación (Bamforth, 2006).

Las levaduras más ampliamente usadas dentro de la industria cervecera pertenecen al género fúngico *Saccharomyces*, del cual, como se mencionó anteriormente, las cepas de *Saccharomyces cerevisiae* son las utilizadas comúnmente para la producción de cervezas ale, y las cepas de *Saccharomyces pastorianus* o también conocidas como *Saccharomyces carlsbergensis* las utilizadas para las cervezas lager (Bamforth, 2009; Pavsler y Buiatti, 2009).

Para el desarrollo global de las levaduras de cerveza (crecimiento y producción de etanol y CO₂) se requieren de ciertas necesidades (Hornsey, 1999) que son:

- Fuente carbonatada de energía: los llamados azúcares fermentables.
- Una fuente de nitrógeno: procedentes de los aminoácidos y de los di y tri-péptidos del mosto.
- Vitaminas como factores de crecimiento: tienen una función catalítica como parte de alguna coenzima en el metabolismo.
- Iones inorgánicos como; azufre y elementos metálicos (Mg²⁺, Fe²⁺, Fe³⁺, etc.)
- Oxígeno: especialmente en las primeras fases de la fermentación, para la síntesis de esteroides y ácidos grasos insaturados.
- Agua

Todos estos elementos los proporcionará el mosto dulce en los fermentadores, en mayor o menor cantidad dependiendo de las características de las materias primas y condiciones de operación utilizadas durante la maceración.

Dos de las características más importantes y deseables en una cepa de levadura son: la capacidad de producir una fermentación vigorosa (relacionado con el grado de atenuación) y una grado adecuado de floculación (Abreu, 2008).

La atenuación se suele expresar en forma de porcentaje para describir la cantidad de azúcar en el mosto que es convertida por la cepa de levadura a etanol y CO₂. La mayoría de las cepas de levadura tienden a atenuar en el intervalo de 65 a 80%. Más específicamente, la llamada “atenuación aparente” se determina mediante la comparación del peso específico inicial y final de la cerveza (Calderoni, 2011).

Por su lado, la floculación es la aglomeración de células de levadura en racimos (o flóculos), idealmente al término de la fermentación (Hornsey, 1999), y será una de las características más importantes de las levaduras debido a la influencia que ésta tiene sobre las demás características de interés tecnológicas como son la atenuación adecuada del mosto, estabilidad celular, sedimentación (permite la separación de la levaduras y contribuye a la clarificación de la cerveza), producción de alcohol, eficiencia fermentativa y la reducción de compuestos indeseables durante la fase ulterior de maduración (Abreu, 2008).

Las levaduras se suelen clasificar en función de la floculación en: floculantes o no floculantes. Dentro de las primeras tenemos las llamadas de clase II, que forman aglomerados flojos y ascienden al final de la fermentación (levaduras altas típicas de cervezas ale), las de clase III que forman aglomerados compactos y se hunden al final de la fermentación, y las de clase IV que floculan desde etapas tempranas de la fermentación y que generalmente ascienden a la superficie. Las levaduras que no floculan son clasificadas como levaduras de clase I (García *et al.*, 2002).

1.2.5. Adjuntos

Los adjuntos serán cualquier producto distinto de la malta empleado para añadir o producir azúcar en la cuba de maceración. Uno de los principales usos de los adjuntos es el abaratar el precio de producción de la cerveza, aunque no siempre es así, si se consideran el gasto de los equipos extras para su pretratamiento antes de añadirse a la cuba de maceración.

En otros casos su función también es tecnológica buscándose con ello la obtención de cervezas con características organolépticas determinadas (Kunze, 2006).

Entre los cereales más habituales en cervecería encontramos el trigo, el arroz, el centeno, maíz, avena y el sorgo. Estos cereales pueden ser los granos enteros molidos o bien productos derivados de ellos como sémola o grits, almidón, granos pre-cocidos, hojuelas o jarabes.

1.3. Proceso para la elaboración de cerveza

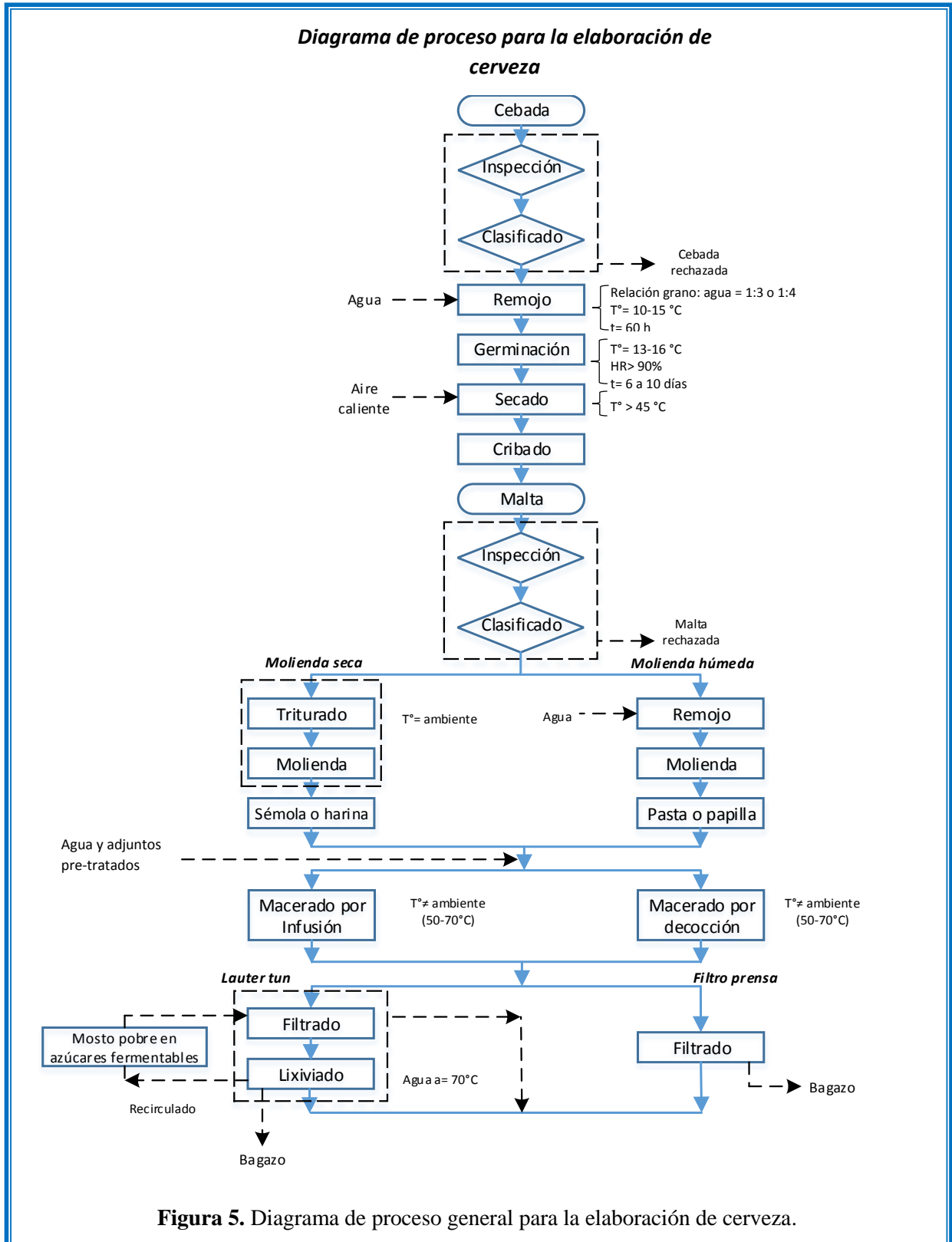
Podemos identificar dos grandes secciones en el proceso de la elaboración de cerveza: i) el proceso de malteo donde se obtendrá malta a partir de cebada y ii) la elaboración propia de la cerveza.

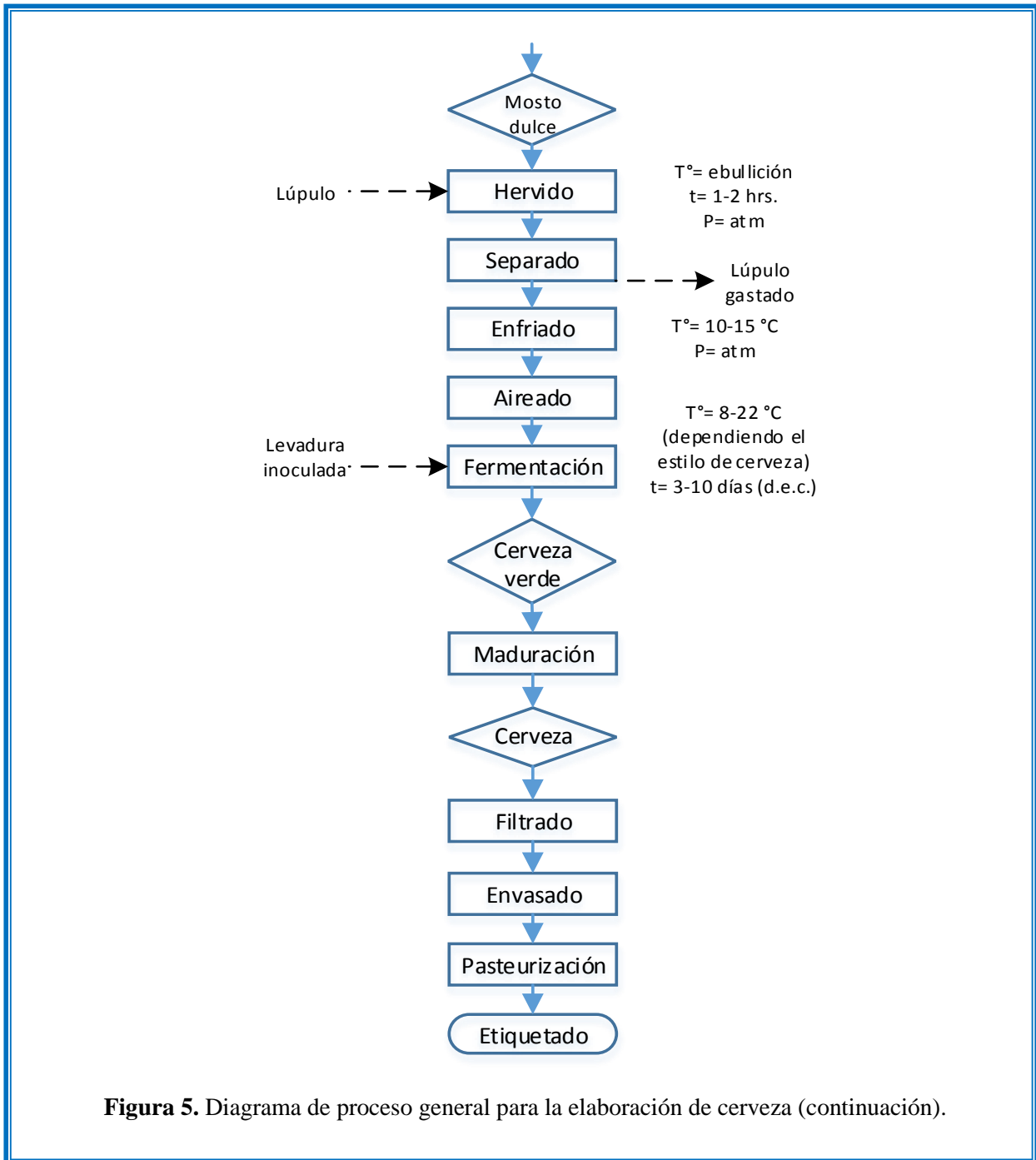
El proceso de malteo consta de las siguientes etapas:

- A. remojo
- B. germinación
- C. secado y tostado
- D. cribado

El proceso para la elaboración de cerveza puede ser dividido en dos subsecciones, la sala de cocción y la fermentación. Las operaciones de la sala de cocción son las relacionadas con la producción de un extracto fermentable a partir de la malta y comprende 5 pasos: molienda, macerado, filtración de la maceración, hervido y separación del lúpulo gastado (*trub*) (Lewis &

Young, 1995). La figura 5 muestra el diagrama del proceso general para la elaboración de cerveza, incluyendo las etapas finales del proceso y el malteo.





1.3.1. Descripción del proceso general para la elaboración de cerveza

La descripción del diagrama de proceso se desarrolla a continuación.

I. Inspección y clasificación de la cebada

El proceso de elaboración comienza con la recepción de la cebada, la cual deberá de cumplir con ciertos estándares de calidad delimitados por cada planta procesadora. En forma general, una cebada cervecera deberá apegarse a los siguientes estándares de calidad:

- Humedad < 14% (a niveles superiores existe una penalización de precio).
- Apariencia homogénea, mínimo de granos rotos y dañados, ausencia de granos con indicio de germinación, mínimo de basura, cuerpos extraños y presencia de otros granos.
- Olor limpio y característico a cereal.
- Respecto al tamaño, el porcentaje de muestra que se haga pasar a través de una serie de cribas (2.2-2.8 mm de abertura) deberá retenerse >85% en la criba con abertura de malla de 2.5 mm y el porcentaje que pasa a través de la malla con abertura de 2.2 mm debe ser menor al 3% (Magliano *et al.*, 2014).
- El contenido proteico óptimo se deberá encontrar entre el 10 y el 12 % (Magliano *et al.*, 2014).

II. Malteo

El malteo es una germinación controlada del grano de cebada que va desde los 3 a los 6 días a una temperatura entre los 16-20°C que tiene como principales propósitos la generación de enzimas hidrolíticas y la impartición de propiedades organolépticas características al grano (Bamforth, 2006). Las etapas son las siguientes:

Remojo: el objetivo del remojo es el aumento del contenido de humedad, hasta el que necesita la germinación, el cual normalmente es del 42 al 46% (Hornsey, 1999). Los granos se sumergen en camas llenas de agua a una temperatura de 10 a 15 °C. Entonces son sometidos a periodos intermitentes de drenaje, en los que se hace pasar aire a través de la cuba de remojo, permitiendo así dispersar el CO₂ y a la postre lograr una germinación más rápida y uniforme. Generalmente el proceso de remojo está integrado por 2 a 4 recambios de agua. El ciclo total puede durar desde las 40 hasta las 80 horas (García *et al.*, 2002; Hornsey, 1999).

Germinación: Concluido el remojo y teniendo los primeros indicios de germinación en forma de pequeños brotes en los granos, éstos son transferidos a las camas tradicionales o tambores de germinación.

El objetivo de la germinación es la producción de enzimas y la hidrólisis parcial de los biopolímeros que hará más blando el grano durante la molienda. La temperatura inicial de la

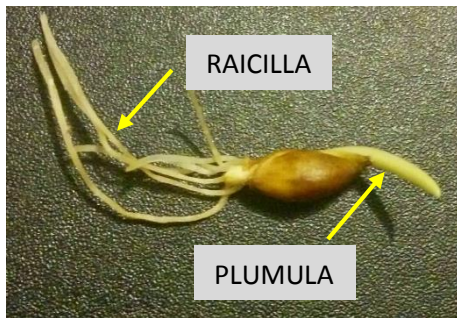


Figura 6. Fotografía de cebada terminada la germinación.

Fuente: cervecero de fin de semana, 2015.

germinación es de 13 a los 16°C, aunque la temperatura se eleva por el proceso exotérmico de la germinación. Para evitar lo anterior, la cama de grano se somete a un “rastrillado” o volteo varias veces al día para la disipación del calor y CO₂, o bien en las malterías más modernas, se hace pasar aire a través de la cama de germinación, y los granos son volteados en tambores rotatorios o removiéndolos con brazos giratorios neumáticos, con lo cual también se evita que las raicillas del grano se entrelacen. Para evitar la pérdida de humedad del grano, se utilizan rociadores de agua con operaciones periódicas (García *et al.*, 2002; Hornsey, 1999; Hough, 1990).

La germinación se detiene una vez que la plúmula alcanza $\frac{3}{4}$ de la longitud de la mayoría de los granos, lo cual se logra generalmente entre 6 y 10 días, evitándose todo crecimiento ulterior (Figura 6). En esta etapa el grano pierde entre 4 y 8 % de su peso (García *et al.*, 2002).

Secado u Horneado: el objetivo del secado es detener la germinación y aportar color y sabor a la malta a través de interacciones de Maillard entre azúcares y aminoácidos producidos durante la modificación. Las maltas lager son comúnmente horneadas a intervalos de 45 a 70°C mientras que las maltas Ale son sometidas entre 60 a 95°C. Algunas maltas oscuras llegan a tostarse a temperaturas de hasta 105 a 180°C, y las maltas negras o chocolate hasta 230°C. A mayor temperatura de horneado, las maltas que se producen son más oscuras y con menor actividad enzimática (por la desnaturalización de las enzimas debido a la temperatura). La humedad final de la malta será en promedio del 4 % (objetivo <6%), humedad suficiente para que la malta sea almacenada por meses, de ser necesario, manteniendo las condiciones adecuadas. (Bamforth, 2006; García *et al.*, 2002).

Cribado: terminado el horneado o tostado, la malta es enfriada y sometida a un cribado con el propósito de eliminar las raicillas. Después es trasegada a silos para su almacenamiento.

III. Inspección y clasificación de la malta

A nivel mundial los cerveceros han establecido toda una diversidad de condiciones que debe cumplir la malta, aunque dependerá en gran medida del tipo de malta con la que se trabaja,

pudiendo ser unas oscuras o claras, con alto poder diastásico o bajo (capacidad de la malta para hidrolizar almidón), todo dependerá del cervecero. La humedad en general para todas las maltas deberá de ser menor al 6%, aunque en algunas cervecerías exigen contenidos menores al 3%.

IV. Molienda

Básicamente existen dos métodos de molienda; la molienda seca y la molienda húmeda. En ambos casos el objetivo es el aumento de la superficie de reacción para las enzimas (Preedy, 2009)

Molienda seca: comúnmente es utilizado un molino de rodillos, compuesto por dos pares de ellos, separados por una rejilla y zarandas rotatorias. El primer par de rodillos recibirá los granos distribuidos en toda su longitud, de tal forma que el grano es triturado y la cascarilla separada del endospermo. El segundo par de rodillos se encargará de desintegrar el endospermo y embriones salientes, produciendo entonces sémola y harina (Figura 7). Este tipo de molienda permitirá que la cascarilla se mantenga lo más intacta posible, lo que ayudará a la formación de un filtro ayuda natural en el filtrado seguido de la maceración y evitar la liberación de taninos que son indeseables. El endospermo deberá ser lo suficientemente fino para facilitar su hidratación y extracción pero no tanto para evitar capas impermeables en la filtración (efecto talco) (Hornsey, 1999).

Los molinos de martillos y los de discos también son utilizados donde el producto final es polvo fino, pero su uso se limita a las factorías más modernas donde están equipadas con filtros prensa de mosto. Este tipo de molienda permite obtener rendimientos de extracción altos (Hornsey, 1999).

Molienda húmeda: la malta es humedecida antes de entrar al molino, alcanzando un contenido de humedad cerca del 30%, entonces pasa entre los rodillos en los que las cáscaras se abren y el endospermo es prensado y exprimido en forma de papilla o pasta. El objetivo es reducir la probabilidad de explosiones, mejorar el extracto potencial y el filtrado (Hornsey, 1999).

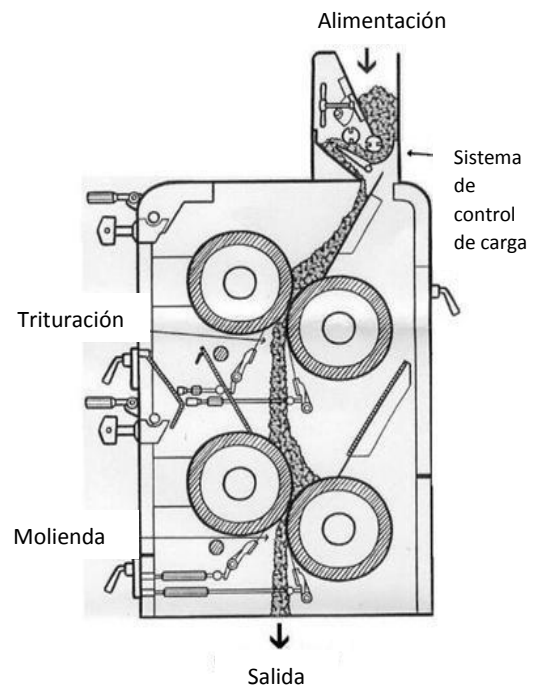


Figura 7. Esquema del mecanismo de operación de un molino de rodillos.

Fuente: Vega, 2004

V. Macerado

La maceración tiene como objetivo hidrolizar el almidón de la malta y adjuntos, por medio de la acción enzimática de la propia malta y con el fin de producir azúcares fermentables que posteriormente serán necesarios en la fermentación. La sémola se mezcla con agua agitando lentamente, donde la temperatura del sistema es crítica. En lo que respecta al pH del agua de maceración, deberá ser tal que el pH neto tras la mezcla sea entre 5.3 a 5.5 (óptimo a 5.4). Este pH es el óptimo para la actividad amilolítica y el que produce por consiguiente, los niveles máximos de degradación del almidón. El pH de las enzimas proteolíticas presentes en la malta, se encuentra dentro del margen de 4.5 a 5 y por ello no actúan tan eficazmente como las enzimas amilolíticas (Serna, 2001; Hornsey, 1999).

Entre los procesos enzimáticos más importantes que podemos distinguir durante el macerado son: **la amilólisis, proteólisis y la degradación de los β - glucanos.**

La **amilólisis** consta de dos etapas principales; gelatinización del almidón y sacarificación. El almidón de la malta y los adjuntos se encuentran en forma de amilosa y amilopectina y su proceso de disolución depende de estos dos procesos. La amilosa es un polímero de glucosa que consta de 1 000 a 4 000 unidades de glucosa unidas por un enlace α (1 \rightarrow 4), generando una molécula lineal enrollada en forma de espiral. Una cadena de amilosa no tiene más poder reductor que el correspondiente a una sola molécula de glucosa, porque solo tiene un grupo reductor funcional situado en un extremo. La amilosa supone del 20 al 25% del almidón. La amilopectina, al igual que la amilosa, es un polímero de glucosa, pero de mayor tamaño. La mayor parte de las unidades de glucosa están unidas por enlaces α (1 \rightarrow 4), pero ocasionalmente se establecen también enlaces α (1 \rightarrow 6). La consecuencia de estos enlaces es la formación de una molécula ramificada que, al igual que la amilosa, solo consta de un extremo reductor. La amilopectina supone aproximadamente el 75 – 80% del almidón de cebada (Preedy, 2009; Hough, 1990; Hornsey, 1999).

Para que las enzimas hidrolíticas puedan hacer su trabajo, es necesaria la gelatinización del almidón por la acción de calor o someterlo a un intenso trabajo mecánico. La temperatura de gelatinización dependerá del tipo de cereal. El almidón generado en la malta gelatiniza a 60°C con la presencia de amilasas. Durante la gelatinización las moléculas de almidón adsorben agua, se hinchan y estallan (o “desdoblan”), permitiendo así, aumentar la superficie de reacción para las amilasas y facilitando su trabajo (Preedy, 2009; Hough, 1990).

Como se mencionó, uno de los principales objetivos del malteo es incrementar la actividad enzimática del grano, principalmente amilolítica. El grano de cebada tiene un contenido relativamente bajo de azúcares fermentables, el cual se aumenta durante el malteo, pero lo más importante es que se incrementa considerablemente el contenido de enzimas amilolíticas. Una gran cantidad de enzimas son sintetizadas y potencializadas durante la germinación del grano, siendo las más relevantes en el proceso de elaboración de cerveza las amilasas (α y β), la α -glucosidasa, las glucanasas, las proteasas y las pentosanasas. La mezcla de enzimas capaces de degradar el almidón se conoce como **diastasa**. El grano de cebada sin maltear contiene, principalmente en el endospermo, cantidades considerables de β -amilasa latente (activa), en forma soluble como insoluble. Durante el malteo, la enzima se solubiliza totalmente. Por otra parte, la α -amilasa se produce durante el malteo como respuesta al ácido giberélico, es decir, formación de α -amilasa influenciada por la giberelina. El ácido giberélico es una hormona vegetal producida por el embrión durante la germinación y transportado durante el proceso de malteo a la capa de aleurona, donde realmente estimula la producción de enzimas. Además de la α -amilasa, el ácido giberélico también provoca la activación de endo- β -glucanasas, pentosanasas, endoproteasas y dextranasa límite (pululanasa o enzima-R). Hacia el final del proceso de malteado, las diversas enzimas líticas producidas, han sido transferidas al endospermo donde causarán la modificación de la textura del almidón, de una masa amorfa a un sustrato más disgregable. Solo un bajo porcentaje del almidón, cerca del 10%, se hidroliza durante el malteado, la mayor parte ocurre durante esta etapa de maceración. Desde el punto de vista cervecero, los aspectos prácticos más importantes durante el malteado son la degradación de los β -glucanos de la pared celular del endospermo (por las glucanasas) y la consiguiente exposición de las partes proteicas, que rodean a los gránulos de almidón, al ataque de las proteasas (García *et al.*, 2002; García, 2013; Hough, 1990).

Durante el proceso de sacarificación, las enzimas de la malta actúan sobre los componentes de la molienda; malta y adjuntos. Así el almidón se hidroliza produciendo azúcares fermentables, las proteínas se degradan en péptidos y aminoácidos libres los cuales serán asimilados por la levadura (proteólisis), y las β -glucanasas y pentosanasas degradan los polímeros correspondientes reduciendo la viscosidad del mosto. Las enzimas proteolíticas tienen temperaturas óptimas en el margen de 50 a 55°C y la temperatura óptima de las β -glucanasas es de 43 a 45°C y se inactivan a 60°C. Las proteasas hidrolizan las proteínas de la malta y los

otros cereales. Los productos de esta degradación son péptidos y aminoácidos que serán nutrientes para las levaduras durante la fermentación; además de que contribuyen al sabor por ser precursores de congenéricos y a la formación y estabilidad de la espuma de la cerveza. Por su parte, las β – glucanasas de la malta hidrolizan los enlaces β (1→3) y β (1→4) de los glucanos (polímeros de glucosa). La degradación los glucanos y de las pentosanas (por la acción de las pentosanasas) es importante para disminuir la viscosidad del mosto, facilitando así las operaciones de bombeo y filtración, además de que reducen la turbiedad en la cerveza (García *et al.*, 2002; García, 2013; Hornsey, 1999).

La α - amilasa es una endoenzima que hidroliza los enlaces α (1 → 4) de la amilosa y la amilopectina en diferentes puntos dentro del polímero, pero alejados de los puntos de ramificación α (1 → 6) y de los extremos de la cadena; el producto resultante de esta enzima son las dextrinas y en menor proporción los oligosacáridos. La temperatura óptima de la α -amilasa se encuentra en el intervalo de los 64 a los 68°C. La β - amilasa hidroliza también los enlaces α (1 → 4) pero se trata de una exoenzima que actúa a partir de los extremos no reductores de la cadena, liberando en cada corte una molécula de maltosa y deteniéndose donde encuentra un enlace α (1 → 6), por lo que sus productos serán además de la maltosa, dextrinas. Su temperatura óptima es en el margen de los 60 a los 65°C. Por tanto, las dos enzimas trabajan de modo coordinado, en cada corte de la α - amilasa se genera un nuevo extremo no reductor donde el ataque de la β - amilasa se hace presente. La α - glucosidasa hidroliza tanto los enlaces α (1 → 4) como los enlaces α (1 → 6) pero su función se centra sobre los oligosacáridos principalmente, obteniéndose como producto glucosa. La enzima pululanasa, es una enzima desramificadora, es decir, actuará sobre los enlaces α (1 → 6) de la amilopectina. Con toda esta acción concertada de enzimas actuando, es de esperarse que el resultado es una mezcla de diversos componentes; oligosacáridos (maltosa y maltotriosa principalmente), dextrinas, dextrinas límite, glucosa que es un monosacárido, y en menor proporción la maltotetrosa, isomaltosa, panosa, entre otros. Las cantidades que se obtendrán dependerán en gran medida de las proporciones de enzimas y de algo denominado “perfil de tiempo y temperatura de sacarificación (o maceración)”, el cual se refiere a que tanto tiempo dejar actuar una u otra enzima en base a su temperatura óptima, por tanto, entre mayor tiempo se encuentre una enzima en esa temperatura o cerca de ella, mayor oportunidad tendrá de actuar en condiciones óptimas. Con todo esto, a diferentes perfiles de tiempo y temperatura en la sacarificación corresponderán

mostos con tal o cual composición. Por ejemplo, si durante un proceso de sacarificación se prefieren las temperaturas altas, favorecerá la acción de la α -amilasa, resultando en el mosto una alta cantidad de dextrinas y a su vez en la cerveza, una alta densidad y estabilidad de la espuma. Por el contrario, si se prefieren las temperaturas bajas, la que actuará en mayor medida será la β -amilasa, produciendo abundancia en azúcares fermentables y por ende, alto contenido alcohólico en la cerveza (García *et al.*, 2002; García, 2013; Hornsey, 1999; Hough, 1990; Preedy, 2009).

La maceración puede ser desarrollada en base a dos métodos principales y ampliamente usados; infusión y decocción.

La **maceración por infusión**, es un método simple que requiere de un solo recipiente, llamado cuba de maceración o simplemente macerador, en la que se produce el mezclado de la sémola y el agua. Entonces se lleva a cabo un aumento gradual de la temperatura en el macerador, y manteniendo esa temperatura cierto tiempo dependiendo las características del mosto que se desean obtener. El mosto será el líquido azucarado resultante tras la maceración y posterior filtración. Un perfil típico de maceración puede ser el siguiente: temperatura inicial de la infusión de 35 a 45 °C donde actuarán las β – glucanasas, y comenzará la degradación de la pared celular; después se aumenta la temperatura hasta el margen de los 50 a 55°C para que se lleve a cabo la proteólisis (aprox. 20 min); dejado pasar el tiempo de actuación de las proteasas, se aumenta la temperatura hasta el punto de la amilólisis máxima que es a los 64-65°C (1 hora) (Bamforth, 2006; García *et al.*, 2002; Hornsey, 1999).

Cuando se utilizan adjuntos sólidos, éstos se maceran en una cuba aparte llamada cocedor de adjuntos, donde se calienta a ebullición. La solución de adjuntos se descarga gradualmente con lo que se va logrando el aumento de la temperatura en el macerador. A esta forma de lograr la sacarificación se le llama proceso de infusión doble con macerado (García *et al.*, 2002).

La **maceración por decocción**, utilizada principalmente en cervecerías alemanas y de Europa central, requiere de dos recipientes; la cuba de maceración y la cuba de cocción. Es un proceso en el cual se retira una parte del macerador (aprox. 1/3), se calienta a ebullición y se reintegra al macerador. La operación se repite varias veces y así se va incrementando gradualmente la temperatura del macerado (García *et al.*, 2002; Hornsey, 1999).

VI. Filtrado y lixiviado

Concluida la maceración, es necesaria la separación de la mezcla, donde se obtendrá mosto dulce y granos gastados o bagazo. Dos técnicas son las más ampliamente usadas; el uso de una cuba-filtro (conocido en inglés como *lauter tun*) y el uso de un filtro prensa.

El *lauter tun* es un tanque clarificador de forma cilíndrica y provisto de un falso fondo con perforaciones, palas o cuchillas rotatorias internas para mover la suspensión y aspersores de agua (Figura 8). En este tanque se separa el líquido, el cual constituye el producto denominado mosto dulce, esto por un lado, y por otro lado, los subproductos que son los residuos sólidos de la malta y adjuntos, conocidos como bagazo o granos gastados. El mosto se recupera a través de las perforaciones del falso fondo, pasando por la masa del bagazo, el cual funciona como lecho filtrante natural que permite obtener un mosto clarificado. En algunas plantas cerveceras es normal el recircular las primeras porciones de mosto nuevamente sobre la cama filtrante, hasta que salga brillante. Una vez que se ha extraído el mosto (mosto con alta densidad), se prosigue a rociar agua caliente sobre los granos gastados, operación llamada lixiviación. La lixiviación disolverá los sólidos de las partículas del grano y la difusión de dichos sólidos disueltos en la fase líquida de la mezcla. El agua de lixiviación es asperjada mediante un brazo rotatorio y comúnmente se utiliza a una temperatura de 70-75°C. A esta temperatura se logra extraer con éxito los azúcares residuales del lecho filtrante, teniendo cuidado de no exceder ésta temperatura, de lo contrario se extraerán sustancias indeseables como polifenoles que causaran problemas en el sabor final de la cerveza. Cuando se ha extraído lo más posible del macerado, el bagazo es drenado y retirado de la cuba (García *et al.*, 2002; Hornsey, 1999).

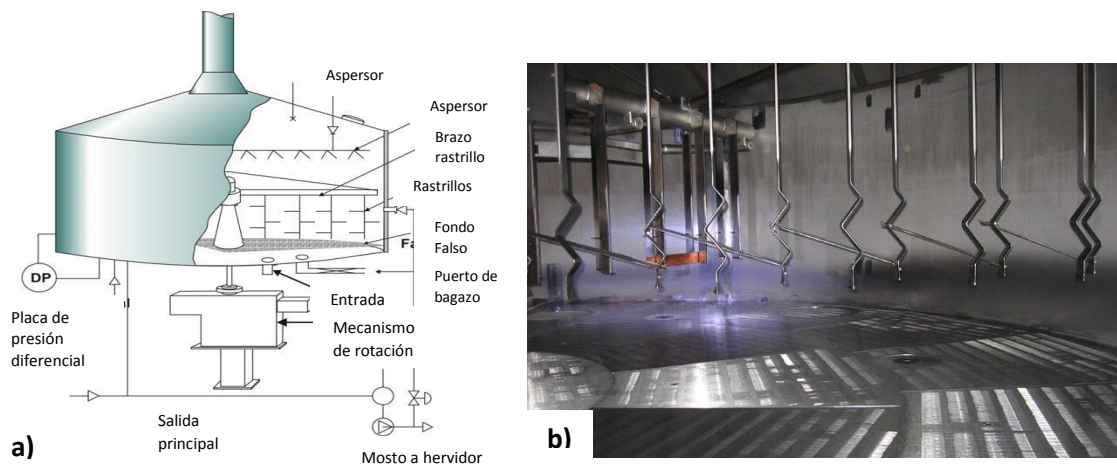


Figura 8. Esquema y fotografía de lauter tun: a) Partes de un lauter tun. b) Fotografía del interior de un lauter tun donde se aprecian las palas rotatorias removedoras y el fondo falso.

Fuente: a) The Lauter Tun, 2009; b): Krones, 2015

El cervecero moderno está obligado cada vez más maximizar la eficiencia de los procesos, trayendo como consecuencia aplicar nuevas tecnologías en el proceso de filtrado, donde las cubas filtro han sido sustituidas por sistemas de filtros prensa, mejorando considerablemente el rendimiento y el costo. Este tipo de filtros, tiene una estructura de polipropileno que consta de una cámara hueca separada por dos membranas elastómeras y placas, que sostienen telas filtrantes especialmente tratadas. El sistema completo esta soportado en un chasis de acero inoxidable, donde las placas son cerradas bajo compresión de un cilindro hidráulico. El proceso es automático. Este sistema permite utilizar la malta con un grado de molienda mucho más fino sin ningún efecto perjudicial sobre la filtración, lo que con el lauter tun no se puede. Como consecuencia de ello, el extracto es mayor (Hornsey, 1999).

VII. Hervido y separado

Una vez separado el mosto dulce, pasa entonces a la caldera de ebullición donde es adicionado el lúpulo y llevado a temperatura de ebullición durante 60 a 90 minutos. La caldera es calentada a fuego directo o por medio de una camisa donde se suministra vapor saturado. El sistema se mantiene a presión atmosférica. Los objetivos alcanzados durante esta operación son varios (García *et al.*, 2002; Hornsey, 1999):

- 1) Cese de toda actividad enzimática.
- 2) Esterilización del mosto, evitando así microorganismos indeseables y posibles competidores de la levadura en la fermentación.
- 3) Aportar amargor al mosto, debido a la extracción (isomerización) de las resinas y aceites esenciales del lúpulo.
- 4) Clarificación del producto por medio de la coagulación de las proteínas y reacción entre ellas y taninos, que forman compuestos insolubles.
- 5) Concentración del mosto por evaporación de agua (del 10 al 15 % del volumen original es eliminado).
- 6) Descomposición y eliminación de compuestos volátiles indeseables.
- 7) Intensificación del color de la cerveza y contribución al sabor.

Concluida la ebullición, el mosto lupulado es separado en equipos centrífugos llamados “whirlpool”. Se obtendrá como producto mosto lupulado clarificado y como subproducto lúpulo

gastado mezclado con turbio caliente (proteínas sedimentadas y complejos de proteínas y taninos).

VIII. Enfriado y aireación

Antes de que pase al fermentador, el mosto lupulado debe ser enfriado y oxigenado. La mayor parte de las cervecerías industriales operan con intercambiadores de calor de placas para enfriar el mosto. La temperatura final a la que llega el mosto dependerá del estilo de cerveza que se produzca. Para cervezas estilos lager, se requiere de temperaturas entre 10 a 15°C, mientras que para las ales se requieren temperaturas de 16 a 20°C. Durante el enfriado también se generan precipitados de proteínas y taninos insolubles denominado turbio frío. Este turbio puede o no permanecer en el mosto, es a consideración de cada cervecero. Como se explica más adelante, la presencia de oxígeno es esencial en las primeras fases de la fermentación, por lo que si el proceso de enfriamiento no ha permitido la entrada de oxígeno, es necesario la oxigenación artificial. El mosto lupulado normalmente se oxigena mediante la inyección de aire estéril a la salida del enfriador.

IX. Fermentación

La fermentación se inicia con la inoculación del mosto lupulado con un cultivo de levadura. Las levaduras se propagan iniciándose con pequeños volúmenes y de ahí se pasan a fermentadores de pequeña escala llamados propagadores, en los cuales se utiliza mosto estéril y en condiciones anaeróbicas. El oxígeno es de suma importancia en la viabilidad y capacidad fermentativa de la levadura, entre otros factores por su papel en la síntesis de lípidos esenciales de la membrana celular. Las cepas de levaduras tienen diferentes necesidades de oxígeno, siendo importante que haya suficiente para el rápido crecimiento celular inicial, pero no una cantidad excesiva, porque entonces la levadura recurre a una respiración aerobia mediante la oxidación y descarboxilación del piruvato y finalmente el ciclo de Krebs. Durante las primeras horas que sigue a la inoculación no sucede nada visible en el recipiente, esta es la fase de latencia del crecimiento, la cual puede durar de 6 hasta 15 horas. En el fermentador se establecen rápidamente condiciones anaerobias y la levadura transforma rápidamente los azúcares fermentables en etanol y dióxido de carbono (García *et al.*, 2002; Hornsey, 1999).

Las fermentaciones se inician generalmente a temperaturas de 7 a 11 °C para cervezas lager, la cual se incrementa de 10 a 15°C entre los 3 a 5 días, para finalmente descender a los valores

iniciales. Comúnmente la fermentación de estas cervezas dura de 8 a 10 días. Para cervezas con fermentación ale, generalmente la temperatura inicial es de 15 °C, incrementándose hasta los 21-22°C a las 36 horas y finalmente descendiendo a los valores iniciales en las últimas horas. La operación dura cerca de 3 días (Hornsey, 1999).

Los principales azúcares fermentables en el mosto son la maltosa y la maltotriosa, en menores proporciones se encuentran la sacarosa y fructosa, componentes naturales de la cebada, y la glucosa, proveniente tanto de la sacarificación y de la cebada. La conversión de azúcares a etanol y CO₂ por parte de la levadura se lleva a cabo en dos etapas: i) la conversión de glucosa, fructosa y sacarosa. La sacarosa es hidrolizada en glucosa y fructosa por medio de una sacarasa, para después ser introducidas a la célula de levadura por las permeasas. ii) una vez agotada la glucosa, fructosa y sacarosa en el mosto, la levadura comienza con el periodo de utilización de la maltosa y la maltotriosa. La maltosa es introducida a la levadura por medio de la maltosa permeasa y la maltotriosa por la maltotriosa permeasa, una vez dentro son hidrolizadas a glucosa por medio de la α -glucosidasa (García, 2013).

La fermentación se lleva a cabo en fermentadores de acero inoxidable de fondo cónico teniendo la ventaja de utilizarse además como tanques de maduración (*unitank*). La temperatura es controlada por medio de serpentines en su interior o camisas refrigerantes, pudiendo también existir la posibilidad que los tanques fermentadores se ubiquen dentro de un cuarto con acondicionamiento de temperatura.

X. Maduración y operaciones finales

El producto, terminada la fermentación es la cerveza verde, la cual es necesaria que se someta a un periodo de maduración o reposo. Los objetivos de este periodo son:

- 1) Permitir la precipitación lenta de proteínas y complejos de proteínas-taninos, así como de levadura residual, con lo cual se confiere claridad a la cerveza.
- 2) Permitir reacciones de maduración del sabor.

La cerveza verde es introducida en un tanque de bodega de guarda donde será llevada a cabo la maduración, pero si la fermentación primaria se ha llevado a cabo en un *unitank*, el trasiego de la cerveza verde es innecesario. El tiempo de maduración puede ir desde los 3 días hasta varios meses (García *et al.*, 2002). En algunos casos se efectúa una segunda fermentación alcohólica, donde casi siempre es necesaria la adición de fermenticibles para permitir que la levadura actúe nuevamente, ya que la fermentación primaria se lleva hasta un nivel en que queda muy poco

material fermentable (menos del 1% del extracto seco primitivo). Pueden añadirse azúcares, mosto fresco estéril o mosto relativamente poco fermentado (Hornsey, 1999).

Terminada la maduración la cerveza se somete a una filtración comúnmente en filtros prensa (filtración grosera) para después pasar a filtros de membrana (“pulido de la cerveza”).

La cerveza madurada y filtrada, pasa a la llenadora donde es envasada y simultáneamente carbonatada y tapada. Las botellas cerradas pasan seguidamente a través de un túnel pasteurizador (donde se alcanza una temperatura de 60 a 65°C) para garantizar la estabilidad microbiológica del producto o bien antes de ser embotellada la cerveza, se hace pasar por pasteurizadores “flash”, que es básicamente un intercambiador de calor de placas, en el que la cerveza fría fluye en una dirección y el agua caliente en otra. El producto alcanza una temperatura de 73°C por 30 segundos para después ser enfriado. Las operaciones finales serán el etiquetado (vestido de la botella) y el embalaje.

1.4. Cerveza artesanal

La cerveza artesanal comenzó a producirse y consumirse en la región centro del país a finales del siglo pasado, pero su gusto en la actualidad ya se ha extendido por toda la república, gracias a su calidad y exóticos sabores que presentan. Los microcerveceros coinciden en que el pionero de la cerveza artesanal es Gustavo González, creador de la legendaria **Cosaco**. Él empezó a elaborar cerveza desde 1995, alentado por el impulso de los artesanos estadounidenses (Morales, 2015). En México la cerveza artesanal es producida exclusivamente por microcervecerías, las cuales en 2013, su mercado estaba valuado en 90 000 millones de pesos (Mendoza, 2013).

1.4.1. Puntos para entender ¿qué es cerveza artesanal? y su diferencia con la cerveza industrial

Como se mencionó en un inicio en México no existe una definición oficial sobre cerveza, menos aún habrá una en particular para cerveza artesanal (esto muestra la falta de interés en el tema por parte de las estancias gubernamentales del país). Sin embargo, son solo algunos puntos clave, pero no por eso trivial, que hacen a la cerveza artesanal diferente de una cerveza *común* y *corriente*, como por ejemplo, que la calidad de ellas es superior al de una cerveza industrial.

La Asociación Cervecería Mexicana (Acermex) se apega a lo que brinda la Asociación Americana de Cerveza Artesanal para distinguir a una cerveza artesanal de una industrial y que básicamente se basa en tres diferentes puntos (Arteaga, 2013):

- La cerveza artesanal debe de provenir de una cervecería independiente, la cual sólo puede contar con el 25% de capital accionario de un grupo dominante en el mercado.
- Son cervecerías pequeñas, es decir, no puede producir más de cinco millones de hectolitros al año.
- Su elaboración debe de ser tradicional, lo cual puede determinarse en el hecho de que no ocupen cereales como arroz y maíz para abaratar la producción, se manufactura con 100% malta y sólo puede utilizar los ingredientes mencionados para enaltecer las características del producto.

Respecto al último punto, se refiere a la utilización o no de adjuntos cerveceros. Por ejemplo, el arroz y el maíz son considerados como adjuntos de baja calidad, por lo que su uso no es muy bien visto entre los microcerveceros, pero sin que eso detenga a otros tantos a usarlos. Por tal razón será poco frecuente el degustar cervezas artesanales con estos insumos, en cambio, las cervezas industriales contienen en su mayoría estos ingredientes, más comúnmente maíz.

Los países han fijado cantidades máximas de adición de adjuntos para la producción de cerveza. En Estados Unidos de América, por ejemplo, el 34% de grits molidos pueden ser cereales sin maltar. En la Unión Europea, a excepción de Alemania donde el uso de adjuntos está prohibida, está permitido hasta el 40% el uso de cereales ajenos a la cebada. En México, no existe límite alguno para su uso (Preedy, 2009; García *et al.*, 2002).

Muchas microcervecerías se apegan al llamado *Reinheitsgebot* o *ley de la pureza de 1516*. Esta “ley” proclamada en 1516 por el Duque Wilhelm IV dictaba que las cervezas manufacturadas en la región de Baviera, región independiente de Alemania en ese entonces, no debían contener ingredientes adicionales a los cuatro básicos: **agua, malta, levadura y lúpulo**.

1.4.2. La cerveza artesanal gana aceptabilidad entre los consumidores mexicanos

La Acermex confirma la tendencia de que el consumo de cerveza de especialidad (artesanal) crece a más de 50% anual desde hace casi 10 años. Esta bebida, cuya propuesta de valor es la fidelidad a las recetas originales de la tradición europea y el respeto al estilo que le imprime cada maestro cervecero, sólo es producida por MiPymes en México (Antúnez, 2013). Gracias a que la cerveza artesanal ha logrado distinguirse de las marcas industriales en cuanto a variedad y calidad, ha logrado que más consumidores demanden el producto en el mercado.

Un hecho importante dentro de la industria cervecera en México fue lo ocurrido en el año 2013, ya que la Comisión Federal de Competencia Económica (COFECE) restringió los contratos de exclusividad de las dos principales cerveceras industriales del país (Grupo Modelo, perteneciente al grupo cervecero belga Anheuser-Bush, y Cuauhtémoc Moctezuma, propiedad del grupo cervecero holandés Heineken) para distribuir sus productos en establecimientos como restaurantes y tiendas de abarrotes, lo que trae como consecuencia la apertura a los pequeños productores y con ello mayores oportunidades de competencia (NOTIMEX, 2014; Arteaga, 2013; Pallares, 2014). Con lo anterior se estima que para los próximos años, el mercado de las cervezas artesanales llegue a 2, 3 o hasta 5% en producción nacional, impulsado por la resolución de la COFECE en 2013 (Arteaga, 2013; NOTIMEX, 2014).

Sin embargo, existen otras condiciones que hace que este mercado enfrente desventajas ante los grandes corporativos. El segundo reto a superar es la carga fiscal. De acuerdo a datos de la Acermex, se obliga a productores de cerveza artesanal a pagar el doble de impuestos que las grandes cerveceras, con un 46% de gravamen al producto entre el Impuesto al Valor Agregado (IVA) y el Impuesto Especial a la Producción y Servicios (IEPS) por cada litro de bebida vendida. Mientras que las grandes marcas industriales pagan \$3.5 por litro, las artesanales aportan hasta \$8 (Antúnez, 2013).

Datos recabados por la Acermex, aseguran que las cervecerías a las que representan, participaron con el 0.4% del mercado en 2013 y en el año 2014 estarían cerca del 0.5%. Para 2016, la meta de los productores artesanales como Cervecería Minerva, Cervecería Primus, Cervecería Tijuana y Cervecería Cucapá, entre otras es alcanzar el 1% de participación de mercado (Pallares, 2014).

1.5. Cerveza sin alcohol

La cerveza sin alcohol es un producto que satisface las necesidades adicionales de determinados consumidores que desean disfrutar una bebida refrescante como lo es la cerveza y que no quieren o no pueden tomar alcohol.

La cerveza sin alcohol es conocida de muchas maneras; cerveza *sin*, cerveza floja, cerveza libre de alcohol, cerveza de bajo contenido alcohólico e inclusive como cerveza “light”. En México, podría considerarse como un producto relativamente nuevo.

La producción de cerveza con bajo contenido alcohólico tuvo diferentes razones históricas en el siglo pasado. Durante la primera y segunda guerra mundial, la escasez de materias primas condujo a la producción de cervezas a partir de extractos originales de baja densidad y por lo tanto cervezas de bajo contenido alcohólico. Otra razón se remonta al periodo comprendido entre los años de 1919 y 1933 con la llamada Ley seca en los Estados Unidos de América, donde se prohibió la fabricación, venta y consumo de alcohol. Este hecho contribuyó a la producción de cervezas de bajo contenido alcohólico (Brányik *et al.*, 2011).

1.5.1. Normatividad en México y algunos países para considerar una cerveza como “bebida no alcohólica”

En la mayoría de los países de la Unión Europea las cervezas con un bajo contenido en alcohol son divididas en dos categorías; las cervezas libres de alcohol, las cuales su contenido de alcohol por volumen es $\leq 0.5\%$ y las cervezas de bajo contenido alcohólico, las cuales contienen no más de 1.2% Alc. Vol. En España se entiende por cerveza sin alcohol a aquella que tiene una graduación alcohólica menor al 1% en volumen, incluyendo la tolerancia admitida para la indicación de tal grado alcohólico volumétrico y se entiende como cerveza “0.0%” a las que contienen $\leq 0.1\%$ Alc. Vol. En Argentina, una cerveza sin alcohol es aquella que tendrá un % Alc. Vol. $\leq 0.5\%$. En el Reino Unido, la cerveza sin alcohol se refiere a un producto que contiene menos del 0.1% de alcohol en volumen, mientras que las cervezas bajas en alcohol contienen entre un 0.5 y un 1.5% Alc. Vol. En Estados Unidos de América las bebidas que contengan menos del 0.5% de alcohol son denominadas “near-beer” (Andrés *et al.*, 2015; Brányik *et al.*, 2011; Hornsey, 1999; Código Alimentario Argentino, Res Conj. 63 y 345/02).

Como se puede apreciar, el significado de cerveza sin alcohol o cervezas de bajo contenido alcohólico es distinto para cada región del mundo. En México no existe una NOM que establezca que es una cerveza sin alcohol; sin embargo, la NOM-142-SSA1-1995 establece que una bebida será considerada como alcohólica si contiene una graduación alcohólica de 2 a 55% en volumen a 20°C (NOM 142, 1995). A su vez, también define a una bebida alcohólica fermentada como “*el producto resultante de la fermentación principalmente alcohólica de materias primas de origen vegetal, pueden adicionarse de ingredientes y aditivos permitidos por la Secretaría*” (NOM 142, 1995) pero sin mencionar límite alguno de porcentaje de alcohol en volumen. La NOM-142-SSA1/SCF1-2014 agrega a la definición anterior de bebida alcohólica fermentada que el contenido alcohólico deberá ser dentro del intervalo de 2.0 hasta 20.0% Alc. Vol. (NOM 142, 2014). Por su lado la NMX-V-046 - NORMEX-2009, señala que en una cerveza el contenido alcohólico no debe ser mayor al 6 % alcohol en volumen (PROFECO, 2011).

Con todo lo anterior podemos establecer que en México, una cerveza comúnmente es considerada aquella que su contenido alcohólico está dentro del intervalo de 2 a 6 % Alc. Vol., pero además, que si una cerveza contiene menos del 2 % de Alc. Vol. no será considerada como bebida alcohólica según lo citado en la NOM-142-SSA1-1995.

1.5.2. Tendencia actual sobre el consumo de cerveza sin alcohol

A finales del siglo XX, los esfuerzos de las cervecerías por ampliar el surtido de productos con cervezas de bajo contenido alcohólico fue motivado principalmente por las siguientes razones (Brányik *et al.*, 2011):

- Aumento de la producción mundial enfocada al lanzamiento de nuevos productos en países con mercados altamente competitivos.
- Proporcionar cerveza a los consumidores por medio de productos alternativos, antes o durante sus actividades (conducción de vehículos de motor u operaciones con maquinaria, participación en deportes) o bajo condiciones incompatibles con el consumo de alcohol (embarazo o bajo tratamiento médico).
- Introducir bebidas en los mercados de los países donde el consumo del alcohol está prohibido por razones religiosas.

Y es precisamente por estas razones y otras más como las nuevas reglas de conducir-beber y el llevar un estilo de vida más saludable, por las que el mercado de las cervezas sin alcohol ha mejorado en los últimos años (5 o 10 años) (Andrés *et al.*, 2015; Olmo *et al.*, 2014).

Las ventas de las cervezas de bajo contenido alcohólico no cumplieron las expectativas iniciales y el mercado de estos productos es tan solo una gota en el mar de la producción total de cerveza a nivel mundial; sin embargo, hoy en día es un segmento de rápido crecimiento dentro del mercado cervecero en todo el mundo. En los últimos cinco años, el promedio de las ventas en Europa escaló un 50%. España es el mayor productor y consumidor de cervezas sin alcohol dentro de la Unión Europea, el consumo de esta variedad en 2014, casi duplica el dato de Francia, segundo país que más cerveza sin alcohol consume, con un 6.6 % del total (Cerveceros de España, 2014; Silva *et al.*, 2010).

El consumo y el conocimiento de cerveza sin alcohol en México es reducido y su producción aún menor, solo es producida por una cervecería industrial en el país (Cuauhtémoc-Moctezuma), teniendo que importar otras marcas para abastecer la demanda nacional. No se tienen datos nacionales de su consumo, pero más adelante en este trabajo se presentan algunos datos recabados en encuestas que dan una idea de lo que aquí se menciona.

1.5.3. Características y beneficios de las cervezas sin alcohol

La cerveza es una de las bebidas que además de alcohol, es rica en otros nutrientes como carbohidratos, aminoácidos, minerales, vitaminas y otros componentes bioactivos como los polifenoles que se caracterizan por su poder antioxidante (Arranz *et al.*, 2012). Estudios epidemiológicos indican que el consumo moderado de cerveza se asocia a una menor mortalidad global junto a una menor incidencia de numerosas patologías crónicas, incluidas las enfermedades cardiovasculares y diabetes. Sin embargo, como bebida alcohólica, su consumo excesivo puede dar lugar a un gran número de problemas médicos, sociales y laborales, como la intoxicación alcohólica aguda, el síndrome de dependencia, cirrosis hepática, pancreatitis, hipertensión arterial, y al entorpecer reflejos y funciones mentales es responsable de numerosos accidentes laborales y automovilísticos, además de problemas entre parejas (Brányik *et al.*, 2011; Estruch, 2014; Montoya, 2015).

Un estudio llevado a cabo por la Sociedad Española de Dietética y Ciencias de la Alimentación (SEDCA) sobre la cerveza sin alcohol y sus propiedades, reporta que este producto tiene las siguientes características y beneficios (Martínez *et al.*, 2001):

- La cerveza sin alcohol por su alto contenido en agua (95%) y un limitado contenido alcohólico (<1.0%), constituye una excelente bebida refrescante, ideal por ejemplo, al concluir una actividad física intensa.
- Contiene cantidades variables de compuestos fenólicos (flavonoides, antocianógenos, catequinas, flavonoles, entre otros) cuya función es la de ser antioxidantes y de prevención de enfermedades cardiovasculares.
- Su contenido medio en sodio puede considerarse bajo, el cual es de 4.5 mg/100 mL de cerveza, por lo que puede ser incorporada bajo control facultativo en dietas hiposódicas.
- En promedio, su contenido energético es bajo, ya que 100 mL de cerveza aportan 14 kcal, por lo que puede ser incorporada bajo control facultativo en dietas hipocalóricas.
- Contiene gran variedad de vitaminas del grupo B (tiamina, riboflavina, piridoxina, ácido pantoténico, biotina, niacina, cianocobalamina, ácido fólico).
- Una botella de esta bebida aporta alrededor de 10 miligramos de calcio, útil para el funcionamiento del sistema óseo, a la vez que contiene cantidades considerables de potasio (de 200 a 466 mg/L), el cual ayuda al buen funcionamiento de músculos y corazón.
- Presenta un bajo contenido en hidratos de carbono, proteínas y lípidos.

Martínez *et al.* concluyen que el valor nutricional de la cerveza “sin” (a excepción del ácido fólico) es la de un producto que, consumido como bebida refrescante en dosis pequeñas, no cabe calificar como una fuente destacada de nutrientes; sin embargo, contribuye en mayor medida que un refresco o bebidas con alto contenido en azúcar.

1.5.4. Métodos para la obtención de cervezas libre de alcohol (o de bajo contenido alcohólico)

Las estrategias para producir cervezas libres o reducidas en alcohol se pueden dividir en dos grupos principales; los procesos físicos (también conocidos como técnicas posfermentación) y

los procesos biológicos (o técnicas de fermentación limitada o controlada). Los llamados procesos físicos se basan en la remoción suave del alcohol de una cerveza regular, donde la calidad sensorial del producto generalmente es buena pero se requiere de inversiones considerables en equipo. La principal ventaja de estos métodos es que con ellos se pueden lograr niveles muy bajos de alcohol en el producto final. Por su lado los procesos biológicos, se basan en la producción limitada de etanol durante la fermentación de la cerveza y generalmente se realizan en equipos de cervecería tradicional, no requiriendo de inversiones adicionales en equipos especializados, pero presentan el inconveniente que los productos obtenidos se caracterizan por una mala calidad en sabor y olor. (Brányik *et al.*, 2011).

Métodos físicos o técnicas posfermentación. (Brányik *et al.*, 2011; Hornsey, 1999; Soprano, 2008). Estos métodos pueden ser clasificados en dos subgrupos basados en los principios de los procesos de separación: **procesos térmicos y de membrana.**

- **Procesos térmicos**

- a) Destilación: realizada a temperatura ambiente o al vacío. En el primer caso, la cerveza se introduce lentamente en una caldera que contiene agua hirviendo. Por este procedimiento pueden obtenerse cervezas rebajadas hasta el 0.5 % Alc. Vol., sin embargo, el calentamiento prolongado afecta a los componentes del lúpulo y las cervezas no tienen buen sabor a menos de que se corrijan. En el segundo caso, suele ser una técnica muy flexible que no perjudica el sabor del producto por el empleo de bajas temperaturas. En teoría es posible eliminar con esta técnica todo vestigio de alcohol.
- b) Evaporación: técnica muy flexible que puede producir cervezas de hasta 0.01 % Alc. Vol. Inevitablemente, al eliminar el alcohol se pierde también agua y CO₂, produciendo que el flujo procedente de producto del evaporador es un concentrado de cerveza desalcoholizada. Esto tiene que ser suplido con agua carbonatada y después mezclada con una mixtura de componentes de sabor y aroma para restablecer las características globales de la cerveza.

- **Procesos de membrana**

- a) Ósmosis inversa: consiste en una filtración a alta presión a través de una membrana semipermeable partiendo de una cerveza normal, donde apenas se

perjudica a los componentes de sabor dado que el sistema opera a temperatura ambiente o inferior. El grado de reducción del contenido de alcohol puede regularse eligiendo la membrana. El proceso y mantenimiento suelen ser costosos.

- b) Diálisis: considerada como el método más fácil de eliminación de alcohol, siendo ciertamente los productos finales los más aceptables en general. La operación se efectúa a temperatura ambiente y próxima a la presión ambiente, no existiendo efecto nocivo sobre el aroma y sabor final. La cerveza y el dializado (generalmente agua con la cerveza que se va a desalcoholizar) fluyen a contracorriente a través de una membrana. Se basa en el proceso selectivo a través de la membrana debido a una diferencia de concentración de los componentes disueltos en ambos lados de la membrana.

Métodos biológicos o técnicas de fermentación limitada (Brányik *et al.*, 2011; Hornsey, 1999; Soprano, 2008). Algunas de las técnicas empleadas en este grupo son:

- a) Fermentación controlada: donde se interrumpe el crecimiento de las levaduras de una fermentación normal disminuyendo la temperatura rápidamente a 0 °C. Normalmente se aplica a estilos *lager* donde las temperaturas de fermentación no suelen elevarse por encima de los 8-10°C. Los mostos se fermentan hasta alcanzar normalmente un nivel de alcohol de 2.5%. La cerveza tiene que ser fuertemente pasteurizada por su inestabilidad microbiana.
- b) Maceración a alta temperatura: La malta se macera con agua a alta temperatura (75-80 °C), donde el mosto se fermenta produciendo cervezas de un 2.5 % Alc. Vol. Una vez más, tales cervezas presentan alta inestabilidad.
- c) Utilizando levaduras con limitada capacidad fermentativa: por ejemplo la *Saccharomyces ludwiggi*, especie que no es capaz de fermentar la maltosa siendo metabolizadas la sacarosa, glucosa y fructosa. Al fermentar estos mostos con esta levadura, se pueden obtener cervezas con un contenido alcohólico de 0.5 % Alc. Vol. Lamentablemente, la maltosa no fermentada endulza el producto a veces hasta niveles inaceptables.

- d) Proceso “Barrel”: método patentado que implica la fermentación de dos lotes de mostos: uno de densidad normal y el otro de baja y mezclando las cervezas resultantes en determinadas porciones para obtener productos con % Alc variable.
- e) Proceso de contacto frío: esencialmente es una fermentación a baja temperatura. Un mosto convencional se mantiene en torno a -0.5 a -1.0 °C y se pone en contacto con un cultivo de levadura procedente de una fermentación activa. Con este método pueden producirse cervezas con porcentajes de alcohol de hasta 0.05%; sin embargo, la levadura necesita de tratamientos previos (lavados por ejemplo), las dosis de siembra son críticas y por lo tanto deben ser precisas, y la fermentación debe estar en continua agitación (bomba de recirculación) lo que implica un gasto extra en equipos y energía.
- f) Proceso de la maceración de los granos gastados: este método consiste en efectuar una maceración de un bagazo procedente de un macerado cervecero de alto peso específico, produciéndose así un segundo extracto con muy pocos azúcares fermentables. El mosto dulce se hierve entonces con lúpulo y el mosto lupulado se fermenta a continuación, produciéndose cervezas normalmente en el intervalo de 0.5 a 1.5 % Alc. Vol. Estas cervezas requieren de largos tiempos de maduración, al menos de 14 días, para que puedan presentar un sabor aceptable. La principal ventaja de este método es que dos cervezas pueden ser producidas de un solo lote de malta, sumada a que los costos de producción son bajos y no se requiere de equipo extra alguno. La desventaja claro está, que como todos los métodos biológicos, los sabores y aromas no son los mejores.

2. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

2.1. Objetivos

Objetivo general

Obtener una cerveza artesanal estilo Ale libre de alcohol (<2 % v/v) mediante el método de granos gastados (bagazo) para conocer la viabilidad del método en la industria cervecera artesanal.

Objetivo particular 1: Evaluar mostos con diferentes propiedades físicas (peso específico (PE)) y químicas (contenido de azúcares fermentables) obtenidos mediante la maceración de

bagazo a diferentes condiciones de operación (relación bagazo: sémola, relación bagazo-sémola: agua y perfil tiempo-temperatura) para seleccionar tres mostos con diferente contenido de azúcares fermentables.

Objetivo particular 2: Elaborar cervezas artesanales de bajo contenido alcohólico a partir de los mostos seleccionados y determinar cuál o cuáles se consideran libres de alcohol (<2 % v/v).

Objetivo particular 3: Elaborar una cerveza artesanal estilo Pale Ale (cerveza madre) a partir del mosto obtenido de la primera maceración para determinar sus propiedades físicas (peso específico, color) y físico-químicas (% Alc Vol., extracto real, pH, contenido calórico).

Objetivo particular 4: Determinar las propiedades físicas (peso específico, color) y físico-químicas (pH, extracto real, contenido calórico) de las cervezas sin alcohol obtenidas a partir de la maceración del bagazo para su comparación con las propiedades de la cerveza madre.

Objetivo particular 5: Determinar cuál de las cervezas libres de alcohol elaboradas a partir de bagazo es la más aceptada por el consumidor mediante una prueba sensorial de preferencia (hedónica).

Objetivo particular 6: Determinar si es viable el método de granos gastados en la elaboración de cerveza artesanal comparando las propiedades físicas, físico-químicas y sensoriales de la cerveza libre de alcohol mejor calificada por el consumidor con una cerveza comercial nacional.

2.2. Materiales y métodos

2.2.1. Obtención del bagazo a partir de una maceración (madre) con condiciones de operación estandarizadas.

Como se ya se mencionó el bagazo es el subproducto obtenido una vez concluida la maceración. La obtención de cerveza de bajo contenido alcohólico a partir de bagazo sugiere que este sea el procedente de una maceración de alta densidad, por tanto, fue necesario establecer condiciones de operación estándares para llevar a cabo una maceración, denominada con fines prácticos para este trabajo como *maceración madre*, que permitiera obtener un mosto de alta densidad (PE>1.040), igualmente denominado con fines prácticos como *mosto madre*. Experimentos efectuados anteriormente en el laboratorio de Bioquímica y Fisiología de Granos de la Unidad de Investigación Multidisciplinaria (UIM) de la FES-Cuautitlán, permitieron obtener dichas condiciones de operación las cuales se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9. Condiciones de operación para la maceración madre.

Relación de sémola: agua	1 a 4 (por cada kg de sémola se ocuparon 4 kg de agua)
Relación en % de malta base (sémola de malta): malta crystal	90:10 (%)
Tiempo total de maceración	1 h 30 min

2.2.1.1. Materias primas empleadas para elaboración de la maceración madre

- **Agua:** se utilizó agua purificada marca “Pureza Aga” (Embotelladora AGA S.A. de C.V., México).
- **Malta Pale Ale (base):** se utilizó malta base Pale Ale de 2 hileras marca Briess Malt & Ingredients Co., USA, la cual se adquirió en una casa de insumos cerveceros ubicada en el estado de Querétaro llamada “Brewmasters”.
- **Malta Crystal:** se utilizó malta caramelo 2 hileras de 70-80 °Lovibond de color marca Briess Malt & Ingredients Co., USA. Igualmente fue adquirida en “Brewmasters”.

2.2.1.2. Proceso de elaboración de la maceración madre

1. Ambas maltas fueron inspeccionadas visual y olfativamente para descartar cualquier parámetro de calidad negativo (basura, mínimo de granos dañados, olor y color no característico, entre otros).
2. Se pesaron 1.8 kg de malta base Pale Ale (90%) y 0.2 kg de malta Crystal (10%), con el objetivo de tener 2 kg de malta en total.
3. Después, ambas maltas fueron trituradas y molidas en un molino de discos estriados de la marca Estrella (México). Este molino fue el indicado para permitir que la cascarilla fuera separada del endospermo. Como producto se obtuvo sémola.
4. En una olla de acero inoxidable (cuba de maceración) fueron colocados 8 kg de agua (relación 1 a 4 de sémola: agua), y calentados hasta 40 °C. Alcanzada esta temperatura, fue incorporada la sémola a la cuba de maceración y mezclada lentamente con ayuda de una cuchara. La temperatura descendió cerca de los 35 °C (ver figura 8).

5. La mezcla se siguió calentando y mezclando. La maceración llevada a cabo fue por infusión simple y se hizo con base en el perfil de maceración tiempo-temperatura mostrado en la tabla 10.

Tabla 10. Perfil de maceración tiempo-temperatura para la maceración madre.

Intervalo de tiempo (min)	Tiempo de actuación (min)	Temperatura (°C)	Etapa
0-15	15	40	Actuación de la β – <i>glucanasas</i> principalmente
15-30	15	55	Proteólisis
30-90	60	65	Amilosis máxima
Tiempo total de maceración = 1 h. 30 min.			

6. Cuando la mezcla alcanzó los 40 °C fue vertida en un termo-recipiente (macerador) para mantener constante la temperatura (Figura 9). Transcurridos los 15 minutos correspondientes a esta temperatura, la mezcla se retornó a la cuba de maceración y la temperatura de la misma se elevó hasta los 55 °C y nuevamente se incorporó al macerador para después mantenerla allí por otros 15 minutos. El mismo procedimiento se utilizó para la temperatura de 65 °C.

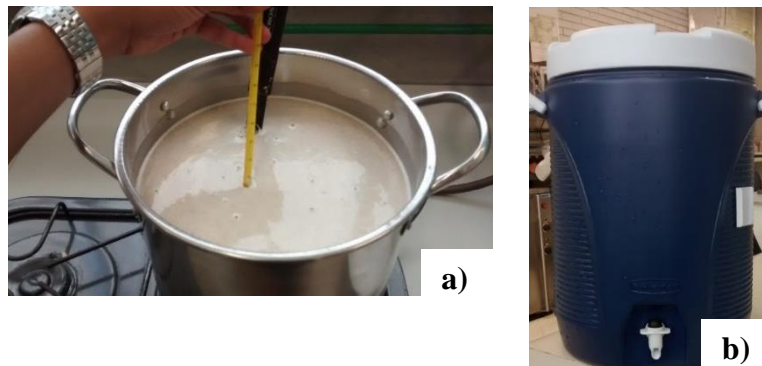


Figura 9. a) Cuba de maceración. b) Macerador enchaquetado

7. Concluida la maceración, la mezcla se filtró y lixivió con agua a 67 °C utilizando un filtro en acero inoxidable 304 (Figura 10a) y un bote de plástico de grado alimenticio (Figura 10c) para armar el sistema de filtración (lauter tun). Una vez vertida la mezcla sobre el filtro, se dejó transcurrir el tiempo suficiente para que todo el líquido (futuro

mosto) pasara a través de la torta ayuda filtro (figura 10b). El mosto se recolectó en el fondo del recipiente y se hizo recircular por el sistema de filtración. Recirculado el mosto, el bagazo fue asperjado con agua purificada a 67 °C con ayuda de un rociador manual (lixiviación). Para la lixiviación se utilizaron 1.6 litros de agua durante esta operación (400 mL por cada litro empleado al inicio de la maceración).



Figura 10. a) Filtro de acero inoxidable. b) Vista superior de la torta de filtración natural (bagazo). c) Bote grado alimenticio.

8. Terminada la lixiviación, se dejó reposar para que nuevamente todo el líquido pasara a través de la torta natural de filtración. Transcurrido este tiempo, el mosto dulce (mosto madre) fue recolectado en otro recipiente para ser almacenado.

2.2.1.3. Manejo del bagazo

El bagazo obtenido fue comprimido para eliminar el exceso de agua, se determinó su contenido de humedad con ayuda de una termobalanza marca VELAB® (México) modelo VE-50-5 y se almacenó a temperatura de refrigeración. El % de humedad en el bagazo fue necesario para saber en qué proporción añadirse para las maceraciones posteriores donde fue empleado.

2.2.2. Diseño de experimentos empleado para efectuar las maceraciones a partir de bagazo.

Como se mencionó en el objetivo particular 1, se pretende obtener mostos a partir de la maceración del bagazo y de acuerdo a su contenido de azúcares reductores, seleccionar tres mostos; el primero con el contenido más alto en azúcares fermentables, el segundo con un nivel medio en éstos y el tercero con el contenido más bajo. Esto se propuso porque diferente contenido de azúcares en el mosto, generará diferente contenido de alcohol en la cerveza. El

diseño experimental propuesto, fue un diseño factorial 2^3 , donde las variables independientes y sus correspondientes niveles de variación se muestran en la tabla 11.

Tabla 11. Variables independientes y niveles de variación.

Variable independiente	Nivel bajo	Nivel alto
Relación bagazo-sémola	90-10 (%)	80-20 (%)
Relación bagazo-sémola: agua	1 a 4	1 a 3
Perfil de maceración tiempo-temperatura (tiempo total de maceración).	35 minutos	55 minutos

2.2.2.1. Variables independientes

1) Relación bagazo: sémola: Esta relación se hizo en porcentajes de base seca. Como se mencionó, una vez eliminado el exceso de agua en el bagazo se determinó su humedad por triplicado, y se calculó la media de los tres ensayos (ver tabla 12). Recordando que la sémola se refiere a la mezcla de malta base (90 %) y malta crystal (10 %).

Tabla 12: % humedad del bagazo.

N° de prueba	% Humedad
1	67.15
2	67.08
3	67.2
\bar{x}	67.14 ≈ 67 %
σ	0.0602 %
C.V.	0.09 %



Figura 11. Prueba de humedad del bagazo

La humedad que se tomó como base para los cálculos fue de 67 %.

Ejemplo:

Por cada kg de bagazo húmedo, 333 gramos son de bagazo seco o materia seca (MS). Cuando se tiene una relación de 90: 10 % (bagazo: sémola), se tiene que

90 % = 333 g de bagazo, por lo tanto 10 % = 37 g de sémola

Este 10 % de sémola es el total de malta empleada, pero el 90 % es de malta base Pale Ale y el 10 % es de malta Crystal, entonces se tiene que:

37 g corresponden a la malta total, por lo tanto 90 % = 33.3 g de malta base Pale Ale y 10 % = 3.7 g de malta Crystal.

Para una relación 80-20 % se llevó a cabo el mismo procedimiento.

2) Relación bagazo-sémola: agua: Para el cálculo de la cantidad de agua a utilizar, se tomó en cuenta el peso total del bagazo (% humedad más MS) más el peso de la malta total añadida.

Ejemplo:

Si se tiene 1 kg de bagazo + 37 g de malta total = 1037 g de peso total

Por lo tanto, en una relación 1 a 4 bagazo- sémola: agua, la cantidad de agua que se pesó fue:

$1037 \text{ g} * 4 = 4.148 \text{ kg}$ de agua

3) Perfil de maceración tiempo-temperatura (tiempo total de maceración): se propusieron dos diferentes perfiles de maceración como se muestra a continuación:

Nivel 1: 35 minutos

Intervalo de tiempo (min.)	Temperatura °C
0-5	50-55
5-30	65
30-35	70-75
Tiempo total: 35 min	

Nivel 2: 55 minutos

Intervalo de tiempo (min.)	Temperatura °C
0-10	50-55
10-50	65
50-55	70-75
Tiempo total = 55 min	

Como se puede notar, ambos perfiles de maceración son de menor tiempo en comparación con la maceración madre. Se propusieron estos tiempos ya que el bagazo viene de un tratamiento previo; por lo que las moléculas de almidón presentes son mínimas y ya vienen gelatinizadas, entonces un tiempo prolongado sería innecesario.

2.2.2.2. Arreglo experimental

Para realizar las corridas se utilizó un arreglo experimental elaborado con ayuda del programa estadístico Minitab 16 en español. Se obtuvieron un total de 8 corridas, las cuales se hicieron por duplicado. Este arreglo se presenta en la tabla 13.

Diseño factorial 2^k

Factores: 3; Niveles: 2

$2^3 = 8$ corridas experimentales, por duplicado.

Tabla 13. Arreglo experimental.

Orden estadístico	Orden Corrida	Relación bagazo: sémola	Relación bagazo-sémola: agua	Perfil de maceración
8	1	80-20	1 a 3	55
3	2	90-10	1 a 3	35
6	3	80-20	1 a 4	55
14	4	80-20	1 a 4	55
12	5	80-20	1 a 3	35
5	6	90-10	1 a 4	55
16	7	80-20	1 a 3	55
15	8	90-10	1 a 3	55
13	9	90-10	1 a 4	55
1	10	90-10	1 a 4	35
10	11	80-20	1 a 4	35
7	12	90-10	1 a 3	55
11	13	90-10	1 a 3	35
4	14	80-20	1 a 3	35
9	15	90-10	1 a 4	35
2	16	80-20	1 a 4	35

2.2.3. Maceración a partir de bagazo

Las maceraciones se elaboraron con base en el arreglo experimental, dependiendo de las condiciones de operación de cada corrida y de acuerdo al siguiente procedimiento.

Inspección y molienda de la malta: La malta fue inspeccionada visual y olfativamente. Con previos cálculos, se pesó una cantidad adecuada de cada malta para la elaboración de todas las corridas. Cada malta por separado, fue colocada en el molino de discos, triturada y molida. La sémola obtenida fue almacenada en recipientes herméticos para no permitir la captación de humedad y almacenada a temperatura de refrigeración (4 °C).



Figura 12. Molino y sémola de malta Pale Ale

Maceración: se pesó la cantidad requerida de sémola, bagazo y agua para cada corrida experimental. El agua se colocó en la cuba de maceración y calentó hasta una temperatura de +5 °C con respecto a la temperatura inicial de la maceración correspondiente

a cada corrida. Entonces, la maceración se llevó a cabo según el procedimiento descrito en el paso 6 de la maceración madre pero con base en el perfil de maceración de cada corrida.

Filtración y lixiviación: concluida la maceración, se armó el sistema de filtración antes descrito y se prosiguió a filtrar y lixiviar según el procedimiento descrito en el paso 7 de la maceración madre. La temperatura del agua empleada para la lixiviación fue de 70 °C y la cantidad empleada fue de 400 mL por cada litro de agua empleado al inicio de la maceración.

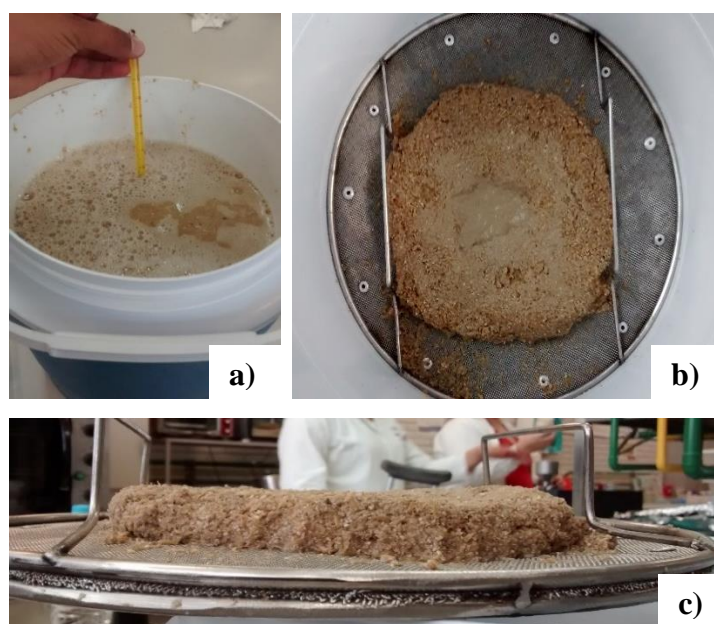


Figura 13. a) Control de la temperatura durante la maceración. b) Vista superior de la torta de filtración (bagazo). c) Vista lateral de la torta de filtración.

Tratamiento de los mostos: Los mostos obtenidos son mostos dulces de baja densidad, los cuales se almacenaron a temperatura de refrigeración y posteriormente se determinó su contenido en azúcares reductores y densidad de acuerdo a las técnicas descritas en los puntos 2.2.5.1 y 2.2.5.3 respectivamente, en el apartado de “Técnicas empleadas para la determinación de propiedades físicas, químicas y fisicoquímicas: mostos dulces y cervezas”.

Determinada la cantidad de azúcares en los mostos, se seleccionaron los tres de interés que se han mencionado, para elaborar cervezas de bajo contenido alcohólico bajo las condiciones de operación en la maceración que dieron como resultado estos mostos.

2.2.4. Elaboración de una cerveza artesanal estilo Pale Ale (cerveza madre) y cervezas de bajo contenido alcohólico a partir de la maceración del bagazo

Tanto la cerveza artesanal estilo Pale Ale (cerveza madre) como las tres cervezas de bajo contenido alcohólico obtenidas a partir de bagazo, se elaboraron de forma similar. Se hicieron con base en el diagrama de proceso que se muestra en la Figura 14. Las cervezas de baja graduación alcohólica se elaboraron de acuerdo a las condiciones de operación en la maceración para cada corrida.

2.2.4.1. Descripción del diagrama de proceso

La inspección-clasificación y molienda de las maltas, la maceración de la sémola, así como la filtración y lixiviación del mosto y el bagazo para la cerveza madre, se han explicado en los puntos 2.2.1.1. y 2.2.1.2.

Respecto a las cervezas de baja graduación alcohólica, su elaboración parte del bagazo recuperado tras la filtración de la maceración madre. La maceración, filtración y lixiviación se han explicado en los puntos 2.2.3., pero sin olvidar que la maceración se condiciona a cada una de las corridas seleccionadas a partir de los resultados en el objetivo particular 1 planteado. Las operaciones subsiguientes a la lixiviación se explican a continuación para ambas cervezas.

Hervido y separado

Las variedades de lúpulo utilizadas para ambas cervezas fueron U.K. Golding (aporta sabor y aroma) y Fuggle (aporta amargor), ambos utilizados en la elaboración de cervezas Pales Ales. Para conocer las características de ambos lúpulos ver la Tabla 7. Los lúpulos se utilizaron en forma de pellets comprimidos y fueron adquiridos en Brewmasters. Dependiendo del momento en que se adiciona el lúpulo durante el hervido, serán las características del mosto lupulado al final de esta operación (Figura 15). Las adiciones tempranas de lúpulo producen una mejor isomerización de las resinas y por tanto una gran cantidad de amargor, pero eliminando los aceites esenciales que provocan los aromas y sabores, por el tiempo que está expuesto el lúpulo al hervor. Caso contrario, las adiciones sobre el final del hervor no tienen una buena isomerización de las resinas, pero hacen su aporte al sabor y aroma. En la curva verde de la figura 15, se observa que el máximo aroma extraído del lúpulo es aproximadamente a los 7 minutos de hervor, luego declina hasta anularse.

**Diagrama de proceso para la elaboración de cerveza madre y cerveza
baja en alcohol a partir de bagazo**

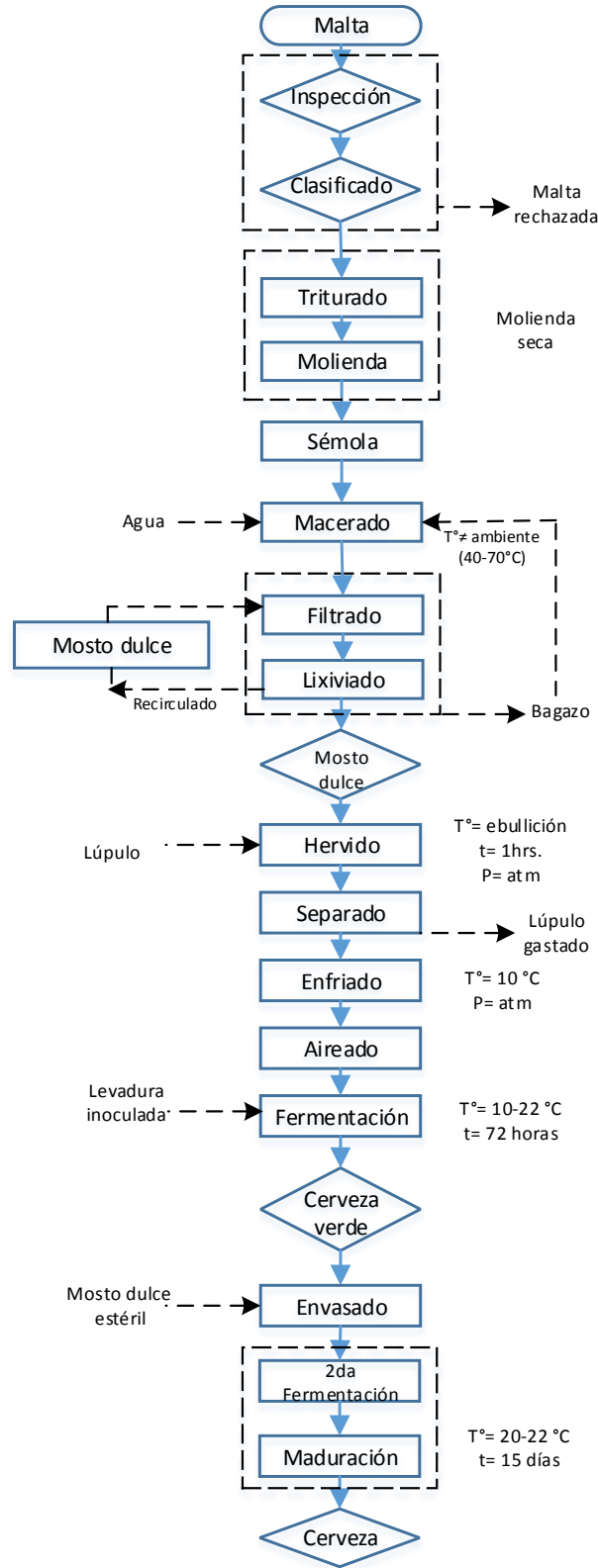


Figura 14. Diagrama de proceso para la elaboración de cerveza madre y cervezas bajas en alcohol.

La curva azul, indica la máxima cantidad de sabores que se pueden producir y es cuando se mantiene la ebullición por espacio de 20 minutos, luego los aceites esenciales que producen el sabor comienzan a volatilizarse. Por último, la curva roja nos indica el comportamiento del lúpulo frente al amargor, cuando recién lo adicionamos hasta cerca del minuto 15, la entrega de amargor es muy poca, luego se incrementa rápidamente hasta llegar cerca del 95 % de lo que puede aportar en amargor en el minuto 60, luego sigue en crecimiento pero ya la isomerización de las resinas que portan al amargor, se produce más lentamente (Vogrig, 2004).

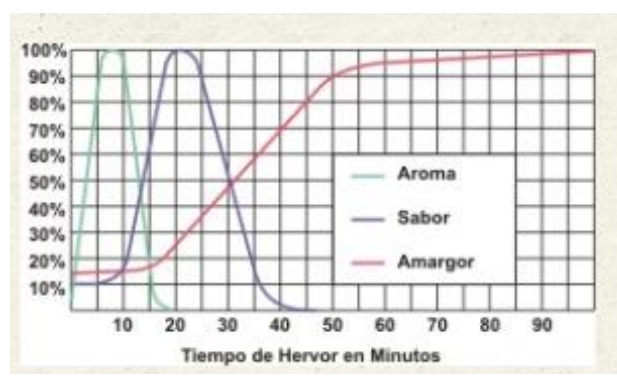


Figura 15. Gráfico del comportamiento del lúpulo durante el hervor.

Fuente: Vogrig, 2004

Por tales razones, en la elaboración de las cervezas se utilizaron cuatro tiempos diferentes de adición de los lúpulos durante el hervido, con el fin de obtener un buen aroma, sabor y amargor en el producto final. Los tiempos de adición y la variedad adicionada de lúpulo se muestran en la tabla 14. El tiempo total de ebullición fue de 60 minutos para ambas cervezas.

Tabla 14. Tiempos de adición de lúpulo durante el hervido.

Momento de la adición	Tiempo del lúpulo en ebullición (min.)	Variedad de lúpulo empleada	Objetivos sensoriales
Inicio del hervor (0 minutos), una vez alcanzada la temperatura de ebullición.	60	U.K. Golding	Amargor
Mitad del hervor (30 minutos)	30	U.K. Golding	Sabor, un poco de amargor
A las $\frac{3}{4}$ partes comenzada la ebullición (45 minutos)	15	Fuggle	Sabor
Final de la operación (55 minutos)	5	Fuggle	Aroma

Cálculo de la cantidad de adición del lúpulo: Es importante conocer que la unidad de medida internacional de amargor son los IBU's (International Bitterness Units) y representan la cantidad iso-alpha-ácidos disueltos en la cerveza. 1 IBU=1 miligramo de iso-alpha-ácido por cada litro de cerveza.

Para la elaboración de las cervezas se estableció una cantidad teórica de IBU's a obtener, con base en los valores ya definidos en la bibliografía para el estilo de cerveza Pale Ale. Los IBU's objetivo fueron 25 (Gregar, 2003) y para dicho fin se utilizó la siguiente ecuación.

$$Glup = \frac{(IBU's * Lmos * Fc * 10)}{\% AA * \% U}$$

Donde:

Glup= gramos de lúpulo en cada adición

IBU's= amargor que se desea lograr en cada adición o amargor total si solo se hace una adición

Lmos= Litros de mosto al final del hervido

Fc= Factor de corrección

% AA= Porcentaje de alfa ácidos que posee el lúpulo adicionado

% U= Porcentaje de utilización según la exposición del lúpulo en el hervor

El factor de corrección es necesario ser calculado para mostos que después del hervido (mosto lupulado o amargo) presenten un peso específico mayor de 1.050, de lo contrario, si los mostos presentan un peso específico igual o menor a 1.050, el factor de corrección será igual a 1 (Fc=1).

$$Fc = 1 + \left\{ \frac{\left[\left(\frac{DO}{1000} \right) - 1.05 \right]}{0.2} \right\}$$

Donde:

DO= es la densidad original del mosto amargo en kg/m³

En este caso, el mosto madre presentó un peso específico mayor a 1.050, por lo que fue necesario corregir. Los mostos de las cervezas bajas en alcohol presentaron densidad por debajo de este valor.

- Porcentaje de utilización, según el tiempo de exposición del lúpulo ante el hervido

Tabla 15. Porcentaje de utilización del lúpulo en el hervido.

Tiempo de hervor en minutos	Porcentaje de utilización	
	Flor	Pellets
0 a 9	5	6
10 a 19	12	15
20 a 29	15	19
30 a 44	19	24
45 a 59	22	27
60 a 74	24	30
más de 75	27	34

Fuente: Vogrig, 2004

Concluida la operación de hervido, el lúpulo gastado fue separado del mosto amargo por medio de una tela filtrante (Figura 16).

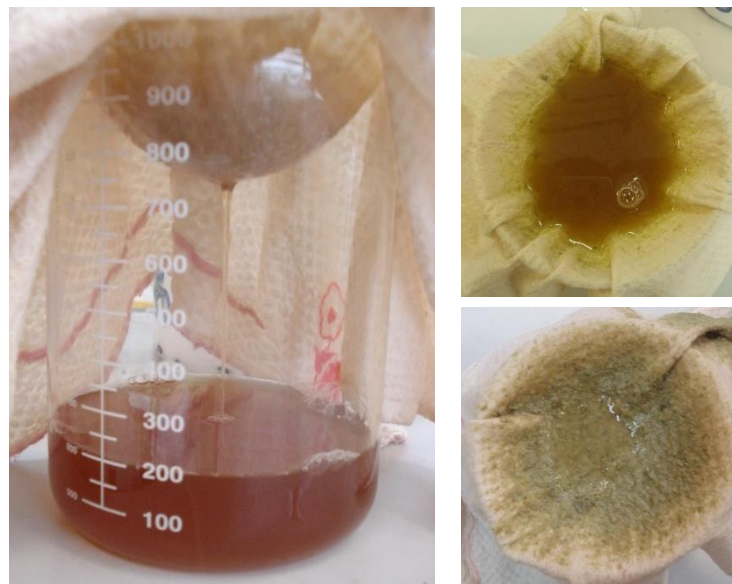


Figura 16. Izq. Vista lateral del mosto amargo filtrado.
Superior der. Vista superior del sistema de filtración.
Inferior izq. Lúpulo gastado terminada la filtración.

Enfriado y aireado

Una vez eliminado el lúpulo agotado y recolectado el mosto amargo, éste fue rápidamente enfriado con agua helada para evitar su contaminación. El mosto se mantuvo en agitación lenta y constante, lo que permitió que la transferencia de calor fuera mayor para así enfriar

rápidamente el mosto y airear el mismo. La temperatura final alcanzada fue de 13°C siendo esta la temperatura requerida para las primeras horas de fermentación.

Fermentación

La levadura utilizada fue una levadura Ale de la marca Lallemand®, típica para llevar a cabo fermentación de cervezas Pale Ale. Para la elaboración de la cerveza madre, se utilizaron 10 g de levadura/20 L de mosto amargo. Para las cervezas sin, se utilizaron 8 g de levadura/ 20 litros de mosto amargo, debido a que la cantidad de azúcares fermentables en el mosto es mucho menor en comparación al mosto madre (Lallemand, 2014).

El mosto enfriado y aireado, fue colocado en el fermentador para posteriormente añadirse la levadura, la cual fue inoculada primero, como se describe a continuación:

- 1) Se pesó la cantidad requerida de levadura con ayuda de una balanza analítica con precisión de $\pm 0.0001 g$.
- 2) Se midió una cantidad de agua (previamente esterilizada y enfriada a 30-35 °C) aproximadamente 10 veces el peso de la levadura a utilizar.
- 3) Una vez pesada la levadura, se esparció sobre la superficie del agua, se dejó reposar 15 minutos, pero sin remover. Transcurridos los 15 minutos, se agitó la mezcla para formar una suspensión y se dejó reposar durante 5 minutos más.
- 4) Se ajustó la temperatura de la solución a la del mosto en incrementos de 10 °C añadiendo pequeñas cantidades de mosto a intervalos de 5 minutos y mezclando con cuidado (atenuación).
- 5) Terminada la atenuación, la solución fue sembrada inmediatamente en el fermentador.

Una vez inoculado el mosto con la levadura dio inicio la fermentación. Las primeras horas la temperatura se mantuvo entre los 10-15 °C, después se elevó la temperatura hasta los 20-22 °C manteniendo el fermentador en un lugar fresco y sin incidencia de luz, a esta temperatura se mantuvo cerca de 70 horas. Finalmente, en para las últimas horas de la fermentación, la temperatura se disminuyó hasta la temperatura inicial con el fin de precipitar los flóculos de levadura. El tiempo total de fermentación fue de 3 días para ambos tipos de cerveza (72 horas).

Envasado y maduración

El producto una vez concluida la fermentación es la cerveza verde, la cual fue envasada en botellas de vidrio color ámbar de 365 mL de capacidad y selladas con corcholatas tipo corona. Debido a que el CO₂ producido durante la fermentación se libera, la cerveza verde carece de éste o se encuentra en muy bajas concentraciones, por lo tanto es necesario carbonatar la cerveza nuevamente. La forma en que se hizo fue añadiendo mosto dulce estéril durante el envasado añadiendo 75 mL de éste por cada litro de cerveza verde envasada, ocasionando que durante los primeros días de maduración ocurra una segunda fermentación en la botella, aunque de menor vigor que la primera fermentación. Esta segunda fermentación ocasionó un ligero aumento en el contenido alcohólico de la cerveza y generación de CO₂ nuevamente, quedando atrapado en la botella y disuelto en la cerveza. Las cervezas verdes se dejaron madurar por 15 días a una temperatura de 20-22 °C en un lugar fresco y sin incidencia de luz.

Terminado el tiempo de maduración, las cervezas se almacenaron a temperatura de refrigeración para detener la maduración y posteriormente fueron determinadas sus propiedades físicas y fisicoquímicas que se describen a continuación.

2.2.5. “Técnicas empleadas para la determinación de propiedades físicas, químicas y fisicoquímicas: mostos dulces y cervezas”

2.2.5.1. Determinación de azúcares reductores por el método general volumétrico de Eynon-Lane

La determinación de azúcares reductores directos en los mostos dulces, se realizó de acuerdo al método general volumétrico de Eynon-Lane descrito en el método oficial 945.30 (m) “Characteristics of wort” y método oficial 923.09 “Invert sugar in sugars syrups” (AOAC, 2000) la NMX-F-312-1978.

1. Fundamento

Se basa en la determinación del volumen de una disolución de la muestra que se requiere para reducir completamente un volumen conocido del reactivo alcalino de cobre (tartrato de cobre (II)) a óxido cuproso (precipitado de color rojo). El punto final se determina por el uso de un

indicador interno, azul de metileno, el cual es reducido a blanco de metileno por un exceso de azúcar reductor.

2. Reactivos y materiales

Reactivos

- Sulfato de cobre pentahidratado. Marca Sigma de pureza aprox. 99.0 %.
- Tartrato de sodio y potasio (sal de Rochelle). Marca Siga de pureza 99.0 %.
- Hidróxido de sodio. Marca Meyer de pureza ≥ 97.0 %.
- Azul de metileno
- Sacarosa anhidra. Marca Sigma
- Ácido clorhídrico concentrado. Marca J. T. Baker de pureza 37.5 %.
- Agua destilada
- Mostos dulces (muestra a determinar)

Material y equipo

- Matraces tipo Erlenmeyer de 250 mL
- Matraz aforado de 100, 250 y 500 mL
- Pipetas volumétricas de 10 mL con precisión de ± 0.1 mL
- Soporte universal con pinzas de sujeción estilo mariposa
- Parrilla eléctrica o termo-agitador
- Perlas de vidrio
- Bureta volumétrica de 50 mL con precisión de ± 0.1 mL
- Papel filtro

3. Procedimiento

3.1 Preparación de los reactivos

Reactivo A: Se disolvieron 34.639 g de sulfato de cobre pentahidratado en agua destilada y se aforó a 500 mL. Se filtró a través de papel filtro.

Reactivo B: Se disolvieron 173 g de tartrato de sodio y potasio y 50 g de hidróxido de sodio en agua y se aforó a 500 mL, se dejó reposar dos días y después se filtró usando papel filtro.

Disolución acuosa de azul de metileno al 1%: se pesó 1 g de indicador de azul de metileno, y se puso en un matraz aforado de 100 mL, se añadió agua hasta la mitad del volumen, se disolvió el indicador, se aforó con agua y se mezcló.

Disolución de azúcar invertido al 1%: se pesaron 0.95 g de sacarosa anhidra y se disolvieron en un poco de agua destilada (aprox. 15 mL) y se añadieron 5 mL de HCl concentrado, se calentó la mezcla por 5 minutos a 65 °C en la parrilla eléctrica y se dejó enfriar. Se aforó a 100 mL.

Disolución de Hidróxido de sodio. Se preparó una disolución acuosa de NaOH al 30 % p/v.

3.2 Preparación de la muestra

Los mostos dulces se dejaron reposar a temperatura de refrigeración (4 °C) y después se filtraron a través de papel filtro. Se tomaron 50 mL de muestra filtrada de mosto y se colocaron en un matraz aforado de 250 mL. Se aforó al volumen con agua embotellada.



Figura 17. Filtración de mostos para su análisis

3.3 Metodología

- 1) Se midieron 5 mL del reactivo A y 5 mL del reactivo B y se colocaron en un matraz Erlenmeyer de 250 mL. En seguida se añadieron 20 mL de agua destilada al mismo matraz y se mezcló hasta lograr una disolución homogénea.
- 2) Se enjuagó la bureta con la muestra a tratar de mosto diluido y después se llenó hasta la marca de 50 mL.
- 3) El procedimiento de titulación, es conocido como "Método estándar de titulación" y sus resultados son los más precisos. Sin embargo, fue precedido por una titulación llamada "Método de aproximación", el cual se describe en los puntos siguientes:
 - a) Se añadieron 15 mL de la muestra de la bureta al matraz conteniendo la solución de reactivos A + B + agua.
 - b) Se colocó el matraz en la parrilla eléctrica y se añadieron 4 perlas de vidrio.
 - c) El matraz se calentó rápidamente hasta ebullición dejando hervir por dos minutos y se añadieron 5 gotas de indicador de azul de metileno.

d) Una vez que se añadió el azul de metileno, continuaron la adiciones de muestra en porciones de 5 mL a intervalos de pocos segundos entre cada adición, esto hasta que se juzgó el final de la titulación. Se prosiguió con adiciones de 1 mL cada vez agitando el matraz después de cada adición pero sin permitir que la solución dejara de hervir.

e) El final de la titulación lo marcó el cambio de color de la solución, del azul hasta el rojo ladrillo impartido al líquido en ebullición por el óxido cuproso suspendido. El tiempo total de ebullición se realizó en menos de tres minutos.

4) Una vez conocida con aproximación la cantidad de muestra necesaria para la reducción de los compuestos de cobre, se prosiguió a titular de acuerdo al “Método estándar de titulación” de la forma siguiente (repitiendo desde luego los pasos **3.3.1** y **3.3.2**):

a) Se añadió a la solución de reactivos una cantidad de muestra de la bureta igual a la determinada en el “Método de aproximación” menos 2 mL y se añadieron 4 perlas de vidrio

b) La mezcla se colocó en la parrilla eléctrica y se llevó rápidamente a ebullición, la cual se mantuvo 2 minutos en estas condiciones.

c) Una vez transcurridos los dos minutos se añadieron 5 gotas de indicador de azul de metileno. La solución adquirió una tonalidad azul.

d) Se completó la titulación de forma inmediata sostenido la punta de la bureta de 2 a 3 cm sobre el cuello del matraz y dejando caer unas gotas de muestra a intervalos de pocos segundos, agitando y permitiendo el hervor en todo momento.

e) El final de la titulación se alcanzó en no más de 1 minuto. El punto de vire esta descrito en el punto **3.3.3.5**.

5) Se anotaron los mL gastados en cada titulación para cada una de las muestras para los cálculos correspondientes.

3.4 Titulación de la solución A + B

1) Neutralización de la disolución de azúcar invertido

- a) Se colocó la disolución de azúcar invertido en un matraz Erlenmeyer de 250 mL.
- b) Una bureta se enjuagó con la disolución de hidróxido de sodio al 30% y después se llenó.
- c) Se añadió fenolftaleína al matraz conteniendo la disolución de azúcar invertido y se prosiguió a titular con la disolución de hidróxido de sodio. La neutralización quedó completada tras el vire de la fenolftaleína de color transparente a rosa.

2) Titulación con la disolución de azúcar invertido

- a) Una vez neutralizada la disolución de azúcar invertido, se colocó en la bureta hasta la marca de 50 mL.
- b) Se tituló siguiendo el “Método de aproximación” en primera instancia y después según el “Método estándar de titulación” descritos ambos en los pasos anteriores.
- c) Se registraron los mL de disolución de azúcar invertido gastados en la titulación. Con el dato de mililitros gastados en esta titulación, se buscó en la tabla A1 (ver anexo) el factor correspondiente para ese volumen en la columna de 1 gramo de sacarosa/100 mL.

4. Cálculo de azúcares reductores directos

La fórmula empleada para obtener el contenido de azúcares directos en los mostos dulces fue:

$$\% \text{ARD} = \frac{f}{T} \left(\frac{V}{M} \right) * 100$$

Donde:

$\% \text{ARD}$ = Porcentaje de azúcares reductores directos

f = Factor obtenido de tablas expresado en gramos de azúcar invertido (g)

T = mililitros de muestra gastados en cada titulación (mL)

V = Volumen de agua en los que se diluyó cada muestra (mL)

M = Peso de la muestra utilizada, es decir, mosto dulce antes de ser diluido (g)

2.2.5.2. Preparación de la muestra de cervezas

El método general para la preparación de las muestras de cerveza fue de la siguiente manera:

La cerveza fue colocada en un matraz Erlenmeyer de 500 mL y se agitó de forma lenta en primer lugar y después de forma vigorosa, con el fin de retirar todo el anhídrido carbónico. La muestra de cerveza desgasificada se pasó por papel filtro que se colocó en un embudo y se tapó con un vidrio de reloj. La muestra ya filtrada se recogió en otro matraz.

2.2.5.3. Determinación del peso específico para mostos y cervezas por el método del hidrómetro

La determinación del peso específico se llevó a cabo por hidrometría. (Lewis, 1993).

1. Fundamento

El hidrómetro de peso constante se basa en el principio de que un cuerpo flotante desplaza su propio peso de fluido. El instrumento se coloca dentro del fluido problema y el peso específico es leído sobre la escala del cuello del hidrómetro.

2. Reactivos y materiales

Muestras a determinar

- Cerveza
- Mostos dulces

Material y equipo

- Hidrómetro para mostos y cerveza marca Brew Craft.
- Probeta de 100 mL
- Baño de agua fría
- Termómetro graduado en °C con precisión de ± 1.0 °C

3. Procedimiento

3.1 Preparación de la muestra

Se siguió el método general para la preparación de la muestra. Para mostos dulces, estos se dejaron reposar a temperatura de refrigeración (4 °C) y después se filtraron con papel filtro.

3.2 Metodología

1) Se colocaron aproximadamente 90 mL de muestra en la probeta de 100 mL, la cual se llevó al baño de agua fría para ajustar la temperatura del sistema a 15.5 °C, ya que el hidrómetro está calibrado a dicha temperatura.

2) Atemperado el sistema, se sumergió el hidrómetro en la muestra y se le impartió un ligero giro para impedir que se adhiriera a las paredes de la bureta. Se esperó a que el hidrómetro alcanzara el reposo y se prosiguió a la lectura del peso específico.

4. Determinación del peso específico

Una vez que el hidrómetro ha alcanzado el reposo y cuidando que éste no rozara las paredes, se leyó el peso específico en la escala del cuello del hidrómetro (ver Figura 18).

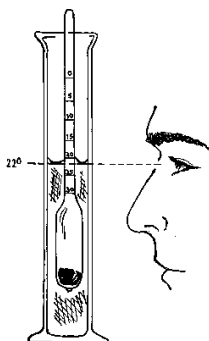


Figura 18: Forma correcta de lectura del hidrómetro

Fuente: Wilson, 2008

2.2.5.4. Determinación del porcentaje de alcohol en volumen a 20°C (% Alc. Vol.) por destilación y picnometría.

La determinación del % Alc. Vol. se llevó a cabo por el método oficial descrito en la NOM-142-SSA1-1995 así como también tomando de referencia el Método Oficial 35.21 (AOAC, 2000).

1. Fundamento

La densidad del destilado obtenido tras la destilación es medida por picnometría. A la densidad de dicho destilado le corresponderá un valor de % Alc. Vol. reportado en tablas oficiales.

2. Reactivos y materiales

Muestra a determinar

- Cerveza

Material y equipo

- Sistema de destilación (matraz de destilación de 1 L, refrigerante de tipo Graham, Matraz aforado de 100 mL, perlas de vidrio, parrilla eléctrica).
- Pipetas de 5 mL
- Termómetro graduado en °C con precisión de ± 1.0 °C y termómetro de infrarrojo
- Bomba de agua de 1/8 HP de potencia con juego de mangueras
- Balanza analítica
- Picnómetro de capacidad de 50 mL (20 °C/ 20 °C).
- Agua destilada

3. Procedimiento

3.1 Preparación de la muestra

Se siguió el método general para la preparación de la muestra de cerveza.

3.2 Metodología

1) Se midieron 100 mL de muestra en el matraz aforado de 100 mL y se colocaron en el matraz de destilación de 1 L y se añadieron 50 mL de agua destilada.

2) Se armó el siguiente sistema de destilación.

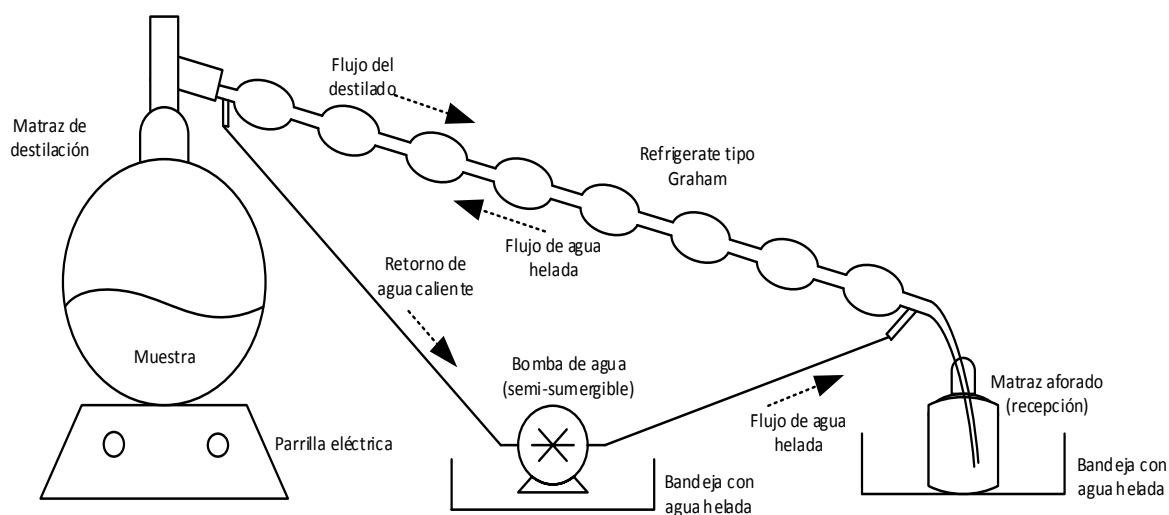


Figura 19. Sistema de destilación para cervezas.

3) Armado el sistema de destilación se destiló calentando el matraz a temperatura moderada para destilar el alcohol. El destilado se recibió en el mismo matraz donde se midió la muestra. Durante toda la destilación por el refrigerante estuvo circulando agua

fría y el matraz de recepción sumergido en un baño de agua con hielo. Alcanzados aprox. 80 mL de destilado, se detuvo la destilación y se completó a 100 mL con agua destilada.

4) Completado el volumen a 100 mL el destilado se llevó a 20 °C y se midió su densidad por picnometría a 20 °C/ 20 °C evitando toda pérdida de alcohol.

4. Determinación del % Alc. Vol. a 20 °C

Con el valor de densidad determinado del destilado, se leyó en la tabla A2 (ver anexo) el valor correspondiente del % Alc. Vol. correspondiente a dicha densidad.

2.2.5.5. Determinación del extracto real

El extracto real de las cervezas se determinó a partir de la determinación de la densidad del residuo de destilación efectuada para el cálculo del % Alc. Vol. El procedimiento se hizo según el método 2 “Extracto real” de los métodos de análisis B.O.E. 23-10-85 (PANREAC, 1983).

1. Fundamento

El extracto real es la fracción de sustancias disueltas en la cerveza, pero sin considerar el alcohol en la mezcla, por lo que se calcula a partir de la densidad del residuo de destilación sin alcohol, una vez restablecido su volumen inicial con adición de agua destilada.

2. Reactivos y materiales

Material y equipo

- Balanza analítica
- Picnómetro de capacidad de 50 mL (20 °C/ 20 °C).
- Termómetro de infrarrojo
- Matraz aforado de 100 mL
- Residuo de la destilación efectuada para la determinación del % Alc. Vol.
- Agua destilada

3. Procedimiento

3.1 Concluida la destilación (interrumpida cuando se obtuvo aproximadamente 80 mL de destilado), el residuo contenido en el matraz de destilación, se vertió en un matraz aforado de 100 mL y se completó el volumen con agua destilada.

3.2 Una vez restablecido el volumen inicial con agua destilada, el residuo se llevó a una temperatura de 20 °C y se determinó su densidad por picnometría.

4. Determinación del % Extracto Real a 20 °C

Con el valor de densidad determinado del residuo de destilación, se leyó en la tabla A3 (ver anexo) el valor correspondiente del % Extracto Real a dicha densidad.

2.2.5.6. Determinación de cenizas en cerveza por incineración

La determinación del porcentaje en peso de cenizas en cerveza se determinó con base en el método 2 “Cenizas” de los métodos de análisis B.O.E. 23-10-85 (PANREAC, 1983).

1. Fundamento

Se basa en evaporar a sequedad una muestra determinada de cerveza y determinar el peso del residuo después de su incineración.

2. Reactivos y materiales

Muestra a determinar

- Cerveza

Material y equipo

- Cápsula de porcelana con capacidad para 15 mL
- Baño de agua con termostato
- Mechero y soporte para cápsulas de porcelana
- Mufla. Marca Thermolyne (USA) modelo 1400 Furnace
- Pipeta de 20 mL (± 0.1 mL)
- Desecador

3. Procedimiento

3.1 Preparación de la muestra

Se siguió el método general para la preparación de la muestra de cerveza.

3.2 Metodología

- 1) Se llevó a peso constante la cápsula de porcelana y se registró su peso con ayuda de la balanza analítica

2) Se pipetearon 15 mL de muestra y se colocaron en la cápsula de porcelana la cual se colocó en el baño de agua y se evaporó hasta sequedad. Después se calcinó a fuego directo con ayuda del mechero hasta la obtención de cenizas negras y blancas.

3) Entonces la cápsula se metió a la mufla a $T=525\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta la obtención de cenizas blancas. Se enfrió en un desecador y se pesó con precisión de 0.0001 g.

4. Cálculo del porcentaje de cenizas en peso

La fórmula siguiente fue la empleada para el cálculo del % de cenizas en peso.

$$\% \text{ cenizas} = \frac{PCM - PCV}{M * D} * 100$$

Donde:

PCM = peso de la cápsula con cenizas (g)

PCV= peso de la cápsula vacía (g)

M= mililitros de muestra utilizados (mL)

D= densidad de la cerveza (g/mL)

2.2.5.7. Determinación de pH en cervezas por potenciómetro (pH-metro).

El pH de las cervezas se determinó por medio de un potenciómetro (pH-metro) combinado marca Science Med (Finlandia) modelo SM3BW con base en el Método Oficial 945.10 (AOAC, 2000).

1. Fundamento

El funcionamiento del pH-metro está basado en el hecho de que los iones hidrógeno en disolución, como otras especies iónicas, conducen la corriente eléctrica. Si tenemos una membrana delgada de vidrio que separa dos disoluciones de diferente concentración de ion hidrógeno (electrodo de referencia), se establecerá a través de la membrana de vidrio una diferencia de potencial. El pH-metro es un instrumento que mide esa diferencia de potencial, y a través de su calibración interna (electrodo de referencia) la convierte en una lectura de pH.

2. Reactivos y materiales

Muestra a determinar

- Cerveza

Reactivos

- Soluciones tampón de pH= 4 y pH=7

Material y equipo

- pH-metro combinado (electrodo de referencia y electrodo indicador). Marca: Science Med. Modelo: SM3BW
- Termómetro graduado en °C con precisión de ± 1.0 °C
- Agua destilada

3. Procedimiento

3.1 Preparación de la muestra

Se siguió el método general para la preparación de la muestra. Se atemperó a 20 °C.

3.2 Metodología

- 1) Se calibró el potenciómetro con las soluciones tampón de pH = 4 y 7 a 20 °C.
- 2) Calibrado el pH-metro y preparada la muestra, se midieron aprox. 50 mL de la misma. El electrodo combinado se introdujo en la muestra para la determinación y entre cada determinación a la muestra se enjuagó con agua destilada para evitar errores de medición.

4. Lectura del pH de las cervezas

La medición de pH se leyó directamente en la pantalla del pH-metro, el cual compensa los cambios de temperatura en la muestra de forma automática.

2.2.5.8. Determinación de color en cervezas por espectrofotometría.

El color de las cervezas fue determinado con un espectrofotómetro marca Jenway, modelo Genova, según el método oficial 976.08 (AOAC, 2000).

1. Fundamento

Se hace pasar un haz de luz monocromática a través de la muestra y se mide la cantidad de luz que es absorbida por dicha muestra. La absorbancia obtenida es una medida indirecta del color.

2. Reactivos y materiales

Muestra a determinar

- Cerveza

Material y equipo

- Espectrofotómetro. Marca: Jenway (Reino Unido). Modelo: Genova
- Celdas de paso óptico de plástico (1 cm).
- Agua destilada (blanco)

3. Procedimiento

3.1 Preparación de la muestra

Se siguió el método general para la preparación de la muestra de cerveza, seguido de una centrifugación por un tiempo de 5 min a 6000 rpm. La muestra se atemperó a 20°C.

3.2 Metodología

- 1) La muestra desgasificada, filtrada y centrifugada, se colocó en celdas de 1 cm para su lectura en el espectrofotómetro.
- 2) Se calibró el espectrofotómetro (utilizando agua destilada como blanco) a una longitud de onda de 430 y 700 nm.
- 3) Se colocaron las muestras dentro y se midió la absorbancia a una longitud de onda de 430 y 700 nm para cada una de ellas.

4. Cálculo de unidades European Brewery Convention (EBC) para color.

Para asumir que las muestras están libres de turbidez (y por tanto, la lectura sea confiable), se determinó un factor a partir de las dos lecturas de absorbancia a diferentes longitudes con la fórmula siguiente:

$$f = \frac{\text{absorbancia a 430 nm}}{\text{absorbancia a 700 nm}}$$

Donde f debe ser mayor a 25. Si es así las muestras serán consideradas como libres de turbidez.

El valor de la absorbancia leída a 430 nm, se multiplicó por 25 para obtener las unidades EBC correspondientes para color.

*Color en unidades EBC = absorbanca @ 700 nm * 25*

2.2.5.9. Cálculo del contenido calórico en cervezas

El contenido calórico de las cervezas se determinó según el método 971.1 (AOAC, 2000).

1. Fundamento

El contenido calórico se calcula a partir de la determinación de la densidad, % Alcohol en peso (ver tabla A4 en anexo), extracto real y la determinación de cenizas de una muestra de cerveza.

2. Cálculo del contenido calórico en cervezas

Se calculó la cantidad de Kcal en 100 mL de cerveza y después en kJ/100 mL

$$\frac{Kcal}{100\ g} = ((g\ extracto\ real - \% cenizas) * 4) + (\% Alc. Peso * 6.9)$$

$$\frac{Kcal}{100\ mL} = \frac{\left(\left(\frac{Kcal}{100\ g}\right) * (Volumen\ de\ cerveza * densidad)\right)}{100}$$

$$\frac{Kj}{100\ mL} = \frac{Kcal}{100\ mL} * 4.1868$$

2.2.6. Pruebas sensoriales y encuesta hechas a consumidores

Una vez que se han seleccionado cuales cervezas artesanales elaboradas a partir de bagazo se consideran libres de alcohol (“cervezas sin”), fueron sometidas a una prueba sensorial hedónica de nivel de agrado con una escala de 7 puntos, para conocer cuál de ellas es la más aceptada por el consumidor. En la misma prueba, se dio a los consumidores una muestra de una cerveza comercial, con el objetivo de compararla con la mejor “cerveza sin” elegida por los consumidores. Precedido a la prueba sensorial, fue incluido un cuestionario con el fin de obtener datos como el conocimiento o no de la “cerveza sin”, precio que el consumidor está dispuesto a pagar por éste, si se conoce o no alguna marca de este tipo de cerveza, etc. Estos datos forman parte de un estudio de mercado, el cual es de suma importancia que se elabore si se quisiera lanzar el producto al mercado. Por ello se consideró que estas preguntas, además de aportar datos estadísticos en torno al producto, pueden dar una idea al cervecero artesanal de que tan

viable o no sería lanzar este producto. La encuesta y prueba sensorial se aplicó a estudiantes, personal y académicos de la FES Cuautitlán campus 4, con un total de 100 personas encuestadas. El cuestionario y la prueba sensorial aplicados se muestran en la figura 20. Los resultados y análisis son discutidos en la siguiente sección.

Cuestionario 1			
La información solicitada será considerada de forma confidencial y solo para fines de investigación académica. Por favor, responda el siguiente cuestionario si está de acuerdo.			
<u>Edad:</u> _____			
<u>Estado civil:</u>			
<input type="checkbox"/> Soltero (a)	<input type="checkbox"/> Casado (a)		
<u>Sexo:</u>			
<input type="checkbox"/> Femenino	<input type="checkbox"/> Masculino		
<u>Ocupación:</u> _____			
¿Conoce o ha escuchado hablar de la cerveza sin alcohol?			
<input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> No		
¿Ha probado la cerveza sin alcohol?			
<input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> No		
¿Conoce alguna marca de cerveza sin alcohol? De ser afirmativa su respuesta, diga cuál.			
<input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> No	¿Cuál?	_____
¿Estaría dispuesto a pagar por una cerveza artesanal sin alcohol la cantidad de entre \$20.00 a \$25.00?			
<input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> No		
Muchas gracias !!!!!!!			
Cuestionario 2			
Producto: Cerveza artesanal libre de alcohol (" <i>cerveza sin</i> ")			
Instrucciones: Se le presentan tres productos codificados. Por favor pruebe cada uno de ellos de izquierda a derecha, y señale con una X el término que refleja mejor su actitud hacia cada uno de los productos. Enjuague su boca con agua antes de probar la primera muestra y entre cada muestra probada.			
	Producto	Producto	Producto
	451	023	876
Me gusta mucho	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Me gusta	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Me gusta ligeramente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ni me gusta ni me disgusta	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Me disgusta ligeramente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Me disgusta	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Me disgusta mucho	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Muchas gracias !!!!!!!			

Figura 20. Encuesta de estudio de mercado y prueba sensorial hedónica de 7 puntos aplicada a consumidores.

3. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1. Evaluación de los mostos obtenidos de la maceración de bagazo

Los mostos dulces obtenidos a partir de las maceraciones del bagazo, fueron evaluados determinando su contenido en azúcares reductores y su peso específico (PE). En la tabla 16 se muestran los resultados obtenidos para la prueba de azúcares de las corridas efectuadas. El contenido de azúcares reductores o fermentables se expresa como % de maltosa.

Tabla 16. Resultados para el porcentaje de maltosa en los mostos dulces de baja densidad.

Corrida y duplicado	Condiciones de operación			% de maltosa (respectivamente)	% de maltosa promedio	Desviación Estándar
	Relación bagazo: sémola	Relación bagazo-sémola: agua	Perfil de maceración			
1, 9	90-10	1 a 4	35	0.7910, 0.8027	0.7968	0.0083
2, 10	80-20	1 a 4	35	0.9029, 0.9035	0.9023	0.0004
3, 11	90-10	1 a 3	35	0.9177, 0.9438	0.9307	0.0185
4, 12	80-20	1 a 3	35	1.4303, 1.4517	1.4410	0.0151
5, 13	90-10	1 a 4	55	0.8602, 0.8325	0.8463	0.0196
6, 14	80-20	1 a 4	55	1.0084, 1.0136	1.0110	0.0037
7, 15	90-10	1 a 3	55	1.0617, 1.0746	1.0682	0.0091
8, 16	80-20	1 a 3	55	1.4617, 1.4811	1.4714	0.0137

Los resultados de la tabla muestran que los mostos efectuados bajo una relación de bagazo: sémola de 90-10, utilizando una relación 1 a 4 de bagazo-sémola: agua y un tiempo de maceración de 35 minutos, resultan tener el contenido más bajo de azúcares fermentables. Esto se puede atribuir a que al utilizar más bagazo y menos sémola nueva, el aporte de almidón es menor, con lo cual es evidente que tras la maceración se producirá una cantidad mínima de azúcares fermentables. También al utilizar una relación de 1 a 4 de agua, los mostos obtenidos son más diluidos, que si se utilizara una relación 1 a 3, y por último, al utilizar el perfil de maceración de 35 minutos, el tiempo de actuación de las amilasas es de tan solo 30 minutos (ver

el punto 2.2.2.1.), por lo que al tener un periodo corto de incubación será menor la cantidad de almidón que sea hidrolizado a azúcar.

Caso contrario, la corrida 8 y 16 (duplicado) presentan el contenido más alto de % de maltosa, ya que se utilizaron los niveles altos de cada uno de los factores. Al estar presente en mayor cantidad la sémola (20%) y el bagazo en menor cantidad (80%) durante la maceración, existe un mayor aporte de almidón al caldo, por lo que la cantidad de azúcar producida es mayor en comparación con la sémola al 10% y el bagazo al 90%. En el caso del agua, al estar en menor proporción, produce mostos dulces más concentrados. Y por último, el perfil empleado para estas corridas fue de 55 minutos, por lo que el tiempo de actuación de las amilasas es 10 minutos más, teniendo un tiempo total de actuación de 40 minutos, permitiendo así que más almidón sea hidrolizado produciendo más azúcares fermentables.

Estos valores de maltosa no son muy diferentes a los citados por Muller (2001), donde analizó un mosto de baja “fermentabilidad” (mosto de baja densidad) obteniendo una cantidad de azúcares de 0.96% (Montanari, 2009).

En la Figura 21 se presenta una gráfica normal de los efectos para la variable de respuesta (concentración de maltosa). Se puede observar que cinco efectos presentan una significancia sobre la variable de respuesta, es decir, que si un factor o una interacción de factores se utiliza en un nivel u otro de variación, influirá de forma importante sobre los resultados de la variable de respuesta. Los efectos significativos son: los factores principales A, B y C (relación bagazo: sémola, relación bagazo-sémola: agua y perfil de maceración respectivamente), la interacción de los factores A-B y la interacción de los tres factores principales A-B-C. Solo dos interacciones no presentan un efecto significativo sobre la variable de respuesta: la interacción de los factores A-C y B-C. Dado que los efectos principales aparecen también en un efecto de interacción A-B-C con significancia, solo es de importancia la interacción que están teniendo estos tres factores y no cada uno por separado.

Por lo anterior, podemos establecer que las variables independientes seleccionadas tanto individualmente como en interacción, tienen un efecto significativo sobre la cantidad de azúcares producidos durante la maceración para un nivel de significancia de 0.05.

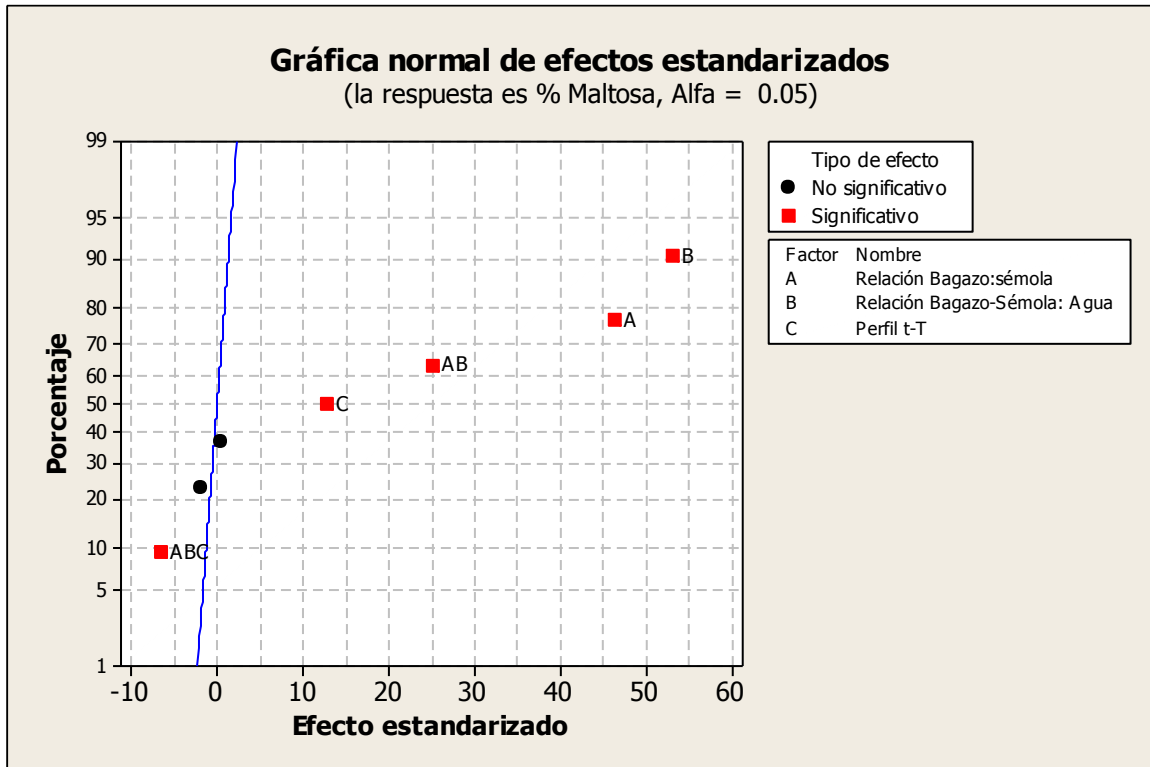


Figura 21. Gráfica normal de efectos para el porcentaje de maltosa.

La Figura 22 muestra un diagrama de Pareto, que en esencia muestra los mismos resultados que la gráfica normal, pero permite apreciar de forma más clara que efecto presenta más significancia que los demás. Como se puede observar, el efecto principal B, que es la relación bagazo- sémola: agua es el efecto que presenta una mayor significancia, es decir, es la variable independiente que más influye en los resultados del % de maltosa. El perfil t-T de maceración, fue la variable que menos influyó sobre la producción de azúcares durante la maceración, tal vez debido a que solo se empleó un intervalo de 10 minutos de diferencia entre un nivel y otro. Sin embargo, los tres efectos principales influyen de manera significativa en la variable de respuesta, así como también la interacción entre todos ellos. Con esto se concluye que en función del nivel en el que se esté manejando una de las variables independientes, las otras dos variables se comportan de forma distinta, es decir, el % de maltosa será uno u otro si se utiliza uno u otro nivel de las variables independientes.

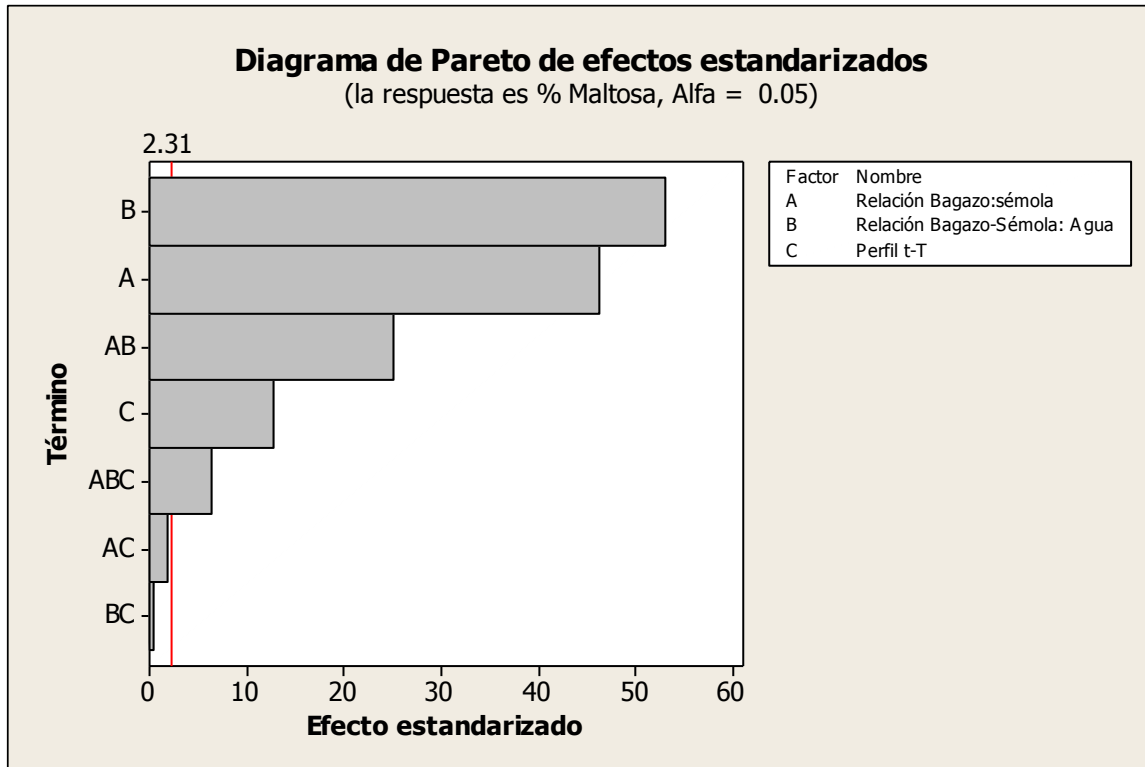


Figura 22. Diagrama de Pareto de los efectos para el porcentaje de maltosa.

En la Figura 23 se muestra una gráfica de cubos que muestra las medias de la concentración de maltosa de los dos experimentos hechos para cada corrida. En cada vértice del cubo se muestra el % de maltosa promedio para cada corrida. Dado que se pretende seleccionar tres mostos diferentes, dos de ellos el de mayor y el de menor contenido en azúcar, de esta gráfica se selecciona tanto el punto máximo como el punto mínimo.

El punto máximo es de 1.4714 % de maltosa, el cual se consigue al utilizar una relación de bagazo:sémola igual a 80:20, una relación 1 a 3 de bagazo-sémola: agua y un perfil de maceración de 55 minutos. El punto mínimo es de 0.7968 % maltosa, valor que resulta de utilizar una relación de 90-10 de bagazo: sémola, una relación 1 a 4 de bagazo-sémola: agua y un perfil de maceración de 35 minutos. Establecidos el punto máximo y el mínimo, solo falta establecer el punto medio de contenido de azúcares fermentables de los mostos.

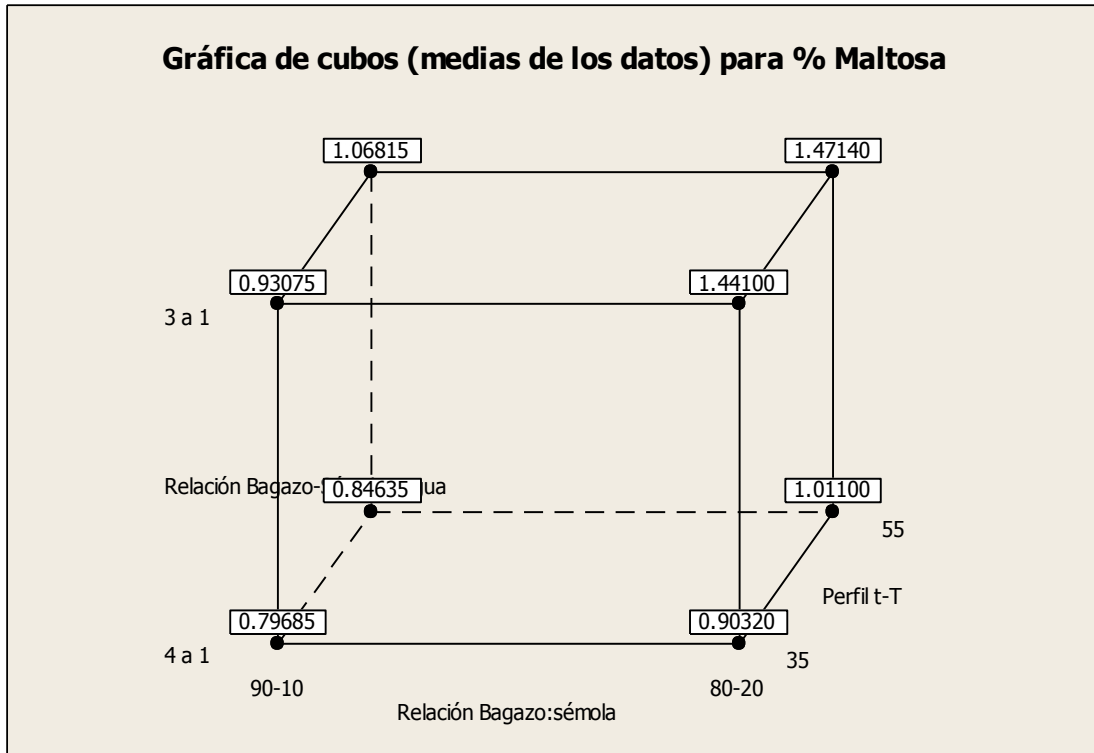


Figura 23. Gráfica de cubos para el porcentaje de maltosa.

Tanto la corrida 3 como la 6 presentan un nivel medio en cuanto a su contenido de azúcares fermentables tomando como referencia los puntos máximo y mínimo mencionados anteriormente. Pero la propuesta es seleccionar solo uno de ellos, por lo que el mosto con un nivel medio de azúcares fue seleccionado con base en dos formas: i) determinando el PE de las cervezas, el cual sirve para obtener una aproximación de la cantidad de alcohol que se puede producir durante la fermentación, recordando que el objetivo general del presente proyecto es obtener una cerveza “sin alcohol”. El PE se determinó para todos los mostos de las 8 corridas, ya que es un parámetro de control muy importante dentro de la industria cervecera y estos valores pudieran servir para investigaciones posteriores y ii) seleccionado el mosto cuyo valor de maltosa se encuentre más cerca de la media del porcentaje de maltosa de las 8 corridas en total, es decir, se calculó la media del porcentaje de maltosa de las 8 corridas y se comparó con el % de maltosa de las corridas 3 y 6.

Los pesos específicos para los mostos dulces se muestran a continuación en la Tabla 17.

Tabla 17. Resultados para el peso específico de los mostos de baja densidad.

Corrida y duplicado	Condiciones de operación			Peso específico (respectivamente)	Peso específico promedio	Desviación Estándar
	Relación bagazo: sémola	Relación bagazo-sémola: agua	Perfil de maceración			
1, 9	90-10	1 a 4	35	1.010, 1.009	1.0095	0.0007
2, 10	80-20	1 a 4	35	1.012, 1.012	1.012	0
3, 11	90-10	1 a 3	35	1.012, 1.012	1.012	0
4, 12	80-20	1 a 3	35	1.016, 1.016	1.016	0
5, 13	90-10	1 a 4	55	1.011, 1.010	1.0105	0.0007
6, 14	80-20	1 a 4	55	1.012, 1.012	1.012	0
7, 15	90-10	1 a 3	55	1.012, 1.012	1.012	0
8, 16	80-20	1 a 3	55	1.013, 1.014	1.0135	0.0007

Como se puede apreciar en la Tabla 16, los mostos obtenidos bajo las condiciones de operación de las corridas 3 y 6, presentan un PE promedio = 1.012, por lo que teóricamente pueden producir la misma cantidad de alcohol durante la fermentación, si solo si, se mantiene todas las demás condiciones constantes de las operaciones posteriores a la maceración. Si se supone que todos los azúcares son fermentados hasta obtener un valor de PE=1 en la cerveza, mediante la siguiente ecuación se puede calcular el valor teórico de % Alc. Vol. que puede contener la cerveza (Hornsey, 1999).

$$(PE\ inicial - PE\ final) * 129 = \% Alc. Vol.$$

$$(1.012 - 1.000) * 129 = 1.548 \% Alc. Vol.$$

Aunque este valor de % de alcohol no es en sí el que se obtendrá, si da una aproximación de ello, por lo tanto ambos mostos (corrida 3 o 6) pudieran producir cervezas “sin alcohol”.

Por lo tanto, la selección del mosto con un contenido medio de azúcares se hizo tomando como referencia el promedio del % de maltosa de las 8 corridas experimentales.

Promedio del % de maltosa de las 8 corridas= 1.0586 %

La corrida numero 3 presenta un mosto con un % de maltosa de 0.9307, por lo tanto la diferencia que presenta respecto al promedio global es:

$$\text{Diferencia para la corrida 3} = 1.0586 - 0.9307 = \mathbf{0.1279}$$

La corrida numero 6 presenta un mosto con un % de maltosa de 1.0110, por lo tanto la diferencia que presenta respecto al promedio global es:

$$\text{Diferencia para la corrida 6} = 1.0586 - 1.0110 = \mathbf{0.0476}$$

Con estos datos se concluye que la corrida 6 presenta un mosto con un valor de % de maltosa más cerca del promedio que el dado por la corrida 3, y por lo tanto, será el mosto seleccionado como aquel de un nivel medio de azúcares fermentables. Al escoger este mosto con un nivel mayor en azúcares, se puede presentar una cerveza de mejores atributos sensoriales y con un contenido en alcohol < 2% v/v.

En resumen, la Tabla 17 muestra los tres mostos seleccionados para la elaboración de las cervezas de bajo contenido alcohólico con base en su contenido de azúcares reductores.

Tabla 18. Mostos seleccionados para la elaboración de cervezas de bajo contenido alcohólico.

Corrida y duplicado	Condiciones de operación			% de maltosa promedio	Contenido de azúcares fermentables
	Relación bagazo: sémola	Relación bagazo-sémola: agua	Perfil de maceración		
1, 9	90-10	1 a 4	35	0.7968	Bajo
6, 14	80-20	1 a 4	55	1.0110	Medio
8, 16	80-20	1 a 3	55	1.4714	Alto

3.2. Elaboración de cervezas artesanales de bajo contenido alcohólico y selección de aquellas que se consideren cervezas “sin alcohol”.

A partir de los mostos seleccionados, se elaboraron 3 cervezas por duplicado de bajo contenido alcohólico, a las cuales se determinó su contenido alcohólico por volumen a 20°C. Los resultados se muestran en la tabla 19. La cerveza nombrada como “cerveza 1” fue la elaborada con el mosto de más bajo contenido de azúcares, la “cerveza 2” es la elaborada con el mosto de nivel medio de azúcares y la cerveza llamada “cerveza 3” es la elaborada a partir del mosto más dulce.

Tabla 19. Contenido de alcohol de las cervezas de bajo contenido alcohólico.

N° de cerveza	Densidad del destilado*	% Alc. Vol. a 20°C (tablas)
1	0.9984	1.07
2	0.9976	1.61
3	0.9957	2.92

* Con el valor de la densidad del destilado (calculada por picnómetro), se buscó en tablas el % Alc. Vol. correspondiente a dicha densidad.

De acuerdo a lo estipulado en la NOM-142-SSA1-1995, una cerveza será considerada como bebida no alcohólica si su contenido en volumen de alcohol es menor al 2%, por lo tanto, las cervezas 1 y 2 resultaron ser cervezas “sin alcohol”, mientras que la cerveza número 3 solo puede considerarse como cerveza de bajo contenido alcohólico.

3.3. Propiedades físicas y fisicoquímicas de la cerveza madre (estilo Pale Ale).

La cantidad de azúcares reductores y el peso específico en el mosto de la cerveza madre también fue calculada como parámetro de control y con el fin de ser comparado con los mostos de baja densidad obtenidos a partir del bagazo (tabla 19).

El porcentaje de azúcares reductores en el mosto madre es superior al de los mostos de baja densidad, presentando un 6.85 % de maltosa. Es evidente que al ser un mosto proveniente de la primera maceración el contenido de azúcares es alto, ya que en primer lugar, es un mosto de 100 % sémola donde el contenido de almidón y enzimas es abundante, y en segundo lugar, las condiciones de maceración son idóneas para las enzimas, lo que permite obtener la máxima conversión del almidón a azúcares fermentables. El PE del mosto madre de igual manera es muy superior (1.062) al de los mostos de baja densidad, incluso del mosto de mayor densidad (1.016) dentro de los mostos procedentes de bagazo.

Los valores obtenidos de % de maltosa y de PE, son parecidos en relación a los citados por Muller (2001), quien reporta que el contenido de azúcares en un mosto de PE de 1.040 (mosto de fermentabilidad normal) es de 5.96%. (Montanari, 2009).

Los resultados de la determinación de las propiedades físicas (peso específico y color) y fisicoquímicas (% Alc. Vol., pH, contenido calórico, % cenizas) efectuadas a la cerveza madre se muestran en la tabla 20.

3.4. Propiedades físicas y fisicoquímicas de las cervezas sin alcohol y su comparación con las de la cerveza madre

Las propiedades físicas y fisicoquímicas que se determinaron a las cervezas sin alcohol (cerveza 1 y 2) fueron las mismas que a la cerveza madre con la finalidad de poder compararlas. Los resultados se presentan en la tabla 20.

Tabla 20. Propiedades físicas y fisicoquímicas de la cerveza madre y las cervezas sin alcohol.

Propiedad*	Cerveza madre	σ	Cerveza 1	σ	Cerveza 2	σ
% de maltosa en el mosto dulce	6.85	0.0707	0.7968	0.0354	1.0110	0
Peso específico del mosto dulce a 15°C	1.062	0.0006	1.012	0.0006	1.012	0.0010
Peso específico Final a 15 °C	1.022	0.0010	1.002	0	1.003	0.0006
% Alc. Vol. a 20°C	8.82	0.0017	1.07	0.0021	1.61	0.0014
% Alc. en peso (tablas)	7.08	-----	0.85	-----	1.28	-----
% Extracto real (g/100 g)	8.91	0.0007	1.76	0.0002	1.56	0.0009
Color (EBC)	39.12	1.0680	8.30	0.0866	8.18	0.1322
Contenido Calórico (Kcal/ 100 mL)	85.04	-----	12.24	-----	14.53	-----
Contenido Calórico (kJ/ 100 mL)	356.05	-----	51.26	-----	60.85	-----
pH	4.72	0.023	4.58	0.02	4.35	0.0005
% cenizas	0.32	0.0069	0.17	0.0225	0.15	0.0263

* Medias de valores entre 3 pruebas efectuadas.

- *Peso específico*

Como se puede apreciar, el PE de la cerveza 1 es ligeramente menor al de la cerveza 2, esta diferencia mínima es debido a que la cerveza 1 procede de un mosto dulce de menor densidad en comparación a la cerveza 2, pero además, la cerveza 1 también procede de un mosto de menor contenido en azúcares, lo que influye en poca medida a tener un mosto de mayor densidad. Otra razón es que la cerveza 2 parte de un mosto donde se utilizó más sémola y menos bagazo, en comparación a la cerveza 1, pudiendo influir ligeramente el contenido más alto de almidón en la maceración. Sin embargo, esta pequeña diferencia en densidades es imperceptible al paladar del consumidor (Hornsey, 1999). Finalmente, se concluye que estadísticamente no existe diferencia significativa entre las medias de los Pesos Específicos entre la cerveza 1 y la cerveza 2 utilizando un nivel de significancia de 95%.

Por otro lado, comparando los Pesos Específicos de las cervezas “sin alcohol” con el PE de la cerveza madre, se puede apreciar una diferencia amplia entre ambos. La razón es clara, la cerveza madre parte de un mosto de alta densidad (1.062). El mosto dulce y después lupulado, contiene dextrinas, las cuales no son fermentables y que por lo tanto aportan cuerpo (densidad) a la cerveza. Otra razón por la cual se presenta una alta densidad en la cerveza madre, es que al utilizar malta caramelo, esta aporta azúcares caramelizados de cadenas largas y no fermentables durante el proceso de tostado, que durante la primera maceración son extraídos y están contenidos en el mosto madre (García *et al.*, 2002; Hornsey, 1999; Insumos cerveceros, 2015). Se concluye que existe diferencia estadísticamente significativa (utilizando un nivel de significancia de 95%) de las dos cervezas sin alcohol frente a la cerveza madre.

- **% Alc. Vol.**

El porcentaje de alcohol en volumen de la cerveza madre es muy superior al de las cervezas sin alcohol, y como se ha mencionado, esto se atribuye a la diferencia de azúcares fermentables ya que la levadura durante la fermentación los convierte a etanol y CO₂. Por lo tanto, a mayor cantidad de azúcares fermentables en el mosto mayor será la cantidad de alcohol en el producto final.

- **% Extracto real**

El extracto real es la fracción de las sustancias disueltas en la cerveza pero sin considerar el alcohol, con lo que se puede decir que es una medida indirecta de la diferencia entre el peso específico del mosto lupulado antes de la fermentación y de la cerveza verde (AOAC, 2000; Ensminger, 2006). Como se puede apreciar en la tabla 20, el % de extracto real en la cerveza 1 es superior al de la cerveza 2, esto se puede explicar si se considera que ambas cervezas parten de un mosto dulce con un PE= 1.012 y que prácticamente tiene la misma densidad final, el extracto real está condicionado al porcentaje de alcohol producido, y como este es mayor en la cerveza 2, por lo tanto tendrá menor porcentaje de extracto real.

En comparación con el porcentaje de extracto de las cervezas sin alcohol, el porcentaje de extracto de la cerveza madre es mayor, lo que indica que la fracción de las sustancias ajenas al alcohol es mayor, entre ellas las proteínas, carbohidratos, vitaminas, minerales, etc. (Arranz *et al.*, 2012; Martínez *et al.*, 2011), inclusive la alta densidad en esta cerveza nos da una idea de la cantidad de extracto real que puede contener.

Martínez *et al.* (2011) reportan porcentajes de extracto real efectuados a 6 muestras de cervezas comerciales sin alcohol, obteniendo valores de entre 2.33 y 3.16 entre las muestras de cerveza. Narziss *et al.* (1992), también reportan datos de porcentaje de extracto real de muestras de cervezas comerciales sin alcohol, con un valor mínimo de 4.11 y un valor máximo de 6.60 % (Montanari *et al.*, 2009). Con base en lo anterior se puede concluir que los valores de extracto obtenidos en esta experimentación se encuentran por debajo de los presentados por otros autores. Sin embargo, estos valores se pueden justificar porque, al ser muestras comerciales las evaluadas por los autores, es muy probable que el método por el que se hayan obtenido dichas cervezas sin alcohol haya sido uno de los métodos físicos, los cuales permiten retirar únicamente el alcohol y mantener con ello otras sustancias presentes (extracto real) en la cerveza original (Brányik *et al.*, 2011; Hornsey, 1999; Montanari *et al.*, 2009; Soprano, 2008). En contraste, las cervezas obtenidas en este trabajo parten de un mosto dulce de muy baja densidad, lo que indica desde un principio que la cantidad de sustancias de carácter no alcohólico son escasas, lo que se vió reflejado en el porcentaje de extracto real en la cerveza final.

- *Color (EBC)*

Como se puede observar en la Tabla 20, la cerveza número 1 presenta ligeramente mayor grado de color EBC que la cerveza 2. El resultado esperado era que la cerveza 2 presentara mayor color, debido a que procede de un mosto donde se utilizó mayor contenido de sémola nueva y menos bagazo en comparación con la cerveza 1, teniendo como consecuencia que, al utilizar más sémola nueva, el aporte de color que otorga la malta caramelo fuera mayor. Sin embargo, estadísticamente no existe diferencia significativa (empleando un nivel de significancia del 95%) entre ambos valores de EBC de las cervezas (8.30 y 8.18).

Anaya *et al.* (2013) llevaron a cabo la elaboración de una cerveza sin alcohol (0.98 % Alc. Vol.) vía fermentación controlada (método biológico), donde reportan 9.4 EBC de color para la cerveza obtenida. Narziss *et al.* (1992) por su lado, reporta en su estudio hecho a muestras de cervezas comerciales, valores mínimos de color de 6.6 EBC y máximos de 11.5 EBC. Con lo antes citado, se concluye que los valores de EBC obtenidos para las cervezas 1 y 2 se encuentran entre el intervalo de valores reportados en otros estudios. Aunque queda claro que el color no

indica más o menos calidad en una cerveza, el color es un atributo que depende del estilo de cerveza elaborada y la presentación que el cervecero quiera dar a los consumidores.

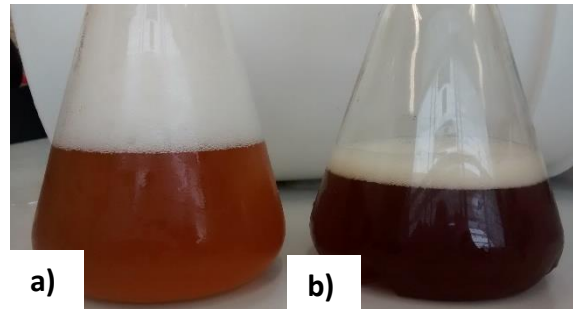


Figura 24. Fotografía de la Cerveza 1 (a) y cerveza madre (b).

La cerveza madre presenta valores más altos respecto a las cerveza sin alcohol, sin duda ello es debido a la presencia en mayor cantidad de malta caramelo en su elaboración. Pavsler & Buiatti (2009), mencionan en una compilación sobre diferentes estilos de cerveza, que por ejemplo, el estilo *English Pale Ale* comúnmente presenta un color en el intervalo que va de los 7.9 a los 35.5 EBC, sin embargo este es solo uno de los estilos derivados de los estilos “Pale Ale” y la cerveza madre obtenida es un estilo “Pale Ale” pudiendo tener más o menos coloración que lo citado por los autores, y como se mencionó, el color simplemente es un atributo que cada cervecero le imparte a su cerveza, si es mayor o menor, será de importancia menor.

- ***Contenido calórico (kcal/100 mL o kJ/100 mL)***

El contenido calórico en las cervezas está en función del porcentaje de extracto real y contenido alcohólico. En el caso de las cervezas bajas en alcohol, como presentaron un porcentaje de extracto real muy similar, su contenido calórico dependió de su contenido alcohólico principalmente. Es por ello que en la tabla 20 podemos observar que el contenido calórico es superior en la cerveza 2, ya que presenta un contenido de alcohol mayor que la cerveza 1. La PROFECO en 2011 llevó a cabo un estudio de calidad a diferentes marcas de cervezas nacionales e importadas (56 muestras diferentes de cervezas), donde reporta y verifica los contenidos calóricos de cervezas “normales”, de alto contenido alcohólico, cervezas bajas en calorías y cervezas sin alcohol. El aporte calórico de la cerveza O’Doul’s Ámbar, la cual es una cerveza sin alcohol (0.5% Alc. Vol.) es de 22 Kcal/100 mL y de 15 kcal/100 mL para la marca Old Milwaukee (0.4 % Alc. Vol.), pudiendo asumir que las cervezas 1 y 2 de este trabajo se

encuentran en niveles calóricos por debajo de lo publicado por la PROFECO. En el mismo estudio, las cervezas consideradas como bajas en calorías, presentaron un intervalo de entre 24 a 30 Kcal/100 mL (PROFECO, 2011)

La cerveza madre presentó un contenido calórico muy superior al de las cervezas sin alcohol con un 85.04 Kcal, que fue de 7 a 6 veces más Kcal que las cervezas 1 y 2 respectivamente. Lo anterior se debe al % de extracto real superior (mayor aporte de carbohidratos y proteínas principalmente) y al evidente alto contenido alcohólico. En el estudio de PROFECO, se presenta una cerveza de nombre comercial Nostradamus de origen Belga, que reporta un contenido en alcohol de 9 % v/v a 20 °C y con un contenido calórico de 72 Kcal/100 mL. Esta cerveza es similar en contenido alcohólico a la cerveza madre, sin embargo, con menor aporte en calorías. Las cervezas que presentan un contenido alcohólico superior al 6%, presentan un intervalo de entre 52 a 93 Kcal/100 mL en su aporte calórico, y las cervezas “normales” que van desde los 3.5 a los 5.5 % Alc. Vol. muestran aportes de calorías desde las 31 hasta las 47 Kcal/100 mL.

Con todo lo anterior, se concluye que las cervezas sin alcohol obtenidas a partir del bagazo, se pueden considerar como cervezas bajas en calorías y que la cerveza madre se considera como una cerveza de alto contenido calórico, según el estudio hecho por la PROFECO en 2011.

- *pH*

La cerveza 2 resultó ser ligeramente más ácida que la cerveza 1. La propia malta contribuye al pH de la cerveza, donde las maltas caramelo y oscuras producen cervezas con pH inferiores que las maltas pale ales (Hornsey, 1999). Por tal razón, la cerveza 2 al tener mayor cantidad de sémola y por lo tanto mayor cantidad de malta caramelo que la cerveza 1, su pH es mayor. Sin embargo, esta relación no se cumple con la cerveza madre, ya que el pH de la cerveza madre es mayor que las cervezas sin alcohol, aun cuando la cantidad de malta caramelo en la cerveza madre es significativamente superior al de las sin alcohol. Una posible explicación a lo anterior podría ser el uso del bagazo, ya que éste debido a su composición química presenta pH ácidos (alrededor de los 4.15) contribuyendo a que las cervezas sin alcohol elaboradas presenten pH bajo (Calsamiglia *et al.*, 2004; Hornsey, 1999; Mussatto *et al.*, 2004).

Entre las cervezas 1 y 2, estadísticamente si existe diferencia significativa (empleando un nivel de significancia de 95%) entre sus valores de pH y también existe diferencia significativa entre los pH's de las cervezas sin alcohol y el pH de la cerveza madre. Concluyendo que el uso de la

malta caramelo y la naturaleza química del bagazo influyen directamente en los valores de pH de las cervezas aquí presentadas.

En el estudio que hace Martínez *et al.* (2011), se reportan valores de pH de 6 muestras diferentes de cervezas comerciales libres de alcohol, donde la cerveza más ácida presenta un pH= 4.01 y la menos ácida un pH= 4.79, con lo que se concluye que el valor del pH de las cervezas sin alcohol 1 y 2, se encuentra en el intervalo de pH de cervezas comerciales sin alcohol.

- % cenizas

El resultado del % de cenizas fue mayor en la cerveza 1 que en la cerveza 2 con un 0.17 y 0.15 % respectivamente, estos resultados fueron esperados dado que el % de extracto real en la primera cerveza es ligeramente mayor, recordando que este es la fracción soluble de la cerveza (exceptuando el alcohol) lo que incluye a las vitaminas y minerales. En lo que respecta a la cerveza madre, su contenido en cenizas fue de 0.32 %, cerca del doble que el de las cervezas sin alcohol. Este valor superior se obtiene porque la cerveza madre procede de un mosto de la primera maceración, donde la mayor parte de minerales son extraídos, quedando cantidades muy bajas en el bagazo, el cual fue la materia prima mayoritaria en la elaboración de las cervezas sin alcohol (Mussatto *et al.*, 2004).

Martínez *et al.* (2011) reportan valores de cenizas de entre 0.06 y 0.14 % para 6 muestras de cerveza sin alcohol, con lo que se observa que el contenido en cenizas de las cervezas 1 y 2 está por encima de lo presentado por Martínez *et al.*, aunque no muy alejados de dichos valores.

3.5. Encuesta de estudio de mercado y prueba sensorial de nivel de agrado efectuada a las dos cervezas sin alcohol obtenidas y a una cerveza comercial nacional.

Como se mencionó en la metodología experimental, como primer punto se realizó una encuesta de estudio de mercado a una población representativa de la FES Cuautitlán C-4, con el fin de conocer su opinión y conocimiento en general acerca de la cerveza sin alcohol. Cuando los encuestados terminaron con la encuesta, se les aplicó la prueba sensorial de nivel de agrado.

Las preguntas y resultados de la encuesta de estudio de mercado se muestran a continuación.

▪ Perfil de la población encuestada

De acuerdo a las respuestas de los encuestados, la población representativa que fue de 100 personas, tuvo las siguientes características:

- El intervalo de edades de los encuestados fue de 18 hasta los 46 años.
- 53 % de los encuestados fueron hombres, 45 % mujeres y el 2% no respondió.
- Sobre su estado civil, 3% son personas casadas, 96 % solteras y el 1% no respondió.
- Entre los encuestados hubo: 1 comerciante, 2 empleados de la FESC, 78 estudiantes, 7 profesionistas y 12 personas no respondieron.

▪ Preguntas respecto al conocimiento sobre la cerveza sin alcohol (figuras 25 a 28)

El estudio de mercado nos indica cómo se puede apreciar en la Figura 25, que la mayor parte de la gente tiene conocimiento de la existencia del producto “cerveza sin alcohol” ya que el 84% de los encuestados dijo que conoce o ha escuchado hablar de este producto y un 16% no lo hace. Sin embargo, aunque la mayoría conoce o ha escuchado hablar de la cerveza sin alcohol, más de la mitad de los encuestados no ha probado este tipo de cerveza (Figura 26).

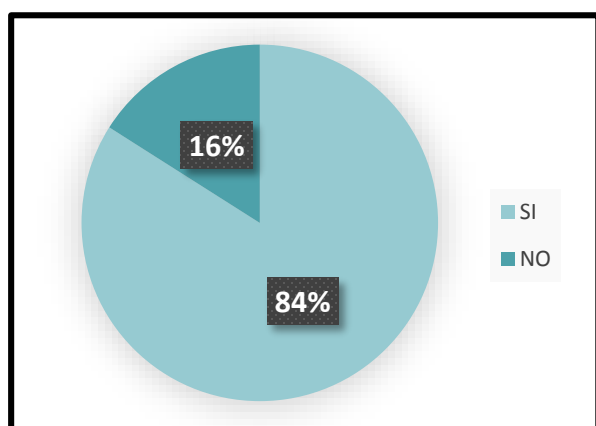


Figura 25. Gráfica circular con los porcentajes de los resultados para la pregunta: ¿Conoce o ha escuchado hablar de la cerveza sin alcohol?

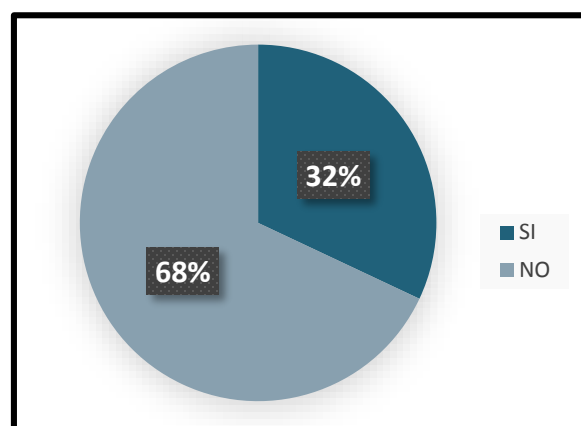


Figura 26. Gráfica circular con los porcentajes de los resultados para la pregunta: ¿Ha probado la cerveza sin alcohol?

De la población total, solo una cuarta parte conoce alguna marca de cerveza sin alcohol (Figura 27). Lo anterior es algo esperado, ya que como se ha mencionado, la cerveza sin alcohol es un producto nuevo en México y su popularidad es escasa aunque va en aumento. Otra razón es que este tipo de producto va dirigido a cierto segmento de consumidores, el cual, comparado a los que prefieren de una cerveza alcohólica es mucho menor.

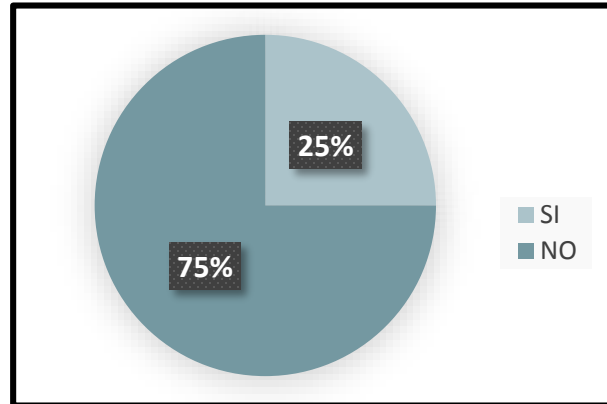


Figura 27. Gráfica circular con los porcentajes de los resultados para la pregunta: ¿Conoce alguna marca de cerveza sin alcohol?

Al conjunto de personas que conocen alguna o algunas marcas sin alcohol, se les pidió mencionaran dichas marcas. Como se puede apreciar en la Tabla 21, la marca “Sol Cero” que es una cerveza elaborada por la cervecera CM- Heineken México, fue la marca más mencionada. También, 5 consumidores mencionaron que conocen la marca O’Doul’s, la cual es una cerveza sin alcohol (0.5 % Alc. Vol.) importada por Grupo Modelo México que desde 2013 forma parte de Anheuser-Busch InBev. La cerveza Paulaner tuvo solo una mención, la cual, es una cerveza de trigo con un 0.5% Alc. Vol. producida en Alemania por la cervecería Paulaner München y que es importada a México por Paulaner México, que a su vez es representada en el país desde el año 2006 por Importadora G5C. Por último, las cerveza Pacifico y Tecate tuvieron una mención cada una; sin embargo, estas marcas no perfilan en el mercado como *cervezas sin alcohol*. Grupo Modelo México produce la cerveza “Pacifico Light” pero esta cerveza contiene una graduación alcohólica en volumen de 3%, por lo que no se puede catalogar como cerveza sin alcohol, simplemente como cerveza de bajo contenido alcohólico y baja en calorías.

Tabla 21. Marcas de cervezas mencionadas por los consumidores.

Marca de cerveza	N° de menciones por los consumidores
Sol Cero	14
O’Doul’s	5
Paulaner	1
Pacifico	1
Tecate	1

Una investigación hecha con base en el catálogo de oferta de productos de las cervecerías nacionales, el resultado es que en México solo una empresa produce cerveza sin alcohol, la cual es la marca “Sol Cero” producida por CM-Heineken México y que las otras marcas que están al alcance de los consumidores mexicanos son en efecto las cerveza O’Doul’s y la Cerveza Paulaner *non alcoholic*, siendo estas cervezas importadas.

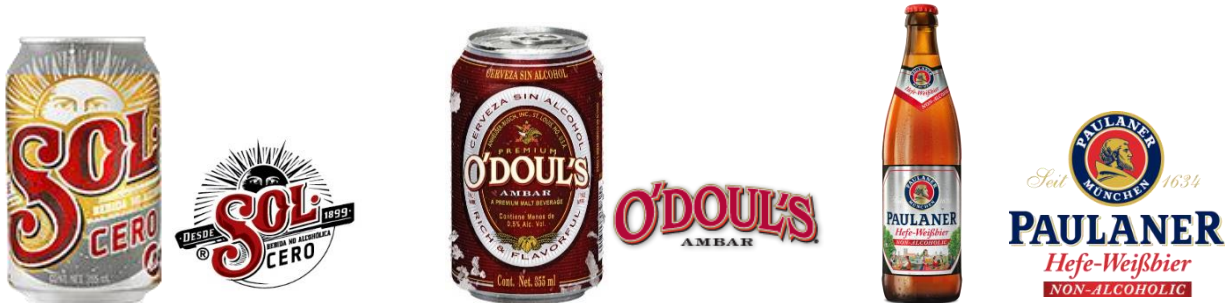


Figura 28. Imágenes de la presentación y logotipos de las cervezas sin alcohol al alcance de los consumidores mexicanos.

Fuentes: CM-Heineken México, 2015; Grupo Modelo México, 2015; Paulaner México, 2015

Por último, se preguntó a los consumidores si estarían dispuestos a pagar la cantidad de entre \$20.00 y \$25.00 por una cerveza artesanal sin alcohol de 360 mL, obteniendo como resultado que el 83% de los consumidores si estaría dispuesto a pagar dicha cantidad (Figura 29). El precio se estimó con base en los insumos utilizados, energía y agua utilizada durante el proceso de elaboración, botella y coronas, y otros gastos como impuestos, mano de obra, etiquetado, además de considerar que se trata de un producto artesanal (ver tabla 22).

Tabla 22. Costo aproximado de una botella de 360 mL de cerveza artesanal sin alcohol.

Insumo, materiales o energía	Gasto aproximado (\$)
Bagazo	El gasto puede ser considerado de cero, si se toma en cuenta que el bagazo es desechado.
Sémola nueva	1.60
Levadura	1.08
Lúpulo	1.30
Agua de proceso y servicio	0.75
Botella y corona	3.00
Energía y químicos de limpieza y desinfección	2.00
Otros gastos	3.00
Total	\$ 12.73

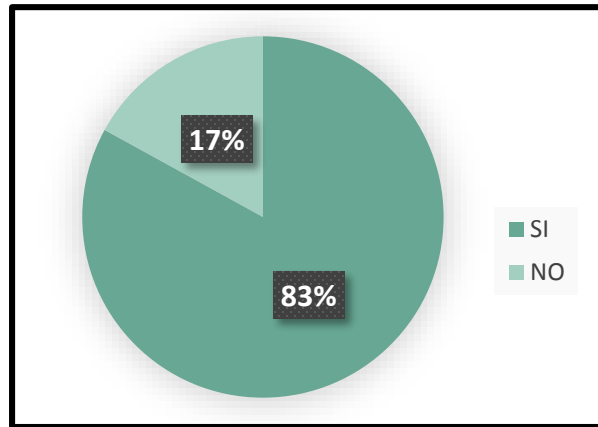


Figura 29. Gráfica circular que muestra los porcentajes de los resultados para la pregunta: ¿Estaría dispuesto a pagar la cantidad de entre \$20.00 a \$25.00 por una cerveza artesanal sin alcohol (360 mL)?

- Evaluación sensorial

Tras concluir la encuesta de estudio de mercado, se colocó a los consumidores las muestras codificadas aleatoriamente de las 3 cervezas sin alcohol y se les pidió que las probaran de izquierda a derecha señalando entre cada prueba su actitud hacia cada una de ellas (ver Figura 20).

Con base en las respuestas de los consumidores, los resultados obtenidos se analizaron estadísticamente. En la Figura 30 se muestran las medias calculadas y sus desviaciones estándar para cada muestra de cerveza. El informe de resumen del programa estadístico correspondiente al ANOVA de un factor para las cervezas 451, 023 y 876, se muestra en la Figura 31.

Muestra	Tamaño de la muestra	Estadísticas		
		Media	Desviación estándar	IC individual 95% para media
Cerveza 451	100	1.07	1.2493	(0.82212, 1.3179)
Cerveza 023	100	-0.5	1.7203	(-0.8414, -0.1586)
Cerveza 876	100	0.15	1.5201	(-0.1516, 0.45161)

Figura 30. Medias y desviaciones estándar calculadas para cada muestra de cerveza.

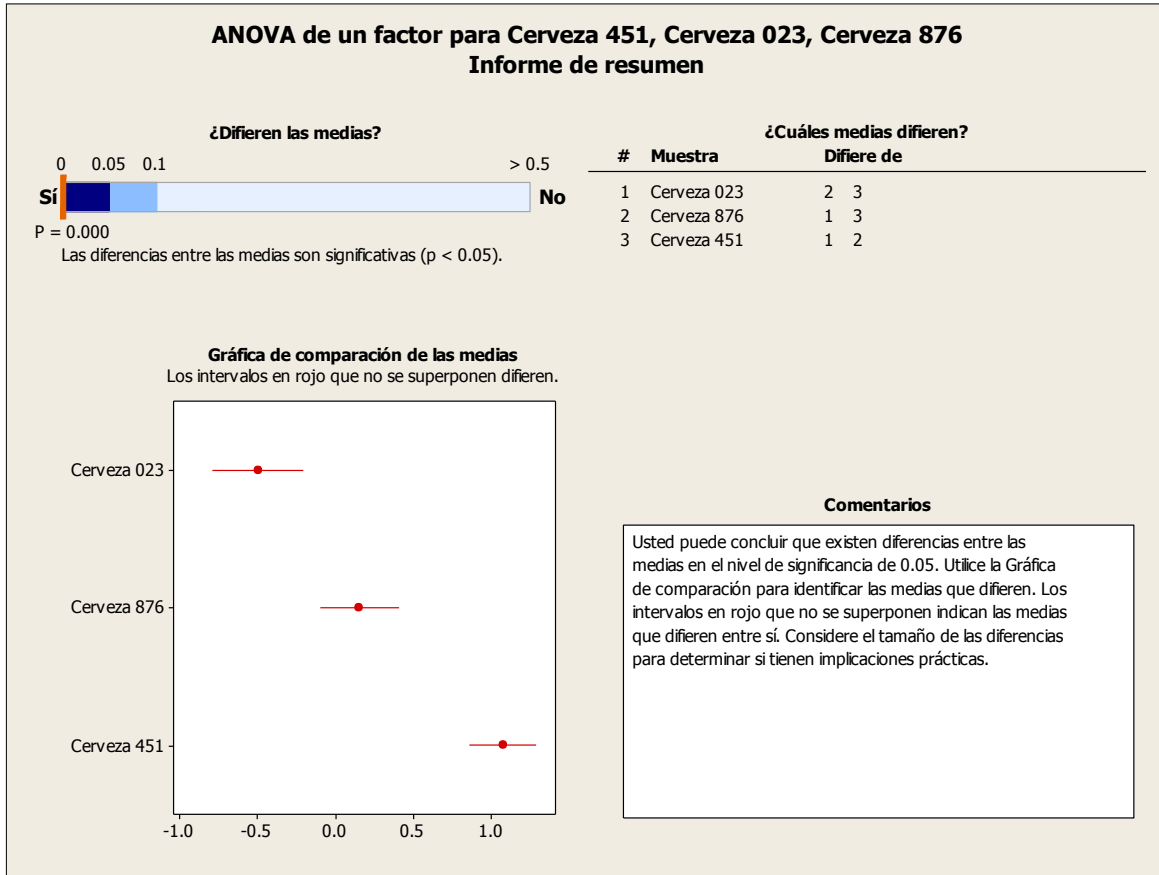


Figura 31. Informe de resumen de resultados del análisis estadístico elaborado en Minitab.

Como se puede apreciar en la figura 30, la media correspondiente a la cerveza **451 (cerveza comercial “Sol Cero”)** fue de 1.07, obteniendo como resultado con base en la escala hedónica de 7 puntos, que esta cerveza “gusta ligeramente” a los consumidores. Esta muestra presenta la desviación estándar más baja, concluyendo que las respuestas de cada uno de los consumidores hacia esta cerveza en comparación a las otras dos, tuvieron menos discrepancia respecto al promedio. **La cerveza 023 (cerveza 2)** presenta una media de -0.5, lo que la coloca en la escala hedónica como una cerveza que prácticamente disgustó al consumidor de forma ligera, y al presentar la desviación estándar más grande, se puede asumir que la opinión de los consumidores hacia esta cerveza es más variada respecto al promedio obtenido, ya sea de forma positiva o negativa (ver figura 30). Finalmente, la cerveza **876 (cerveza 1)** presenta una media de 0.15, colocándola más bien como una cerveza que “ni gustó ni disgustó” a los consumidores, pudiendo asumir que las respuesta de los consumidores hacia esta cerveza son más homogéneas que las de la cerveza 2 pero menos homogéneas que las de la cerveza comercial.

El informe de resumen, concluye que sí existe diferencia significativa entre las medias de las 3 muestras tomando un nivel de significancia de 0.05. Para apreciar mejor los resultados de los consumidores, se muestra en la figura 32 el Informe de diagnóstico con gráficas de la distribución de los resultados para cada cerveza y gráficas de cada respuesta de los consumidores.

Se puede concluir que la cerveza comercial “Sol Cero” fue la preferida entre las 3 cervezas por los consumidores con un nivel de agrado de “gusta ligeramente”. Los consumidores posicionan a la cerveza 1 de mejor manera que a la cerveza 2, aunque mostrándose indiferente a su sabor con un nivel de agrado de “ni gusta ni disgusta”.

Al haber diferencia significativa entre las cervezas 1 y 2 en su nivel de agrado, la cerveza 1 fue seleccionada para ser comparada con las propiedades físicas, fisicoquímicas y sensoriales de una cerveza comercial, la cual fue la cerveza “Sol Cero”.

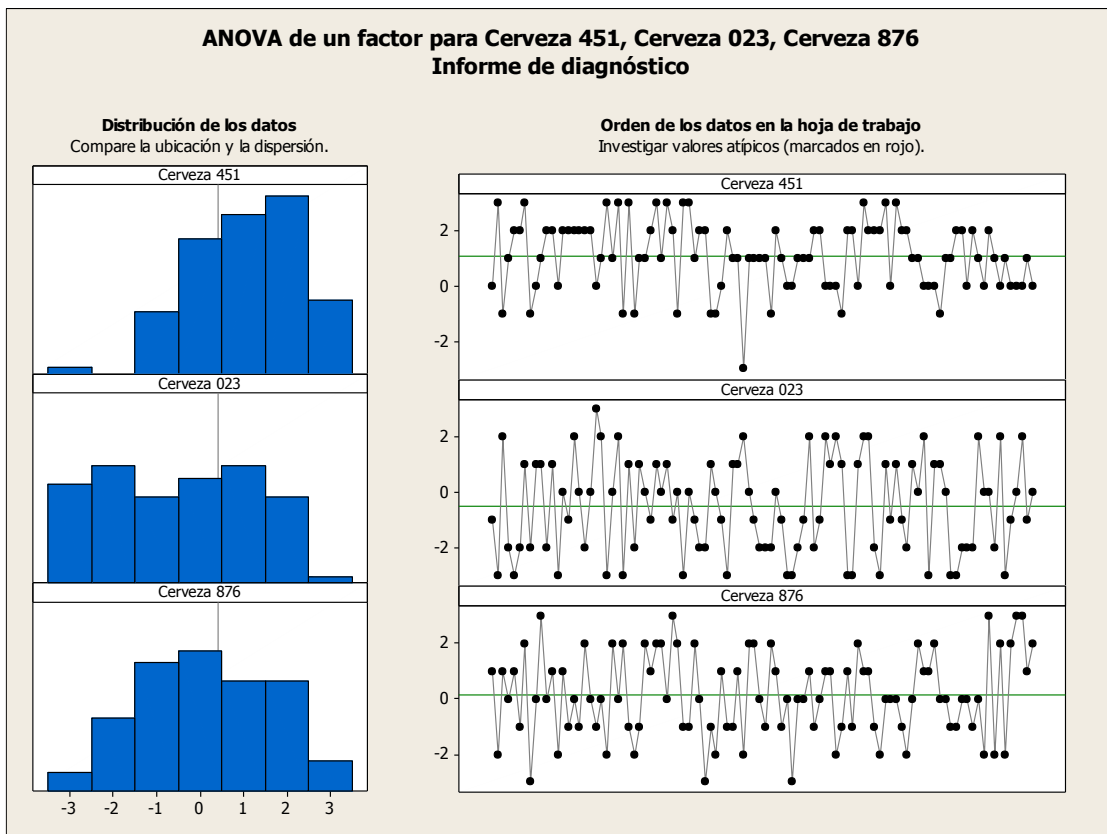


Figura 32. Informe de diagnóstico para los resultados de las tres cervezas.

3.6. Propiedades físicas, fisicoquímicas y sensoriales de la cerveza comercial y su comparación con las de la cerveza 1

Las propiedades determinadas a la cerveza comercial fueron el peso específico, pH y color. Los valores de % Alc. Vol. y el contenido calórico se tomaron de lo reportado por el envase de la bebida. Estas propiedades de la cerveza comercial fueron comparadas con la de la cerveza 1, además de lo obtenido de la evaluación sensorial. Los datos de las propiedades antes descritas para la cerveza comercial y la cerveza 1 se presentan en la tabla 23.

Tabla 23. Propiedades de la cerveza comercial y la cerveza sin alcohol 1.

Propiedad*	Cerveza comercial	Cerveza 1	Existe diferencia significativa entre los valores
Peso específico	1.004	1.002	No
% Alc. Vol.	0.5	1.07	Sin información
Color (EBC)	6.67	8.30	Si
Contenido calórico (kJ/100 mL)	49.90	51.26	Sin información
pH	4.21	4.58	Si
Media obtenida de la calificación de la evaluación sensorial	1.07 “ <i>gusta ligeramente</i> ”	0.15 “ <i>ni gusta ni disgusta</i> ”	Sin información

* Medias de valores entre 3 pruebas efectuadas.

- **Peso específico**

Como se puede apreciar en la tabla 23, el PE de la cerveza comercial es superior aunque no por mucho que la cerveza 1. Ya que no se puede saber las propiedades originales del mosto dulce y el mosto lupulado de la cerveza comercial, es difícil saber el porqué de su valor de densidad. Una de las razones puede ser que la cerveza comercial está elaborada bajo alguno de los procesos físicos para retirar al alcohol, procesos que, como se mencionó en los antecedentes, se basan en la remoción del alcohol de una cerveza “normal” permitiendo mantener todos los compuestos y características de esta. Estos compuestos que son mantenidos en la cerveza sin alcohol comercial pueden ser la causa del aporte al cuerpo del producto. Otra razón puede ser atribuida al alcohol, ya que la cerveza 1 al contener mayor % de etanol que la cerveza

comercial, este puede influir disminuyendo el “cuerpo” de la cerveza ya que como se sabe la densidad del etanol es menor que la del agua.

Respecto al peso específico se concluye que estadísticamente no existe diferencia significativa entre la cerveza comercial y la cerveza sin alcohol 1.

- **% Al. Vol.**

Probablemente el menor contenido en alcohol de la cerveza comercial se deba al proceso por el que se obtiene (método físico); los métodos físicos de remoción de alcohol permiten obtener cervezas con muy bajo contenido alcohólico, caso contrario a los métodos biológicos donde la obtención de contenidos alcohólicos bajos es más difícil (Brányik *et al.*, 2011; Hornsey, 1999; Soprano, 2008). Ambas cervezas se pueden catalogar en el país como cervezas sin alcohol, sin embargo en otros países esto cambia. Como se explicó en el punto 1.5.1 de la sección antecedentes, cada país o región del mundo tiene una normatividad diferente para considerar a una cerveza como no alcohólica. Por ejemplo, la cerveza comercial en la mayoría de los países de la Unión Europea si podría considerarse como cerveza libre de alcohol, pero la cerveza 1 no sería, simplemente entraría como cerveza de bajo contenido alcohólico. En España ambas podrían considerarse cervezas sin alcohol. En el Reino Unido ninguna de las dos podría considerarse como cervezas sin alcohol ya que se requiere un % Alc. Vol. < 0.1, por lo que solo se considerarían como cervezas bajas en alcohol (Andrés *et al.*, 2015; Brányik *et al.*, 2011; Hornsey, 1999; Código Alimentario Argentino, Res Conj. 63 y 345/02).

Por lo que se puede decir que, aunque el contenido alcohólico de la cerveza 1 es superior al de la cerveza comercial, esta puede ser comercializada en el país como cerveza libre de alcohol o como *bebida no alcohólica* al igual que la cerveza comercial (NOM 142, 1995).

- **Color**

La cerveza comercial presentó menor coloración frente a la cerveza 1. Una probable explicación a lo anterior es que las cervezas industrializadas son sometidas a estrictos procesos de filtración-clarificación, produciendo entonces cervezas más clarificadas, y que caso contrario, las cervezas artesanales carecen muchas veces de proceso de clarificación produciendo más bien cervezas turbias u opacas. Sin embargo, esto no es un problema o desventaja para el cervecero artesanal,

donde inclusive muchas veces se busca esa turbidez u opacidad en el producto pasando a ser una característica distintiva de sus cervezas.

Aunque estadísticamente existe diferencia significativa entre el color de las cervezas, se puede asumir que el color es una propiedad que es característica de cada cerveza y estilo, pudiendo ser este más o menos en una u otra cerveza y tener en ambos casos productos de calidad.

- **Contenido calórico**

El contenido calórico entre ambas cervezas no difiere mucho, siendo ligeramente mayor en la cerveza 1 que en la comercial, esto se atribuye al contenido alcohólico superior en la cerveza 1. Con estos valores en contenido de calorías, se puede concluir con base en el estudio de PROFECO (2011), que ambas cervezas pueden ser consideradas como productos bajos en calorías, pudiendo ser consumidas por personas con sobrepeso y obesidad o por aquellas que se encuentre bajo una dieta baja en calorías (PROFECO, 2011; Martínez *et al.*, 2011).

- **pH**

De acuerdo a lo reportado por Martínez *et al.* (2011) respecto a valores de pH en su análisis hecho a 6 cervezas comerciales sin alcohol, donde reporta valores de entre 4.01 a 4.79, tanto la cerveza comercial y la cerveza 1 obtenida a partir de bagazo, se encuentran dentro de este intervalo de pH. Se esperaban valores más altos de pH de la cerveza comercial respecto a la cerveza 1 debido a la utilización de bagazo en esta última, sin embargo no lo fue, por lo que se tendría que saber más de la *historia* e insumos y aditivos utilizados en la elaboración de la cerveza comercial para poder determinar las causas de su acidez.

- **Evaluación sensorial: nivel de agrado referente al sabor global de las cervezas**

Como ya se reportó en páginas anteriores, la cerveza comercial obtuvo una mejor calificación durante la prueba sensorial efectuada. Como se mencionó, la cerveza comercial fue calificada por los consumidores con un nivel de agrado de “gusta ligeramente” mientras que la cerveza sin alcohol 1 fue evaluada como “ni gusta ni disgusta”. Aunque lo mejor para este proyecto hubiera sido el desarrollo de una cerveza sin alcohol con mejor apreciación para los consumidores, el resultado obtenido era algo esperado. Como lo menciona la bibliografía, la obtención de cerveza sin alcohol por los llamados procesos físicos (basados en la remoción suave del alcohol de una cerveza regular), es de calidad sensorial generalmente buena. Por su lado los procesos

biológicos (basados en la producción limitada de etanol durante la fermentación), presentan el inconveniente que los productos obtenidos se caracterizan por una mala calidad en sabor y olor (Brányik *et al.*, 2011). La principal desventaja de los procesos físicos es que se requiere de grandes inversiones en equipo especializado, mientras que los procesos biológicos tiene la ventaja de que se pueden desarrollar generalmente en equipos tradicionales de cervecería.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las condiciones de maceración, relación bagazo: sémola, relación agua: bagazo-sémola y perfil tiempo-temperatura (perfil de maceración), y su interacción entre las tres, tuvieron un efecto significativo sobre el porcentaje de maltosa en los mostos dulces (cantidad de azúcares fermentables o reductores), pudiendo ser de importancia para el cervecero artesanal o casero, el variar de una o de otra forma estas condiciones para obtener un perfil específico de azúcares en el mosto dulce.

Se observó que al utilizar una relación de bagazo: sémola de 80-20 (%), una relación de bagazo-sémola: agua 1 a 3 y un perfil de maceración de 55 minutos se obtiene un mosto de baja densidad con el porcentaje de maltosa más alto (1.4714). Al utilizar una relación de bagazo: sémola de 90-10 (%), una relación de bagazo-sémola: agua 1 a 4 y un perfil de maceración de 35 minutos se obtiene un mosto de baja densidad con el porcentaje de maltosa más bajo (0.7968). El mosto de baja densidad con un nivel medio en azúcares (1.0110 % de maltosa) se obtuvo al utilizar una relación de bagazo: sémola de 80-20 (%), una relación de bagazo-sémola: agua 1 a 4 y un perfil de maceración de 55 minutos.

Las cervezas hechas a partir de estos mostos, presentaron diferentes niveles en porcentajes de alcohol por volumen, concluyendo de lo anterior que la cerveza 3 no pudo ser clasificada como cerveza sin alcohol según las normas en la materia vigentes en el país. Mientras que las cervezas 1 y 2 si pueden catalogarse como *cervezas sin alcohol*, por presentar ambas contenidos de alcohol < 2% v/v, pudiendo además catalogarse como cervezas bajas en calorías.

La cerveza 1 fue mejor calificada por los consumidores y fue la seleccionada para ser comparada con una cerveza comercial. Propiedades como el peso específico, color y pH de la

cerveza comercial y la cerveza 1 no muestran diferencias significativa entre ellas, y donde las hay no determinará la buena o mala calidad de ellas (a excepción del pH en algunos casos).

La obtención de una cerveza sin alcohol a partir de bagazo fue posible. La cerveza obtenida presenta cantidades de alcohol en el margen del 1% v/v pudiendo ser una alternativa a los consumidores responsables y que por diferentes causas no pueden consumir grandes cantidades de alcohol y que puede ser integrada a dietas hipocalóricas.

El estudio de mercado arroja que la mayoría de los consumidores han escuchado de la cerveza sin alcohol, aunque la mayoría no ha probado ni conoce alguna marca, pero los consumidores están dispuestos a pagar entre \$20.00 y \$25.00 por una cerveza sin alcohol de 360 mL, por lo tanto este puede ser un nicho de mercado de interés para el cervecero artesanal.

Finalmente se concluye que el método de granos gastados o maceración del bagazo para la obtención de una cerveza sin alcohol (<2% Alc. Vol.) es viable para ser escalado y aplicado a la industria cervecera artesanal o casera, ya que se demostró que no se requieren de grandes inversiones ni de equipo especializado para obtenerla y se logró la obtención de 2 cervezas diferentes a partir de un mismo lote de malta, una cerveza de alta densidad y alto contenido alcohólico (cerveza madre) y la cerveza sin alcohol (cerveza 1). Además otra ventaja se presenta cuando existe la posibilidad de que el bagazo de la segunda maceración (obtención de cervezas sin alcohol) puede ser reutilizado y emplearse como alimento para ganado o como composta, e inclusive como fuente de fibra en la elaboración de pan o galletas. Por eso, se recomienda que en investigaciones futuras, la composición química del bagazo procedente de la segunda maceración sea evaluada y así determinar su factibilidad de usarlo como se mencionó, como forraje, composta o fuente de fibra en la producción de alimentos.

Dado que se presentó el inconveniente de obtener cervezas “indiferentes al consumidor”, se recomienda que este proyecto sea retomado y se trabaje sobre el perfil de sabor de la cerveza, pudiendo por tanto, ser enfocado más bien a un proyecto de carácter sensorial.

5. REFERENCIAS

- 1) ABREU, J., GONZÁLEZ, J., RODRÍGUEZ, Y. (2008). “Mejoramiento de la floculación de cepas de levadura cervecera”. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*. Vol. 18, No. 2. Cuba.
- 2) ANAYA, I., LÓPEZ, L., WONG, A. (2013). “Cerveza sin alcohol por fermentación limitada”. *Cerveza y malta*. L (3° Trim.) No 199. España. Asociación Española de Técnicos de Cerveza y Malta.
- 3) ANDRES, C., GARCÍA, J., MONTERO, O., BLANCO, C. (2015). “Simulation and flavor compound analysis of dealcoholized beer via one-step vacuum distillation”. *Food Research International*, Elsevier. España.
- 4) ANTÚNEZ, M. (2013). “Especial: cerveza artesanal en México” [En línea]. Soy Entrepreneur.com. [Fecha de consulta: 20 de mayo de 2015]. Disponible en: <http://www.soyentrepreneur.com/25283-especial-cerveza-artesanal.html>
- 5) ANZALDÚA, A. (1994). “La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica”. Acribia. España.
- 6) AOAC, Association of Official Analytical Chemists (2000). Horwitz, W. (Ed.). 17 edición. Maryland
- 7) AQUÍ ES QUERÉTARO. (2013). “La cerveza en México”. [En línea]. Aquí es Querétaro. [Fecha de consulta: 28 de Agosto]. Disponible en: <http://aquiesqueretaro.com/2013/01/11/la-cerveza-en-mexico/>
- 8) ARTEAGA, J. “Productores van por la ‘corona’ de la cerveza artesanal”. (2013). [En línea]. Forbes México. [Fecha de consulta: 18 de Agosto de 2015]. Disponible en: <http://www.forbes.com.mx/productores-van-por-la-corona-de-la-cerveza-artesanal/>
- 9) ARRANZ, S., CHIVA, G., VALDERAS, P., MEDINA, A., LAMUELA, R., ESTRUCH, R. (2012). “Wine, Beer, Alcohol and Polyphenols on Cardiovascular Disease and Cancer”. *Nutrients*. No. 4.España.
- 10) BAMFORTH, C. (2006). “Brewing: New Technologies”. Woodhead Publishing Limited. England.
- 11) BAMFORTH, C. (2009). “Beer: a quality perspective” Academic Press, Elsevier. USA.
- 12) BAXTER, E. Y HUGHES P. (2004). “Cerveza; Calidad, higiene y características nutricionales”. Acribia. España.
- 13) BRÁNYIK, T., SILVA, D., BASZCZYŃSKI, M., LEHNERT, R., ALMEIDA, J. (2011). “A review of methods of low alcohol and alcohol-free beer production.” *Journal of Food Engineering*, Elsevier. Brazil.
- 14) BERGER, C. (1988). “El libro del amante de la cerveza”. JJ Olañeta (Ed.). España.
- 15) BREWMASTERS (2015). “Lúpulos”. [En línea]. Brewmasters.com. [Fecha de consulta: 2 de Julio de 2015]. Disponible en: <http://brewmasters.com.mx/>
- 16) CALDERONI, J. (2011). “Levaduras para cerveza”. [En línea]. El Blog del cervecero. [Fecha de consulta: 15 de Julio de 2015]. Disponible en: <http://www.verema.com/blog/el-blog-del-cervecero/992074-levaduras-para-cerveza>
- 17) CALSAMIGLIA, S., FERRET, A., BACH, A. (2004). “Tablas FEDNA de valor nutritivo de forrajes y subproductos fibrosos húmedos”. [En línea]. Fundación para el Desarrollo de la Nutrición Animal (FEDNA). [Fecha de consulta: 25 septiembre de 2015]. España. Disponible en: http://www.fundacionfedna.org/subproductos_fibrosos_humedos/bagazo-de-cerveza-h%C3%BAmedo
- 18) CAMERONI, M. “Lúpulo”. (2012). [En línea]. Ficha cono de lúpulo. [Fecha de consulta: 20 de junio de 2014]. Disponible en:

- http://www.alimentosargentinos.gov.ar/contenido/sectores/aromaticas/productos/lupulo_2013_08Ago.pdf
- 19) LALLEMAND. (2014). “Catálogo de productos Lallemand”. Lallemand Inc. Canadá
 - 20) CERVECERO DE FIN DE SEMANA. (2015). “Malteando cebada”. [En línea]. Cerveceros Chapin. [Fecha de consulta: 10 de septiembre de 2015]. Disponible en: <http://cervecerochapin.blogspot.mx/2015/01/malteando-cebada.html>
 - 21) CERVECEROS DE ESPAÑA. (2014). “Informe socioeconómico del sector de la cerveza en España”. [En línea]. Publicación conjunta con el Gobierno de España. [Fecha de consulta: 25 de Agosto de 2015]. Disponible en: http://www.cerveceros.org/pdf/CE_Informe_socioeconomico_2014.pdf
 - 22) CERVEZA ARTESANA. (2014). “Viaje a Sumeria”. [En línea]. Cerveza artesana. [Fecha de consulta: 28 de Agosto de 2015]. Disponible en: <http://cervezartesana.es/tienda/blog/sumeria.html>
 - 23) CÓDIGO ALIMENTARIO ARGENTINO. (2002). “Capítulo XIII: Bebidas fermentadas, Cervezas”. [En línea]. Todo cerveza.com [Fecha de consulta: 24 de Agosto de 2015]. Disponible en: http://www.todocerveza.com.ar/docs/CAPITULO_XIII_Beb_Fermentadas_actualiz_06-04.pdf
 - 24) CM-HEINEKEN MÉXICO (2015). “Nuestras marcas: Sol Cero”. [En línea]. Cuamoc. Com [Fecha de consulta: 30 de septiembre de 2015]. Disponible en: <http://www.cuamoc.com/es/cerveza/sol-cero>
 - 25) ENSMINGER, P. (2006). “Beer Data: Alcohol, Calorie, and Attenuation Levels of Beer”. [Fecha de consulta: 19 de septiembre de 2015]. Disponible en: <http://hbd.org/ensmingr/>
 - 26) ESTRUCH, R. (2014). “Efectos cardiosaludables de la cerveza con y sin alcohol”. *Nutrición Hospitalaria*. Vol. 30. No 2. España.
 - 27) EUMANN. (2006) “9: Water in brewing”. En el libro “Brewing; New technologies”. Editado por Bamforth. Woodhead Publishing Limited. England.
 - 28) FUENTES, M. (2014). “México social: Alcoholismo un peligro creciente”. [En línea]. Excelsior en línea [Fecha de consulta: 21 de mayo de 2015]. Disponible en: <http://www.excelsior.com.mx/nacional/2014/07/01/968321>
 - 29) GARCÍA, M. (2013) “Curso malta y cerveza”. Facultad de química. Ciudad Universitaria UNAM. México.
 - 30) GARCÍA-GARIBAY, M., QUINTERO, R., LÓPEZ, A. (2002). “Biotecnología Alimentaria”. Limusa. México.
 - 31) GIL, V. (2013). “10 Curiosidades del lúpulo y su relación con la cerveza”. [En línea]. VEREMA. [Fecha de consulta: 3 de septiembre de 2015]. Disponible en: <http://www.verema.com/blog/Cervezas/1122768-10-curiosidades-lupulo-relacion-cerveza>
 - 32) GONZÁLEZ, S. (2013). “México, sexto lugar mundial en consumo de cerveza: 62 litros en promedio por persona”. [En línea]. La jornada; periódico en línea. [Fecha de consulta: 7 de junio de 2014]. Disponible en: <http://www.jornada.unam.mx/2013/04/07/economia/025n1eco>
 - 33) GREGAR. (2003) “Recipe: English Pale Ale by Gregar”. Beer Smith, Homebrewing.
 - 34) GRUPO MODELO MÉXICO. (2015). “Importadas: O’Doul’s”. [En línea]. Grupomodelo.com. [Fecha de consulta: 30 de septiembre de 2015]. Disponible en: http://www.grupomodelo.com.mx/marcas/marcas_importadas_odouls.jsp
 - 35) HORNSEY, I. (1999). “Elaboración de cerveza; Microbiología, bioquímica y tecnología”. Acribia. España.
 - 36) HOUGH, J. (1990). “Biotecnología de la cerveza y de la malta”. Acribia. España.
 - 37) IBAÑEZ, F., BARCINA, Y. (2001). “Análisis sensorial de alimentos. Métodos y aplicaciones”. Springer. España
 - 38) INSUMOS CERVECEROS. (2015). “Malta caramelo, especificaciones técnicas”. Disponible en: <http://www.insumoscerveceros.com/cerveza-artesanal-maltas-adjuntos/malta-caramelo>

- 39) KIRIN BEER UNIVERSITY. (2014). “Global Beer Consumption by Country in 2012”. [En línea]. Kirin Holdings. [Fecha de consulta: 2 de septiembre de 2015]. Disponible en: http://www.kirinholdings.co.jp/english/news/2014/0108_01.html
- 40) KIRIN BEER UNIVERSITY. (2014). “Global Beer Consumption by Country in 2013”. [En línea]. Kirin Holdings. [Fecha de consulta: 2 de septiembre de 2015]. Disponible en: http://www.kirinholdings.co.jp/english/news/2014/1224_01.html
- 41) KIRIN BEER UNIVERSITY. (2014). “Global Beer Production by Country in 2013”. [En línea]. Kirin Holdings. [Fecha de consulta: 2 de septiembre de 2015]. Disponible en: http://www.kirinholdings.co.jp/english/news/2014/0808_01.html
- 42) KRONES AG. (2015). “Steinecker Pegasus; Intelligent Lautering Technology”. [En línea]. Krones AG. [Fecha de consulta: 10 de septiembre de 2015]. Disponible en: <http://www.krones.com/en/products/process-technology/lautering-beer.php>
- 43) KUNZE, W. (2006). “Tecnología para cerveceros y malteros”. 1^{ra} ed. en español. VLB. Alemania.
- 44) LEWIS, M. (1993) “Propiedades físicas de los alimentos y de los sistemas de procesado”. (Traducción de Julián Zapico y Juan Pablo Barrio). Acribia. España.
- 45) LEWIS, M. and YOUNG, T. (1995). “Mashing technology, in Brewing”. Chapman & Hall. London.
- 46) MAGADÁN, J., OLMEDO, J., PIÑEIRO, J., VALLADARES, J., GARCÍA, J., FERNÁNDEZ, J. (2011). “Guía del cultivo del lúpulo”. España.
- 47) MAGLIANO, P., PRYSTUPA, P., GUTIÉRREZ, F. “Contenido proteico en granos de distinto tamaño en cebada cervecera”. (2014). [En línea]. Universidad de Buenos Aires. [Fecha de consulta: 28 de Julio de 2015]. Disponible en: [http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/83BA638CE3263AD185257CE9007CE74D/\\$FILE/14.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/83BA638CE3263AD185257CE9007CE74D/$FILE/14.pdf)
- 48) MARTÍNEZ, J., VILLARINO, A., COBO, J. (2011). “Cerveza sin alcohol. Sus propiedades.” Sociedad Española de Dietética y Ciencias de la Alimentación (SEDCA). España.
- 49) MENDOZA, V. (2013). “Cerveza artesanal complementa, no compite: Cuauhtémoc-Moctezuma”. [En línea]. Forbes México. [Fecha de consulta: 18 de Agosto de 2015]. Disponible en: <http://www.forbes.com.mx/cerveza-artesanal-complementa-no-compite-cuauhtemoc-moctezuma/>
- 50) MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE. (2015). “Cebada de seis carreras”. [En línea]. Gobierno de España. [Fecha de consulta: 8 de Septiembre de 2015]. Disponible en: <http://www.magrama.gob.es/app/MaterialVegetal/fichaMaterialVegetal.aspx?idFicha=1485>
- 51) MONTARI, L., MARCONI, O., MAYER, H., FANTOZZI, P. (2009). “6: Production of Alcohol-Free Beer”. En el libro: *Beer in health and disease prevention*. Editado por Preedy V. USA.
- 52) MONTOYA, S. (2015). “Cerveza sin alcohol: beneficios sin consecuencias”. [En línea]. Salud y Medicinas.com. [Fecha de consulta: 25 de Agosto de 2015]. Disponible en: <http://www.saludymedicinas.com.mx/centros-de-salud/nutricion/articulos/cerveza-sin-alcohol-beneficios-sin-consecuencias.html>
- 53) MORALES, C. (2015). “La cerveza artesanal en México”. [En línea]. México desconocido. [Fecha de consulta: 18 de Agosto de 2015]. Disponible en: <http://www.mexicodesconocido.com.mx/cerveza-artesanal-mexico.html>
- 54) MUSSATTO, S., DRAGONE, G., ROBERTO, I. (2004). “Brewers’ spent grain: generation, characteristics and potential applications”. *Journal of Cereal Science*. 43, 1-14. Elsevier. Brazil.
- 55) NARZISS, L. (1992). *Brauwelt Int*. En: MONTARI, L., MARCONI, O., MAYER, H., FANTOZZI, P. (2009). “6: Production of Alcohol-Free Beer”. En el libro: *Beer in health and disease prevention*. Editado por Preedy V. USA
- 56) NMX-F-312-1978. DETERMINACIÓN DE REDUCTORES DIRECTOS Y TOTALES

- 57) EN ALIMENTOS. NORMAS MEXICANAS. DIRECCIÓN GENERAL DE NORMAS.
- 58) NORMA Oficial Mexicana NOM-142-SSA1-1995, Bienes y servicios. Bebidas alcohólicas. Especificaciones sanitarias. Etiquetado sanitario y comercial.
- 59) NORMA Oficial Mexicana NOM-142-SSA1/SCF1-2014, Bebidas alcohólicas. Especificaciones sanitarias. Etiquetado sanitario y comercial.
- 60) NOTIMEX (2014). “Cerveza artesanal va por más paladares en México”. [En línea]. EL UNIVERSAL. mx. [Fecha de consulta: 22 de mayo de 2015]. Disponible en: <http://www.eluniversal.com.mx/finanzas-cartera/2014/cerveza-artesanal-mexico-980671.html>
- 61) OLMO, A., BLANCO, C., PALACIO, L., PRÁDANOS, P., HERNÁNDEZ, A. (2014). “Pervaporation methodology for improving alcohol-free beer quality through aroma recovery”. Journal of Food Engineering, Elsevier. España.
- 62) PALLARES, M. (2014). “Cerveceros artesanales, con potencia para crecer”. [En línea]. EL UNIVERSAL. mx. [Fecha de consulta: 21 de mayo de 2015]. Disponible en: <http://archivo.eluniversal.com.mx/finanzas-cartera/2014/impreso/cerveceros-artesanales-con-potencial-para-crecer-112414.html>
- 63) PANREAC (1983). “Métodos oficiales de análisis: Cereales, derivados de cereales y cerveza”. Panreac química S.A. Montplet & Esteban.
- 64) PAULANER MÉXICO. (2015). “Cervezas” [En línea]. Paulaner.com. [Fecha de consulta: 30 de septiembre de 2015]. Disponible en: <http://www.paulaner.com.mx/cervezas/>
- 65) PAVSLER, A. & BUIATTI, S. (2009). “2: Non-lager Beer”. En el libro: *Beer in health and disease prevention*. Editado por Preedy V. USA
- 66) PREEDY, V. (2009). “Beer in health and disease prevention”. Academic Press, Elsevier. USA.
- 67) PROFECO (2011). “Estudio de calidad: cervezas. Brindis, espuma y calorías”. [En línea]. Revista del consumidor Profeco. [Fecha de consulta: 22 de mayo de 2015]. Disponible en: <http://revistadelconsumidor.gob.mx/wp-content/uploads/2011/09/estudio-cervezas.pdf>
- 68) SERNA, S. (2001). “Química, almacenamiento e industrialización de los cereales.” AGT Editor. México.
- 69) SERNA, S. (2013). “Química, almacenamiento e industrialización de los cereales”. AGT editor, S.A. Segunda edición. México.
- 70) SILVA, D., BRÁNYIK, T., TEIXEIRA, J.A., ALMEIDA, E., SILVA, J.B. (2010). “Alcohol-free beer” *Bebidas Alcoolicas: Ciencia e Tecnologia*. Vol.1. Sao Paulo, pp. 69–83.
- 71) SOPRANO, M. (2008). “Producción de cerveza sin alcohol mediante un proceso de diálisis”. Informe de pasantía. Venezuela.
- 72) STATISTA. (2015). “Beer production worldwide from 1998 to 2014”. [En línea]. Statista: The statics portal. [Fecha de consulta: 2 de septiembre de 2015]. Disponible en: <http://www.statista.com/statistics/270275/worldwide-beer-production/>
- 73) THE LAUTER TUN. (2009). “Heineken Brewing”. [En línea]. Heineken. [Fecha de consulta: 9 de septiembre de 2015]. Disponible en: http://www.daltraining.eu/WebHelp/Heinekenbrewing2009.htm#002_Sweet_wort_production/2.4.4.The_Lauter_Tun.htm
- 74) VEGA, T. (2004). “Guía para la elaboración de aceites comestibles. Caracterización y procesamiento de nueces”. Convenio Andrés Bello (CAB). Colombia.
- 75) VOGRIG, W. (2004). “Cálculo de IBU’s”. [En línea]. Revista MASH. [Fecha de consulta: 8 de Septiembre de 2015]. Disponible en: <http://www.revistamash.com/detalle.php?id=71>
- 76) WILSON. (2008). “¿Cómo leer un hidrómetro?”. [En línea]. Cerveza artesanal. [Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2015]. Disponible en: <http://mi-cervezaartesanal.blogspot.mx/>

6. ANEXOS

Tabla A1. Azúcar reductor total requerido para completar la reducción de 10 mL de solución Soxhlet (método volumétrico de Lane-Eynon).

Titulación	g Sacarosa/ 100 mL Azúcar Invertido			
	1	5	10	25
Requerido para la reducción de 10 mL de solución Soxhlet				
15	49.9	47.6	46.1	43.4
16	50.0	47.6	46.1	43.4
17	50.1	47.6	46.1	43.4
18	50.1	47.6	46.1	43.3
19	50.2	47.6	46.1	43.3
20	50.2	47.6	46.1	43.2
21	50.2	47.6	46.1	43.2
22	50.3	47.6	46.1	43.1
23	50.3	47.6	46.1	43
24	50.3	47.6	46.1	43.9
25	50.4	47.6	46	43.8
26	50.4	47.6	46	43.8
27	50.4	47.6	46	43.7
28	50.5	47.7	46	43.7
29	50.5	47.7	46	43.6
30	50.5	47.7	46	43.5
31	50.6	47.7	45.9	43.5
32	50.6	47.7	45.9	43.4
33	50.6	47.7	45.9	43.3
34	50.6	47.7	45.8	43.2
35	50.7	47.7	45.8	43.2
36	50.7	47.7	45.8	43.1
37	50.7	47.7	45.7	43
38	50.7	47.7	45.7	43
39	50.8	47.7	45.7	41.9
40	50.8	47.7	45.6	41.8
41	50.8	47.7	45.6	41.8
42	50.8	47.7	45.6	41.7
43	50.8	47.7	45.5	41.6
44	50.9	47.7	45.5	41.5
45	50.9	47.7	45.4	41.4
46	50.9	47.7	45.4	41.4
47	50.9	47.7	45.3	41.3
48	50.9	47.7	45.3	41.2
49	51.0	47.7	45.2	41.1
50	51.0	47.7	45.2	41

Fuente: AOAC, 2000.

Tabla A2. Contenido en alcohol por volumen correspondiente a una gravedad específica de 20°C/20°C.

Gravedad Específica	% Alc. Vol. 20 °C	Gravedad Específica	% Alc. Vol. 20 °C	Gravedad Específica	% Alc. Vol. 20 °C	Gravedad Específica	% Alc. Vol. 20 °C
1.0000	0.00	0.9969	2.09	0.9938	4.26	0.9907	6.57
0.9999	0.07	0.9968	2.15	0.9937	4.33	0.9906	6.65
0.9998	0.13	0.9967	2.22	0.9936	4.4	0.9905	6.73
0.9997	0.2	0.9966	2.29	0.9935	4.48	0.9904	6.8
0.9996	0.26	0.9965	2.36	0.9934	4.55	0.9903	6.88
0.9995	0.33	0.9964	2.43	0.9933	4.62	0.9902	6.96
0.9994	0.4	0.9963	2.5	0.9932	4.69	0.9901	7.04
0.9993	0.46	0.9962	2.57	0.9931	4.77	0.9900	7.12
0.9992	0.53	0.9961	2.64	0.9930	4.84	0.9899	7.19
0.9991	0.6	0.9960	2.7	0.9929	4.91	0.9898	7.27
0.9990	0.67	0.9959	2.77	0.9928	4.98	0.9897	7.35
0.9989	0.73	0.9958	2.84	0.9927	5.06	0.9896	7.43
0.9988	0.8	0.9957	2.91	0.9926	5.13	0.9895	7.51
0.9987	0.87	0.9956	2.98	0.9925	5.21	0.9894	7.59
0.9986	0.93	0.9955	3.05	0.9924	5.28	0.9893	7.67
0.9985	1	0.9954	3.12	0.9923	5.36	0.9892	7.75
0.9984	1.07	0.9953	3.19	0.9922	5.43	0.9891	7.82
0.9983	1.14	0.9952	3.26	0.9921	5.51	0.9890	7.9
0.9982	1.2	0.9951	3.33	0.9920	5.58	0.9889	7.98
0.9981	1.27	0.9950	3.4	0.9919	5.66	0.9888	8.06
0.9980	1.34	0.9949	3.47	0.9918	5.73	0.9887	8.15
0.9979	1.41	0.9948	3.54	0.9917	5.81	0.9886	8.23
0.9978	1.48	0.9947	3.61	0.9916	5.88	0.9885	8.31
0.9977	1.54	0.9946	3.68	0.9915	5.96	0.9884	8.39
0.9976	1.61	0.9945	3.76	0.9914	6.03	0.9883	8.47
0.9975	1.68	0.9944	3.83	0.9913	6.11	0.9882	8.55
0.9974	1.75	0.9943	3.9	0.9912	6.18	0.9881	8.63
0.9973	1.82	0.9942	3.97	0.9911	6.26	0.9880	8.71
0.9972	1.88	0.9941	4.04	0.9910	6.34	0.9879	8.79
0.9971	1.95	0.9940	4.11	0.9909	6.41	0.9878	8.88
0.9970	2.02	0.9939	4.18	0.9908	6.49	0.9877	8.96

Fuente: AOAC, 2000.

Tabla A3. Gravedad específica y porcentaje de extracto real en peso.

Gravedad Específica a 20/20 °C	% Extracto	Gravedad Específica a 20/20 °C	% Extracto	Gravedad Específica a 20/20 °C	% Extracto
1.00000	0.000	1.00675	1.731	1.02100	5.330
1.00050	0.129	1.00680	1.744	1.02200	5.580
1.00100	0.257	1.00685	1.757	1.02300	5.828
1.00150	0.386	1.00690	1.769	1.02400	6.077
1.00200	0.514	1.00695	1.782	1.02500	6.325
1.00250	0.642	1.00700	1.795	1.02600	6.572
1.00300	0.770	1.00750	1.923	1.02700	6.819
1.00350	0.898	1.00800	2.053	1.02800	7.066
1.00400	1.026	1.00850	2.078	1.02900	7.312
1.00450	1.155	1.00900	2.305	1.03000	7.558
1.00500	1.283	1.00950	2.432	1.03100	7.803
1.00550	1.411	1.01000	2.560	1.03200	8.048
1.00600	1.539	1.01050	2.687	1.03300	8.293
1.00605	1.552	1.01100	2.814	1.03400	8.537
1.00610	1.565	1.01150	2.940	1.03500	8.781
1.00615	1.578	1.01200	3.067	1.03550	8.902
1.00620	1.590	1.01250	3.194	1.03555	8.915
1.00625	1.603	1.01300	3.321	1.03560	8.927
1.00630	1.616	1.01350	3.447	1.03565	8.939
1.00635	1.629	1.01400	3.573	1.03570	8.951
1.00640	1.641	1.01450	3.699	1.03575	8.963
1.00645	1.654	1.01500	3.826	1.03580	8.975
1.00650	1.667	1.01600	4.077	1.03585	8.988
1.00655	1.680	1.01700	4.329	1.03590	9.000
1.00660	1.693	1.01800	4.580	1.03595	9.012
1.00665	1.705	1.01900	4.830		
1.00670	1.718	1.02000	5.080		

Fuente: AOAC, 2000.

Tabla A4. Porcentajes en peso correspondientes a varios porcentajes en volumen en mezclas de alcohol etílico y agua.

% Alcohol		
Por volumen	Por Peso	Diferencia
0	0	
1	0.795	0.795
2	1.593	0.798
3	2.392	0.799
4	3.194	0.802
5	3.998	0.804
6	4.804	0.806
7	5.612	0.808
8	6.422	0.81
9	7.234	0.812
10	8.047	0.813
11	8.862	0.815
12	9.679	0.817
13	10.497	0.818
14	11.317	0.82
15	12.138	0.821
16	12.961	0.823
17	13.786	0.825
18	14.612	0.826
19	15.44	0.828
20	16.269	0.829
21	17.1	0.831
22	17.933	0.833
23	18.768	0.835
24	19.604	0.836
25	20.443	0.839

Fuente: AOAC, 2000.