



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA QUIMICA E
INDUSTRIAS EXTRACTIVAS

PREDISEÑO DE UNA MICRO PLANTA CERVECERA ARTESANAL

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO INDUSTRIAL

P R E S E N T A
VIANEY MARTÍNEZ HERNÁNDEZ



CIUDAD DE MEXICO

2019



T-098-18

Ciudad de México, a 22 de octubre de 2018.

A la C. Pasante:
VIANEY MARTÍNEZ HERNÁNDEZ

Boleta:
2012321214

Carrera:
IQI

Generación:
2011-2015

Mediante el presente se hace de su conocimiento que la Subdirección Académica a través de este Departamento autoriza que el C. **Ing. Inocencio Castillo Terán** y el **Ing. Arturo Hernández Franco**, sean asesores en el tema que propone usted desarrollar como prueba escrita en la opción **Tesis Individual**, con el título y contenido siguiente:

“Pre diseño de una micro planta cervecera artesana”

Resumen.
Introducción.
I.- Generalidades.
II.- Marco Teórico.
III.- Estudio del mercado.
IV.- Cálculos.
Conclusiones.
Referencias.
Anexos.

Se concede un plazo máximo de un año, a partir de esta fecha, para presentarlo a revisión por el Jurado asignado.


M. en E. Sandra Gloria Villanueva Fúnez
Presidenta de la Academia de
Diseño e Ingenierías de Apoyo


Ing. Inocencio Castillo Terán
Director Interno
Ced. Prof. 446147


Ing. Arturo Hernández Franco
Director Externo
Ced. Prof. 2806609


Ing. César Rodríguez Guerrero
Jefe del Departamento de Evaluación
y Seguimiento Académico.


M. en C. Isaura García Maldonado
Subdirectora Académica



Instituto Politécnico Nacional
"La Técnica al Servicio de la Patria"

Folio
T-DEySA-098-18

"2019, Año del Caudillo del Sur, Emiliano Zapata"
60 años de la Unidad Profesional Adolfo López Mateos
70 Aniversario del CECyT No. 3 "Estanislao Ramírez Ruiz"
60 años de XEIPN Canal Once, orgullosamente politécnico
60 Aniversario del CECyT No. 4 "Lázaro Cárdenas"

Asunto
Autorización de Impresión

CDMX, a 12 de abril de 2019

Pasante
VIANEY MARTÍNEZ HERNÁNDEZ
PRESENTE

Boleta
2012321214

Programa Académico
I.Q.I.

Los suscritos tenemos el agrado de informar a usted, que habiendo procedido a revisar el borrador de la modalidad de titulación correspondiente denominado:

"Pre diseño de una micro planta cervecera artesana"

encontramos que el citado trabajo escrito de **Tesis Individual**, reúne los requisitos para **autorizar el examen profesional y proceder a su impresión** según el caso, debiendo tomar en consideración las indicaciones y correcciones que al respecto se le hicieron.

Atentamente
JURADO

Ing. Inocencio Castillo Terán
Presidente

Ing. Bertha Alvarado Zavala
Secretaria

Ing. Jorge Rivera Elorza
Vocal 1

M. en E. Sandra Gloria Villanueva Fúnez
Vocal 2

Ing. Arturo Hernández Franco
Vocal 3

c.c.p.- Depto. de Evaluación y Seguimiento Académico.
c.c.p.- Depto. de Gestión Escolar
CRG/mlcp

Folio

T-DEySA-098-18

Asunto

Cesión de derechos

CDMX, a 12 de abril de 2019

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

El/La que suscribe: **Vianey Martínez Hernández** estudiante del Programa de: **Ingeniería Química Industrial** con número de Boleta: **2012321214**, manifiesta que es autor/a intelectual del presente trabajo escrito, por la opción: **Tesis Individual**, bajo la dirección del profesor/a **Ing. Inocencio Castillo Terán** ceden los derechos del trabajo: **"Pre diseño de una micro planta cervecera artesana"** al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección de correo electrónico **vinmarher@gmail.com** Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

Atentamente


Vianey Martínez Hernández
Nombre y Firma del/la
estudiante


Ing. Inocencio Castillo Terán
Nombre y Firma
Del/la director(a)

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	viii
OBJETIVOS	ix
GENERAL.....	ix
ESPECIFICOS	ix
RESUMEN.....	x
INTRODUCCION.....	11
CAPÍTULO I. GENERALIDADES	13
1. La cerveza.....	14
1.1. Historia de la cerveza.....	15
1.2. La cerveza en México.	16
1.3. Beneficios de la cerveza.....	21
2. Materia prima	23
2.1. Cebada.....	23
2.2. Agua.....	31
2.3. Lúpulo.....	33
2.4. Levadura	37
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	41
1. Producción del mosto	42
1.1 Cocimientos	42
1.2. Fermentación.....	50
1.3. Maduración	53
2. Envasado.....	57
2.1. Embotellado.....	57
2.2. Taponado de botellas.....	57
2.3. Etiquetado.....	57
2.4. Empacado.....	57
3. Gestión de la calidad	57
3.1. Degustación de la cerveza	58
3.2. Control microbiológico.....	58
3.3. Análisis de la cerveza	58
CAPÍTULO III. ESTUDIO DE MERCADO	59

1. Sector cervecero en México	60
1.1. Consumo de bebidas alcohólicas en México	60
1.2. Gusto o moda: Por qué consumen cerveza artesanal.....	60
1.3. Precios altos: un desafío a vencer	61
1.4. La importancia de saber elegir	62
1.5. Toda una experiencia de consumo.....	63
1.6. Retos de la industria de la cerveza artesanal	65
1.7. Un ingrediente más: el análisis de datos	66
1.8. Conclusiones de la encuesta.....	66
1.9. Metodología del estudio.....	67
2. Análisis del estudio de mercado	68
2.1. Cerveza artesanal en México	68
CAPITULO IV. CÁLCULOS	73
1. Diagrama de flujo del proceso	74
2. Cálculos cerveceros	75
2.1. Malta	75
2.2. Lúpulo.....	75
2.3. Levadura	76
3. Ejemplos.....	76
3.1. American Blond Ale.....	76
3.2. American Stout Ale.....	77
4. Bitácora.....	78
5. Cálculos de diseño.....	79
5.1. Diseño de fermentador	79
5.2. Diseño del clarificador.....	84
5.3. Diseño de macerador.....	89
5.4. Diseño de olla de cocimiento	90
5.5. Diseño de intercambiador de calor	92
5.6. Diseño de bombas.....	98
CONCLUSIONES.....	101
BIBLIOGRAFIA.....	102
ANEXOS	105
Índice de figuras	105

Índice de tablas.....	106
Índice de gráficas	106

AGRADECIMIENTOS

A Dios por ser el guía en mi camino y gracias a Él he podido culminar exitosamente la etapa de estudiante.

A mi mamá, Fabiola Hernández, por darme la vida y enseñarme su valor. Gracias mamá por siempre apoyarme en las decisiones que tomo, gracias por estar siempre a mi lado en mis triunfos y en mis fracasos, te agradezco por todo lo que has hecho por mí y no me queda más que decirte que TE AMO y ¡hemos logrado juntas un triunfo más!

A mi papá, Oscar Martínez, por siempre estar a mi lado, por ayudarme a levantarme de cada fracaso y por enseñarme a confiar en mí. Gracias papá por todo lo que has hecho por mí y aunque a veces sea difícil el intercambio de palabras, únicamente quiero que sepas que TE AMO; sin tu ayuda no hubiera sido posible alcanzar este logro.

A mis hermanos Oscar y Ana Iris, por ser mi ejemplo y enseñarme que siempre que uno quiere se puede, gracias por brindarme su apoyo y por estar siempre a mi lado.

Al Ingeniero Inocencio Castillo Terán, que con su paciencia, sus conocimientos y su apoyo, me brindó la oportunidad de realizar esta tesis.

Al Ingeniero Arturo Hernández Franco, por haber creído en mí y por dedicarme el tiempo necesario para la realización de esta tesis, por todos sus conocimientos y el apoyo incondicional que siempre me ha brindado; así también agradezco a su familia por todo su apoyo.

OBJETIVOS

GENERAL

Establecer una microcervecería artesanal de fermentación alta (tipo Ale), desarrollando el prediseño y control del proceso, estableciendo altas normas de calidad para estandarizar las características en color, sabor, aroma, cuerpo y durabilidad de la espuma, cada una pensada en la exigencia de los diversos paladares del público al que van dirigidas.

ESPECIFICOS

- Determinar los tipos de cervezas a producir de acuerdo a los estudios y tendencias del mercado de las cervezas artesanales.
- Prediseñar el proceso de producción de la microcervecería de acuerdo al tipo de cervezas a producir.
- Establecer el equipo necesario para el proceso, de acuerdo a las condiciones de operación requeridas.
- Determinar el crecimiento de la producción de acuerdo a las tendencias del mercado.

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo analizar la viabilidad de crear una microcervecería de cerveza artesanal, de acuerdo a las preferencias de consumo de cerveza en México. Tomando como referencia preliminar el estudio de mercado realizado por la empresa Deloitte, en el cual se muestra la preferencia de consumo de bebidas alcohólicas.

En el inicio se abarcará un poco de la historia de la elaboración de la cerveza, se mencionarán los diferentes tipos de cervezas y se explicará a grandes rasgos los beneficios que aporta el consumo de dicha bebida. También, se conocerán las generalidades de las materias primas a utilizar y las principales características que aporta.

En seguida se dará a conocer el proceso de elaboración de cerveza, el cual abarca bloque caliente (casa de cocimientos), bloque frío (fermentación y maduración), envasado y gestión de la calidad.

Posteriormente se detallará el estudio de mercado del sector cervecero en México, en el cual se conocerán los principales factores de consumo de cervezas artesanales y a que se deben los altos precios de estas bebidas. Así como también se analizarán los datos consultados.

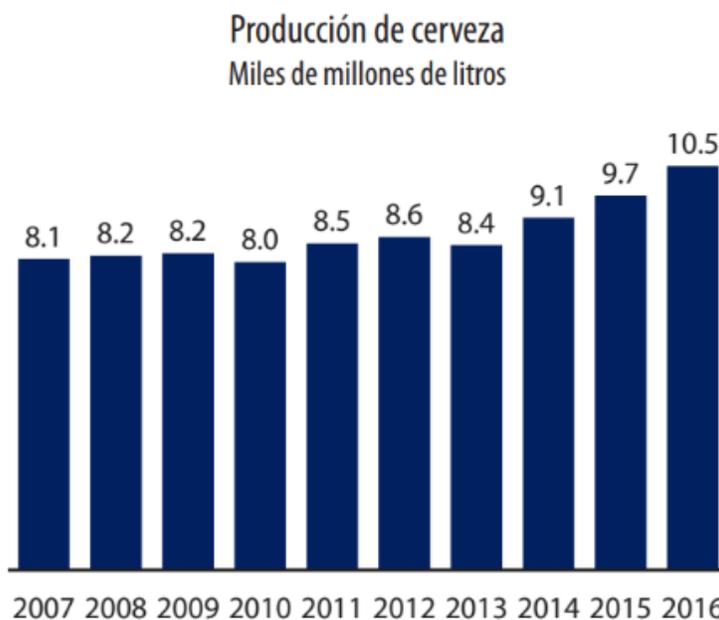
Finalmente se desarrollarán dos tipos de cálculos; los primeros serán los cálculos cerveceros, con los cuales se conocerá la cantidad de materia prima que se deberá emplear para cada cocimiento. Los segundos cálculos que se presentarán en este rubro son con los que se diseñarán los equipos a emplear: macerador, olla de cocimientos, intercambiador de calor de placas, fermentador, clarificador y el diseño de las bombas a emplear. Así también en esta sección estará la parte experimental, se mostrará la bitácora de los dos tipos de cervezas que han realizado.

INTRODUCCION

De acuerdo a la Dirección General de Estudios sobre Consumo, de la Procuraduría Federal del Consumidor (PROFECO), indica que la industria cervecera mexicana juega un papel importante en la economía nacional, pues aporta aproximadamente 20 mil millones de dólares y contribuye con cerca del 2% del valor que genera en su conjunto esta actividad, acorde con la Cámara Nacional de la Industria de la Cerveza y de la Malta (CANICERM)

El país ha crecido en cuanto a la producción a nivel global de esta bebida. De acuerdo con Maribel Quiroga, directora general de Cerveceros de México, actualmente es el cuarto productor a nivel mundial con 105 millones de hectolitros al año solo por debajo de China, Estados Unidos y Brasil

De acuerdo al Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) en su reporte *“Estadísticas a propósito de la actividad de elaboración de cerveza”* en 2016, nuestro país llegó a la producción de los 105 millones de hectolitros, lo que significa que el crecimiento anual es de 7.8% (Gráfica1).



Gráfica 1. Producción de cerveza. Miles de millones de litros.

Durante 2016 se abrieron 144 cervecerías y el crecimiento estimado al cierre del año es de 62%, en comparación con el 43% que tuvieron el año antepasado, de acuerdo a la Asociación Cervecera de la República Mexicana (ACERMEX)

Una de las razones por las que se logró llegar a los 105 millones de hectolitros es debido a las exportaciones, mismas que el año pasado llegaron a los 32 millones de hectolitros, lo que significa que hubo un crecimiento del 13% con respecto al 2015. Esto también ayudó a que la balanza comercial del sector cervecero alcanzara un superávit de 2 mil

615 millones de dólares, lo equivalente a un 20% de las exportaciones agroindustriales del país.

En los últimos años se ha dado el “boom” en la elaboración de la cerveza artesanal, debido a que las grandes Industrias cerveceras como lo son Grupo Modelo (AB-Inbev) y Cuauhtémoc-Moctezuma (Heineken), les han dado la posibilidad de incursionar en el mercado de la producción cervecera, de esta manera los grandes grupos cerveceros ven una gran oportunidad de crecimiento, ya que los consumidores día a día se vuelven más exigentes y están más informados.

En los últimos 5 años, la producción de cerveza artesanal ha crecido un 30%.

De acuerdo con Austin Paz, Directora General de ACERMEX, sólo son considerados Cerveceros Artesanales a las empresas que tienen ciertas características, como lo son:

- **Independencia:** Bajo ningún contexto pertenezcan a las empresas dominantes del mercado.
- **Producción:** Su capacidad de producción deberá de ser menor al 1% del total de la producción del país.
- **Tradicición:** Elaborar la cerveza 100% de malta y el uso de aditivos sólo para el desarrollo de innovación creativa de nuevas recetas con el fin de enaltecer los sabores, y no para abaratar costos de producción.

En México, los productores de cerveza generan más de 55 mil empleos directos y otros 5 millones de empleos indirectos. La actividad cervecera impacta toda una cadena de valor, desde agricultores, transportistas e industriales, hasta puntos de venta, restaurantes y centros de recreación y esparcimiento. Ésta industria representa el 4% de recaudación total de impuestos, a través de IEPS, IVA, ISR y nómina.

La agricultura se ve muy favorecida en México por la industria cervecera, debido a que toda la cebada maltera sembrada es consumida por las cervecerías mexicanas, lo cual proporciona empleo a más de 92 mil agricultores.

Con base en datos de años anteriores, se puede decir que por cada 15% de crecimiento en el mercado cervecero en México, o un 3% en su exportación, se generan:

- 1 billón de pesos en inversión directa de la industria cervecera.
- Producción de un millón de hectolitros de cerveza.
- 3 500 nuevos empleos nuevos en agricultura.

La cerveza es considerada importante para la cultura mexicana, por todas las propiedades nutritivas que ésta contiene y porque es considerada una bebida natural, saludable y ligada a momentos de encuentro social.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1. La cerveza

La cerveza es un producto obtenido a partir de la fermentación alcohólica, por la levadura *Saccharomyces cerevisiae* (cerveza tipo Ale) o *Saccharomyces carlsbergensis* (cerveza tipo Lager), de la mezcla de cebada maltada, adicionada con otros cereales no maltados, lúpulo y agua.

Las cervezas son clasificadas de acuerdo al grado de fermentación y al proceso de elaboración en:

- Baja fermentación: son las cervezas cuya fermentación se lleva a cabo a temperaturas menores a 14°C.
- Alta fermentación: son las cervezas cuya fermentación se lleva a cabo a temperaturas mayores a 20°C.

Las cervezas pertenecen a dos grandes grupos: tipo Lager y tipo Ale, las cuales se mencionan en la tabla 1

Tabla 1. Tipos de cerveza y sus características organolépticas

TIPO DE CERVEZA	ESTILO	SUBTIPO DE CERVEZA	CARACTERISTICAS ORGANOLEPTICAS	% Alc. vol.
ALE	Británica	Pale Ale	Color ámbar o bronce, menos amargas y un poco más densas que las bitter.	4 a 5%
		Indian Pale Ale (IPA)	Sabor más fuerte que las Pale Ale, con carácter de lúpulo y de color pálido.	
		Brown Ale	Sabor fuerte , con buen sabor a malta y un color tostado que va de un ámbar suave a castaño fuerte; son afrutadas y secas	
		Ale Irlandesa	Color rojizo, su afrutamiento y un definido carácter de malta.	
	Belga	Ale belga	Color varía desde pálidas a oscuras, de una densidad media, suaves y afrutadas	Alrededor de 5%
	Porter		Color muy oscuro (casi negro) y un sabor muy intenso, son secas.	4.5 a 5.5%
	Stout	Stout seca	Color casi negro, sabor tostado y su textura cremosa.	
		Stout dulce	Color ámbar oscuro, son poco dulces.	3 a 3.5%
		Imperial stout	Son más fuertes que las porter, son muy oscuras y con mucho cuerpo. Tienen un gran contenido alcohólico.	
LAGER		Pilsen	Color pálido, son secas, con un buen carácter de malta y un aroma de lúpulo muy característico.	4.5 a 5%
	Munich	Münchner Dunkel – Lager Oscuras	Color varía entre rojo amarronado y el negro carbón. Tienen más carácter de malta.	5 a 5.5%
	Vienna	Märzen/ Oktoberfest	Color bronce o cobrizo, con mucho cuerpo.	5 a 6%

		Bock	Puede ser oscura o clara, son fuertes, pero siempre tiene mucho cuerpo.	4.5 a 6.5%
		Maibock	Color dorado y con mucho cuerpo. Son lo suficientemente fuertes para soportar el frío de los últimos días del invierno, pero lo suficientemente afrutada como para participar en el verano.	
		Doppelbock	Cervezas más fuertes que las bock.	Más de 6.5%
		Eisbock	Es una cerveza muy concentrada, que la hace más fuerte y adulzada.	Más de 10%

1.1. Historia de la cerveza

La palabra "beer" ("cerveza") proviene del infinitivo latino "bibere" que quiere decir beber. Los monasterios medievales fabricaban cerveza y, por supuesto, tuvieron la responsabilidad de la difusión del nombre que le daban a través de toda la Europa Central. La palabra primitiva que, en el alemán antiguo, corresponde a cerveza era "boer" o "bior", equivalente a "beer", la cual es una palabra del inglés antiguo.

Los monasterios y otros establecimientos cerveceros hacían cerveza, durante la época medieval, en una forma que no difería mayormente de la que usamos ahora, empleando cebada malteada y lúpulo. Las bebidas hechas en base a granos fermentados, sin embargo, no datan de la época medieval. Ellas se remontan muy atrás, a la prehistoria del hombre.

Los artefactos extraídos de las ruinas de ciudades antiguas prueban que fabricar cerveza era ya una costumbre establecida hace más de 5 000 años. Un dibujo que aparece en una pieza de cerámica hallada en excavaciones en Mesopotamia muestra a dos obreros cerveceros que usan dos palos largos para revolver el contenido de una tina en una cervecería. Los cálculos hechos indican que esta pieza fue fabricada en el siglo XXXVII antes de Cristo.

El Libro de los Muertos egipcio, que se estima tiene unos 5 000 años, menciona cerveza hecha de cebada. Numerosos escritos y dibujos se han recuperado del antiguo Egipto con detalles de la fabricación comercial de cerveza y de la distribución de dichas cervezas a través del comercio.

Existen pruebas también de que los chinos producían una clase de cerveza llamada "Kiu" hace más de 4 000 años. Las antiguas cervezas chinas fueron fabricadas a base de cebada, trigo, espelta y mijo, así como de arroz. En el antiguo Egipto, Mesopotamia y en el sur de Europa el grano preferido fue la cebada.

Remontándonos muy atrás en la prehistoria, hay pruebas indirectas de que el hombre fermentó sustancias naturales que contenían azúcar mucho antes de que aprendiera a cocer el pan, ya fabricaban cerveza a base de granos.

1.2. La cerveza en México.

De acuerdo al Maestro cervecero mexicano, Gustavo González, dueño y fundador de la micro cervecería Cosaco, es el pionero de la cerveza artesanal en México. Se inspiró en los cerveceros de E.U.A y comenzó en 1995, le tomo 5 años adoptar el arte de hacer la cerveza. En 2000, elaboró una cerveza pura, cremosa y maltosa que pudo cumplir una brecha en la que las grandes empresas no estaban alcanzando en cuanto a la calidad y sabor. Muchos empresarios siguieron sus pasos y comenzaron a elaborar nuevas y complejas variedades de cerveza para la demanda de los consumidores mexicanos. En 2001 la producción de cerveza artesanal fue de 22 000 a 30 000 hectolitros con un 36% de crecimiento, como resultado del aumento en la demanda por la gran oferta y la tendencia internacional, principalmente de E.U.A

Algunos de los cerveceros artesanales mexicanos están posicionados cerca de sus consumidores, pero tienen una lenta expansión a las grandes ciudades en México. Cervecería Minerva lidera el mercado con un estimado en ventas por 1.5 millones de litros en 2013, seguida por Andreu Primus con un estimado en ventas por 0.68 millones de litros en 2013.

La Asociación de Cerveceros Mexicana (ACERMEX) tiene registradas 153 marcas de cervezas artesanales en México, comenzando en los estados de Baja California Norte y Baja California Sur en el norte de México, así como la Ciudad de México y el Estado de México, las cuales son las ciudades en las que se envasan la mayor cantidad de cerveza. La figura 1 representa las principales marcas. Y en la tabla 2 se muestran el listado de las principales ciudades productoras de cerveza artesanal.



Figura 1. Microcervecerías mexicanas.

Tabla 2. Promedio del PIB per cápita en México.

ESTADO	CIUDAD	PIB PER CÁPITA (USD)
D.F.	Ciudad de México	23 130
NUEVO LEÓN	Monterrey	33 342
GUADALAJARA	Jalisco	14 631
MÉRIDA	Yucatán	7 160
QUINTANA ROO	Cancún y Playa del Carmen	20 342
BAJA CALIFORNIA SUR	Cabo San Lucas	17 820
BAJA CALIFORNIA	Mexicali	16 365
PUEBLA	Puebla	6 091
QUERÉTARO	Querétaro	14 940

Mercado cervecero en México.

En México hay cerca de 63 millones de consumidores potenciales. El consumo anual de cerveza por persona en México es de 62 litros, el cual es similar a Japón (57 litros) y España (66 litros), pero menor a E.U.A con 85 litros (figura 2). El 78% de los consumidores tienen preferencia por la cerveza en lugar de otra bebida alcohólica (figura 3), la cerveza es la bebida de entrada para los jóvenes.

La cerveza industrializada tiene una red de distribución desarrollada, la cual es enviada directamente a los centros de distribución, tiendas convencionales y supermercados tales

como OXXO, con un aproximadamente 40 000 tiendas. La cerveza artesanal complementa este mercado y abarca únicamente el 1% del total del mercado. La cerveza artesanal crece rápidamente de acuerdo al segmento de la población y a las ciudades en las que las personas están dispuestas a probar nuevas cervezas de diferentes orígenes.



Figura 2. Consumo de cerveza per cápita en el mundo.

Industria de la cerveza artesanal en México

La industria de la cerveza artesanal es dirigida por los cerveceros caseros, los cuales producen aproximadamente 30 000 hectolitros al año. Este tipo de cerveza ha tenido un crecimiento del 50% en los últimos 10 años. La producción de la cerveza artesanal empezó en el año 1995 con la cerveza Cosaco, el modelo de micro cervecería fue tomada de E.U.A., de esta manera, se empezó a extender por los diferentes Estados de la República Mexicana. Los cerveceros mexicanos empezaron a producir las cervezas tipo Stout, Lager, India Pale Ale (IPA) y otras variedades tradicionales, sin embargo, algunos cerveceros desarrollaron nuevas cervezas adicionándole chocolate, chile, frutas o algunos ingredientes que son parte de la gastronomía mexicana, obteniendo buenos resultados. La cerveza artesanal esta principalmente en los más elegantes restaurantes, incluso han entrado a esta industria los más renombrados vinicultores Mexicanos.

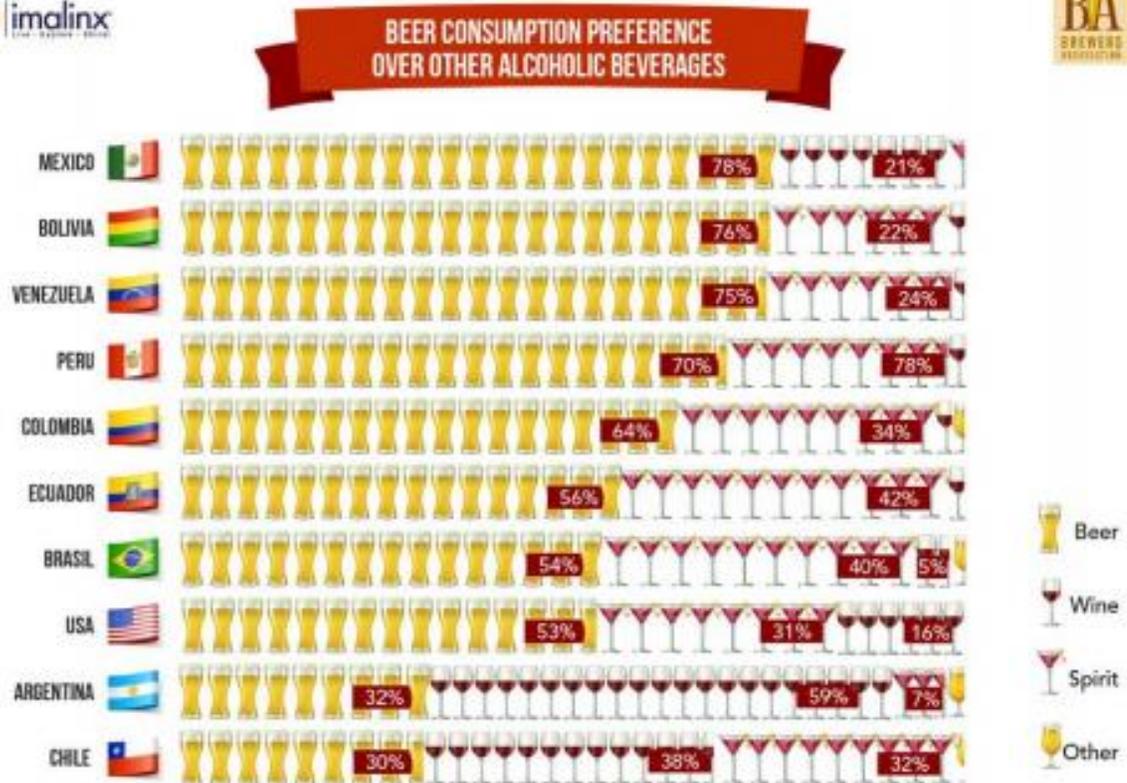


Figura 3. Preferencia de consumo de bebidas alcohólicas.

Perfil de los consumidores

Se dice que el consumidor mexicano está incrementando su poder adquisitivo, pero esto solo aplica a ciertos sectores en el país. Las preferencias del consumidor dependen de su edad, ingresos, clima y región. Como se mencionó, el mercado de la cerveza artesanal sólo va dirigido a consumidores de ingresos medios, medios-altos y altos, lo cual únicamente representa el 38% del total de la población, y estos están localizados en la mayoría de las ciudades.

Se identificaron tres tipos de consumidores, los cuales se describen en la figura 4

Consumo de cervezas por región

El mercado mexicano consume cervezas artesanales provenientes de 5 lugares distintos: México, Bélgica, Alemania, Guatemala y Holanda (Países Bajos). En México se comienza a elaborar cervezas con un sabor más profundo y más intenso, debido a la alta demanda de las cervezas tipo IPA; las mujeres prefieren un sabor más suave como las estilo Lager. En la figura 5 se muestra la preferencia del tipo de cerveza en cada región del país.

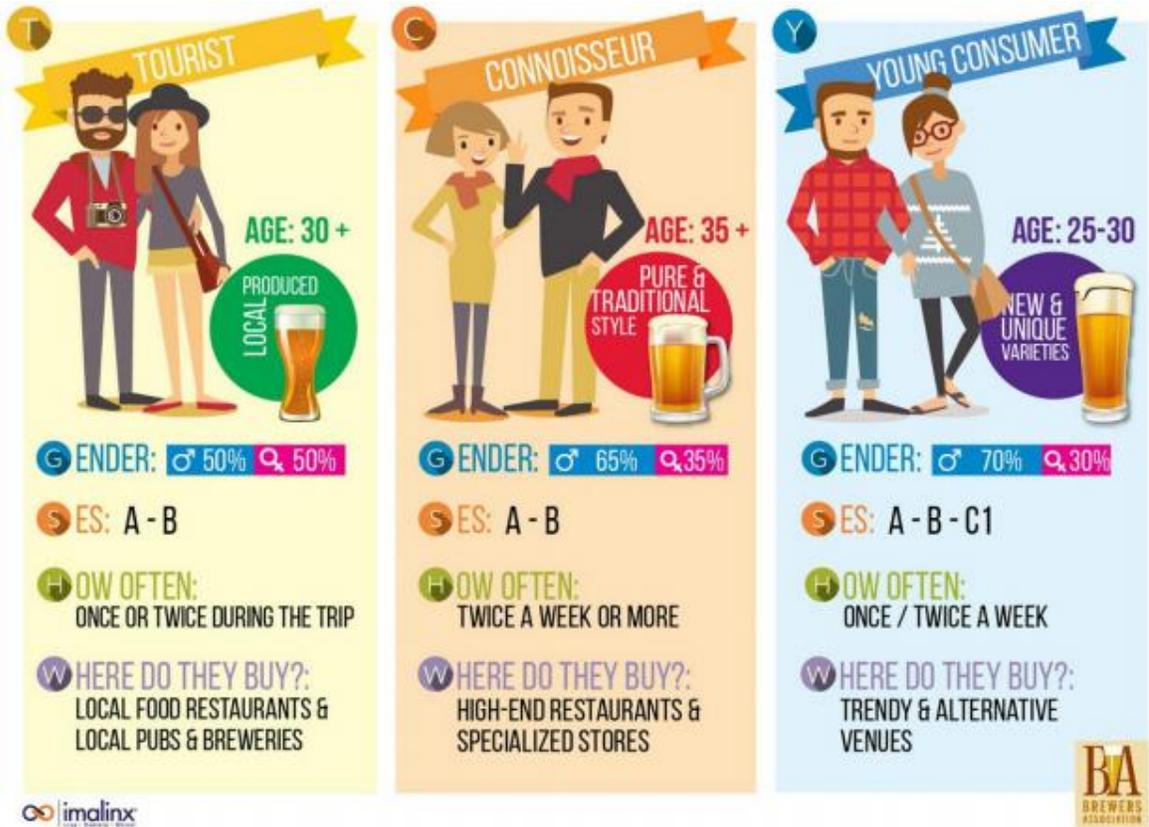


Figura 4. Clasificación de los consumidores de cerveza.



Figura 5. Consumo de cerveza por región.

1.3. Beneficios de la cerveza

Cualquier cerveza contiene más de 400 componentes. Muchos de estos componentes proceden de las materias primas y no han sufrido modificaciones en el proceso de elaboración; otros constituyentes, entre los que se encuentran el anhídrido carbónico y el alcohol etílico, son consecuencia de la transformación experimentada por las materias primas. Los componentes de ambos grupos se encuentran siempre presentes en la cerveza y confieren las propiedades nutritivas y funcionales de esta bebida.

Salud del corazón

Según un estudio llevado a cabo por científicos italianos, y publicado en la revista “European Journal of Epidemiology”, la cerveza, al igual que el vino tinto, tienen efectos beneficiosos para la salud cardiaca. Así, los bebedores moderados de cerveza tienen un 42% menos de riesgo de sufrir enfermedad cardiaca. Este efecto positivo se debe a los polifenoles que contiene, como antioxidantes naturales, participan en la protección contra enfermedades cardiovasculares.

Salud de los riñones

Las famosas “piedras en el riñón”, que a tantas personas aqueja, encuentra un poderoso enemigo en la cerveza, ya que este dorado y espumoso líquido reduce el riesgo de desarrollar las piedras renales debido a su alto contenido en agua y su efecto diurético, según afirmó la Asociación Americana de Dietética en un estudio publicado en ADA Times.

Para la hipertensión

Un informe elaborado por la Sociedad Española de Hipertensión-Liga Española para la Lucha contra la Hipertensión Arterial y el Centro de Información Cerveza y Salud expuso que debido a que la cerveza está formada en un 93% por agua, contribuye a la hidratación del organismo, factor crucial para las personas que sufren de hipertensión arterial.

Salud de los huesos

Beber cerveza moderadamente fortalece los huesos. Es la conclusión a la que llegó un estudio de la Universidad de Tufts (EE.UU.) que puso de manifiesto que el silicio presente en la cerveza ayudaba a aumentar la densidad ósea de la cadera entre 3.5 y 4.5 veces más que las personas abstemias. El consumo excesivo de cerveza tiene, sin embargo, el efecto contrario: debilita los huesos. La moderación de nuevo es la clave.

Contiene vitaminas del grupo B

Un estudio publicado en la revista *Journal of Abnormal Psychology* reveló que un tercio de cerveza aporta el 3% de la cantidad diaria de vitamina B12 recomendada. Esta vitamina es importante para el funcionamiento del sistema nervioso, para el cerebro y la regeneración de las células. Sin embargo, dado que el alcohol anula los beneficios de la vitamina B alterando las señales cerebrales responsables del autocontrol, es recomendable tomarla sin alcohol.

En la tabla 3 se muestra en lo referente a vitaminas del grupo B y minerales, la ingesta de un litro de cerveza, con o sin alcohol, aportaría los siguientes porcentajes de los requerimientos mínimos diarios.

Tabla 3. Vitaminas y minerales que aporta la cerveza.

		PORCENTAJE (%)
VITAMINA B	Tiamina (B1)	1 – 40
	Riboflavina (B2)	19 – 63
	Ácido Pantoténico (B5)	25
	Niacina (B3)	27 – 83
MINERALES	Silicio	100
	Magnesio	50
	Fosforo	40
	Potasio	20

Efecto diurético

Según un informe de la Sociedad Española de Hipertensión- Liga Española para la Lucha contra la Hipertensión Arterial y el Centro de Información Cerveza y Salud, la cerveza contiene altos niveles de potasio lo que produce un efecto diurético, esto es, provoca una eliminación de agua y electrolitos en el organismo, a través de la orina o de las heces.

Aporta fibra

La cerveza, al estar constituida por cebada, contiene beta-glucanos, un tipo de fibra soluble que ayuda a reducir los niveles de colesterol. No aporta una excelsa cantidad de fibra (0.75 gramos por 330 mililitros) pero se trata de un aporte extra de los 25 gramos de fibra diaria recomendados.

Aumenta el colesterol “bueno”

Tanto la cerveza como el vino pueden aumentar el nivel de lipoproteínas de alta densidad, que ayudan a eliminar colesterol de las arterias y transportarlo de vuelta al hígado para su excreción, evitando enfermedades como la arterioesclerosis, según un informe elaborado por la Sociedad Española de Hipertensión-Liga Española para la Lucha contra la Hipertensión Arterial y el Centro de Información Cerveza y Salud.

Herramienta contra el insomnio

La cerveza sin alcohol, al contrario de lo que sucede con la que si tiene alcohol, puede ayudar a que conciliemos el sueño más rápidamente y a tener un sueño profundo y placentero durante toda la noche. Es la conclusión de un estudio realizado en España y que recogió la revista *PloS One*. En el estudio, las mujeres que bebían cerveza sin alcohol antes de irse a la cama se durmieron una media de 12 minutos antes que las demás y tuvieron un mejor número de movimientos durante el sueño e informaron de menores niveles de ansiedad. Y es que el lúpulo de la cerveza, según los investigadores, puede actuar como un sedante, elevando el neurotransmisor ácido-gamma aminobutyric (GABA), que calma el sistema nervioso central; de la misma forma, el lúpulo también afecta a otro neurotransmisor, la serotonina, que está involucrado en la regulación del sueño y los ritmos cardiacos del cuerpo.

Previene el alzhéimer

Según un informe elaborado por la Sociedad Española de Hipertensión-Liga Española para la Lucha contra la Hipertensión Arterial y el Centro de Información Cerveza y Salud, la cerveza contiene minerales como el silicio, el magnesio o el fosforo: todos ellos ayudan a disminuir los riesgos de enfermedades neurodegenerativas como el alzhéimer.

Para las embarazadas

Según el libro “Mujer, Ginecología y Cerveza” de la Sociedad Española de Ginecología y Obstetricia (SEGO), el elevado contenido en ácido fólico de la cerveza (pero en este caso sin alcohol), es muy beneficioso para la salud de las mujeres embarazadas, ya que es una vitamina clave en el sistema nervioso y para la regeneración de las células. Además, reduce el estrés oxidativo de la madre tras el parto y en la lactancia, la cerveza sin alcohol aporta antioxidantes naturales que ayudan en la protección de enfermedades cardiovasculares.

Para la menopausia

Además de levantar los ánimos y calmar la sed, tomar cerveza, según un informe elaborado por la Sociedad Española de Hipertensión-Liga Española para la Lucha contra la Hipertensión Arterial y el Centro de Información Cerveza y Salud, ayuda a mejorar los síntomas de la menopausia. Varias investigaciones han concluido que el consumo de fitoestrógenos naturales puede llegar a retrasar la menopausia hasta incluso dos años.

Previene el envejecimiento

Un estudio de la Sociedad Española de Hipertensión-Liga Española para la Lucha contra la Hipertensión Arterial y el Centro de Información Cerveza y Salud, reveló que la presencia de antioxidantes naturales en la cerveza ayuda a reducir los fenómenos oxidativos responsables del envejecimiento.

2. Materia prima

Las materias primas principales para la fabricación de la cerveza son: malta de cebada, agua, levadura y lúpulo

2.1. Cebada

La cebada es la materia prima principal para la fabricación de la cerveza, porque en términos económicos, la malta (cebada germinada y tostada) incide 8.5 veces más que el lúpulo en el coste del litro de cerveza. Las otras dos materias primas son levadura y agua.

La cebada comenzó a cultivarse hace unos diez mil años en la zona que va desde el valle del Eufrates y Tigris (Siria, Irán, Irak) hasta el norte de África (Marruecos). Es pues, un cultivo adaptado a las condiciones agroclimáticas de tipo mediterráneo, aunque como consecuencia de los más de cien años de mejora genética científica y quizá más de un milenio de mejora empírica realizada por los propios agricultores, se cultive hasta en la parte central de Finlandia, Suecia y Noruega. No es sorprendente, a la luz de lo anterior,

que el origen de la cerveza se remonte a la época de los asirios y, posteriormente, al Egipto antiguo: naturalmente, ellos ya cultivaban la materia prima principal para fabricarla.

Estructura del grano de la cebada

El grano de cebada tiene una forma alargada y aparece insertado a la espiga por la parte del germen. Está formado por las envolturas, el endospermo y el germen. En la figura 6 se pueden observar las diferentes partes de un grano de cebada.

En la envoltura se encuentran las siguientes capas (de fuera hacia dentro):

- **Cascarilla:** Capa protectora externa del grano, contiene sílice, hemicelulosas, proteínas, resinas y taninos.
- **Pericarpio y Epicarpio:** Membrana semipermeable que impide el paso de compuestos solubles en agua como las sales y el giberélico. Contiene algunas grasas.
- **Testa:** Es semipermeable, dejando pasar al agua pero no las sales. Contiene flavonoides.

El endospermo está formado por:

- **Aleurona:** Es rica en proteínas y no contiene almidón. La aleurona es la fuente de enzimas hidrolíticos: β -amilasa, endoproteasas y endo- β -glucanasas.
- **Albumen:** Está formado por unas células cuyas paredes celulares están constituidas principalmente por β -glucanos. En el interior están los gránulos de almidón sobre una matriz proteica.

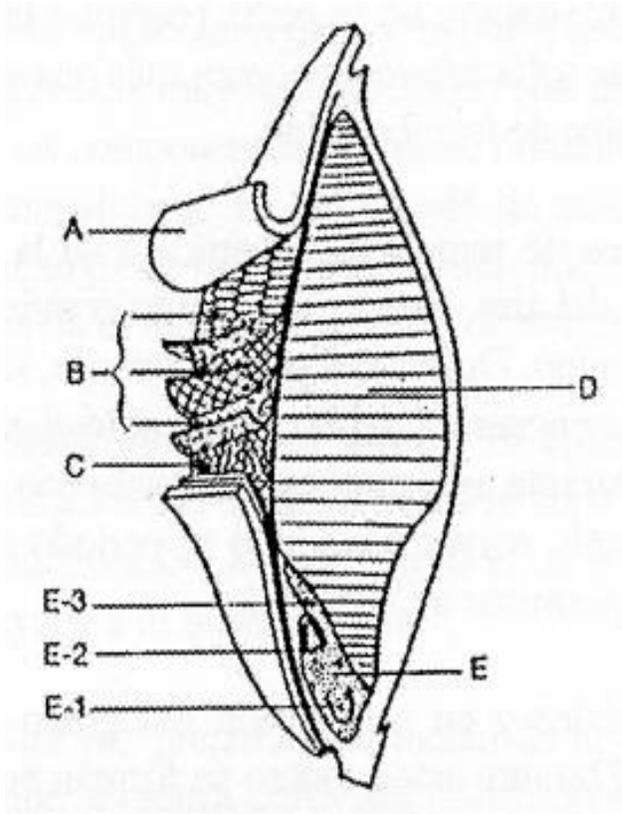
El germen o embrión del grano de cebada está completamente desarrollado y dispuesto a crecer cuando las condiciones del medio sean favorables. Es rico en lípidos, especialmente lecitina.

Tipos de cebada

Dos son los tipos de cebadas de malteo que se utilizan mayormente: hexístico (6-hileras) y dístico (2-hileras). Existen opiniones diversas con relación a los méritos respectivos de cada tipo. En general, la cebada 2-hileras es más gruesa y con una cascara más ajustada y delgada que la 6-hileras. Produce malta que tiene una mayor cantidad de extracto, color más claro y menor contenido de enzimas que la hexística. Aproximadamente del 20 - 25% del total de malta usada por cervecerías es elaborada a partir de cebada dística.

La figura 7 ilustra las diferencias de aspecto entre estos dos tipos importantes de cebada de malteo. Las espigas de la cebada pueden tener ya sea seis hileras o dos hileras de granos. En la cebada hexística hay tres granos en cada nudo en lados alternados de la espiga, dando como resultado seis hileras de granos. En la cebada dística únicamente un grano se desarrolla en cada nudo en lados alternados de la espiga y resultan dos hileras de granos.

ESTRUCTURA DEL GRANO DE CEBADA



A: Casaca

B: Capa del fruto (pericarpio).
Capa de semilla con superficie
culinizada interior y exterior (testa),
pericarpio.

C: Capa de aleurona. Fuente de
enzimas.

D: Endospermo.

E: Embrión.

E-1: Raicillas.

E-2: Plúmula.

E-3: Escudillo.

Figura 6. Estructura del grano de cebada.

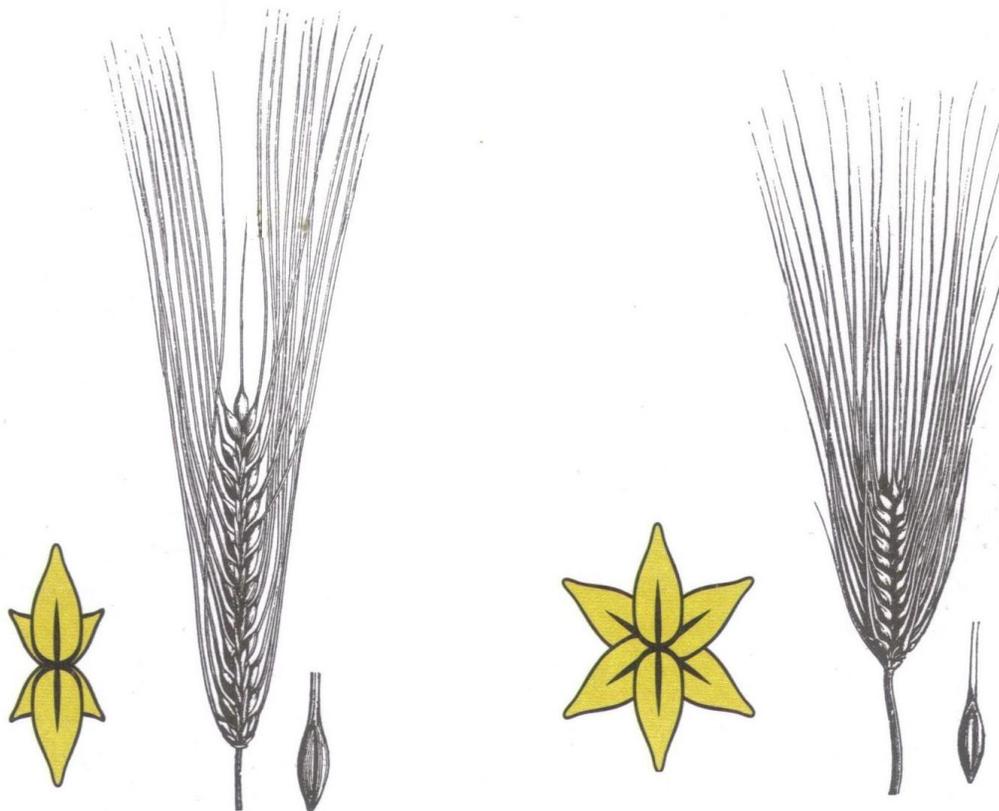


Figura 7. Izquierda: cebada 2 hileras. Derecha: cebada 6 hileras.

Diferencia entre los tipos de cebada

Muchas diferencias distinguen la cebada de 2 y 6 hileras, pero estas diferencias se han hecho menos pronunciadas en los últimos 20 años, y nuevas variedades han sido sembradas. El alto contenido de enzimas y proteínas de las 6 hileras, ha hecho poco probable que un cervecero pueda producir una malta de cerveza utilizando sólo la de 6 hileras; suplementando la malta 2 hileras con algo de malta 6 hileras, podría servir para aumentar la extracción, tiempo de conversión y fermentabilidad. En la tabla 4 se muestran los datos analíticos comparativos entre la cebada de 2 y 6 hileras.

Tabla 4. Datos analíticos comparativos.

	2 HILERAS	6 HILERAS
EXTRACTO (%SECO)	81.0	79.0
PROTEÍNAS TOTALES (%SECO)	11.5	12.5
PROTEÍNAS SOLUBLES (%MALTA SECA)	5.0	5.5
TOTAL PROTEINAS SOLUBLES	43.5	44.0
PODER DIASTÁTICO	120.0	160.0
ALFA AMILASA	50.0	45.0
VISCOSIDAD DEL MOSTO	1.5	1.5
MOSTO BETA-GLUCANOS (ppm)	110.0	140.0

Enzimas.

Tradicionalmente las 6 hileras producen mayores niveles de enzimas degradadoras del almidón (alfa-amilasas) y mayor poder diastático. Las alfa-amilasas son enzimas que convierten el almidón en dextrina, reduciendo la viscosidad del macerado, y aumentan la susceptibilidad del almidón a ser atacado por la beta-amilasa.

El poder diastático es la medida de la actividad de las enzimas de la malta para romper los carbohidratos complejos en azúcares reducidos, principalmente por la acción de la beta-amilasa.

El contenido de beta-glucanos es inferior en las 6 hileras. Los beta-glucanos son degradados por la enzima beta-glucaganasa, lo que ocurre principalmente durante la germinación, significando que muy poco pasará al mosto. Los beta-glucanos no degradados contribuyen a la viscosidad, trayendo problemas al filtrado.

Contenido de cascara.

El contenido de cascara es otra diferencia entre 2 y 6 hileras. Una cascara delgada pero firmemente adherida es deseable, ya que protege al grano germinante durante el malteado y juega un papel importante en la cocción. En general se cree que la 6 hileras tiene mayor contenido de cascara, porque tiene granos más delgados, pero el contenido de cascara varía mucho según las condiciones medioambientales del cultivo. Cebadas con alto contenido de cascara puede significar contenido alto de compuestos fenólicos en el mosto, contribuyendo a un sabor astringente en la cerveza. Debe ponerse cuidado en el evitar el extraer estos compuestos de la cascara y favorecer su precipitado en el mosto.

Malta

El malteo es la germinación controlada de la cebada durante la cual se modifican suficientemente las reservas alimenticias de manera que puedan ser hidrolizadas adicionalmente durante la maceración.

Resulta conveniente considerar que el malteo consta de tres etapas. En la primera etapa, denominada remojo, la cebada limpiada clasificada es sumergida en agua hasta que alcanza a tener el contenido apropiado de humedad. En la segunda etapa, denominada germinación, la cebada remojada se desarrolla bajo condiciones controladas. En la tercera etapa, denominada secado, la cebada germinada es secada mediante una corriente de aire caliente y se detiene su desarrollo. En todas estas etapas resulta necesario un control completo de la temperatura, de la humedad y del flujo de aire.

La malta constituye el ingrediente principal de la cerveza, son necesarios hasta 200 gramos de malta para un litro de cerveza. A la que hay que añadir agua, lúpulo (dos gramos para un litro de cerveza) y levadura (un centilitro para un litro de cerveza). Dependiendo el tipo de cerveza a producir.

La malta aporta:

- Las enzimas y el almidón. Este almidón será transformado en azúcares simples por las enzimas. Estos azúcares sencillos, en particular, serán utilizados por las levaduras para producir alcohol y gas carbónico.
- Los compuestos organolépticos que reaccionarán con el proceso de cervecería y las levaduras utilizadas para establecer el perfil organoléptico de la cerveza.
- El color de la cerveza (en función de la intensidad de la reacción de Maillard producida durante el secado-tostado).
- Las proteínas. Una parte será transformada por las enzimas para alimentar el crecimiento de las levaduras, otra parte permanecerá en la cerveza para conformar su cuerpo.

Aspectos importantes a considerar para la selección de la malta.

Existen tres datos importantes que se deben considerar para la selección de las maltas que cada maltería proporciona.

Poder diastático.

Es la capacidad que tiene el grano de convertirse, por sí mismo, en azúcares fermentables, reacción que se lleva a cabo en el macerador.

Dicho de una manera simple, si el grano contiene almidón (digamos que el almidón tiene la función de 'combustible' o 'materia prima'), para que este almidón se transforme en azúcares es necesario la intervención de ciertas enzimas (una proteína, que hace las funciones de 'catalizador', provocando una reacción química determinada). Es decir, que la malta tiene que contener una cierta cantidad de almidones y enzimas ideal para nuestros propósitos cerveceros. Si una malta tiene mucho almidón pero no tiene enzimas

(se dice que tiene bajo poder diastático), hay que “equilibrar la mezcla” aportando enzimas de alguna manera. Y viceversa, para una malta con un exceso de enzimas, hay que compensar con fuentes de almidones adiciones (como el arroz, o el maíz, u otras maltas con muchos almidones y menos enzimas). Hay dos enzimas responsables de degradar el almidón: la alfa amilasa y la beta amilasa.

En resumen, podemos decir que el poder diastático es una medida de las enzimas que degradan el almidón presente en la malta, y se suele medir en grados Lintner (expresados por °L, y que no hay que confundir con los grados Lovibond, que se expresan igual y que miden tanto el color de la malta y la cerveza) o en WK (Windisch-Kolbach), dependiendo del país de origen de la malta.

Se sabe que con un poder diastático (desde ahora, DP) de unos 35-40 Lintner o al equivalente de 106-124 WK (la fórmula de conversión sería $WK = (°L \times 3.5) - 16$), una malta es capaz de auto convertirse en azúcares fermentables. Es decir, que si usas en una receta un 100% de una malta con 35 Lintner, estarías en disposición de sacar todo el extracto disponible sin tener que adicionar enzimas extras.

Modificación.

Es el grado en el cual la cebada ha ‘convertido en harina’ su interior durante el malteo. O dicho de otro modo, cómo está de soluble y lista para la sacarificación (esto es, convertir los almidones en azúcar). El grado de modificación se expresa como un porcentaje, en inglés, ‘*Grind Difference*’ (% FG/CG) y así aparece en las hojas de análisis de malta. FG y CG serían las iniciales de ‘*Fine Grind*’ y ‘*Coarse Grind*’, diferentes métodos de medir el extracto (en español viene indicado como “Extracto Fino %” y “Extracto grueso %”). Las maltas bien modificadas tienen un % de FG/CG de 1 o menos, mientras que las que no han sido bien modificadas tendrán 1.8 o 2% o más (y necesitarán de macerados con diferentes escalones de temperaturas para macerarse de manera adecuada). Así que en función de la modificación de cada malta, podrás planificar tus macerados para optimizar los rendimientos. Una manera muy rústica de comprobar la modificación de la maltas es masticarla y comprobar si es fácil de masticar y harinosa (bien modificada) o es dura (poco modificada).

Nivel de proteínas.

Las maltas que tienen un elevado índice de proteínas, provocarán mayor turbidez en la cerveza, por lo que tendrás que realizar macerados escalonados para degradarlas o usar adjuntos.

Variedades de malta

Teniendo en cuenta el horno usado (horno normal o tambor) y el procedimiento empleado, podemos clasificar los métodos básicos de confección de maltas en cinco tipos.

- **Malta simple:** cuando la temperatura de secado del grano es constante/baja/moderada, puesto que la única finalidad del secado es eliminar la humedad y crear una malta base bien modificada.
- **Malta extra-seca:** si en la etapa final del secado se aumenta la temperatura, conseguimos maltas bases bien modificadas, pero con sabores más marcados a

malta y más oscuras. Dependiendo de los tiempos en el horno, así como el calendario de temperaturas y niveles de humedad desde el cual parte la malta, se obtendrán diferentes maltas (como la Munich).

- **Maltas Caramelizadas:** Estas maltas se obtienen cogiendo la malta en germinación (ya modificada), pero no secada y se hornea a temperaturas típicas de macerado, eso provoca la conversión de los almidones dentro del grano en azúcares, y un aumento posterior de la temperatura, carameliza dicho azúcar. Dependiendo del horno empleado tendremos diferentes maltas (Crystal) o Caramelo). Todas las maltas Crystal son maltas Caramelo, pero no todas las maltas Caramelo son maltas Crystal.
- **Maltas tostadas:** Son maltas que se tuestan en uno horno de tambor, a temperaturas muy altas. Pueden partir de maltas ya acabadas (simples o extra-secas), de maltas sin secar (como las caramelizadas) o incluso de granos no malteados. La diferencia entre las maltas tostadas y las caramelizadas es cómo de rápido se aplica el calor, ya que las anteriores tienen una etapa/descanso de conversión que permiten cambios estructurales dentro del grano que al tostar la malta de forma directa no se producen.
- **Maltas híbridas:** Son maltas tostadas, pero parten de una malta caramelizada previamente.

Clasificación de las maltas

Las maltas se clasifican en tres grandes grupos de maltas:

- **Maltas base:** Se utilizan para casi todas las cervezas porque tienden a ser las maltas con mayor disponibilidad.
- **Maltas horneadas:** son comúnmente producidas mediante el incremento de las temperaturas de curado usadas para la producción de malta base, pero también pueden ser producidas tostando malta base por un periodo de tiempo en un horno. Este tipo de maltas necesitan ser maceradas.
- **Maltas quemadas:** Aportan un sabor a café o a tostada quemada. Deben de ser usadas con moderación. Algunos cerveceros recomiendan que sean agregadas al final del macerado, sosteniendo que así se reduce el sabor punzante que estas maltas pueden aportar. Esta práctica parece producir una cerveza más suave para la gente que elabora cerveza con agua blanda o con bajo bicarbonato.

En la tabla 5 se describen las principales maltas cerveceras de acuerdo a sus características y lo que aporta cada una.

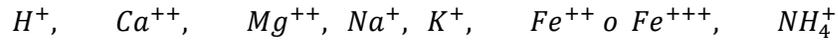
Tabla 5. Clasificación de las maltas.

TIPO DE MALTA	SUBTIPO DE MALTA		COLOR (Lv)	CARACTERISTICAS
MALTAS BASE	Malta Lager		2L	Malta con sabor delicado y apacible y un excelente potencial enzimático. Se utiliza para casi todos los tipos de cerveza porque tiende a ser la malta con mayor disponibilidad.

	Malta Pale Ale		3L	Es horneado a temperaturas más altas que la malta lager, dándole un sabor ligeramente más tostado.	
MALTAS HORNEADAS	Malta Biscuit		25L	Es muy tostada y ligeramente quemada, es utilizada para darle a la cerveza un sabor como de pan y bizcochos. Aporta a la cerveza un color ámbar profundo.	
	Malta Victory		25L	Es similar en sabor a la malta biscuit pero aporta un sabor más de nuez a la cerveza. Aporta destellos anaranjados al color de la cerveza.	
	Malta Munich		10L	Tiene un color ámbar y aporta mucho sabor a malta. Tiene suficiente poder diastático para convertirse ella misma, pero generalmente es utilizada junto a una malta base.	
	Malta Vienna		4L	Es más clara y más dulce que la malta munich y es el ingrediente principal para las cervezas Bock.	
	Malta de Dextrina (Carapils)		3L	Es poco usada y aporta poco color, pero mejora el "mouthfeel" y el cuerpo percibido de la cerveza. No tiene poder diastático y debe ser macerada porque aporta muchos almidones no convertidos y causa turbidez.	
	Maltas Caramelo (Crystal)	Caramelo 10		10L	Aporta una ligera dulzura, similar a la miel y algo de cuerpo a la cerveza final.
		Caramelo 40		40L	El color adicional y la ligera dulzura a caramelo de esta malta es perfecta para Pale Ales y Ámbar Lagers
		Caramelo 60		60L	Es la más comúnmente usada para hacer cervezas rojizas y aporta mucho sabor a caramelo y cuerpo a la cerveza.
		Caramelo 80		80L	Es usada para hacer cervezas rojizas y aporta un ligero sabor dulce-amargo, como el caramelo quemado.
		Caramelo 120		120L	Aporta mucho color y sabor dulce-amargo, como el caramelo quemado.
MALTAS QUEMADAS	Malta Chocolate		400L	Tiene un sabor amargo-dulce similar al chocolate, agradables características quemadas y aporta un profundo color rubí negro.	
	Malta Black Patent		580L	Es la malta más negra. Aporta un sabor quemado como carbón que puede ser bastante desagradable si es usado en exceso. Es muy útil para aportar color y/o para poner un "límite" a la dulzura.	
	Cebada Tostada		550L	Esta no es en realidad una malta, sólo es cebada muy quemada. Tiene un distintivo sabor seco de café y es el sabor distintivo de las Stout. Aporta menos sabor a carbón que la Black Patent	

2.2. Agua

El agua normalmente contiene una gran variedad de sales ionizadas que están presentes en forma de iones o partículas eléctricamente cargadas. Los principales iones cargados positivamente (cationes) son:



Los principales iones cargados negativamente (aniones) son:



El agua para el proceso de fabricación de cerveza no sólo debe satisfacer los requerimientos generales del agua potable sino que debe cumplir también con requerimientos específicos para asegurar el debido pH de la masa, la debida extracción del lúpulo, buena coagulación en la paila u olla de cocción, sana fermentación y el debido desarrollo del color y sabor dentro de la cerveza terminada.

Calcio

Una cantidad suficiente de calcio resulta esencial dentro del agua cervecera, particularmente durante la maceración. El calcio protege la alfa-amilasa contra la destrucción térmica y ayuda así a la licuefacción de la masa; el calcio estimula la acción enzimática de las proteasas y amilasas y aumenta así el rendimiento. El calcio ayuda a obtener y mantener el debido pH de la masa, ayuda en la floculación de material proteico dentro de la paila u olla de cocción.

El calcio también resulta importante en etapas posteriores del proceso de fabricación de cerveza. El calcio es necesario para la debida floculación de la levadura y eliminación del oxalato. En suma, un nivel apropiado de calcio dentro del agua cervecera resulta importante para obtener una cerveza estable y de buen sabor.

Magnesio

El magnesio sirve como una coenzima importante durante la fermentación. Normalmente, la malta contiene suficiente magnesio como para proveer la cantidad requerida. Donde se emplea un elevado porcentaje de adjuntos, puede resultar aconsejable la adición de pequeñas cantidades de magnesio al agua cervecera.

Alcalinidad

La elevada alcalinidad contrarresta los efectos beneficiosos del calcio y del magnesio. Por lo tanto, debe vigilarse y controlarse, si fuera necesario, la alcalinidad del agua cervecera mediante tratamiento con ácido o por medio de intercambio de iones. La utilización de agua alcalina para el lavado del bagazo o afrecho debe evitarse también, debido al peligro de extraer del grano polifenoles indeseables.

Sodio y potasio

El sodio y el potasio se hallan en todas las aguas naturales, predominando el ion de sodio. La mayor parte del potasio presente en la cerveza se deriva de la malta. Estos iones rara

vez están presentes en una concentración lo suficientemente elevada como para tener cualquier efecto sobre el sabor de la cerveza. Una excepción sería el agua extraída de una perforación profunda; estas aguas a veces tienen un contenido bastante elevado de cloruro de sodio.

Sulfato

El sulfato puede estar presente en grandes cantidades provenientes de capas de yeso y pizarra. Se cree que contribuye a darle a la cerveza un sabor "más seco" o más "amargo". Durante la fermentación, algo de sulfato puede convertirse en anhídrico sulfuroso o ácido sulfhídrico.

Cloruro

El cloruro, presente en casi todas las aguas por estar ampliamente distribuido a través de formaciones rocosas, se considera generalmente que da a la cerveza un sabor más "suave" o "lleno". Es una práctica bastante común añadir cloruros a las cervezas oscuras y stout.

Nitrato

El nitrato en el agua, se considera como una etapa final de oxidación de materia orgánica que contiene nitrógeno. Los niveles de nitrato en el agua han tendido a aumentar a través de los años, debido a la mayor contaminación y al uso difundido de los abonos nitrogenados. A diferencia de los puntos de vista que se mantenían antes, no se considera ahora que una elevada concentración de nitrato sea perjudicial para la fermentación, salvo que el nitrato quede reducido a nitrito por acción bacteriana durante la fermentación. La formación de nitrito puede generar una reducción en el grado de fermentación y tener efectos dañinos sobre la levadura.

Sílice

La sílice se presenta en la arena, el cuarzo y otros minerales y es lixiviada prácticamente de todas las rocas. El contenido de sílice del agua cervecera no tiene mayor importancia, ya que provienen cantidades mucho mayores de la malta y del grano. No obstante, deben vigilarse los niveles de sílice porque pueden afectar la utilidad del agua, debido a que, en elevados niveles, contribuye a la formación de incrustaciones en la caldera de vapor.

Materia orgánica

La materia orgánica disuelta causa ocasionalmente desagradables sabores a pescado o moho en la cerveza. Otro peligro, que se ha mencionado previamente, radica en la formación de órgano-haluros cuando se agrega cloro al agua que contiene materia orgánica disuelta. Está bien documentado que cantidades pequeñísimas de clorofenoles presentes en la cerveza pueden tener un efecto desastroso sobre el sabor. La eliminación de materia orgánica es una labor de especialista, que requiere técnicas tales como la supercloración, tratamiento con dióxido de cloro, floculación con alúmina y tratamiento con carbón activado.

Requerimientos básicos para una buena agua de cerveza

1. Debe satisfacer las normas del agua potable
2. Debe ser transparente, incolora, inodora y libre de cualquier sabor objetable. Si es un agua superficial, puede necesitar tratamiento para reducir o eliminar materia orgánica.
3. La alcalinidad en la fuente debe reducirse a 50 ppm o menos.
4. Si la alcalinidad es de 50 ppm o menos, el pH no es importante y pueden resultar aceptables valores que van desde un pH 4 hasta un pH 9.
5. El agua base del macerador debe tener aproximadamente 50 ppm de calcio. Poco más de la mitad del calcio, ya sea proveniente de la malta o de adición de sales, se pierde durante la maceración. Debido a esta pérdida, resulta aconsejable añadir directamente a la paila u olla de cocción una porción sustancial del calcio necesario, asegurándose de que las sales que se añaden en este momento hayan sido disueltas previamente a su adición. Un nivel de calcio de 40 a 70 ppm dentro del cocedor y de la masa principal, ayudará a preservar las enzimas y mejorar el rendimiento del extracto. Un nivel de 80 a 100ppm de calcio dentro del mosto, ayudará a controlar el pH, mejorar el rendimiento de la levadura, la floculación de la levadura, la eliminación del oxalato y a reducir el color del mosto. Resulta deseable un contenido de calcio de aproximadamente 60 - 80 ppm en la cerveza terminada.
6. El nivel de cloruros (como NaCl) puede variar según la preferencia de sabor.

2.3. Lúpulo

El lúpulo (*Humulus lupulus* L.) es una planta trepadora, perenne, dioica, perteneciente al grupo de las urticáceas y la familia cannabácea. En la fábrica de cerveza se utilizan únicamente las inflorescencias de las plantas femeninas, también llamadas por su forma conos. Éstas contienen las resinas amargas y los aceites etéreos que le suministran a la cerveza los componentes amargantes y aromáticos. El cultivo de lúpulo es realizado en zonas especiales, en las cuales están dadas las condiciones para ello. Después de la cosecha, se realiza el secado y el preparado, para evitar pérdidas de valor.

Estructura del cono del lúpulo

En la figura 8 se muestran dos imágenes de las flores femeninas de la planta de lúpulo. En la imagen de la parte derecha se señalan las partes más importantes que conforman la estructura del cono de lúpulo, y seguidamente se definen:

1. **Brácteas:** hojas verde-amarillentas ovales, más amarillas en la base que en la punta; las brácteas están ordenadas de manera que forman un cono.
2. **Raquis:** eje con forma de zigzag.
3. **Lupulina:** polvo amarillo, pegajoso, que se encuentran ubicadas entre el raquis y las brácteas. Se forma un cáliz glandular, en el que se secretan resinas amargas y aceites etéreos. El cáliz se recubre con una membrana, a los efectos de impedir un escape de la materia secretada; ante contacto, el cáliz de la lupulina se quiebra.

La lupulina contiene todas las sustancias del lúpulo, las cuales son importantes, salvo los taninos, para la elaboración de la cerveza.



Figura 8. Conos de lúpulo.

Composición y propiedades del lúpulo

La composición del lúpulo tiene una gran influencia sobre la calidad de la cerveza fabricada a partir de éste. En su materia seca, el lúpulo está compuesto con las características descritas en la tabla 6.

Tabla 6. Componentes que forman el lúpulo, importantes para la fabricación de la cerveza.

COMPONENTES	%
Compuestos amargos	18.5
Aceite de lúpulo	0.5 – 3.0
Taninos	3.5
Proteínas	20.0
Sustancias minerales	8.0

Los otros componentes del lúpulo (monosacáridos, ácidos orgánicos y sustancias minerales) carecen de interés para la fabricación de cerveza.

- **COMPUESTOS AMARGOS O RESINAS DE LÚPULO**

Los alfa-ácidos o humulonas (presentes entre un 3.5% y un 10%) son los compuestos más importantes para el amargor de la cerveza y están formados por humulona, co-humulona y ad-humulona. Aunque uno de estos compuestos, la co-humulona tiene una función más bien negativa para dicho amargor. Por ello, actualmente las nuevas variedades de lúpulo que se cultivan poseen unas porciones menores que un 20% - 25% de co-humulona del contenido de α -ácidos.

Los alfa-ácidos son isomerizados durante la cocción del mosto convirtiéndose en iso- α -ácidos solubles. Éstos últimos, salvo las precipitaciones durante el enfriamiento y la fermentación, van a parar a la cerveza terminada y son los causantes del amargor. Los compuestos amargos son muy tensoactivos, mejorando así la estabilidad de la espuma. Además, inhiben el desarrollo de microorganismos en la cerveza.

Por otro lado, los β -ácidos o lupulonas, están formados por lupulona, colupulona y ad-lupulona y están presentes en un 6 a 7%. Tienen un amargor unas nueve veces menor que los α -ácidos. El α -ácido es el factor más importante y determina en gran parte el valor comercial del lúpulo. En la figura 9 se muestran las estructuras de los compuestos más importantes del lúpulo.

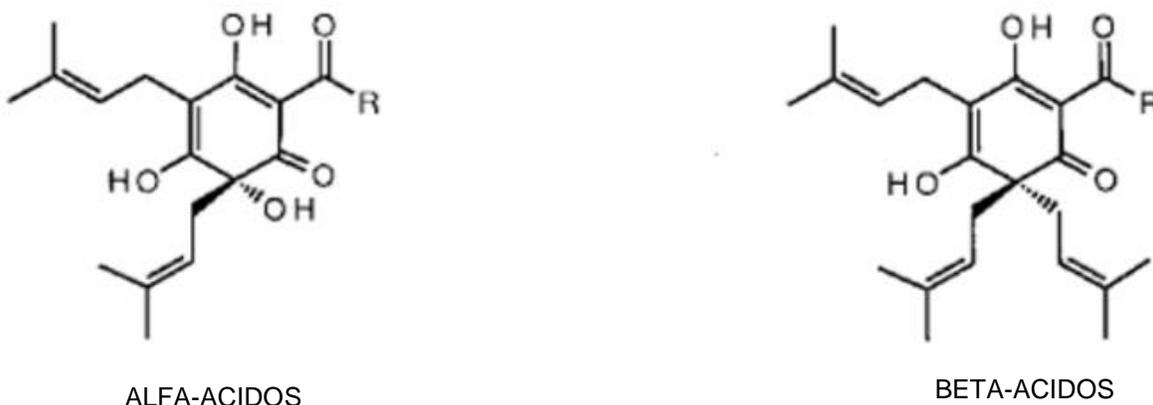


Figura 9. Estructura química de los ácidos presentes en el lúpulo.

• **ACEITES DE LÚPULO.**

El lúpulo contiene 0.5 a 1.2% de aceite de lúpulo con más de 200 sustancias etéreas diferentes. Son secretadas en la lupulina y dan al lúpulo un aroma característico. Las proporciones de los componentes del aceite del lúpulo sólo pueden ser detectadas por medio de ensayos cromatográficos; sin embargo, no se pueden sacar de ello conclusiones algunas sobre la acción combinada de los diferentes componentes aromáticos, que finalmente hacen el aroma total. La diferente composición del aceite de lúpulo es específica para cada variedad. Los aceites esenciales del lúpulo contribuyen de forma considerable al sabor y aroma.

La mayoría de los aceites son volatilizados durante la cocción del mosto. Únicamente sobreviven los que son adicionados al final del hervor o añadidos directamente a los tanques de fermentación (técnica conocida como dry-hopping). Los aceites más importantes son los que se enlistan en la tabla 7, y en la figura 10 se muestran las estructuras químicas de los aceites esenciales del lúpulo.

Tabla 7. Aceites importantes contenidos en el lúpulo.

ACEITES			
	Monoterpeno	Mirceno	Aporta una determinada acidez al aroma de lúpulo, otorgándole a la cerveza un matiz áspero y desagradable. Puede variar entre 20 y 65%.

HIDROCARBUROS	Sesquiterpenos	Humuleno	Aporta una fragancia refinada y delicada a la cerveza. Su concentración en los lúpulos nobles es prácticamente igual que la cantidad que poseen de mirceno.
		Farneseno	Aporta matices florales. La concentración total puede variar desde el 1 hasta el 20%, siendo mayor en las variedades aromáticas.
		Cariofileno	Produce un carácter herbáceo y especiado. Constituye entre un 5 y 15% del total de los aceites esenciales. Generalmente, se encuentra en mayor proporción en las variedades de lúpulo aromáticas.
	Diterpenos		
HIDROCARBUROS OXIGENADOS	Alcoholes	Lanilool	
		Geraniol	
	Ésteres		
	Productos de oxidación		

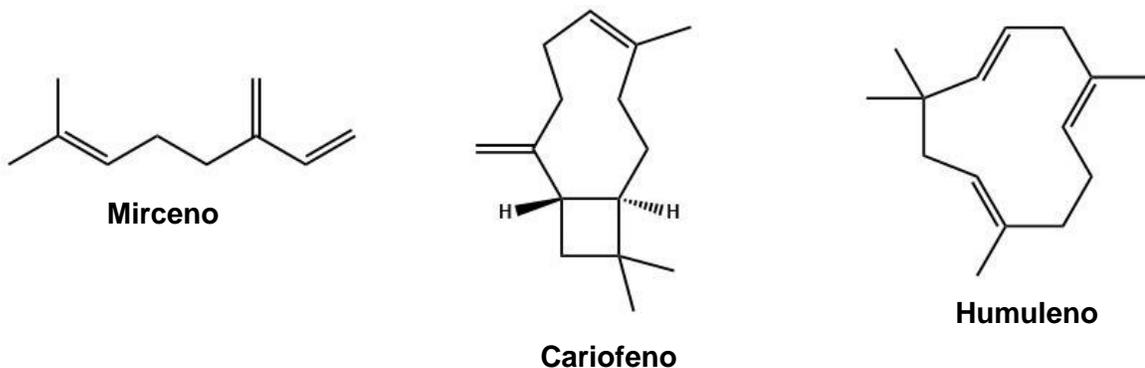


Figura 10. Estructura química de los aceites esenciales del lúpulo.

• TANINOS O POLIFENOLES

Se encuentran situados casi exclusivamente en las brácteas y los raquis. Son solubles en el mosto durante la cocción y tienen la facultad de oxidarse y polimerizarse. Algunas de las propiedades más importantes que poseen para el cervecero son:

1. Tienen un sabor astringente (sensación mixta en la lengua entre sequedad intensa y amargor).
2. Interaccionan con las proteínas grandes del mosto dando lugar a compuestos coloidales que acaban insolubilizándose, formando turbios de calentamiento. Hay otras combinaciones de tanino con proteína de pequeño o mediano peso molecular que se mantienen en solución caliente, pero que precipitan durante el enfriado del mosto.

Los taninos son compuestos más o menos complejos con varios grupos fenilo, por eso se los denomina también polifenoles. Éstos están compuestos por una mezcla de taninos, flavonoles, catequinas y anticianógenos.

Los polifenoles del lúpulo se diferencian de los de la malta sobre todo por su grado de condensación más elevado y por su mayor reactividad.

El xantohumol y el isoxantohumol pertenecen al grupo de los polifenoles presentes en el lúpulo. A estos compuestos se les adjudica una propiedad antioxidante así como también preventiva contra el cáncer.

- **SUSTANCIAS ALBUMINOIDES**

Del 12 al 20% de la materia seca del lúpulo son sustancias albuminoides, de las cuales del 30 al 50% llegan a la cerveza. Debido a su cantidad reducida, la proteína del lúpulo no tiene importancia para la fabricación de la cerveza (formación de espuma, paladar intenso).

2.4. Levadura

Las levaduras comprenden 39 géneros y 350 especies. Se identifican y clasifican, basándose en características morfológicas y fisiológicas. Entre los aspectos morfológicos considerados, se encuentran el tamaño y la forma de las células, en medios sólidos y líquidos especializados, el modo de reproducción y si forma velo en la superficie o sedimenta en un medio líquido. Entre las características fisiológicas consideradas, se encuentra si puede crecer (y fermentar) en un determinado carbohidrato y si puede o no utilizar determinadas fuentes de nitrógeno, como los nitratos.

Las células de las levaduras pueden ser ovoides, esféricas, tener forma de limón o de cigarro puro. Pueden dividirse mediante gemación, acaecida en cualquier lugar de la superficie, o solo en los extremos, o polos. Algunas no forman gemas, pero exhiben todas las demás características del grupo; forman simplemente un tabique en el interior de la célula, tras elongarse. Hay levaduras que forman, especialmente en medio sólido, filamentos, ramificados o no, denominados pseudomicelios; otras ofrecen micelios muy similares a los de los mohos.

Una de las características fisiológicas de los *Saccharomyces* que ayuda a su identificación es la de que no utilizan el nitrato como fuente de nitrógeno, frente a lo que hacen algunos otros géneros, como *Hansenula*. *Saccharomyces cerevisiae*, se distingue de *Saccharomyces carlsbergensis*, la otra levadura de la cerveza, en que la primera no fermenta el azúcar melibiosa y la segunda sí. Ambas utilizan la galactosa en tanto que las levaduras que participan en el envejecimiento del jerez, *S. Bayanus*, no la fermentan. Todas las especies de *Saccharomyces* fermentan la maltosa que no es en cambio utilizada por *S. Capensis*.

Tipos de levadura utilizada en la fabricación de la cerveza

Las levaduras que se utilizan en la industria cervecera pertenecen a la familia Endomiceteaceas del reino de los hongos, concretamente a la subfamilia Saccharomycetidea y al género Saccharomyces. Dentro de este géneros se distinguen dos especies: La Saccharomyces cerevisiae y la Saccharomyces uvarum o carlsbergensis.

En la tabla 8 encontramos la clasificación de las levaduras según el tipo de fermentación que se produce y en la tabla 9 se mencionaran las principales diferencias metabólicas entre las levaduras Saccharomyces.

Tabla 8. Diferencias entre tipos de levadura.

	TIPO DE FERMENTACIÓN	TIPO DE CERVEZA	TEMPERATURA DE FERMENTACIÓN	DESCRIPCIÓN
SACCHAROMYCES CEREVISIAE	Alta fermentación	Ales	Fermenta más fácilmente a temperaturas altas (15 a 25°C)	Se encuentra normalmente en la naturaleza, en los tallos de los cereales y en la boca de los mamíferos. Fue descubierta por Pasteur en 1852. La levadura sube a la superficie del tanque al final de la fermentación.
SACCHAROMYCES CARLSBERGENSIS	Baja fermentación	Lager	Fermenta a temperaturas bajas (5 a 15°C)	Fue descubierta por los cerveceros del sur de Alemania que sometían sus cervezas a una maduración a bajas temperaturas en las cuevas de los Alpes. La levadura se deposita en el fondo del tanque al final de la fermentación.

Tabla 9. Diferencias metabólicas entre las levaduras cerveceras.

SACCHAROMYCES CEREVISIAE	SACCHAROMYCES CARLSBERGENSIS
No fermenta la melibiosa	Fermentación de melibiosa.
Fermentación de un tercio de la molécula de rafinosa (la fracción de fructosa)	Fermentación de rafinosa completa, debido a la presencia de melibiosa.

Fermentación muy ocasional de inulina.	
Actividad respiratoria mayor (presencia de succinodehidrogenasa).	
	Mayor producción de ácido sulfhídrico o de metil-mercaptano
Capacidad de utilizar el etanol para el crecimiento	
	Capacidad de fermentar el gliceraldehido.

En la figura 11 se muestra la diferencia decisiva en la presencia de la melibiosa en la *S. carlsbergensis* permitiéndole la fermentación completa de refinosa.

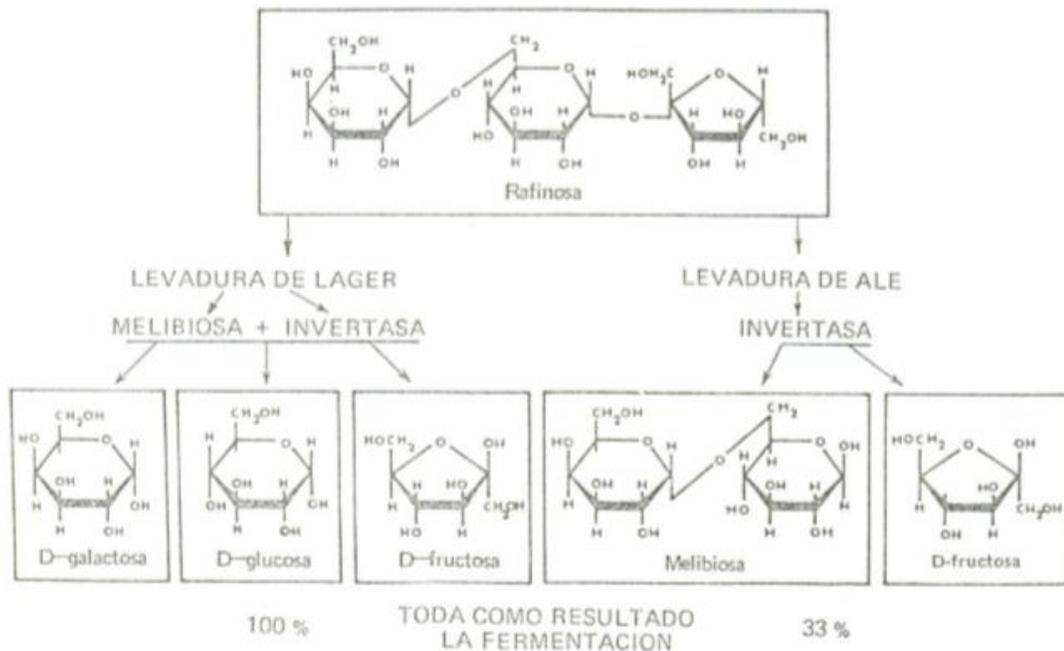


Figura 11. Hidrolisis enzimática de la rafinosa por medio de la levadura Ale y Lager.

Crecimiento de la levadura

El comportamiento del crecimiento de la levadura en el tiempo se representa por una curva de crecimiento (figura 12), la cual consiste en cuatro fases

Fase lag (i)

Representa el periodo de adaptación de la levadura a las nuevas condiciones nutricionales y ambientales. En esta fase no existe aumento en el número de células debido a que la levadura utiliza la energía disponible para sintetizar las enzimas que requiere para su desarrollo en el nuevo medio.

Fase logarítmica o exponencial (ii)

En esta fase las células se multiplican de manera exponencial. La velocidad de crecimiento puede ser cuantificado con base al número de células que se producen por unidad de tiempo. La fase termina cuando los nutrientes se agotan, las condiciones

ambientales se modifican o cuando la célula produce metabolitos tóxicos que inhiben su reproducción.

Fase estacionaria (iii)

En esta fase la velocidad de crecimiento de la levadura es igual a la velocidad de muerte. Una vez que se obtiene la máxima concentración de células, la producción de etanol disminuye.

Fase de muerte (iv)

Es la fase en la que el número de muertes es mayor al número de nuevas células formadas. Esta fase continúa hasta que la población disminuye a una pequeña fracción de células resistentes o hasta que todas las células mueren.

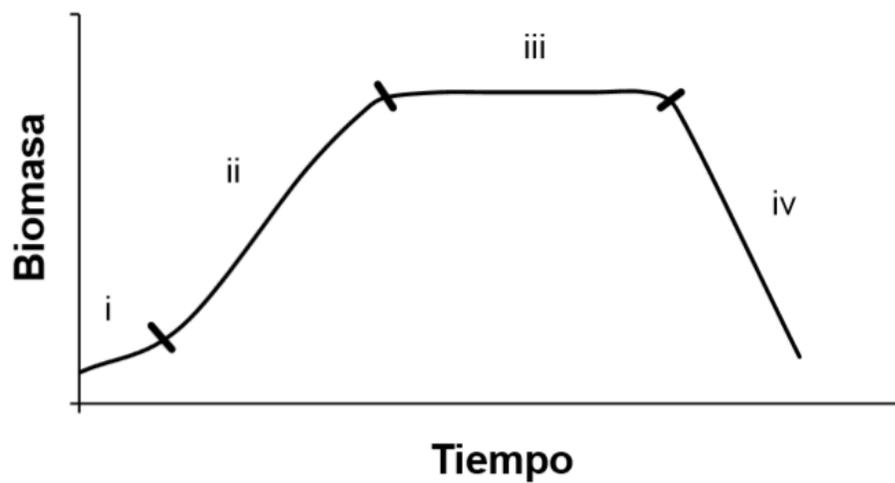


Figura 12. Curva de crecimiento de la levadura.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

El proceso de Elaboración de la Cerveza (figura 13).

La producción del mosto es la etapa más importante del proceso, éste se divide en tres grandes rubros que son: limpieza y molienda del grano, maceración y ebullición, y enfriamiento, las cuales dependen exclusivamente del tipo de cerveza que se piensa elaborar, debido a que según la clase de cerveza varía la cantidad y tipo de Materia Prima. Esta es una de las causas principales por las cuales existen tantas variedades de cerveza.

- Tipo y naturaleza del agua cervecera
- Tipo y naturaleza de levadura cervecera
- Tiempos y temperaturas en Cocimiento
- Tiempos y temperaturas en Fermentación

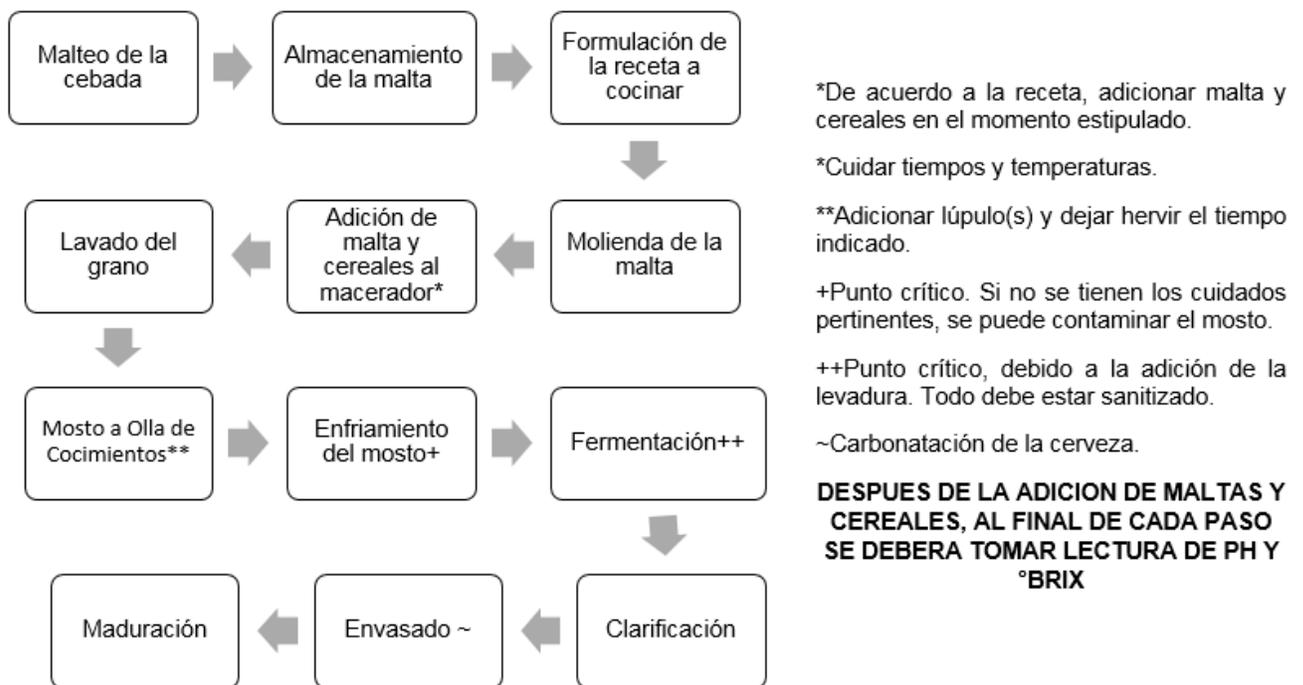


Figura 13. Diagrama de bloques del proceso cervecero.

1. Producción del mosto

1.1 Cocimientos

Tiene por objeto extraer todos los principios útiles de la malta (extracto fermentable), lúpulo (Amargos y aceites esenciales), materias auxiliares para preparar el mosto cervecero. Se llevan a cabo 5 fases que son:

Limpieza y Molienda

Todo el grano a procesar en la casa de Cocimientos, debe pasar por un proceso de limpieza. Ya que el grano desde el campo puede contener materiales extraños (piedras, materiales no metálicos y metálicos, basura, hojarascas, semillas, etc.). La limpieza se puede llevar a cabo con mallas de diferentes claros en conjunto con imanes para tener

una limpieza completa de los granos de malta; una vez limpia la malta pasará al proceso de Molienda. El proceso de Molienda dependerá del tipo de cerveza a producir. Este proceso es de suma importancia ya que en ella se debe tener un balance entre las fracciones de molienda para tener un proceso de maceración lo más óptimo posible. Las fracciones de molienda son 4: Cascarilla, Sémola Gruesa, Sémola Fina y harina. La molienda consiste en triturar el grano, respetando la cascarilla o envoltura (ya que se ocupará como lecho filtrante) y provocando el rompimiento del grano sin llevarlo todo a ser harina ya que puede afectar el proceso de filtración del mosto. Estas dos condiciones, cáscara entera y sémolas no podrán respetarse si el grano no está seco (excepción molienda húmeda).

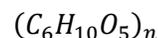
Si se pretende obtener una cerveza con mucho extracto debe tenerse molienda en harina, pero la cascarilla tiene un alto contenido de taninos que provocarán una astringencia excesiva en la cerveza terminada.

La molienda debe generar más sémolas, ya que estas tendrán más contacto con el líquido que las contenga y las enzimas de la malta trabajarán mejor para llevar a cabo la proteólisis y la obtención de azúcares fermentables de la malta.

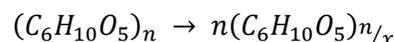
Cocción y maceración

Fase del proceso donde se extraen de la malta y eventualmente de los granos crudos la mayor cantidad de extracto y de la mejor calidad posible en función al tipo de cerveza que se busca fabricar. La extracción se logra principalmente por hidrólisis enzimática, solamente un 10% de la extracción es debida a una simple disolución química. Las amilasas desdoblan el almidón en dextrinas y maltosa, principalmente las enzimas proteolíticas desdoblan las proteínas complejas en materias nitrogenadas solubles, etc. Estas transformaciones enzimáticas han sido ya empezadas durante el malteado a un ritmo mucho menos intenso del que sucederá en el cocimiento. Cuantitativamente el desdoblamiento del almidón en azúcares y dextrinas es el más importante.

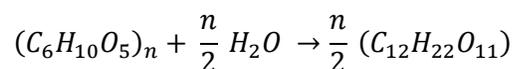
La fórmula bruta del almidón es:



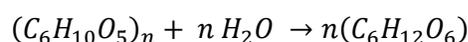
Las principales reacciones que ocurren durante el cocimiento por acción de las amilasas son formación de dextrinas:



Formación de maltosa:



Y en menor proporción formación de glucosa:



El almidón contiene dos polisacáridos diferentes: amilosa (figura 14) y amilopectina (figura 15); la amilosa está constituida por cadenas rectilíneas de glucosa con uniones α -1,4; la amilopectina está constituida por cadenas ramificadas de uniones de glucosa en uniones a α -1,4 y α -1,6 existiendo también uniones del tipo α -1,3. Para desdoblarse el almidón se necesitan varias amilasas siendo las principales las α y β -amilasas.

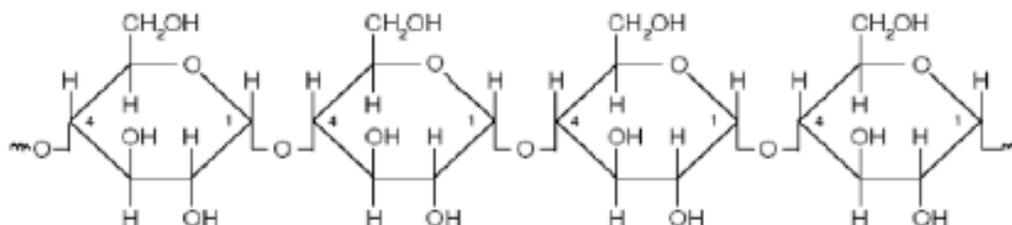


Figura 14. Estructura química de la amilosa.

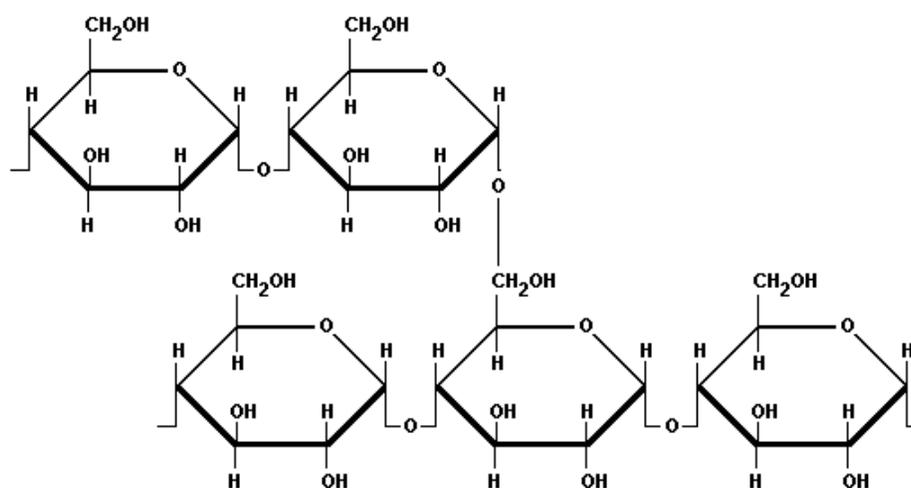


Figura 15. Estructura química de la amilopectina.

Características de las enzimas amilolíticas de la malta

La β -amilasa corta las cadenas rectas de almidón de dos en dos glucosas, cada pareja se combina con una molécula de agua formando una molécula de maltosa, esta enzima (β -amilasa) puede de esta manera desdoblarse enteramente las cadenas de amilosa en maltosa, sólo es detenida si el número de glucosas de la cadena es impar, formando una molécula de maltotriosa al final. La β -amilasa también ataca la amilopectina pero se detiene totalmente en las zonas donde existen enlaces del tipo α -1,6.

La α -amilasa es también incapaz de romper los enlaces α -1,6 de la amilopectina, su misión consiste en cortar en un lugar cualquiera los enlaces α -1,4. Teóricamente la α -amilasa podría formar moléculas de maltosa cortando las cadenas hasta que queden dos unidades de glucosa, pero para llegar a esos extremos se tendría que dejar reaccionar mucho tiempo la enzima. Se observa pues que por la acción combinada de estas 2 enzimas el almidón será desdoblado en gran parte en maltosa y dextrinas es decir las

zonas donde por la existencia de enlaces α -1,6 las enzimas en mención no han podido actuar (figura 16); estas zonas son compuestas por tres glucosas como mínimo es decir maltotriosas.

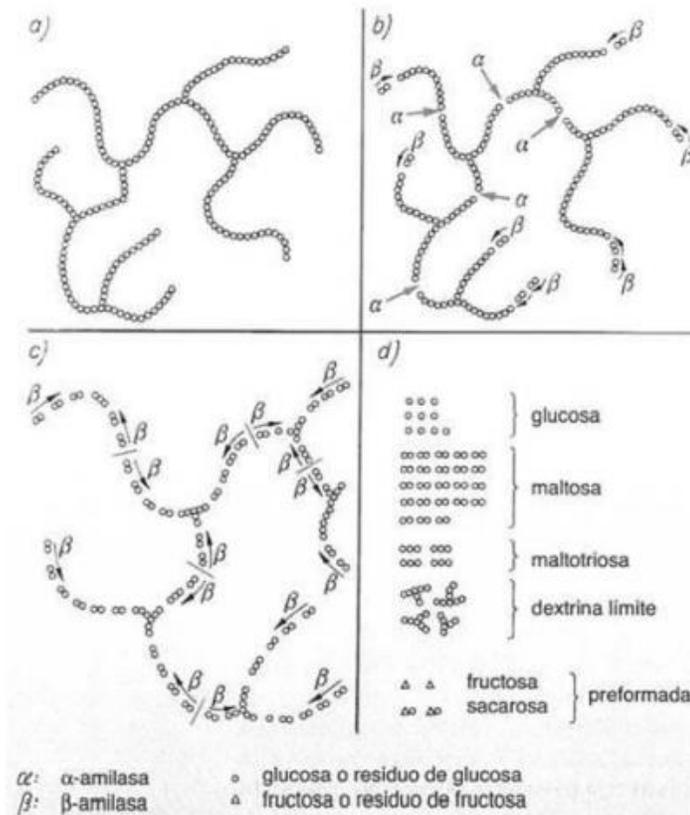


Figura 16. Degradación del almidón durante la maceración.

Características de las enzimas Proteolíticas

Contrariamente a lo que pasa con el almidón las sustancias nitrogenadas están lejos de disolverse completamente durante el cocimiento; se disuelven mayormente durante el malteo. Pero es muy importante tener en cuenta la gran diferencia existente entre los compuestos nitrogenados que se disuelven durante el malteo, y los que se disuelven durante el cocimiento, los compuestos que aquí se forman son sobre todo los péptidos.

Las proteínas están en su máxima actividad a la temperatura de 45 a 50 °C; a 60 °C están aún en actividad, pero formando una proporción alta de compuestos nitrogenados complejos; a 70 °C las proteínas son rápidamente destruidas; su pH óptimo de acción es de 4.6 a 5.0. El 5 a 6 % de los sólidos del mosto son compuestos nitrogenados, y un 40 a 45 % de las proteínas de la malta son solubles.

El lúpulo contiene 14 a 15 % de proteínas. De las proteínas que se solubilizan en la maceración buena parte de ellas se retira por coagulación, en parte en la misma maceración y en parte durante la ebullición del mosto. La actividad de las enzimas proteolíticas durante la maceración es baja por que las condiciones de pH no son óptimas.

Temperaturas y tiempos tradicionales de maceración

Cada cervecería utiliza el sistema de maceración que más le conviene según las materias primas y los equipos de que se dispone, y según la cerveza que se desea elaborar. Para lograr esto se busca favorecer determinadas reacciones enzimáticas dejando las masas a determinadas temperaturas durante algún tiempo. Este tiempo que dura la masa a determinada temperatura se le llama pausa. En la figura 17 se mostrara una curva de temperaturas con las pausas en el macerado y en la figura 18 se mostraran una curva de maceración con la actividad de las enzimas alfa y beta amilasa.

Las pausas más comunes en los diferentes sistemas de maceración son:

Pausa de hidrolisis

Esta pausa varía entre 10 y 20 minutos y de los 25 a 30 °C, y se realiza cuando se termina de cargar el macerador o mash-tun con la malta molida en el agua.

Pausa de proteólisis

A 45°C es la temperatura óptima para la actividad de la péptidasa, es decir para la formación de aminoácidos y péptidos simples. Esta pausa también se le conoce como peptonización y puede variar de 10 a 60 minutos.

Pausa de formación de azúcares

De 55 a 62.5°C es la temperatura óptima para la formación de maltosa o sea para la actividad de la β -amilasa variando entre 5 a 20 minutos, aquí aún hay algo de actividad proteolítica y algo de actividad de la α -amilasa.

Pausa de formación de dextrinas

De 67 a 72.5°C a esta temperatura se tiene la máxima actividad de la α -amilasa produciéndose una gran cantidad de dextrinas, con un tiempo que varía entre los 5 y 30 minutos.

Pausa de conversión

Este Pausa la mayoría de veces es idéntico al anterior, pero sirve para completar todas las actividades enzimáticas, con una duración máxima de 30 minutos entre 70 y 74°C.

Pausa estabilización de masa

Se realiza para inactivación total de las enzimas, hay una ligera actividad de la α -amilasa, pero se va destruyendo. Con esta Pausa se termina la maceración, posteriormente se pasará la masa a la paila de filtración o filtro prensa para separar los afrechos. Esta Pausa con un promedio de duración entre 5 a 20 minutos es importante para regular la viscosidad del mosto durante la filtración, se lleva a una temperatura de entre 74 y 77.5°C.

En la tabla 10 podemos ver los intervalos óptimos de temperatura que activan las diferentes enzimas. Es importante comprender que las enzimas funcionan desde temperaturas por debajo y por encima del intervalo descrito, y que su destrucción toma tiempo, por lo que es posible activar varias enzimas en diferentes puntos de temperatura.

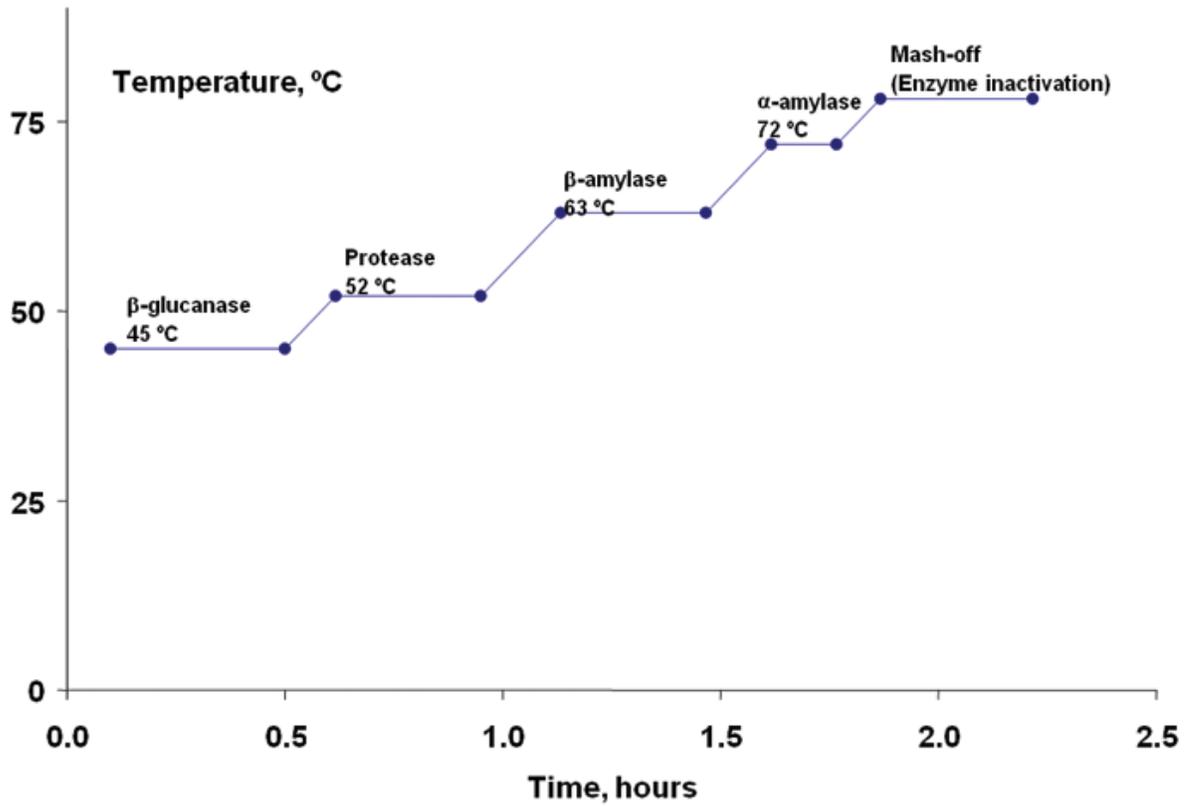


Figura 17. Cuerva de temperaturas de las pausas en el macerado.

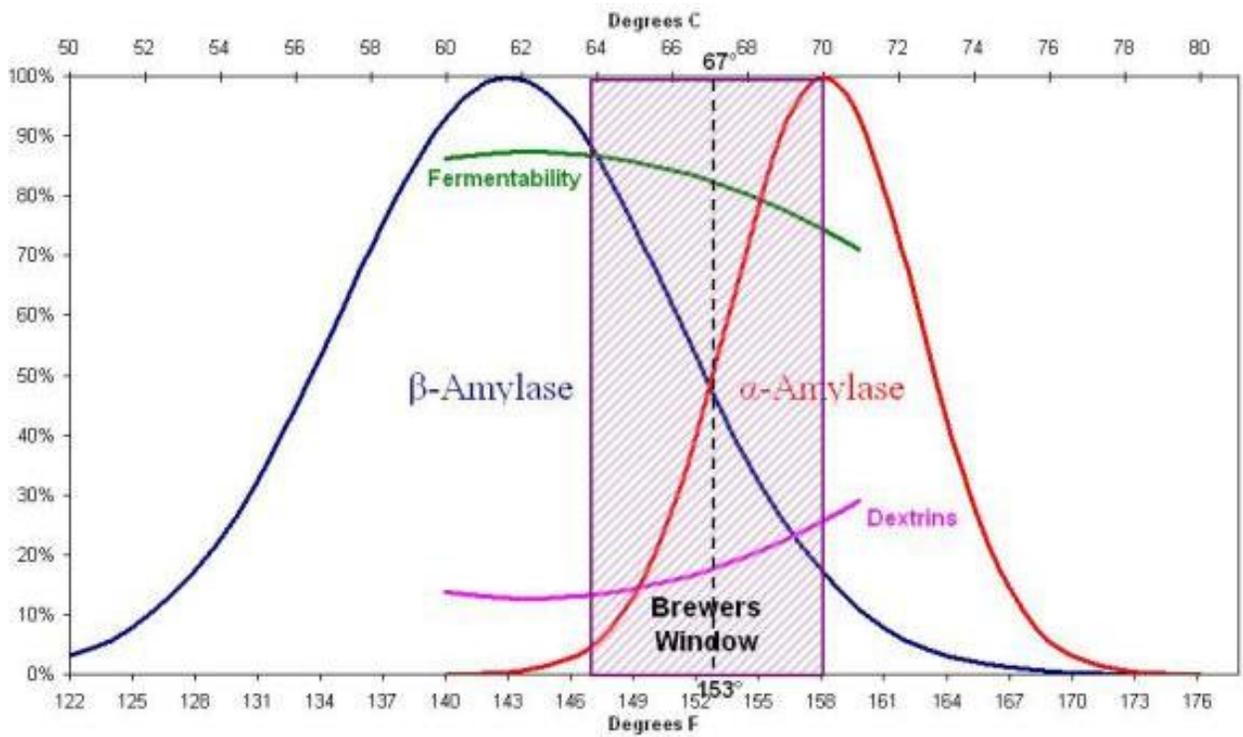


Figura 18. Actividad de las enzimas en una hora de maceración.

Tabla 10. Activación de las diferentes enzimas durante la maceración.

ENZIMA	INTERVALO OPTIMO DE TEMPERATURA (°C)	INTERVALO OPTIMO pH	FUNCIÓN
FITASA	30 – 52°C	4.4 – 5.5	Baja el pH del Mosto.
BETA GLUCANASA	36 – 45°C	4.5 – 5.0	Reduce la viscosidad del mosto, y mejora la clarificación.
PEPTIDASA	46 – 57°C	4.6 – 5.2	Produce Amino Nitrógeno Libre (FAN), que es esencial para la levadura y la fermentación.
PROTEASA	46 – 57°C	4.6 – 5.2	Rompe proteínas grandes y reduce la turbiedad.
BETA AMILASA	54 – 65°C	5.0 – 5.6	Produce azúcares cortas, altamente fermentables
ALFA AMILASA	68 – 75°C	5.3 – 5.8	Produce azúcares de larga cadena, poco fermentables, que agregan cuerpo a la cerveza

Filtración de mosto

Habiendo ya disuelto las materias solubles por el cocimiento es necesario separar el mosto de la parte insoluble llamada bagazo. La operación se realiza en dos fases primero el flujo del mosto y luego la operación de lavado del extracto que contiene el orujo. El mosto y el agua de lavado deben ser claros pues si se aporta durante la operación demasiadas sustancias mal disueltas, la clarificación de la cerveza será demasiado difícil.

La calidad de la cerveza puede ser también alterada por un lavado de orujo con agua alcalina pues los polifenoles y sustancias amargas de la cáscara de la malta se disuelven muy fácilmente en agua alcalina aún más si se tiene en cuenta que el lavado se hace en agua a una temperatura máxima de 75 °C.

La temperatura es muy importante no excederse de 75 °C pues se corre el riesgo de disolver almidón presente aún en el orujo, lo que acarrearía problemas de turbiedad y fermentación posteriores.

Existen dos tipos de aparatos donde se realizan la filtración y posteriormente el lavado del orujo: Cuba filtro y Filtro prensa.

Cuba filtro

La variación de concentración del orujo no implica directamente en el volumen de la cuba, pudiendo ser el espesor de 25 a 50 cm. Como desventaja la proporción de adjunto es de 25 %. Otra ventaja es la menor mano de obra, pero el tiempo de filtración es mayor.

Filtro prensa

Se puede filtrar un mosto más denso, con una filtración más rápida y una proporción de adjuntos mayor del 75 %. Como desventajas el mosto es menos brillante, hay mayor cantidad de ácidos grasos insaturados, y el trabajo es más exigente.

Ebullición de mosto

La finalidad de la ebullición es estabilizar enzimática y microbiológicamente el mosto y buscar la coagulación de las proteínas. La coagulación de las materias proteínicas debe hacerse lo mejor posible, pues si subsisten en el mosto ocasionarían problemas en la fermentación y provocando fácilmente turbiedad en la cerveza embotellada.

La destrucción de las enzimas es realizada para evitar que sigan desdoblado a lo largo de la fermentación, las amilasas podrían seguir desdoblado las dextrinas y éstas se transformarían enteramente en alcohol.

La vigorosidad de la ebullición influye también en la coagulación, más no en la desnaturalización durante la ebullición. La coloración también aumenta sobre todo por la formación de melanoidinas, también por oxidación de taninos, estas dos reacciones son favorecidas por el pH elevado. Por último a lo largo de la ebullición se forman productos reductores que contribuyen a la calidad y estabilidad de cerveza.

El lupulado del mosto se realiza tradicionalmente durante esta operación, es decir en la paila de ebullición. El amargor es obtenido por isomerización de los ácidos y del lúpulo; esta isomerización es incompleta debido principalmente al pH del mosto, el pH óptimo de isomerización es 9.

Enfriamiento de mosto

El mosto obtenido por sacarificación de la malta o de los adjuntos y por proteólisis de las proteínas de la malta, ebullición durante hora y media con el lúpulo para otorgarle el amargor.

A lo largo de esta ebullición la esterilización completa es obtenida gracias en particular a un pH vecino a 5.3. Los precipitados proteicos son eliminados por sedimentación, filtración o centrifugación; el mosto es enseguida enfriado a la temperatura de inoculación de la levadura, esta temperatura depende del tipo de levadura empleada y del tipo de cerveza a fabricar entre 6 a 20 °C.

Durante el enfriamiento un nuevo precipitado de polifenoles-proteínas se forma (se le conoce como trub frío), por un lado por enlaces de hidrógeno y también por la falta de solubilidad de las prolaminas.

El mosto enfriado, en principio estéril, debe ser aerado antes del inicio de la fermentación, de no ser aerado la tasa de mortalidad levuriana aumentaría a tal punto que la levadura no podría ser reutilizada; la oxigenación del mosto antes del inicio de la fermentación permite a la levadura sintetizar ácidos grasos insaturados (oleicos, linoleicos, y linolenicos), en ausencia de estos ácidos grasos la pared celular está sujeta a alteraciones lo cual lo hace más permeable a los ésteres correspondientes a los alcoholes superiores que ella misma forma.

La composición del mosto es muy variable en función al tipo de cerveza fabricada, su densidad puede variar entre 2 a 20° P (grados Plato) es decir que puede contener de 2 a 20 gr de soluto por 100 gr de líquido; a su vez puede ser rico o no en aminoácidos y péptidos en función de la importancia de la proteólisis y de la proporción de adjuntos utilizados. La relación maltosa/dextrinas es igualmente variable de acuerdo al método de cocimiento escogido. De manera general se puede decir que el mosto es un medio incompleto, normalmente carente de aminoácidos y ácidos grasos insaturados pues es imposible obtener un crecimiento rápido y completo de levadura; cosa que no sucede si se tratara de un medio sintético a base de extractos de levadura.

En la tabla 11 se desglosa el contenido de sólidos que se encuentran en el mosto, y en la tabla 12 se desglosan los principales carbohidratos del mosto.

Tabla 11. Composición de los sólidos del mosto.

Carbohidratos	90- 92%
Compuestos de Nitrógeno (N x 6.25)	3.0 – 6.0%
Sales y Minerales	1.5 – 2.0%
Ácidos Libres (como ácido láctico)	0.5 – 1.0%
Sustancias fenólicas	0.1 – 0.2%
Aceites y Sustancias Amargas del Lúpulo	0.05 – 0.1%

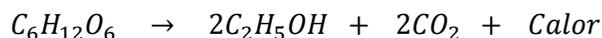
Tabla 12. Carbohidratos menores del mosto.

		g/100g de Carbohidrato	% Fermentable
Pentosas	Xilosa	0.015	No fermentable
	Arabinosa	0.014	No fermentable
	Ribosa	0.002	No fermentable
Hexosas	Galactosa	1.1 – 1.6*	Fermentable
Disacáridos	Maltulosa	0.8 – 1.2	Fermentable
	Isomaltosa	0.5 – 1.0	10 – 100
	Nigerosa		
	Melibiosa	0.6 – 1.1*	Levadura baja únicamente
Trisacáridos	Maltotriulosa	0.5 – 0.9	Fermentable
	Panosa + Ispanosa	0.4 – 0.8	0 – 40
	Rafinosa	0.6 – 1.1*	Fermentable por levadura baja, 1/3 fermentable por levadura alta

* Suma de arabinosa y galactosa

1.2. Fermentación

La descripción tradicional cuantitativa de la fermentación cervecera se ha expresado como el proceso anaeróbico, mediante el cual la levadura convierte la glucosa en etanol y dióxido de carbono:



La influencia de numerosas enzimas y coenzimas son las responsables de las reacciones mucho más complejas producidas en la conversión. No sólo participa la glucosa o

carbohidratos fermentables presentes en el mosto. Numerosos productos derivados se desarrollan durante la fermentación y muchos componentes del mosto son asimilados por la levadura; todo el cual tiene un impacto sobre el sabor y las características de la cerveza final.

Pese a su complejidad, la fermentación depende más que nada de tres parámetros básicos: la composición del mosto (nutrientes de la levadura); la levadura misma, y las condiciones del proceso (tales como duración, temperatura, volumen, presión, forma y tamaño del recipiente, agitación y corriente dentro del mosto que está en fermentación)

Proceso

El proceso de fermentación y sus condiciones pueden describirse agrupándolos en: proceso por lotes o batch, proceso por lotes aceleradas y proceso continuo. En todos los casos, se realiza tal como se muestra en la figura 19, tanto para las fermentaciones de cervezas de fermentación baja (lager) como de fermentación alta (ale).

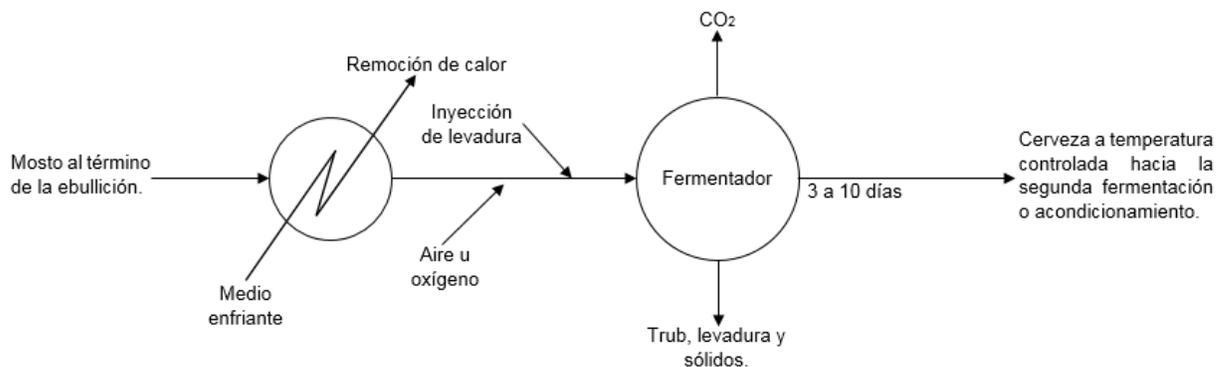


Figura 19. Proceso simple de fermentación

La utilización de tanques de arranque-sedimentación es bastante normal en la fermentación ale. Un programa de temperatura-tiempo y peso específico relacionados con una fermentación promedio de ale se muestra en la figura 20.

Descripción.

Comienza con la aireación y siembra del mosto a una temperatura mínima de entre 15 y 18°C. El mosto frecuentemente entra a la parte superior de un tanque abierto de arranque, aireando así adicionalmente el mosto y se añade la levadura. Aquí el tiempo de permanencia puede ser tan breve como tres horas o llegar a una duración de 24 a 30 horas. El mosto en fermentación se transfiere a un fermentador. Durante esta transferencia se produce una mezcla: levadura, mosto y aire adicional, especialmente si el fermentador es llenado desde arriba. El "trub", algo de levadura y otros sólidos son dejados atrás en el recipiente de arranque, reduciendo el sabor indeseable en la cerveza final.

A medida que avanza la fermentación se forma espuma simultáneamente con la caída del peso específico y la mayor temperatura (frecuentemente 25°C). La espuma puede subir hasta 2.5m, o más de 1/3 del volumen del fermentador. La levadura se aglutina,

sube y es pre-extraída durante las siguientes 24 horas, dejando atrás una capa de alrededor de 3 a 5 cm de espesor.

La temperatura en la recolección (aproximadamente 40 horas después de la siembra) generalmente es de unos 20°C. Cuando se ha completado básicamente la fermentación, se inicia el enfriamiento para facilitar la sedimentación de la levadura.

La fermentación ale es físicamente distinta de la fermentación lager por la disminución más rápida del extracto, causada por el uso de levadura diferente (*S. cerevisiae*), que permanece en suspensión, y por las altas temperaturas utilizadas. No obstante, algunas levaduras de fermentación alta pueden aglutinarse demasiado rápido y subir a la superficie del mosto en fermentación dejando muy pocas células en suspensión.

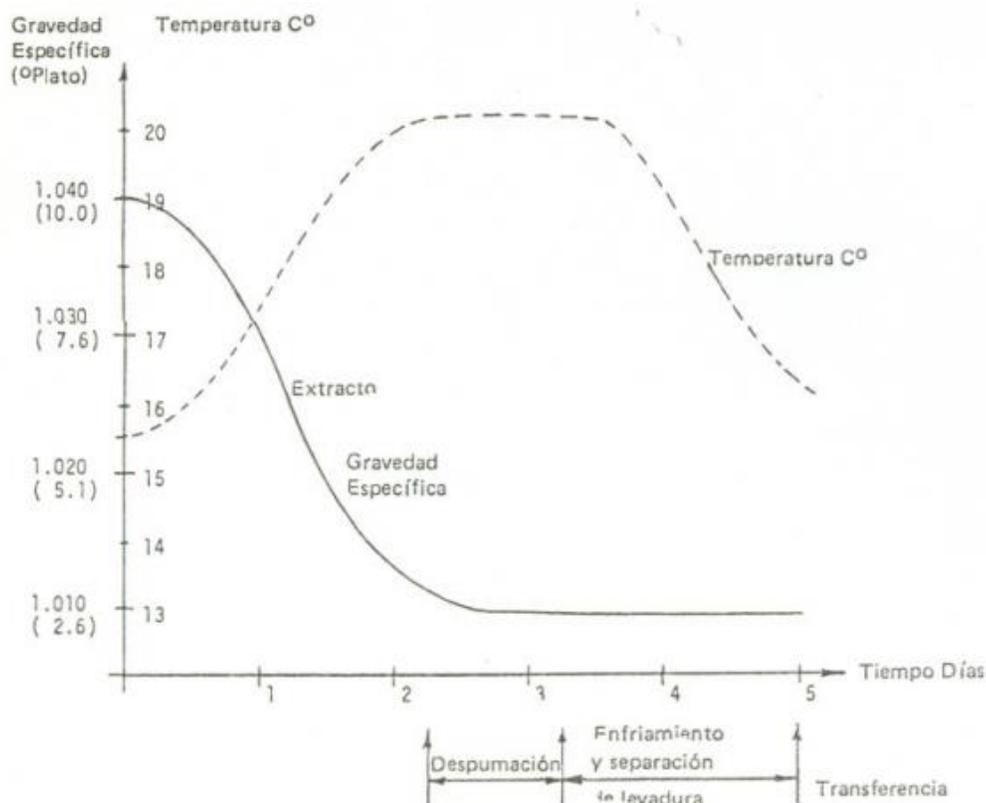


Figura 20. Fermentación típica de cervezas tipo Ale.

Calidad

Debe exigirse un estricto control durante la fermentación para asegurar que proceda normalmente el avance de la fermentación; que la levadura sea sana y libre de contaminación; y que se comporte según lo previsto tanto en la suspensión como en la floculación.

Los métodos físicos y químicos pueden incluir la comprobación de parámetros tales como la temperatura, pH, contenido de alcohol y de extracto, análisis de sabor y concentraciones de células de levadura.

Fermentación anormal

Las fermentaciones anormales son detectadas por el personal de fermentación debido a características que se presentan a continuación: la falta de espuma, inicio tardío de la fermentación, olores raros, espumación rápida repentina o burbujas de CO₂ que suben a la superficie sin ninguna generación de espuma. Entre las causas comunes están: composición anormal del mosto y/o ingredientes defectuosos, mosto microbiológicamente infectado, aireación anormal, controles de temperatura que no funcionan debidamente, inicio demasiado pronto del periodo de enfriamiento, método y/o cantidad errónea de siembra, infecciones en la levadura y/o levadura debilitada, falta de medio refrigerante y mal diseño del fermentador.

Pérdidas de cerveza

Durante la fermentación normal, la levadura se reproduce hasta alcanzar de 3 a 5 veces su volumen original. Ya que sólo una porción de ella es usada para la siembra de otro fermentador, la parte restante contribuye a la pérdida por medio de la cerveza atrapada en la levadura. Además, el llenado y vaciado del fermentador y de la tubería de transferencia causan algunas pérdidas inevitables de cerveza. Las cifras de pérdida que se reportan normalmente son del 2 al 3% del volumen del mosto que ingresa al fermentador.

1.3. Maduración

En este proceso se llevan a cabo diversas funciones de la elaboración posterior a la fermentación primaria, y previas al envasado. Son cinco las funciones que se llevan a cabo:

- Carbonatación.
- Resistencia al frío y estabilización.
- Clarificación.
- Normalización.
- Maduración del sabor.

La función más importante es la maduración del sabor. Las demás funciones tienen una importancia secundaria. Cada una puede alcanzarse mediante varios procesos distintos. En muchos casos, cada función puede lograrse a través de procesos más o menos independientes entre sí.

Carbonatación

El nivel de dióxido de carbono en la cerveza, después de fermentaciones normales y no a presión, es de 1.2 a 1.7 volúmenes de CO₂ por volumen de Cerveza. La práctica habitual es elevar el porcentaje de 2.5 a 2.8 v/v antes de envasar.

La carbonatación es una operación relativamente fácil y puede incorporarse dentro del proceso de almacenamiento de cualquier punto que sea conveniente para el cervecero.

Los métodos de carbonatación se describen a continuación:

Carbonatación tradicional

La carbonatación tradicional se logra colocando el tanque de almacenamiento bajo una contrapresión de 0.8 a 1.0 atm (12 a 15 psi) de dióxido de carbono durante la etapa final o secundaria de la fermentación. Mientras menor sea la temperatura, mayor será el nivel de CO₂ en la cerveza

Carbonatación en línea

Durante la transferencia de la cerveza a través de una tubería, se inyecta CO₂ dentro de la cerveza a través de un difusor de acero inoxidable. El difusor crea burbujas muy finas de CO₂, que ingresan fácilmente a la solución, siempre y cuando la cerveza no este saturada de Co₂.

Carbonatación en tanque

Mientras la cerveza está guardada en un tanque de almacenamiento, puede inyectarse CO₂ en el mismo a través de un difusor que está en el fondo del tanque, hasta que se alcance una contrapresión dada.

Sistema de saturador

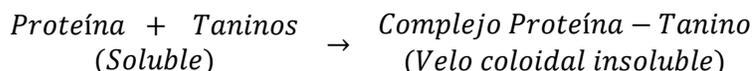
Una carbonatación continua puede lograrse dentro de un tanque mediante el riego de cerveza bajo una contrapresión fija.

Difusión continua en contracorriente

En algunos procesos de almacenamiento puede lograrse la función de almacenamiento sobre una base continua mediante el bombeo de la cerveza a través de una serie de tanques interconectados. Lo que se denomina un tren.

Resistencia al enfriamiento y estabilización

Diversas proteínas y taninos de alto peso molecular están presentes en la cerveza y tienden a combinarse lentamente y formar un velo coloidal insoluble.



El velo coloidal se forma en gran medida durante el período de fermentación y almacenamiento, y es eliminado durante la clarificación de la cerveza. Es soluble a temperaturas de 20°C o más, pero se vuelve insoluble a las temperaturas de refrigeración en que es consumida la cerveza.

Las diversas técnicas empleadas para dar a la cerveza la resistencia al enfriamiento, intentan ya sea la eliminación de la proteína y/o tanino de la cerveza o hacer que la proteína o tanino sea incapaz de formar el complejo del velo coloidal:

Enzimas

La papaína es utilizada como enzima proteolítica en el almacenamiento. Esta enzima modifica las moléculas de proteína para evitar que esta forme un coloide insoluble con los taninos.

Ácido tánico

La reacción de proteína más tanino, que produce velo coloidal, puede forzarse hasta su conclusión mediante la adición de cantidades cuidadosamente medidas de ácido tánico a la cerveza almacenada, después de que se haya completado la maduración del sabor.

Clarificación

Después de la fermentación la cerveza queda extremadamente turbia debido a la presencia de la levadura y el velo coloidal que se forma y se precipita fuera de la solución debido a las temperaturas frías, a la caída del pH y a la más baja insolubilidad dentro de soluciones de alcohol.

Diversas técnicas de procesamiento para la clarificación son.

- Sedimentación por gravedad
- Filtración
- Centrifugación
- Filtración final

Normalización

La normalización o mezcla es un proceso por el cual se mezcla la cerveza hasta límites precisos de alcohol u otros valores característicos.

Maduración del sabor

Existe una gran variedad de constituyentes químicos se han identificado en la cerveza. Algunos de estos aumentan durante la maduración, algunos disminuyen y algunos permanecen iguales. Las reacciones dependen de la temperatura y muchas requieren la presencia de la levadura como un catalizador.

Tres reacciones tienen gran influencia sobre la maduración del sabor: la reducción en la concentración de ácido sulfhídrico, de acetaldehído y de diacetilo. La figura 21 muestra gráficamente la dimensión de estos compuestos a través del tiempo dentro de un proceso tradicional de almacenamiento con levaduras en suspensión. Todos estos compuestos son productos de la fermentación de la levadura.

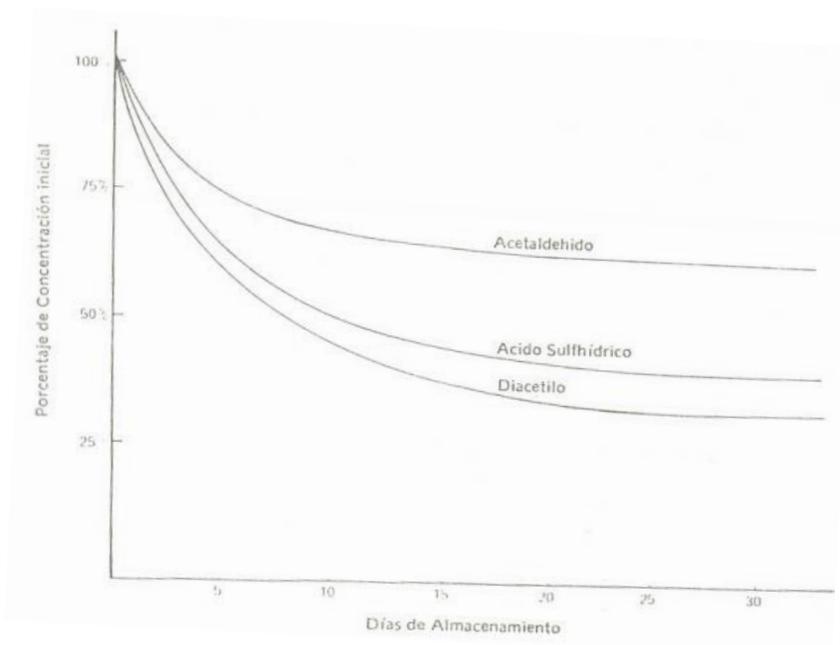


Figura 21. Reducción que se produce en compuestos del sabor durante el almacenamiento.

La figura 22 muestra la formación y disminución del diacetilo bajo tres conjuntos de condiciones de temperatura en fermentación y almacenamiento. La magnitud del diacetilo producido depende en gran manera de la temperatura de fermentación.

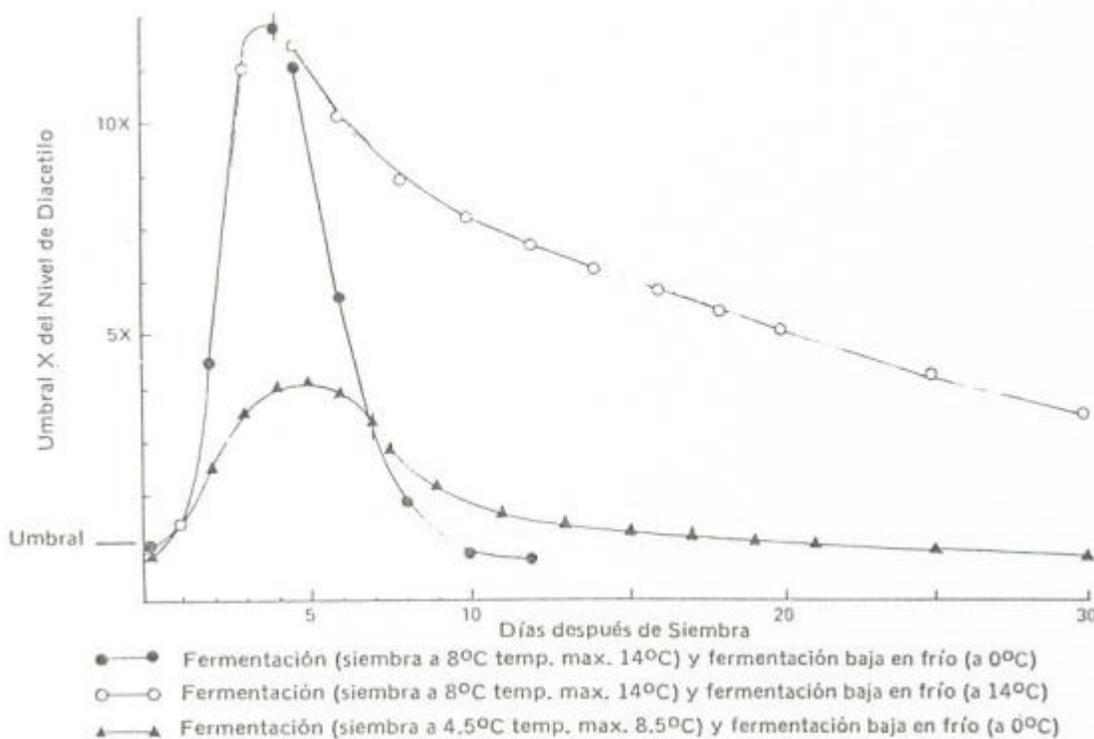


Figura 22. Producción y reducción del diacetilo en la fermentación y almacenamiento.

2. Envasado

Resulta esencial que una porción de cerveza, se encuentre dentro de una botella, de una lata o de un barril, para que llegue a su comprador en un recipiente que tenga un aspecto limpio y con su buen sabor intacto.

Un departamento de envasado bien organizado resulta vital para el buen éxito de una cervecería.

2.1. Embotellado

Debe de ocurrir de tal manera que las propiedades de la cerveza se mantengan de forma durable y completa. La cerveza es una bebida que se caracteriza por tener un elevado contenido de CO₂, que debe mantenerse intacto hasta llegar al consumidor.

Por regla general para llevar acabo el envasado de la cerveza o cualquier bebida que contiene CO₂ se utilizan llenadoras a contrapresión, debido a que si se utilizaran llenadoras a presiones normales, comenzarían a espumar de inmediato y no se lograría llenar botella alguna.

2.2. Taponado de botellas

Para taponar las botellas se utilizan corcholatas. Las botellas se tapan justo después de ser llenadas, para evitar la intrusión de oxígeno, la pérdida de carbonatación o el ingreso de bacterias o microorganismos.

2.3. Etiquetado

La cerveza envasada debe de ser atractiva a la vista. Los principales tipos de etiquetadoras que se utilizan son el giratorio, el de cabezales múltiples y el de tipo tándem. Independientemente del que se utilice, la capacidad debe de ser tal que no haya paralización en la línea.

2.4. Empacado

Después de la colocación de etiquetas las botellas pueden ser empacadas en cajas de media profundidad o de profundidad entera, hechas de cartón corrugado, cartón, madera o plástico. El empaque de la caja debe de ser lo más suave posible para evitar la rotura de botellas.

3. Gestión de la calidad

Las cervecerías deben garantizar la calidad de sus productos a los consumidores. Invertir en calidad se traduce en obtener un mejor producto con mejores cualidades organolépticas y de esta manera la marca adquiere un mayor campo competitivo.

La calidad de una cerveza se basa en:

- Consistencia del producto de un lote a otro.
- Ausencia de sabores desagradables.
- Equilibrio en el sabor (ingredientes y técnicas de elaboración)

3.1. Degustación de la cerveza

Algunas propiedades de la cerveza se pueden medir de forma concreta, por ejemplo:

Cantidad y retención de la espuma

El tiempo que tarda en desvanecerse la espuma se asociara con la retención de la espuma, para ello se deberá utilizar siempre el mismo procedimiento controlando las distintas condiciones: tipos y formas de los vasos, lavado de los vasos, temperatura de la cerveza, temperatura ambiente, distancia y posición al verter la cerveza al vaso.

Color de la cerveza

El color de la cerveza se comparará con plantillas que contienen escalas de colores, el sitio en donde se hagan las comparaciones deberá de contar con buena iluminación.

Grado de turbidez de la cerveza

Se realizara a través de una inspección visual tras servir en un vaso la cerveza, y capturar algunas fotografías con las que se pueda dejar constancia de la turbidez, utilizando siempre el mismo procedimiento, la misma intensidad de luz y un fondo apropiado.

La pureza del sabor de la cerveza, el olor, la presencia o la delicadeza de su amargor son factores que no pueden ser registrados analíticamente, sin embargo, éstos son los factores que son más importantes al consumidor.

3.2. Control microbiológico

Es posible que entren microorganismos extraños a la cerveza (contaminantes) en el recorrido del mosto y de la cerveza, hasta el producto terminado. Si estos microorganismos se propagan, forman un sedimento leve en la cerveza, hasta que finalmente la enturbian y, a través de la formación de sus productos de metabolismo de tipo diferente, la modifican, la empeoran o hasta la hacen inservible.

Para llevar a cabo un buen control microbiológico, se deben de tomar las muestras de acuerdo a un plan establecido y deberán de ser en los puntos críticos del proceso, de esta manera se realizara un plan de acción para evitar el desarrollo de contaminantes.

3.3. Análisis de la cerveza

Para obtener una cerveza con una calidad constante, se deberán controlar permanentemente los siguientes parámetros:

- La determinación de la densidad original y la densidad final con la determinación del contenido de alcohol.
- Determinación del valor de pH.
- Determinación del contenido de oxígeno disuelto en la cerveza.
- Determinación de las unidades de amargor.
- Determinación del contenido de CO₂.

CAPÍTULO III

ESTUDIO DE MERCADO

1. Sector cervecero en México

La cerveza artesanal es un sector emergente en México que ha cobrado gran fuerza en los años recientes. Por un lado encontramos a aquellos que se han involucrado en su producción, los nuevos cerveceros, que trabajan entusiastamente para darle una identidad propia. No están dejando nada a la improvisación y consideran que el mercado de la cerveza artesanal es atractivo y rentable.

Por otro lado, están los consumidores de cerveza artesanal que cada vez gana más adeptos, sin distinción de edad. Lo mismo son millennials que personas maduras, dispuestos a probar la cantidad de matices, densidades, sabores y aromas que permite múltiples combinaciones e interpretaciones que contribuyen a que los consumidores disfruten de un buen maridaje.

1.1. Consumo de bebidas alcohólicas en México

Las bebidas alcohólicas han observado un desempeño positivo, gracias a un incremento en la oferta del producto y un interés creciente entre los consumidores acerca de los diferentes gustos y sabores (figura 23) El estilo de vida y búsqueda de una experiencia multisensorial por parte de los consumidores, ha contribuido al auge de la preferencia por la cerveza.

Los resultados de la encuesta confirman que la cerveza industrial es la bebida con contenido de alcohol preferida por los consumidores, con 53% de las respuestas, siendo el sabor el principal factor que consideran al elegir una cerveza.

En segundo lugar de las referencias se encuentra la cerveza artesanal, con 14%. Y aunque parece un porcentaje muy pequeño, el número es alentador para la industria que en 2016 alcanzó su máximo histórico y del que aún se esperan grandes noticias.

Y es que, las cervezas artesanales han logrado fomentar en México una cultura cervecera que antes no existía. La gente conoce más sobre los estilos de cerveza, los cerveceros han fomentado en los consumidores la percepción de que es un producto *gourmet* que se puede maridar al igual que el vino, lo que ha creado toda una experiencia de consumo.



Figura 23. Preferencia de las bebidas alcohólicas.

1.2. Gusto o moda: Por qué consumen cerveza artesanal

Quienes pueden pagar entre \$60 y \$120 por una cerveza artesanal, argumentan que la variedad y sabor de este tipo de bebidas es mejor que el de las cervezas industriales.

Para el resto, aun cuando coinciden en el que el sabor es bueno, consideran que el precio es alto (figura 24).

Los encuestados señalan el sabor (29%) como la principal razón para consumir este tipo de cervezas, factor que se encuentra directamente relacionado con la calidad (18.5%), búsqueda de algo diferente (14%) y naturalidad del producto (10%), ya que, la cerveza artesanal obtiene un sabor único que la destaca frente a la industrial. No obstante, comienza a ser significativo el número de personas que considera que consumir cerveza artesanal se ha constituido en moda (6%).

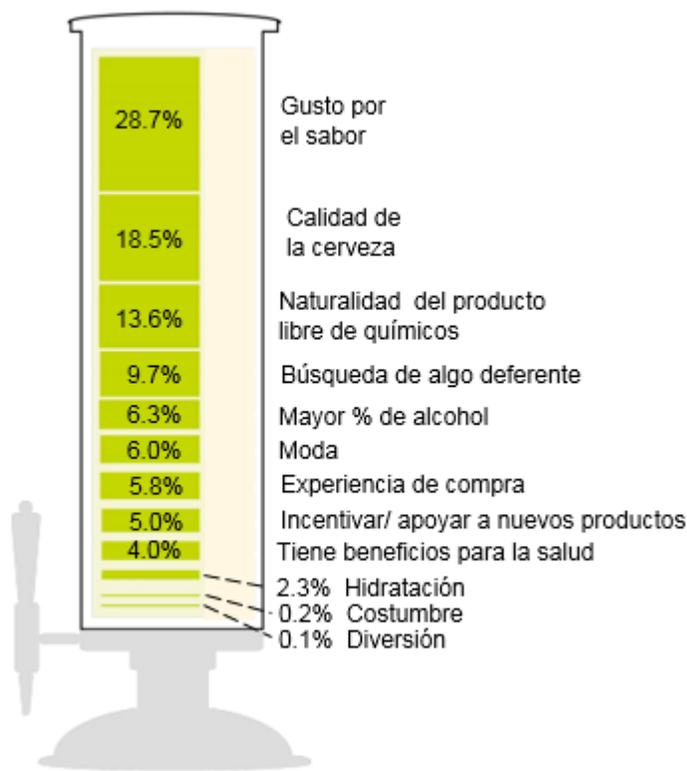


Figura 24. Principales razones por las que se consume cerveza artesanal.

1.3. Precios altos: un desafío a vencer

¿Por qué es tan cara la cerveza artesanal?, ¿Por qué una cerveza de este tipo puede costar dos, tres o cuatro veces más que una cerveza industrial?, ¿Por qué no bajar su precio? La respuesta está, entre otras cosas, en los impuestos y el costo de los insumos.

Los encuestados coinciden con los productores en que el precio es factor determinante para consumir esporádicamente la cerveza artesanal (figura 25), aunado a que consideran que no es fácil acceder a ella, no obstante el gran crecimiento que han tenido las cervecerías artesanales durante 2016

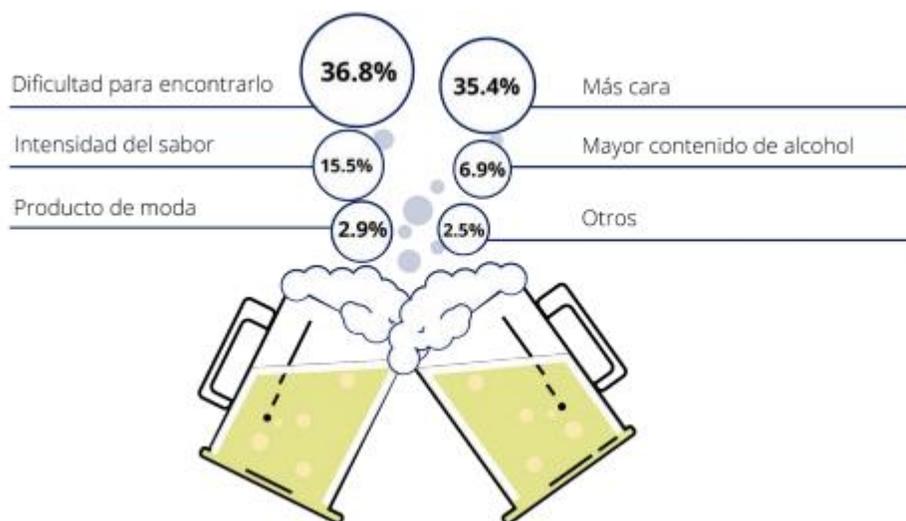


Figura 25. Obstáculos de consumir cerveza artesanal.

1.4. La importancia de saber elegir

Elegir una buena cerveza artesanal no es una tarea fácil para los encuestados (figura 26), la sensación que les brinda beber este producto es muy diferente a la que produce una cerveza industrial, los encuestados buscan ser partícipes de un ritual en el que, el gusto por el sabor, la calidad de los ingredientes, la cremosidad de la espuma y el aroma son determinantes al momento de degustarla.

Así, el sabor (26%), nivel de amargor (17%) y calidad de los ingredientes (15%) son los factores que los encuestados consideran como más importantes para su elección.

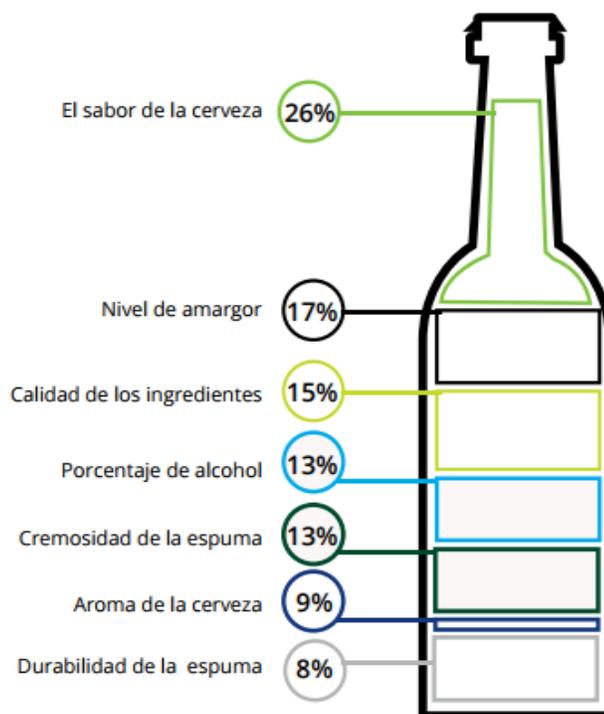


Figura 26. Factores a considerar para elegir una cerveza artesanal.

1.5. Toda una experiencia de consumo

Un elemento fundamental a considerar en la elección de una cerveza es conocer y ser parte del proceso en el que ésta se cocina. Esa experiencia es la que brinda un valor agregado a los consumidores, para quienes el precio ni es determinante en su elección. Por ello, las cervecerías tienen una importante oportunidad para cautivar a los consumidores, ofreciéndoles la inigualable experiencia de conocer y ser parte del proceso de elaboración del producto.

Ante esta demanda, los bares con su propia fábrica artesanal comienza a ser un modelo de emprendimiento que permite acercar a las cerveceras con la gente que busca un producto especial, fresco y del que pueda conocer de manera presencial como se ha producido.

Los consumidores no solo admiten si conoce o no el proceso de la elaboración de la cerveza artesanal, como se muestra a continuación en la figura 27, también hacen patente la importancia que reviste para ellos conocer el proceso de elaboración de la cerveza artesanal. La tercera parte de los encuestados (31%) lo considera muy importante.

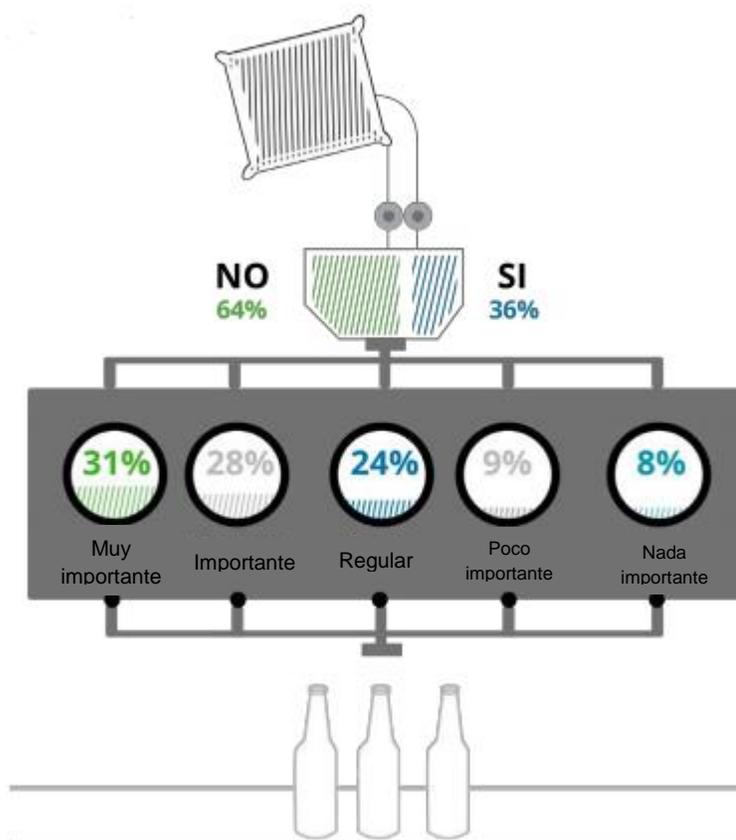


Figura 27. Porcentaje de consumidores que conocen el proceso y la importancia de elaboración de la cerveza.

Tomando como referencia los datos anteriores, podemos constatar que el consumo de cerveza artesanal va más allá de ir a una tienda y comprar el producto; el consumidor se

encuentra más cómodo en lugares donde puede socializar degustando esta bebida y siendo atendido por un maestro cervecero, que en tiendas de autoservicio o mayoristas.

Para entender cómo llega el producto a estos puntos de venta, la Acermex propone la siguiente clasificación de productores de cerveza artesanal:

Microcervecería o Brewpub

Fabrican su propia cerveza para ser consumida en un bar o restaurante. Representan el 9% del mercado.

Cerveza artesanal con producción maquilada

Cerveza fabricada por un tercero. Son distribuidores de marcas conocidas de cerveza artesanal que representan el 8% del mercado.

Cerveza artesanal con producción propia

Fabrican en su propia planta y se encargan directamente de la producción y distribución en bares y restaurantes, con una participación en el mercado de 83%.

En las redes sociales y blogs en torno a la cerveza artesanal, los consumidores evalúan aspectos como la atención que recibieron en un Brewpub o en un restaurante o tienda detallista, incluso muchos refieren atención directa del dueño o maestros cerveceros, lo que equipara el degustar una cerveza artesanal a la experiencia que se tiene al beber vino con la guía de un *sommelier*.

El maestro cervecero es aquel capaz de producir una buena cerveza una y otra vez, ellos son los expertos en educar al consumidor sobre los procesos de elaboración y recomendaciones para escoger la cerveza ideal o al gusto de cada paladar.

De acuerdo a la figura 28, un 43% de los respondientes consumen cerveza artesanal en restaurantes o bares especializados, lo cual, sin lugar a dudas, genera una experiencia de consumo que se transmite a amigos, familiares y conocidos; mientras que 26% lo hace en restaurantes o bares en general, aunque sin tener acceso a la experiencia ya comentada. En menor medida se consume en eventos públicos (7.5%) como pueden ser exposiciones, conciertos y foros.

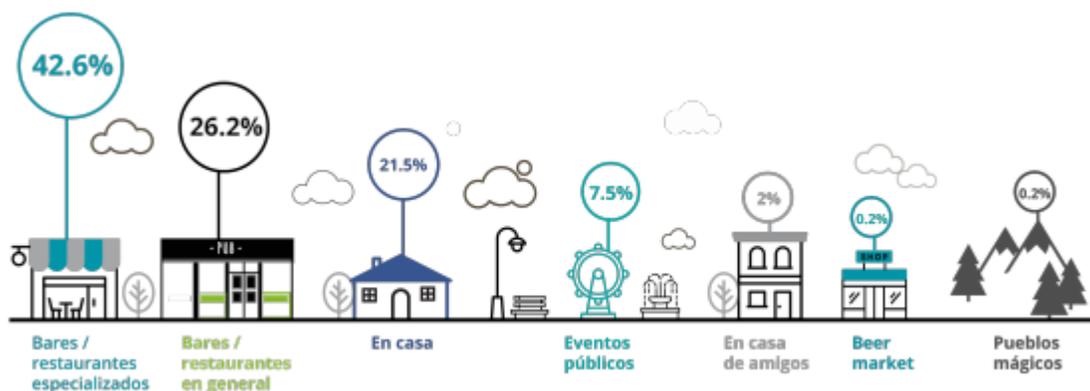


Figura 28. Lugares en donde se consumen cervezas artesanales.

1.6. Retos de la industria de la cerveza artesanal

Los productores de cerveza artesanal aseguran que el mayor obstáculo al que se han enfrentado es el impuesto y la falta de cultura del consumo de la cerveza. “Estamos acostumbrados a tomar cerveza industrial a menos dos grados, la cerveza artesanal es diferente, algunas se toman a 4, 6 u 8 grados o a temperatura ambiente”. Además, intentan hacer publicidad de boca en boca o descuentos.

En cuanto al impacto que el tipo de cambio ha tenido debido a la incertidumbre por las políticas comerciales y arancelarias que los Estados Unidos pudieran aplicar a México, los cerveceros afirman que la depreciación del peso frente al dólar les ha afectado mucho a través de la adquisición de insumos.

Sin lugar a dudas la industria de la cerveza artesanal deberá implementar estrategias que hagan frente a diversos factores, entre los que se encuentran: la carga fiscal, los altos costos de producción, el acceso a los insumos, ausencia de regulación y un mercado condicionado.

a) La carga fiscal

De acuerdo con la Acermex, en otros mercados como Estados Unidos, la cerveza industrial paga alrededor de 2.50 pesos por litro y la cerveza artesanal paga 1.24 pesos por litro. En México, la cerveza industrial paga alrededor de 3.50 pesos el litro, y la cerveza artesanal entre 10 y 12 pesos por litro. La ley actual del Impuesto Especial sobre Producción y Servicios (IEPS) grava a todas las cervezas con el 26.5% sobre el precio de venta.

b) Altos costos de producción

La elaboración de cervezas artesanales es más costosa frente a la fabricación industrial, ya que la producción por volumen nunca será equiparable. Esto se refleja en el precio final, pues una caja de cerveza industrial de 24 botellas de 355 mililitros cuesta 298 pesos, mientras que la artesanal eleva su costo hasta 100% y vale \$700 pesos.

c) El acceso a los insumos

La malta, levaduras o lúpulos generalmente son importados de Alemania, Francia o los Estados Unidos, ya que los agricultores nacionales que la producen trabajan para satisfacer la demanda de la cerveza industrial. Los independientes deben comprar todo importado lo que incrementa los costos, pues la malta europea tiene un arancel en México.

Los productores independientes requieren de malta, lúpulo, agua y cebada para elaborar cerveza artesanal, sin embargo, estos insumos son destinados en gran medida a la producción de cerveza industrial, debiendo comprar materias primas importadas para satisfacer sus necesidades, lo que incrementa su costo.

Por ello, es necesaria la creación de una maltera independiente, que de acuerdo con Cerveceros de México, se tiene planeado construir en Puebla.

d) Ausencia de regulación

Actualmente la definición de la cerveza artesanal en México se basa en la Ley de la Pureza Alemana, sin embargo, no existe una disposición regulatoria oficial.

Ante ello, se tiene contemplada la constitución de un Consejo Regulador que regle y defina las características de una cerveza artesanal para cuidar la calidad y que las empresas operen bajo el marco de la ley.

e) Mercado condicionado

Si bien el mercado de cerveza artesanal ha crecido, la participación en él es de menos de 2.0%. Las grandes cerveceras anteriormente firmaban contratos de exclusividad con bares, cantinas y restaurantes. Tras una resolución de la COFECE, en 2013 se estipuló que el mercado debía abrirse para todos y limitarse a 20% de los puntos de venta en los lugares ya mencionados.

1.7. Un ingrediente más: el análisis de datos

Las tendencias en la industria de consumo, la cual incluye tanto a los productores así como a los detallistas, muestran que los consumidores se han vuelto más sofisticados, ya que tienen a su alcance mejores herramientas para tomar decisiones de compra informadas. Asimismo, existen diferencias en los hábitos y preferencias de consumo entre consumidores pertenecientes a diferentes generaciones.

Estas tendencias también se observan en el consumo de cerveza artesanal; por un lado, los detallistas -a través del análisis de datos- pueden entender mejor el impacto que la venta de cerveza artesanal tiene en sus indicadores financieros, medir el tráfico de clientes en sus tiendas y analizar el comportamiento del consumidor.

Entre los beneficios de realizar el análisis de información proveniente del punto de venta, programas de lealtad, demografía, mezcla del ticket de compra y márgenes en la categoría a través de herramientas analíticas podemos mencionar:

- El desarrollo de estrategias sobre la disponibilidad de las cervezas artesanales en el punto de venta.
- El control de los niveles de inventario necesarios.
- Evaluar en que tiendas o ubicaciones estarán disponibles las bebidas.
- Tomar decisiones sobre el diseño de la tienda.

1.8. Conclusiones de la encuesta

Beber cerveza artesanal es más que solo pasar un buen momento. Es un ritual que cada vez más gente se está adhiriendo. Servir la bebida en una copa o en un vaso especial, o acompañar cada estilo de cerveza con distintos platillos con el fin de realzar los sabores, es algo que atrae cada vez más la atención de personas que llegan a probar y terminan por ser parte de la experiencia de manera recurrente.

Pero hacer de la actividad de beber una cerveza artesanal toda una experiencia para el consumidor, requiere de un trabajo continuo, según los comentarios vertidos por los productores entrevistados por Deloitte.

Es un trabajo que tiene que ver con un compromiso ineludible con la calidad, con la obtención de las mejores materias primas, con la preparación y capacitación de todos los que están relacionados con el proceso cervecero, con la creatividad, con la innovación y por supuesto, con la transmisión de lo que llamamos cultura cervecera, que es en pocas palabras, el que los consumidores conozcan más sobre cerveza, sobre sus ingredientes y sobre cómo maridar los distintos estilos de cerveza con la gastronomía.

Consumir cerveza artesanal mexicana, además de ser una experiencia multisensorial, contribuye al crecimiento y difusión de esta industria decidida a posicionarse ante las grandes empresas cerveceras.

Es apoyar a emprendedores apasionados que buscan que el consumidor disfrute de un afortunado juego de sabores, experimentos, impulsos y aromas.

Es crear las condiciones para que la cerveza artesanal continúe conquistando a los paladares en nuestro país y que su presencia sea cada vez más fuerte y gratamente recibida en las mesas *Gourmets* de México.

1.9. Metodología del estudio

El estudio está conformado por 503 encuestas directas a consumidores que consideran a la cerveza artesanal como una de sus bebidas con alcohol preferidas.

Como se muestra en la figura 29, 50% de los encuestados fueron mujeres y 50% hombres.



Figura 29. Metodología de estudio.

En la figura 30, se muestran las cinco ciudades representativas, en las cuales la encuesta fue aplicada: Ciudad de México y Área Metropolitana, Guadalajara, Monterrey, Tijuana y Querétaro, que se encuentran dentro de los primeros diez lugares con más puntos de venta de cerveza artesanal.

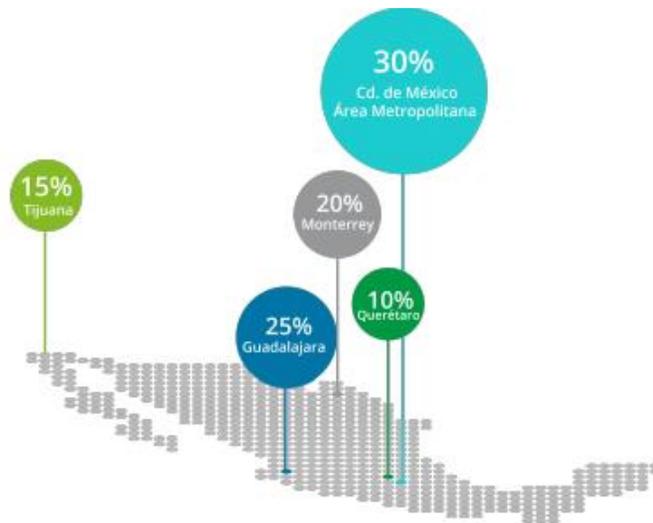


Figura 30. Principales puntos de venta de cerveza artesanal.

El intervalo de edades de los encuestados oscila entre los 18 a 55 años, como se muestra en la figura 31.

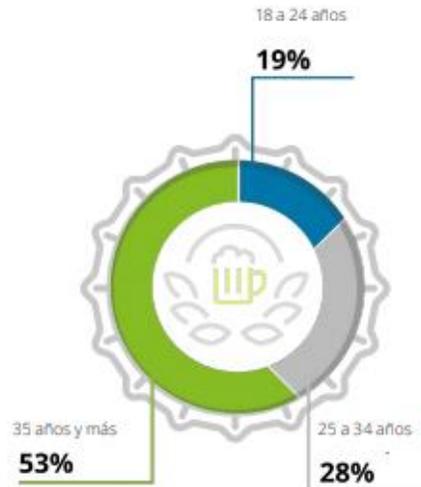


Figura 31. Intervalo de edades de los encuestados.

La opinión del consumidor sobre la cerveza artesanal solo puede ser complementada por la visión y conocimiento de la industrial de los productores y concedores de la industria. Para el estudio se realizaron entrevistas a propietarios, productores, Brewpubs y directores de asociaciones entorno a la cerveza.

2. Análisis del estudio de mercado

En esta sección, se analizarán los datos anteriores, los cuales nos ayudarán a conocer el estado actual de la demanda de la cerveza artesanal y se podrá proyectar la tendencia de consumo a futuro en México, de esta manera se determinará la viabilidad de poner en operación la micro cervecería.

2.1. Cerveza artesanal en México

En la actualidad existen 400 micro cervecerías que están dadas de alta en el Registro Federal de Causantes, de acuerdo a Paz Austin, directora general de Acermex. El 35%

de la cerveza artesanal nacional se producen en Jalisco, seguido de Nuevo León con 15%; Baja California con 8%, así como Querétaro y Yucatán con 7% cada una.

La producción de cerveza artesanal en 2015 fue de 64 mil 561 hectolitros (figura 32), mientras que para el 2016 se prevé cerrar por arriba de los 104 mil 466 hectolitros, lo que representaría un crecimiento superior a 62%.

El 0.1% de la producción cervecera en México es artesanal, de la cual 83% se produce en una planta propia; 8% se manda a maquilar y un 9% se realiza en brewpubs.

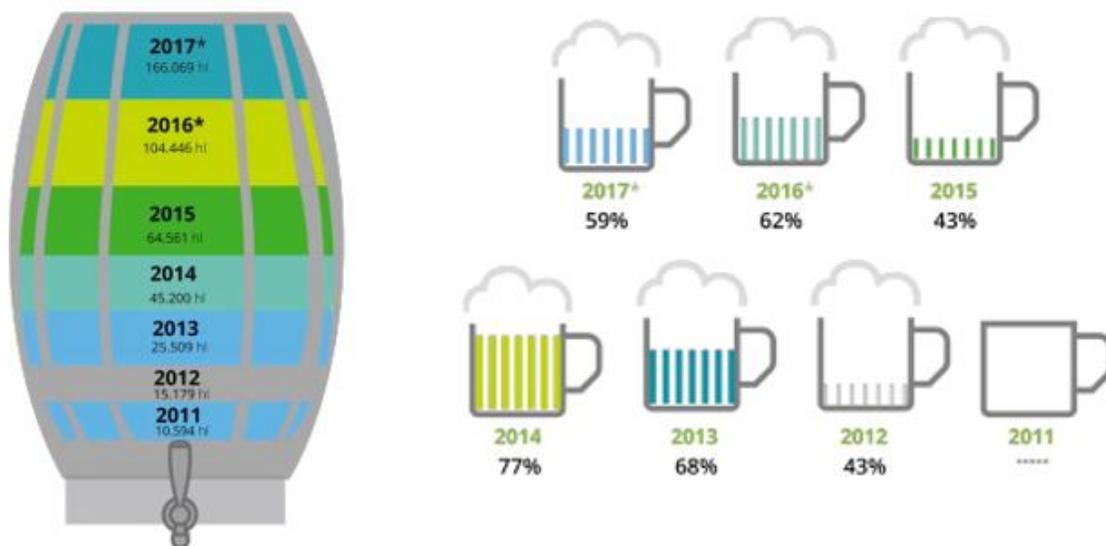
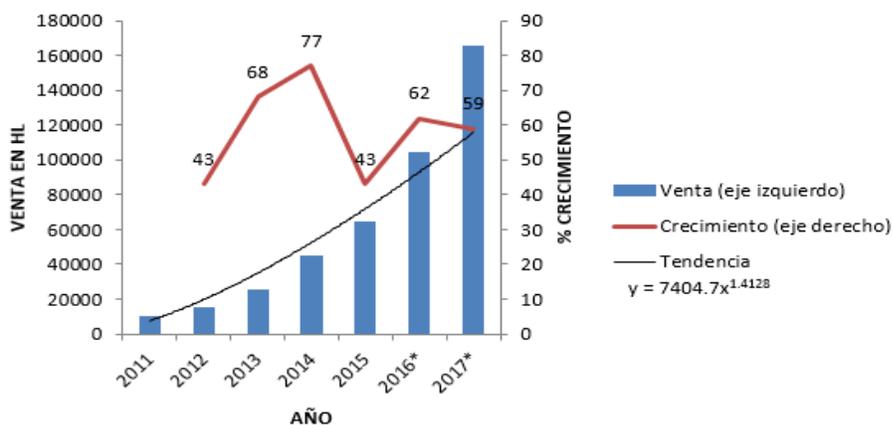


Figura 32. Venta en hectolitros de cerveza artesanal en México.

De acuerdo a la tendencia que se puede observar en la gráfica 2, el consumo de la cerveza artesanal va en constante crecimiento, para los años 2016 y 2017 son estimaciones, no obstante marcan un panorama favorable para la venta de la cerveza artesanal, lo cual nos da pauta para continuar con el proyecto de la micro cervecería. Sin embargo, el porcentaje de crecimiento no se mantiene en constante crecimiento, y esto es debido a los principales obstáculos que se le presentan a las micro cervecerías; no cuentan con los medios y recursos necesarios para una amplia difusión del producto, debido a que el costo de todos los impuestos son muy elevados, y no es de fácil acceso, debido a que no se encuentran en cualquier tienda.

Venta de cerveza artesanal



Gráfica 2. Tendencia de crecimiento del consumo de la cerveza artesanal.

A pesar de que el estudio de mercado se llevó a cabo en un amplio intervalo de edades, la población predominante para el consumo de esta bebida, son los jóvenes, debido a que en esta actualidad ellos son los que están en busca de sabores diferentes y una experiencia única, ya que no solo se conforman y limitan al sabor de la cerveza industrial.

A continuación se mencionaran las principales razones y algunos factores para la elección de la cerveza artesanal sobre la industrial, por las que los encuestados han preferido el consumo, los cuales serán de gran apoyo para conocer qué tipo de cerveza será la que más convendrá fabricar. El 28.7% cree que es fundamental el gusto por el sabor de la cerveza artesanal, lo que nos arroja que un 26% compra la cerveza por el sabor y un 17% la consume por el nivel de amargor que tienen las cervezas artesanales en comparación con las industriales. El 18.5% de los encuestados creen que las cervezas artesanales tienen una mayor calidad en el proceso de producción; así como un 15% opina que son de mayor calidad los ingredientes con las que se fabrican.

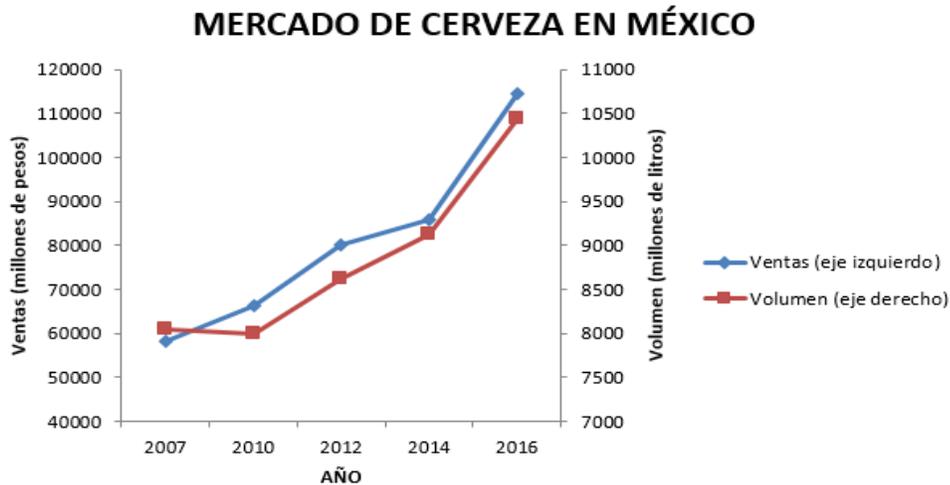
Un 36.8% de los encuestados consideran que uno de los obstáculos más importantes para no consumir con regularidad la cerveza artesanal es la dificultad para encontrarla, el 35.4% no consume cerveza artesanal debido al elevado costo y sólo el 15.5% de los encuestados no la consumen debido a la intensidad del sabor.

En la actualidad, para los amantes de esta bebida, los lugares favoritos para consumir este tipo de cerveza es en bares y restaurantes especializados (42.6%), mientras que el 26.2% la consumen en bares y restaurantes en general, y sólo el 21.5% la prefiere consumir en la comodidad de su casa.

En la tabla 13, se puede apreciar que el valor de las ventas de cerveza en México prácticamente se duplicó de los años 2007 al 2016, lo que representa, que los mexicanos mayores de 18 años consumieron un aproximado de 10 mil 442 millones de litros de cerveza, equivalente a un aumento de 27% entre los años mencionados. Este incremento es como consecuencia en la oferta de cervezas importadas y las artesanales (gráfica 3).

Tabla 13. Mercado de Cerveza en México.

AÑO	VENTAS (millones de pesos)	VOLUMEN (millones de litros)
2007	58097.0	8054.0
2010	66310.0	7991.6
2012	80187.8	8623.0
2014	85888.0	9131.0
2016	114461.4	10442.0



Gráfica 3. Tendencia del mercado de cerveza artesanal en México.

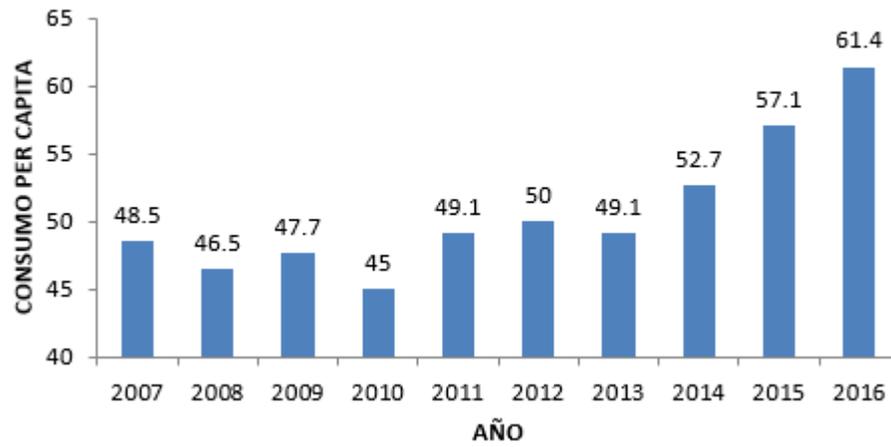
Entre los años 2007 y 2016, el consumo de cerveza en el país creció 26.6%; este aumento principalmente se ve favorecido debido al incremento en el segmento de la población mayor de 18 años, ya que pasó de 72 millones 905 mil mexicanos en 2010, a 81 millones 451 mil en 2016, un incremento de 11.7%, de acuerdo con datos del Consejo Nacional de Población.

En la tabla 14 y en la gráfica 4, podemos observar el aumento en el consumo de six percapita por año, lo cual, nos indica que en la actualidad, los jóvenes son un sector importante para la industria cervecera, pues son los consumidores más dispuestos a probar nuevos productos, tales como las cervezas artesanales.

Tabla 14. Consumo de six percapita por año.

AÑO	CONSUMO PER CAPITA
2007	48.5
2008	46.5
2009	47.7
2010	45.0
2011	49.1
2012	50.0
2013	49.1
2014	52.7
2015	57.1
2016	61.4

Consumo de six per capita al año

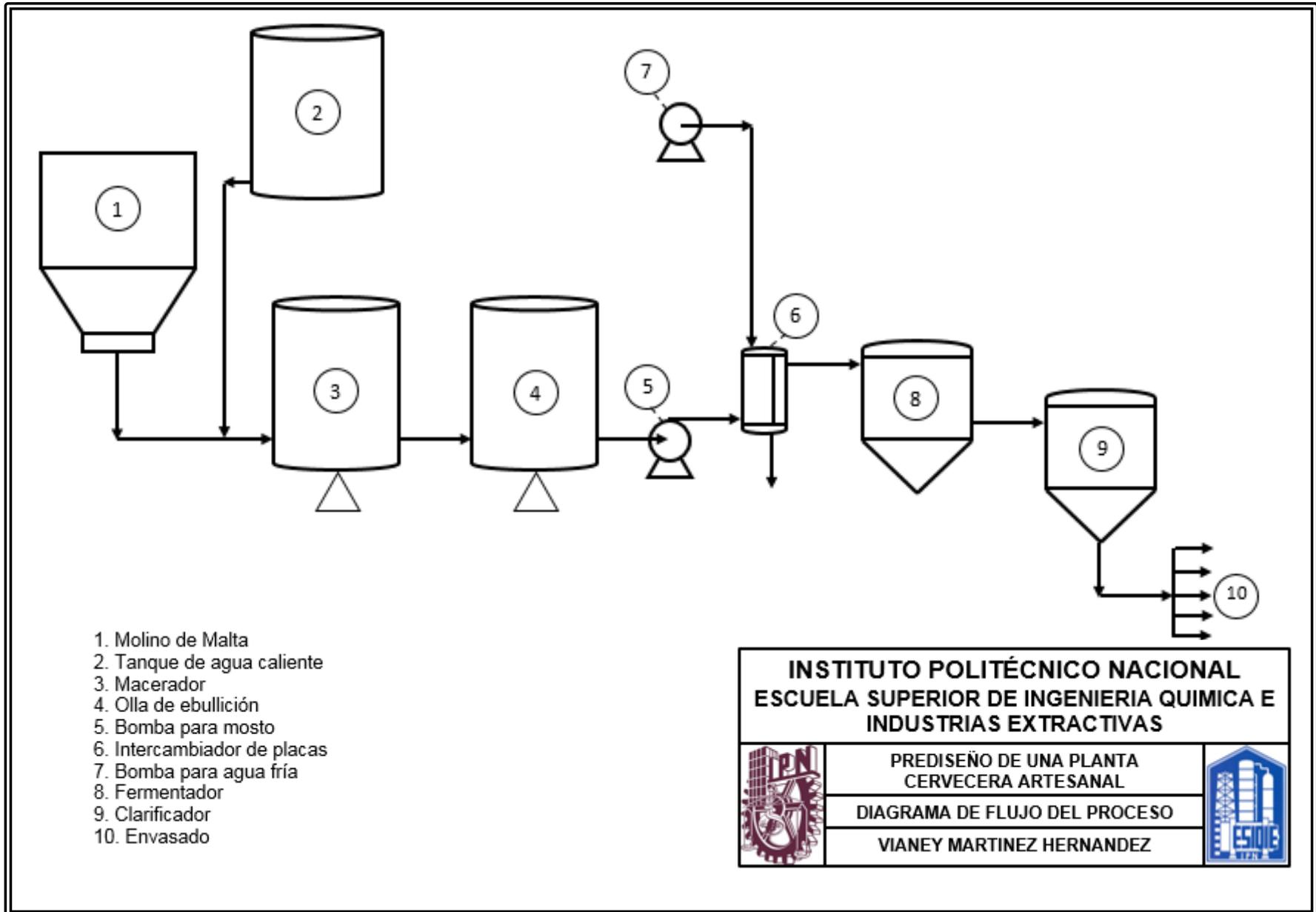


Gráfica 4. Consumo de six per cápita.

CAPÍTULO IV

CÁLCULOS

1. Diagrama de flujo del proceso



2. Cálculos cerveceros

2.1. Malta

Para la determinación de las cantidades de malta a emplear, se utilizarán las fórmulas propuestas por el Instituto Siebel.

$$\text{Peso grano} = \frac{(\% \text{ del total})(\text{Volumen})(W/V)(G.E.)(\%P)}{(\% \text{ extracto c.g.})(1 - \% \text{ humedad})(\text{Eficiencia})}$$

En donde:

- % del total: porcentaje a utilizar de la malta
- Volumen: Cantidad de mosto que se desea elaborar
- W/V: Relación de agua peso a volumen
- G.E.: gravedad específica deseada en el mosto
- %P: Extracto deseado expresado en porcentaje
- %extracto c.g.: porcentaje de extracto de la malta

El porcentaje de extracto de la malta y la humedad son datos que proporcionan los proveedores de las diversas maltas, debido a que éstos varían de acuerdo a la marca de la malta, así como al proceso con el cual es obtenida.

La eficiencia será determinada de acuerdo a los equipos que se utilicen para la elaboración de la cerveza.

2.2. Lúpulo

La cantidad de lúpulo por adicionar dependerá del tipo de cerveza que se desee fabricar. Para este cálculo existen dos fórmulas, pero para este trabajo se utilizó la fórmula para calcular los IBU's (unidad de amargor) de acuerdo a los gramos adicionados:

$$IBU = \frac{W_L * \%AA * \%U}{L * Fc * 10}$$

$$Fc = 1 + \frac{\frac{DI}{1000} - 1050}{0.2}$$

En donde:

- W_L : gramos de lúpulo
- %AA: Porcentaje de alfa ácidos del lúpulo a utilizar, este dato lo proporciona el proveedor
- %U: Porcentaje de utilización, el cual dependerá del tiempo de hervido (tabla 16)
- L: Litros del mosto
- Fc: Factor de corrección
- DI: Densidad inicial

Tabla 15. Porcentaje de utilización.

TIEMPO DE HERVOR (min)	% DE UTILIZACION
0 a 9	6
10 a 19	15
20 a 29	19
30 a 44	24
45 a 59	27
60 a 74	30
Más de 75	34

2.3. Levadura

Lo recomendable es adicionar 1 gramo de levadura por litro de mosto frío, pero esto puede variar de acuerdo al estilo de la cerveza, o a las necesidades del cervecero.

3. Ejemplos

Para este trabajo se fabricaron dos tipos de cervezas, una American Blond Ale y una American Stout Ale.

3.1. American Blond Ale.

Materia Prima

Malta

Utilizando la fórmula propuesta por el Instituto Siebel para la determinación de las cantidades de malta a emplear, se obtuvo que para la realización de un lote de 19L de mosto se necesitara un total de 4.1Kg de malta, es decir 93.40% de malta base y 6.60% de maltas especiales.

Lúpulo

Para este tipo de cerveza se necesitaran 28g de lúpulo con un intervalo de 4.5 a 7.0% de alfa ácidos.

Levadura

De acuerdo a las características que se desean obtener en la cerveza, se emplearan 11g de levadura, la cual deberá contar con las siguientes características:

- Temperatura de fermentación entre los 17 y 25°C.
- Iniciación rápida.
- Alto grado de atenuación.

3.2. American Stout Ale.

Materia Prima

Malta

Utilizando la fórmula propuesta por el Instituto Siebel para la determinación de las cantidades de malta a emplear, se obtuvo que para la realización de un lote de 19L de mosto se necesitara un total de 3.59Kg de malta, es decir 88% de malta base y 12% de maltas especiales.

Lúpulo

Para este tipo de cerveza se necesitaran 56g de lúpulo, de los cuales serán 28g de lúpulo con un intervalo de 10 a 14% de alfa ácidos, y los otros 28g se utilizaran con un lúpulo que tenga un intervalo de 4.5 a 7.0% de alfa ácidos.

Levadura

De acuerdo a las características que se desean obtener en la cerveza, se emplearan 11g de levadura, la cual deberá contar con las siguientes características:

- Temperatura de fermentación entre los 17 y 25°C.
- Iniciación rápida.
- Alto grado de atenuación.

A continuación se presenta la bitácora con la cual se lleva el control de los parámetros más importantes para la realización de las cervezas.

4. Bitácora

MARCA	LUPULO		LEVADURA	OBSERVACIONES			COMENTARIOS FINALES
	Amargor	Aroma		Fermentación	Clarificación	Envasado	
ABA	Cascade	Cascade	Nottingham	Hidratación de levadura por 10min. 7 días	Cambio de fermentador. 9 días	6g/l de solución para carbonatar. 7 días	Al destapar no tenían CO ₂ . Tres semanas después ya tenía CO ₂ . Con sedimentos
ASA	Chinook	Cascade	Nottingham	No se hidrato levadura, se adicono directamente al fermentador. 7 días	No se cambió de fermentador 7 días	6g/l de solución para carbonatar. 7 días	Al destapar no tenían CO ₂ . Tres semanas después ya tenía CO ₂ . Con sedimentos
ABA	Cascade	Cascade	Nottingham	Hidratación de levadura por 10min. 7 días	Cambio de fermentador. 12 días	6g/l de solución para carbonatar. 7 días	Carbonatación suficiente, buen sabor. Con sedimentos
ASA	Chinook	Cascade	Safale US-05	Hidratación de levadura por 10min. 7 días	Cambio de fermentador. Adición 2g/l agente de carbonatación 7 días	3g/l de solución para carbonatar. 8 días	Al destapar no tenían CO ₂ . Tres semanas después ya tenía CO ₂ , amargor residual. Con sedimentos
ABA	Cascade	Cascade	Nottingham	Hidratación de levadura por 15min. 7 días	Cambio de fermentador. Adición 2g/l agente de carbonatación 7 días	2g/l solución para carbonatar. 7 días	Al destapar no tenían CO ₂ .
ASA	Chinook	Cascade	Nottingham	Hidratación de levadura por 15min. 7 días	Cambio de fermentador. Adición 2g/l agente de carbonatación 7 días	2g/l solución para carbonatar. 7 días	Al destapar no tenían CO ₂ .

5. Cálculos de diseño

Para realizar la experimentación de este proyecto se contó con 2 ollas de capacidad de 23L y una de 15L. Las ollas de 23L se utilizan para realizar el proceso de maceración, lavado de grano, ebullición y enfriamiento, la olla de 15L se utiliza para escurrir el grano después del lavado y recuperar la mayor cantidad de mosto posible.

Los cálculos de los equipos que se necesitaran se presentan a continuación y por conveniencia, los cálculos se realizaran del bloque frío (fermentador y clarificador) al bloque caliente (macerador y olla de cocimientos)

5.1. Diseño de fermentador

El fermentador tendrá una capacidad de 100L de mosto frío, dejando un 25% del volumen libre para la formación de la espuma, se fabricara con acero inoxidable calibre 14 tipo 304 grado alimenticio.

El fermentador será de fondo cónico formando un ángulo de 60° en el vértice del cono y la parte superior tendrá forma elipsoidal (figura 33). Estos tipos de fermentadores tienen una relación de altura - diámetro de aproximadamente 3:1. Haciendo referencia a las medidas internas ($L=3d$)

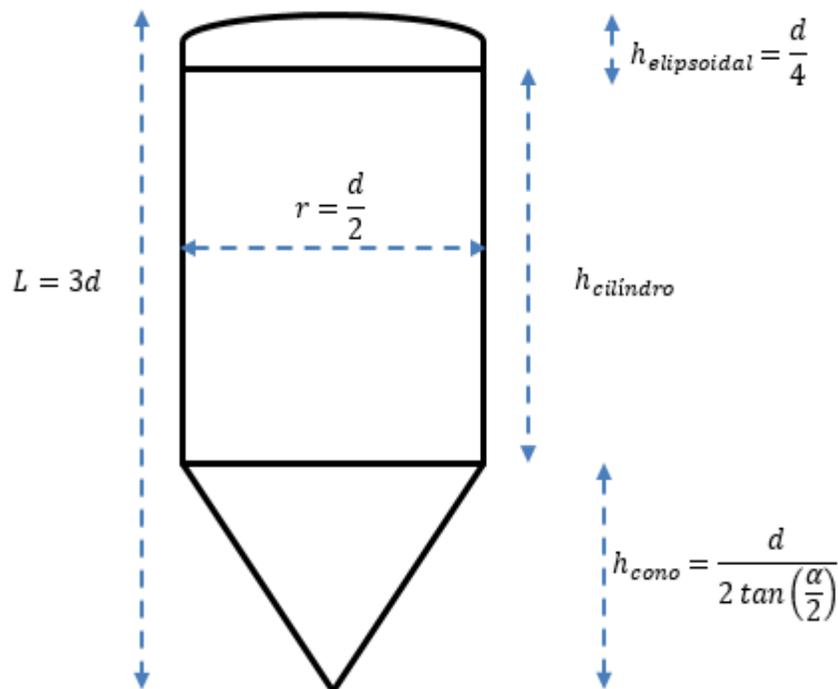


Figura 33. Dimensiones del fermentador

$$V_{Fermentador} = V_{Mosto} + 25\%$$

$$V_{Fermentador} = 100L * 1.25 = 125L$$

Volumen tapa

Para el cálculo de la parte superior nos auxiliaremos de la ecuación del volumen de un elipsoide

$$V_{elipsoide} = \frac{4}{3}\pi * a * b * c$$

En donde: a, b y c son las longitudes de los semiejes del elipsoide (figura 34) con respecto a los ejes x, y, z. Considerando que el cuerpo del equipo será cilíndrico.

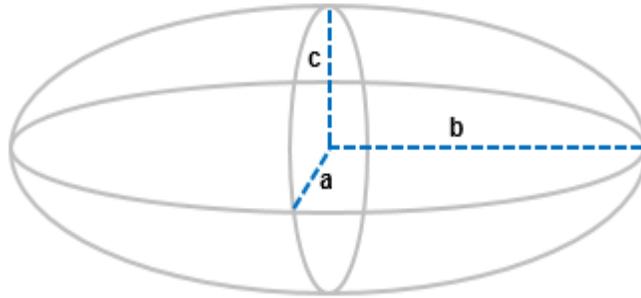


Figura 34. Representación de un elipsoide.

$$a = b = \frac{d}{2}$$

$$c = h_{elipsoidal} = \frac{d}{4}$$

Conociendo que el volumen de una tapa elipsoidal es la mitad del volumen de una tapa elipsoide, entonces la ecuación queda:

$$V_{elipsoidal} = \frac{1}{2}V_{elipsoide}$$

Sustituyendo y reduciendo términos semejantes, la fórmula a utilizar es:

$$V_{elipsoidal} = \frac{1}{24}\pi * d^3$$

Volumen fondo

Para el cálculo del fondo cónico se empleará la ecuación del volumen de un cono

$$V_{cono} = \frac{1}{3}\pi * r^2 * h_{cono}$$

Al ser un cono recto (figura 35), para determinar la altura (h_{cono}) emplearemos la función trigonométrica de la tangente

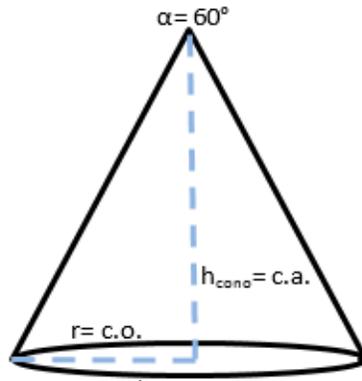


Figura 35. Representación de la parte cónica del fermentador.

$$\tan(\alpha) = \frac{c.o.}{c.a.} = \frac{r}{h_{cono}}$$

Despejando h_{cono} y recordando que

$$r = \frac{d}{2}$$

$$h_{cono} = \frac{d}{2 \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)}$$

Sustituyendo en la ecuación del volumen del cono y reduciendo términos semejantes

$$V_{cono} = \frac{d^3}{24 \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \pi$$

Volumen cuerpo

Para el cálculo del cuerpo cilíndrico

$$V_{cilindro} = \pi r^2 * h_{cilindro}$$

Considerando la figura 33 determinaremos la ecuación final para el cálculo del volumen del cilindro

$$h_{cilindro} = L - h_{cono} - h_{elipsoidal}$$

$$h_{cilindro} = 3d - \frac{d}{2 \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)} - \frac{d}{4}$$

$$h_{cilindro} = \frac{11}{4} d - \frac{d}{2 \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)}$$

Entonces, la ecuación para el cálculo del volumen del cilindro, será:

$$V_{cilindro} = \left(\frac{11}{4} d^3 - \frac{d^3}{2 \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \right) * \frac{\pi}{4}$$

Volumen del fermentador

$$V_{Fermentador} = V_{elipsoidal} + V_{cilindro} + V_{cono}$$

Sustituyendo

$$V_{Fermentador} = \frac{1}{24} \pi * d^3 + \left(\frac{11}{4} d^3 - \frac{d^3}{2 \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \right) * \frac{\pi}{4} + \frac{d^3}{24 \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \pi$$

Despejando d

$$d = \left[\frac{V_{Fermentador}}{\left(\frac{35}{12} - \frac{1}{2 \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)} + \frac{1}{6 \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \right) * \frac{\pi}{4}} \right]^{1/3}$$

Recordando que el volumen del fermentador es de 125L, es decir 0.125m³

$$d = \left[\frac{0.125m^3}{\left(\frac{35}{12} - \frac{1}{2 \tan\left(\frac{60}{2}\right)} + \frac{1}{6 \tan\left(\frac{60}{2}\right)} \right) * \frac{\pi}{4}} \right]^{1/3}$$

Por lo tanto

$$d = 0.4082m$$

Sustituyendo el valor encontrado, para conocer las alturas

$$h_{elipsoidal} = \frac{d}{4} = \frac{0.4082m}{4} = 0.1021m$$

$$h_{cono} = \frac{d}{2 \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)} = \frac{0.4082m}{2 \tan\left(\frac{60}{2}\right)} = 0.3535m$$

$$h_{cilindro} = \frac{11}{4}d - \frac{d}{2 \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)} = \frac{11}{4} * 0.4082 - \frac{0.4082m}{2 \tan\left(\frac{60}{2}\right)} = 0.7690m$$

En la figura 36 se muestran concentrados los valores de los volúmenes y las alturas de cada parte del fermentador

FERMENTADOR	VOLUMEN	Nominal	125	L
		Mosto frio	100	L
		Libre	25	%
	Diametro		0.4082	m
	Tapa	Volumen	8.9	L
		Altura	0.1021	m
	Fondo	Angulo	60	°
		Volumen	15.4	L
		Altura	0.3535	m
	Cuerpo	Volumen	100.6	L
Altura		0.769	m	
Volumen real		125	L	

V nominal vs V real CALCULO CORRECTO

Figura 36. Resultados de los cálculos del fermentador.

Especificaciones

El fermentador tendrá un volumen nominal de 125 litros, sin embargo, el volumen real será de 100 litros, debido a que debe tener el 25% de espacio libre para la actividad de la levadura. Se fabricara con acero inoxidable 304 grado alimenticio calibre 14. Las dimensiones para dicho fermentador son las siguientes:

- Diámetro: 0.41 metros.
- Tapa:
 - ✓ Volumen: 8.9 litros.
 - ✓ Altura: 0.11 metros.
- Fondo:
 - ✓ Angulo: 60°
 - ✓ Volumen: 15.4 litros.
 - ✓ Altura: 0.36 metros.
- Cuerpo:
 - ✓ Volumen: 101 litros
 - ✓ Altura: 0.80 metros.

Así también contara con ciertos accesorios, los cuales serán:

- Spray ball fija 360° para lavado CIP con conexión tipo clamp

- Válvula airlock tipo clamp con válvula de alivio regulable. Vaso integrado para trampa de agua y manómetro
- Termómetro y termopozo de ½" NPT fabricado en acero inoxidable, lectura de 0 a 150°C
- Válvula de muestreo tipo clamp
- Válvula clamp de drenado y purga

5.2. Diseño del clarificador

El clarificador tendrá una capacidad de 100L de mosto frío, dejando un 20% del volumen libre, se fabricara con acero inoxidable calibre 14 tipo 304 grado alimenticio.

El tanque de clarificación será de fondo cónico formando un ángulo de 60° en el vértice del cono y la parte superior tendrá forma elipsoidal (figura 37). Estos tipos de clarificadores tienen una relación de altura - diámetro de aproximadamente 8:5. Haciendo referencia a las medidas internas ($L = \frac{8}{5}d$)

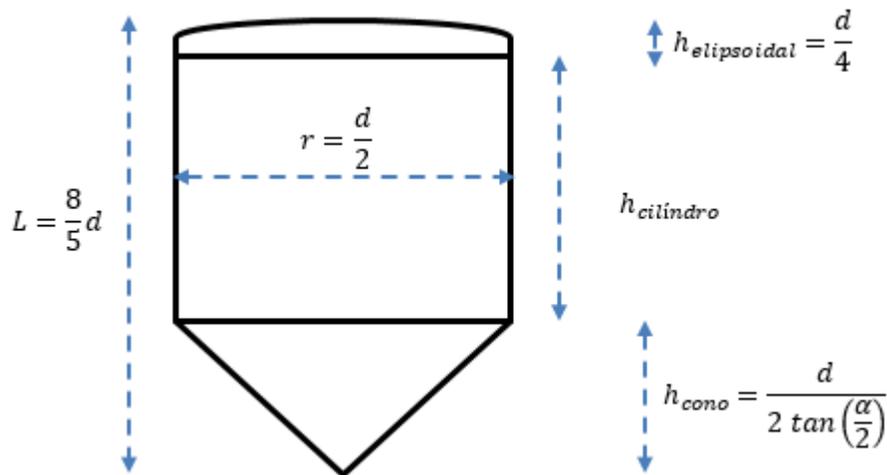


Figura 37. Dimensiones del clarificador.

$$V_{clarificador} = V_{Mosto} + 20\%$$

$$V_{clarificador} = 100L * 1.20 = 120L$$

Volumen tapa

Para el cálculo de la parte superior nos auxiliaremos de la ecuación del volumen de un elipsoide

$$V_{elipsoide} = \frac{4}{3}\pi * a * b * c$$

En donde: a, b y c son las longitudes de los semiejes del elipsoide (figura 38) con respecto a los ejes x, y, z. Considerando que el cuerpo del equipo será cilíndrico.

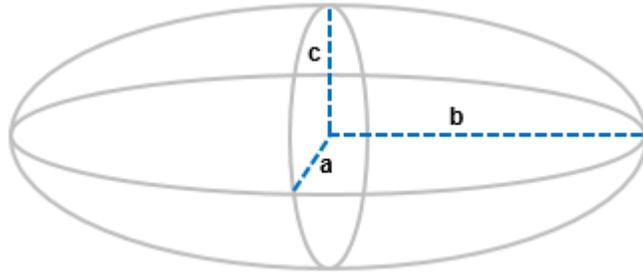


Figura 38. Representación de un elipsoide.

$$a = b = \frac{d}{2}$$

$$c = h_{elipsoidal} = \frac{d}{4}$$

Conociendo que el volumen de una tapa elipsoidal es la mitad del volumen de una tapa elipsoide, entonces la ecuación queda:

$$V_{elipsoidal} = \frac{1}{2} V_{elipsoide}$$

Sustituyendo y reduciendo términos semejantes, la formula a utilizar es:

$$V_{elipsoidal} = \frac{1}{24} \pi * d^3$$

Volumen fondo

Para el cálculo del fondo cónico se empleara la ecuación del volumen de un cono

$$V_{cono} = \frac{1}{3} \pi * r^2 * h_{cono}$$

Al ser un cono recto (figura 39), para determinar la altura (h_{cono}) emplearemos la función trigonométrica de la tangente

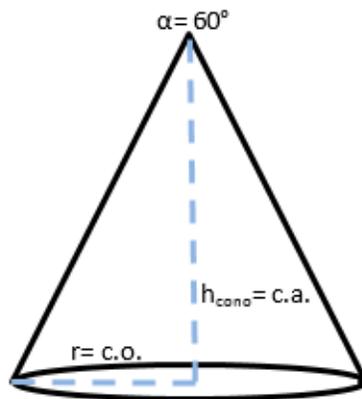


Figura 39. Representación de la parte cónica del clarificador.

$$\tan(\alpha) = \frac{c.o.}{c.a.} = \frac{r}{h_{cono}}$$

Despejando h_{cono} y recordando que

$$r = \frac{d}{2}$$

$$h_{cono} = \frac{d}{2 \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)}$$

Sustituyendo en la ecuación del volumen del cono y reduciendo términos semejantes

$$V_{cono} = \frac{d^3}{24 \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \pi$$

Volumen cuerpo

Para el cálculo del cuerpo cilíndrico

$$V_{cilindro} = \pi r^2 * h_{cilindro}$$

Considerando la figura 37 determinaremos la ecuación final para el cálculo del volumen del cilindro

$$h_{cilindro} = L - h_{cono} - h_{elipsoidal}$$

$$h_{cilindro} = \frac{8}{5}d - \frac{d}{2 \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)} - \frac{d}{4}$$

$$h_{cilindro} = \frac{27}{20}d - \frac{d}{2 \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)}$$

Entonces, la ecuación para el cálculo del volumen del cilindro, será:

$$V_{cilindro} = \left(\frac{27}{20}d^3 - \frac{d^3}{2 \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \right) * \frac{\pi}{4}$$

Volumen del clarificador

$$V_{Clarificador} = V_{elipsoidal} + V_{cilindro} + V_{cono}$$

Sustituyendo

$$V_{Clarificador} = \frac{1}{24}\pi * d^3 + \left(\frac{27}{20}d^3 - \frac{d^3}{2 \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \right) * \frac{\pi}{4} + \frac{d^3}{24 \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \pi$$

Despejando d

$$d = \left[\frac{V_{\text{Clarificador}}}{\left(\frac{91}{60} - \frac{1}{2 \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)} + \frac{1}{6 \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \right) * \frac{\pi}{4}} \right]^{1/3}$$

Recordando que el volumen del clarificador es de 120L, es decir 0.120m^3

$$d = \left[\frac{0.120\text{m}^3}{\left(\frac{91}{60} - \frac{1}{2 \tan\left(\frac{60}{2}\right)} + \frac{1}{6 \tan\left(\frac{60}{2}\right)} \right) * \frac{\pi}{4}} \right]^{1/3}$$

Por lo tanto

$$d = 0.5459\text{m}$$

Sustituyendo el valor encontrado, para conocer las alturas

$$h_{\text{elipsoidal}} = \frac{d}{4} = \frac{0.5459\text{m}}{4} = 0.1365\text{m}$$

$$h_{\text{cono}} = \frac{d}{2 \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)} = \frac{0.5459\text{m}}{2 \tan\left(\frac{60}{2}\right)} = 0.4728\text{m}$$

$$h_{\text{cilindro}} = \frac{27}{20}d - \frac{d}{2 \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)} = \frac{27}{20} * 0.5459 - \frac{0.5459\text{m}}{2 \tan\left(\frac{60}{2}\right)} = 0.2642\text{m}$$

En la figura 40 se muestran concentrados los valores de los volúmenes y las alturas de cada parte del clarificador

CLARIFICADOR	VOLUMEN	Nominal	120	L
		Mosto frio	100	L
		Libre	20	%
	Diametro		0.5459	m
	Tapa	Volumen	21.3	L
		Altura	0.1365	m
	Fondo	Angulo	60	°
		Volumen	36.9	L
		Altura	0.4728	m
	Cuerpo	Volumen	61.8	L
Altura		0.2642	m	
Volumen real		120	L	

V nominal vs V real CALCULO CORRECTO

Figura 40. Resultados de los cálculos del clarificador.

Especificaciones

El clarificador tendrá un volumen nominal de 120 litros, sin embargo, el volumen real será de 100 litros, debido a que debe tener el 20% de espacio libre por la generación de CO₂. Se fabricara con acero inoxidable 304 grado alimenticio calibre 14. Las dimensiones para dicho clarificador son las siguientes:

- Diámetro: 0.55 metros.
- Tapa:
 - ✓ Volumen: 21.3 litros.
 - ✓ Altura: 0.14 metros.
- Fondo:
 - ✓ Angulo: 60°
 - ✓ Volumen: 36.9 litros.
 - ✓ Altura: 0.48 metros.
- Cuerpo:
 - ✓ Volumen: 61.8 litros
 - ✓ Altura: 0.27 metros.

Así también contara con ciertos accesorios, los cuales serán

- Spray ball fija 360° para lavado CIP con conexión tipo clamp
- Válvula de alivio tipo clamp 1" con presión de liberación de 14PSI
- Manómetro Dewit 0 a 10 PSI con conexión NPT ¼ hacer inoxidable
- Válvula clamp tipo mariposa fabricada en acero inoxidable 304 grado alimenticio
- Piedra de carbonatación. Piedra difusora con conexión clamp de 1" por ½" NPT para ingreso de gas

- Termómetro de ½" NPT fabricado en acero inoxidable con lectura de 0 a 150°C
- Válvula para muestreo tipo clamp de acero inoxidable 304 grado alimenticio

5.3. Diseño de macerador

El macerador tendrá una capacidad de 100L de mosto frío (figura 41), dejando un 15% del volumen libre, se fabricara con acero inoxidable calibre 16 tipo 304 grado alimenticio.

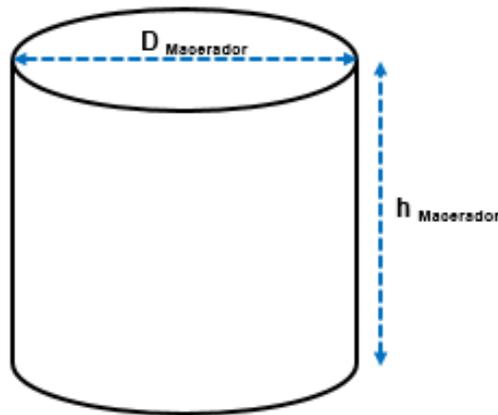


Figura 41. Dimensiones del macerador

Por conveniencia y practicidad el diámetro del macerador será de 0.5m

$$V_{Macerador} = V_{Mosto} + 15\%$$

$$V_{Macerador} = 100L * 1.15 = 115L$$

Para conocer las dimensiones del macerador emplearemos la siguiente formula:

$$V_{Macerador} = \pi * \frac{d^2}{4} * h_{Macerador}$$

Despejando la altura del macerador

$$h_{Macerador} = \frac{4}{\pi} * \frac{V_{Macerador}}{d^2}$$

Sustituyendo valores

$$h_{Macerador} = \frac{4}{\pi} * \frac{0.115m^3}{(0.5m)^2} = 0.5857m$$

En la figura 42 se muestran concentrados los valores de los volúmenes y las alturas de cada parte del macerador

MACERADOR	VOLUMEN	Nominal	115	L
		Mosto frío	100	L
		Libre	15	%
	Diametro	0.5000	m	
Volumen	115	L		
Altura	0.5857	m		

Volumen real	115	L
---------------------	-----	---

V nominal vs V real CALCULO CORRECTO

Figura 42. Resultado de cálculos del macerador.

Especificaciones

El macerador tendrá un volumen nominal de 115 litros, sin embargo, el volumen real será de 100 litros, debido a que debe tener el 15% de espacio libre para realizar de manera adecuada el lavado del grano. Se fabricara con acero inoxidable 304 grado alimenticio calibre 14. Las dimensiones para dicho macerador son las siguientes:

- Diámetro: 0.50 metros.
- Volumen: 115 litros
- Altura: 0.60 metros

Así también contara con ciertos accesorios, los cuales serán

- Termómetro de ½" CNTP fabricado con acero inoxidable, lectura de 0 a 150°C
- Válvula de acero inoxidable de esfera CNTP de ½ CNTP para recirculado
- Válvula de acero inoxidable de esfera CNTP de ½ CNTP para trasiego
- Tubo de recirculado regulable en altura con espiga para conectar manguera
- Quemador de alto rendimiento
- Falso fondo fabricado de acero inoxidable con ranuras de 1.7mm por 50mm con empaque desmontable

5.4. Diseño de olla de cocimiento

La olla de cocimientos tendrá una capacidad de 100L de mosto frío (figura 43). El volumen de la olla se deberá calcular a un 80% de su capacidad total de trabajo, para que la ebullición se pueda llevar a cabo de forma vigorosa. Así como también tendremos que considerar que el volumen del mosto hirviendo será mayor al mosto frío, debido a las diferencias de densidades.

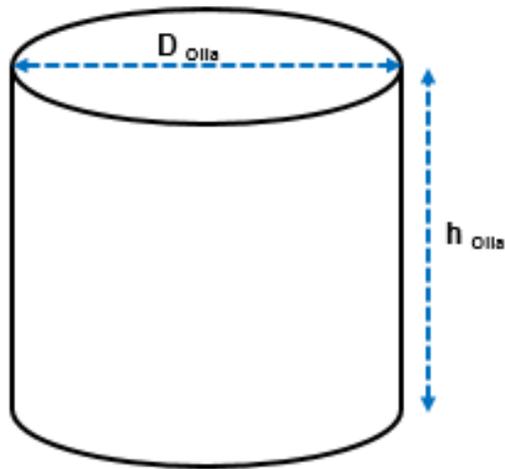


Figura 43. Dimensiones de la olla de cocimientos.

$$V_{olla} = V_{Mosto} + 20\%$$

Sustituir el volumen del mosto para conocer el volumen total

$$V_{olla} = 100L * 1.2 = 120L$$

Por conveniencia y practicidad el diámetro de la olla de cocimientos será de 0.5m

$$V_{olla} = \pi * \frac{d^2}{4} * h_{olla}$$

Despejando la altura de la olla

$$h_{olla} = \frac{4}{\pi} * \frac{V_{olla}}{d^2}$$

Sustituyendo valores

$$h_{olla} = \frac{4}{\pi} * \frac{0.120m^3}{(0.5m)^2} = 0.6112m$$

En la figura 44 se muestran concentrados los valores de los volúmenes y las alturas de cada parte de la olla de cocimientos

OLLA COCTOS	VOLUMEN	Nominal	120	L
		Mosto frio	100	L
		Libre	20	%
	Diametro		0.5000	m
Volumen		120	L	
Altura		0.6112	m	

Volumen real	120	L
---------------------	-----	---

***V nominal vs V real* CALCULO CORRECTO**

Figura 44. Resultados de los cálculos de la olla de cocimientos.

Especificaciones

La olla de cocimiento tendrá un volumen nominal de 120 litros, sin embargo, el volumen real será de 100 litros, debido a que debe tener el 20% de espacio libre para la ebullición. Se fabricara con acero inoxidable 304 grado alimenticio calibre 14. Las dimensiones para dicha olla de cocimientos son las siguientes:

- Diámetro: 0.50 metros.
- Volumen: 120 litros
- Altura: 0.61 metros

Así también contara con ciertos accesorios, los cuales serán:

- Termómetro de ½" CNTP fabricado con acero inoxidable, lectura de 0 a 150°C
- Válvula de acero inoxidable de esfera CNTP de ½ CNTP
- Indicador de nivel desmontable, fabricado con policarbonato
- Quemador de alto rendimiento

5.5. Diseño de intercambiador de calor

Los intercambiadores de calor para el mosto pueden ser de tubos y coraza, de cascada o los más utilizados que son los intercambiadores de placas (figura 45), los cuales presentan ciertas ventajas al utilizarlos:

- Se tienen mayores coeficientes de transferencia de calor, para una pérdida de presión similar, debido a la mayor área de contacto por sección de flujo.
- Se puede variar la capacidad añadiendo o quitando placas.
- Al aumentarse la turbulencia debido a las secciones corrugadas, se reduce la tendencia a incrustantes.
- Resisten altas presiones de operación.

El intercambiador de placas se fabricara con acero inoxidable 316

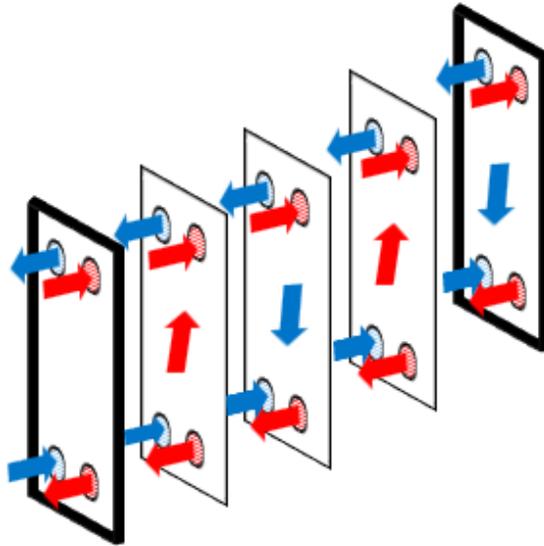


Figura 45. Diseño de un intercambiador de placas.

El cálculo del intercambiador se llevara a cabo mediante iteraciones, proponiendo un determinado número de placas. De acuerdo a los primeros valores obtenidos, se determinara que condiciones de operación se cambiaran hasta conseguir que la superficie real del intercambiador sea igual a la superficie necesaria.

Datos

PLACAS	Área unitaria	0.065	m ²
	N	70	
	Espesor	0.4	mm
	Conductividad térmica	13.4	W/mK
	Espacio entre	0.004	m
	Ancho	0.07	m

Las propiedades del mosto se consideraran similares a las del agua

MOSTO	M	0.12	m ³ /h
	Densidad	982.8	Kg/m ³
	Cp	4180	J/Kg °C
	T ent	92	°C
	T sal	30	°C
	T med	61	°C
	μ	0.000461	Kg/ m s
	λ	0.655	W/ m K

AGUA	M	0.15	m ³ /h
	Densidad	997.0	Kg/m ³
	Cp	4180	J/Kg °C
	T ent	25	°C
	T sal	74	°C
	T med	50	°C
	μ	0.000547	Kg/ m s
	λ	0.644	W/ m K

Superficie real del intercambiador

$$A' = A_0 * (N - 2)$$

En donde:

- A': Superficie real del intercambio [m^2]
- A₀: Área unitaria por placa [m^2]
- N: Número de placas

Sustituyendo los datos iniciales en la ecuación

$$A' = 0.065 \text{ m}^2 * (70 - 2) = 4.42 \text{ m}^2$$

Superficie necesaria

$$Q = U * A * \Delta T_m$$

Despejando A

$$A = \frac{Q}{U * \Delta T_m}$$

Para calcular el valor de la superficie necesaria, es indispensable auxiliarnos de las siguientes ecuaciones

Calor transferido

$$Q = Gm_{Mosto} * Cp_{Mosto} * (T_e - T_s)_{Mosto}$$

$$Gm_{Mosto} = M_{Mosto} * \rho_{Mosto}$$

$$Gm_{Mosto} = (0.12 \text{ m}^3/\text{h}) (982.8 \text{ Kg}/\text{m}^3) = 117.94 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}$$

$$Q = 117.94 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} * 4180 \frac{\text{J}}{\text{Kg} \text{ } ^\circ\text{C}} * (92^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C}) = 30\,565\,330.40 \frac{\text{J}}{\text{h}}$$

Recordando que el calor cedido (mosto) es igual al calor recibido (agua)

$$Q = Gm_{Agua} * Cp_{Agua} * (T_s - T_e)_{Agua}$$

$$Gm_{Agua} = (0.15 \text{ m}^3/\text{h}) (997 \text{ Kg}/\text{m}^3) = 149.6 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}$$

Despejando temperatura de salida

$$T_{sAgua} = \frac{Q}{Gm_{Agua} * Cp_{Agua}} + T_{eAgua}$$

$$T_{sAgua} = \frac{30\,565\,330.40 \frac{\text{J}}{\text{h}}}{149.6 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} * 4180 \frac{\text{J}}{\text{Kg} \text{ } ^\circ\text{C}}} + 25^\circ\text{C} = 74^\circ\text{C}$$

Media logarítmica de la diferencia de temperaturas

$$\Delta T_m = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)}$$

En donde:

$$\Delta T_1 = T_{e_{Mosto}} - T_{s_{Agua}}$$

$$\Delta T_1 = 92^\circ C - 74 = 18^\circ C$$

$$\Delta T_2 = T_{s_{Mosto}} - T_{e_{Agua}}$$

$$\Delta T_2 = 30^\circ C - 25^\circ C = 5^\circ C$$

Sustituyendo

$$\Delta T_m = \frac{18^\circ C - 5^\circ C}{\ln\left(\frac{18^\circ C}{5^\circ C}\right)} = 10.19$$

Coefficiente de transferencia de calor

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_{Mosto}} + \frac{1}{h_{Agua}} + \frac{e_0}{\lambda_0}$$

Los valores de la conductividad térmica para los fluidos, se definirán a partir del número de Nusselt. En este caso se trabajara a condiciones de convección forzada, por lo tanto, el número de Nusselt estará en función de los números de Reynolds y Prandtl. Para determinar estos números adimensionales es necesario utilizar las ecuaciones de diseño de un intercambiador de placas.

Placas térmicas

$$N_{Placas\ térmicas} = N - 2$$

$$N_{Placas\ térmicas} = 70 - 2 = 68$$

Canales térmicos por corriente

$$C_{térmicos} = \frac{N - 1}{2 * n_{Paso}}$$

$$C_{térmicos} = \frac{70 - 1}{2 * 1} = 34.5$$

Área libre de flujo por corriente

$$A_{Flujo} = C_{térmicos} * B * W_b$$

$$A_{Flujo} = 34.5 * 0.004m * 0.07m = 0.0097m^2$$

Diámetro hidráulico

$$D_h = \frac{2 * W_b * B}{W_b + B}$$

$$D_h = \frac{2 * 0.07\ m * 0.004\ m}{0.07\ m + 0.004\ m} = 0.0076m$$

Número de Reynolds

$$Re = \frac{G_m * D_h}{\mu * A_{Flujo}}$$

$$Re_{Mosto} = \frac{117.94 \frac{Kg}{h} * 0.0076 m}{1.66 \frac{Kg}{m h} * 0.0097 m^2} = 55.67$$

$$Re_{Agua} = \frac{149.6 \frac{Kg}{h} * 0.0076 m}{1.97 \frac{Kg}{m h} * 0.0097 m^2} = 59.51$$

Número de Prandtl

$$Pr = \frac{\mu * Cp}{\lambda}$$

$$Pr_{Mosto} = \frac{1.66 \frac{Kg}{m h} * 4 185.4 \frac{J}{Kg K}}{2 358 \frac{J}{h m K}} = 2.95$$

$$Pr_{Agua} = \frac{1.97 \frac{Kg}{m h} * 4 181 \frac{J}{Kg K}}{2 318.4 \frac{J}{h m K}} = 3.55$$

La estructura de las placa del intercambiador de calor está diseñada de tal manera que induce a la generación de turbulencia en el fluido, de esta manera se incrementa la transferencia de calor.

Conductividad térmica

$$h = \frac{V_m * J_H * Cp}{Pr^{2/3}}$$

Velocidad de la masa del fluido por unidad de área

$$V_m = \frac{G_m}{A_{Flujo}}$$

$$V_{m_{Mosto}} = \frac{0.0328 \frac{Kg}{s}}{0.0097 m^2} = 3.39 \frac{Kg}{m^2 s}$$

$$V_{m_{Agua}} = \frac{0.04156 \frac{Kg}{s}}{0.0097 m^2} = 4.3 \frac{Kg}{m^2 s}$$

Factor de transferencia de calor

$$J_H = a * Re^b$$

En donde a y b, son constantes para el diseño de un intercambiador de calor (tabla16). Para este caso y por conveniencia, las placas estarán diseñadas con ondulaciones de tipo horizontales.

Tabla 16. Constantes "a" y "b" para el diseño del intercambiador de placas.

	a	b
Re <150	0.421	-0.5
Re >300	0.378	-0.39

$$J_{H_{Mosto}} = 0.421 * 55.67^{-0.5} = 0.0564$$

$$J_{H_{Agua}} = 0.421 * 59.51^{-0.5} = 0.0546$$

$$h = \frac{V_m * J_H * Cp}{Pr^{2/3}}$$

$$h_{Mosto} = \frac{3.39 \frac{Kg}{m^2 s} * 0.0564 * 4185.4 \frac{J}{Kg K}}{2.95^{2/3}} = 389.75 \frac{W}{m^2 K}$$

$$h_{Agua} = \frac{4.3 \frac{Kg}{m^2 s} * 0.0546 * 4181 \frac{J}{Kg K}}{3.55^{2/3}} = 421.68 \frac{W}{m^2 K}$$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{389.75 \frac{W}{m^2 K}} + \frac{1}{421.68 \frac{W}{m^2 K}} + \frac{0.0004m}{13.4 \frac{W}{m K}} = 0.00497 \frac{m^2 K}{W}$$

$$U = 201.33 \frac{W}{m^2 K}$$

$$A = \frac{8490.37 W}{201.33 \frac{W}{m^2 K} * (10.19)K} = 4.14m^2$$

Comparando el área real contra el área necesaria

$$A = 4.14 m^2$$

$$A' = 4.42 m^2$$

En la figura 47 se muestran los resultados de la primera iteración y al comparar el área real contra el área necesaria, nos indica que parámetro cambiar. Se realizaran las iteraciones necesarias hasta que el área real y el área necesaria tengan un error máximo de 1%.

Después de las iteraciones necesarias se encontraron los valores correctos, los cuales se mostraran en la figura 48.

Especificaciones

El intercambiador de calor de placas se fabricara con acero inoxidable 316. Las características son las siguientes:

- Placas:
 - ✓ Área unitaria: 0.065 m²

- ✓ Número de placas: 62
- ✓ Espesor: 0.40 milímetros
- ✓ Conductividad térmica: 13.4 W/m K
- ✓ Espacio entre placas: 0.004 metros
- ✓ Ancho: 0.07 metros
- Calor transferido: 30 565 330.40 J/h
- Superficie real del intercambiador: 3.90 m²
- Coeficiente global de transferencia de calor: 214.04 W/ m² K
- Superficie calculada del intercambiador: 3.90 m²

5.6. Diseño de bombas

Por conveniencia para el proceso se utilizara una bomba de ½ HP para el suministro de agua, la cual solo se utilizara en el momento en que la presión de la red de agua sea escasa.

La bomba que se utilizara para transportar el mosto caliente al intercambiador de calor (figuras 46) tendrá la capacidad de mover el fluido a 3GPM. La potencia de la bomba seleccionada es suficiente para el proceso de enfriamiento del mosto y así se evitara cualquier problema de inoculación.

Como tuberías, se utilizaran mangueras de silicón grado alimenticio de 3/8", para el lado frio y caliente del mosto, y para el agua se utilizara manguera de PVC de 3/8", por conveniencia, debido a que las distancias de los equipos es poca.

Especificación

- Flujo máximo: 3 GPM
- Máxima altura: 7 ft
- Voltaje: 120 V; 60 Hz
- Corriente: 0.75 A



Figura 46. Bomba para mosto

PLACAS	Área unitaria	0.065	m ²
	N	70	
	Espesor	0.4	mm
	Cond térmica	13.4	W/mK
	Espacio entre	0.004	m
Ancho	0.07	m	

MOSTO	M	0.12	m ³ /h
	Densidad	982.8	Kg/m ³
	Cp	4180	J/Kg °C
	T ent	92	°C
	T sal	30	°C
	T med	61	°C
	μ	0.000461	Kg/m s
	Cp	4185.4	J/ Kg K
	λ	0.655	W/ m K

AGUA	M	0.15	m ³ /h
	Densidad	997.0	Kg/m ³
	Cp	4180	J/Kg °C
	T ent	25	°C
	T sal	74	°C
	T med	50	°C
	μ	0.000547	Kg/ m s
	Cp	4181	J/ Kg K
	λ	0.644	W/ m K

A'	4.42	m ²
----	------	----------------

Q	30565330.40	J/h
D Tm	10.19	
N P T	68.00	
Ct	34.50	
A flujo	0.0097	m ²
Dh	0.0076	m

Mosto	Gm	117.94	Kg/h
	Re	55.67	
	Pr	2.95	
	Vm	3.39	Kg/m ² s
	JH	0.0564	
	h	389.75	W/m ² K

Agua	Gm	149.6	Kg/h
	Re	59.51	
	Pr	3.55	
	Vm	4.30	Kg/m ² s
	h	421.68	W/m ² K

U	201.33	W/m ² K
---	--------	--------------------

A	4.14	m ²
---	------	----------------

A vs A' MENOS PLACAS

Figura 47. Resultados de la primera iteración.

PLACAS	Área unitaria	0.065	m ²
	N	62	
	Espesor	0.4	mm
	Cond térmica	13.4	W/mK
	Espacio entre	0.004	m
Ancho	0.07	m	

MOSTO	M	0.12	m ³ /h
	Densidad	982.8	Kg/m ³
	Cp	4180	J/Kg °C
	T ent	92	°C
	T sal	30	°C
	T med	61	°C
	μ	0.000461	Kg/ m s
	Cp	4185.4	J/ Kg K
	λ	0.655	W/ m K

AGUA	M	0.15	m ³ /h
	Densidad	997.0	Kg/m ³
	Cp	4180	J/Kg °C
	T ent	25	°C
	T sal	74	°C
	T med	50	°C
	μ	0.000547	Kg/ m s
	Cp	4181	J/ Kg K
	λ	0.644	W/ m K

A'	3.90	m ²
----	------	----------------

Q	30565330.40	J/h
D Tm	10.19	
N P T	60.00	
Ct	30.50	
A flujo	0.0085	m ²
Dh	0.0076	m

A vs A' FINALIZASTE

Mosto	Gm	117.94	Kg/h
	Re	62.97	
	Pr	2.95	
	Vm	3.84	Kg/m ² s
	JH	0.0531	
	h	414.52	W/m ² K

Agua	Gm	149.6	Kg/h
	Re	67.32	
	Pr	3.55	
	Vm	4.87	Kg/m ² s
	h	448.48	W/m ² K

U	214.04	W/m ² K
---	--------	--------------------

A	3.90	m ²
---	------	----------------

Figura 48. Resultados de la última iteración.

CONCLUSIONES

En este trabajo se realizaron dos estilos de cerveza, los cuales abarcan los gustos de los mexicanos, la estilo Blond Ale Americana es una cerveza suave, clara y afrutada; en cambio la estilo Stout Ale Americana es una cerveza amarga, oscura y con aroma pronunciado.

De acuerdo a las preferencias de los mexicanos es factible la implementación de una Microcervecería Artesanal, debido a que cada vez más personas están interesadas en consumir otros estilos de cerveza que no sean las industrializadas.

Para realizar la experimentación se utilizaron ollas de cocina, lo cual hace muy complejo el proceso, una vez realizados los cálculos, se ira a cotizar equipos especializados y a nuestras necesidades.

La producción de cerveza actualmente es de 40 litros por semana, no obstante, esto no será suficiente, debido a que han tenido una buena aceptación estos estilos de cerveza. Una vez contando con los equipos, los cuales aquí se diseñaron, la producción aumentara de 100 a 200 litros por semana; y con esto ya tendremos la posibilidad de empezar a promocionar y distribuir por otros lugares la cerveza.

BIBLIOGRAFIA

- Adamie, E. B. (1978). Cebada y malteo. En H. M. Broderick, *El cervecero en la práctica* (págs. 29-52). Venezuela: Graficas Sur S. R. L.
- BeerectorioMX. Conectando a la Revolución Cervecera de México.* (25 de Marzo de 2017). Recuperado el 09 de Julio de 2017, de BeerectorioMX. Conectando a la Revolución Cervecera de México: <http://www.beerectorio.mx/p/estadisticas.html>
- Bernstein, L. (1978). Capitulo 2. Agua. En J. F. Clapperton, *El cervecero en la práctica* (págs. 21 - 27). Venezuela: GRAFICAS SUR, S. R. L.
- Calvillo, E. (2017). La Cerveza Artesanal Una Experiencia Multisensorial. *Deloitte*.
- Calvillo, E. (04 de Marzo de 2018). *Deloitte*. Obtenido de Deloitte: <https://www2.deloitte.com/mx/es/pages/consumer-business/articles/cerveza-artesanal.html>
- Cano, J. L. (1987). La cebada cervecera (calidad, cultivo y nociones sobre fabricación de malta y cerveza). *Ministerio de agricultura, pesca y alimentación*.
- Cerveza de Argentina.* (s.f.). Recuperado el 22 de Mayo de 2017, de Cerveza de Argentina: <http://www.cervezadeargentina.com.ar/articulos/maltas.htm>
- Cervezamicón.* (29 de Octubre de 2015). Recuperado el 22 de Mayo de 2017, de Cervezamicón: <https://cervezomicon.wordpress.com/2015/10/29/el-secreto-esta-en-la-malta/>
- Colorado, J. C. (2013). *Diseño de una planta de elaboración de cerveza artesanal para consumo directo. Microcerveceria.* Cádiz: Proyecto de fin de carrera de Ingeniería Química.
- Coors, J. I. (1978). Operaciones de bodega. En H. M. Broderick, *El cervecero en la práctica* (págs. 283-314). Venezuela: Gráfica Sur S.R.L.
- Craft Beer Market in Mexico. (2015). *Brewers Assocoation*, 3-15.
- España, C. d. (2001). *Libro blanco de la cerveza.* Madrid: Cerveceros de España.
- Fernando. (s.f.). *Aliso.* Recuperado el 05 de Mayo de 2017, de Aliso: <http://aliso.pntic.mec.es/~vferna8/recursos/elaboracion%20de%20cerveza.pdf>
- Hardwick, W. A. (1978). Historia de la fabricación de cerveza en las Américas. En H. M. Broderick, *El cervecero en la práctica* (págs. 1-17). Venezuela: Graficas Sur S.R.L.
- Hough, J. S. (s.f.). *Biotecnología de la cerveza y la malta.* Zaragoza, España: Editorial ACRIBIA, S.A.

- Knudsen, F. B. (1978). Fermentación - Principios y práctica. En H. M. Broderick, *El cervecero en la práctica* (págs. 203-229). Venezuela: Gráfica Sur S.R.L.
- Meilgaard, M. (1978). Composición del mosto. En H. M. Broderick, *El cervecero en la práctica* (págs. 128-149). Venezuela: Gráfica Sur S.R.L.
- Mera, V. R. (2006). *Valoración del potencial cervecero de maltas elaboradas con cebadas producidas en los Estados de Hidalgo y Tlaxcala*. Pachuca de Soto, Hidalgo: Trabajo de investigación para obtener el título de Químico en Alimentos.
- México, C. d. (2017). Estado de la industria de la cerveza artesanal 2016 - 2017.
- Miguel, A. S. (2011). *Fermentación de malta empleando un sistema semicontinuo en el proceso de elaboración de cerveza*. Huajuapán de León, Oaxaca: Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero en Alimentos .
- Muy interesante*. (s.f.). Recuperado el 01 de Junio de 2017, de Muy interesante: <http://www.muyinteresante.es/salud/fotos/beneficios-de-la-cerveza-para-tu-salud/beneficios-cerveza1>
- Nutall, D. (11 de Enero de 2017). *JustBeer*. Recuperado el 22 de Mayo de 2017, de JustBeer: <https://justbeerapp.com/article/beer-styles-the-ingredients-part-one-malt>
- Oetterer, M. (2013). Tecnología de obtención de cerveza. Sao Paulo, Brasil.
- Ornelas, J. J. (02 de Julio de 2013). *BREWMASTER*. Recuperado el 02 de Junio de 2017, de BREWMASTER: <http://brewmasters.com.mx/las-temperaturas-de-maceracion-ciencia-y-arte/>
- Palomas, D. (17 de Enero de 2017). *DCIENCIA Ciencia para todos*. Recuperado el 30 de Mayo de 2017, de DCIENCIA Ciencia para todos: <http://dciencia.es/quimica-cerveza/>
- Ramos, I. (30 de Marzo de 2015). *Entrenando con cabeza. Nutrición y entrenamiento basados en la evidencia científica*. Recuperado el 01 de Junio de 2017, de Entrenando con cabeza. Nutrición y entrenamiento basados en la evidencia científica.: <http://entrenandoconcabeza.blogspot.mx/2015/03/>
- Saurina, R. S. (2015). *Diseño de una micro-planta de fabricación de cerveza y estudio de técnicas y procesos de producción*. Barcelona: Tesis para obtener el título de Ingeniero Químico.
- Tippach, B. (15 de Abril de 2010). *La escuadra restaurante*. Recuperado el 04 de Junio de 2017, de La escuadra restaurante: <http://laescuadrapiizzeria.blogspot.mx/2010/04/proceso-cervecero.html>

UPCommons. (s.f.). Recuperado el 25 de Mayo de 2017, de UPCommons:
http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/14133/PFC_EUETIB.pdf?sequence=2

Vivescia, G. (s.f.). *Malteurop*. Recuperado el 19 de Mayo de 2017, de Malteurop:
<https://es.malteurop.com/nuestra-actividad/maltas/de-la-malta-a-la-cerveza>

Vorago. (26 de Octubre de 2017). *Club de Cervezas del Mundo*. Obtenido de Club de Cervezas del Mundo: <https://www.cervezasdelmundo.com/pages/index/tipos-de-cerveza>

ANEXOS

Índice de figuras

Figura 1. Microcervecerías mexicanas.....	17
Figura 2. Consumo de cerveza per cápita en el mundo.....	18
Figura 3. Preferencia de consumo de bebidas alcohólicas.	19
Figura 4. Clasificación de los consumidores de cerveza.	20
Figura 5. Consumo de cerveza por región.	20
Figura 6. Estructura del grano de cebada.	25
Figura 7. Izquierda: cebada 2 hileras. Derecha: cebada 6 hileras.	25
Figura 8. Conos de lúpulo.	34
Figura 9. Estructura química de los ácidos presentes en el lúpulo.	35
Figura 10. Estructura química de los aceites esenciales del lúpulo.	36
Figura 11. Hidrolisis enzimática de la rafinosa por medio de la levadura Ale y Lager.	39
Figura 12. Curva de crecimiento de la levadura.	40
Figura 13. Diagrama de bloques del proceso cervecero.....	42
Figura 14. Estructura química de la amilosa.	44
Figura 15. Estructura química de la amilopectina.	44
Figura 16. Degradación del almidón durante la maceración.	45
Figura 17. Cuerva de temperaturas de las pausas en el macerado.....	47
Figura 18. Actividad de las enzimas en una hora de maceración.	47
Figura 19. Proceso simple de fermentación.....	51
Figura 20. Fermentación típica de cervezas tipo Ale.....	52
Figura 21. Reducción que se produce en compuestos del sabor durante el almacenamiento....	56
Figura 22. Producción y reducción del diacetilo en la fermentación y almacenamiento.....	56
Figura 23. Preferencia de las bebidas alcohólicas.....	60
Figura 24. Principales razones por las que se consume cerveza artesanal.....	61
Figura 25. Obstáculos de consumir cerveza artesanal.....	62
Figura 26. Factores a considerar para elegir una cerveza artesanal.....	62
Figura 27. Porcentaje de consumidores que conocen el proceso y la importancia de elaboración de la cerveza.	63
Figura 28. Lugares en donde se consumen cervezas artesanales.....	64
Figura 29. Metodología de estudio.	67
Figura 30. Principales puntos de venta de cerveza artesanal.....	68
Figura 31. Intervalo de edades de los encuestados.	68
Figura 32. Venta en hectolitros de cerveza artesanal en México.	69
Figura 33. Dimensiones del fermentador.....	79
Figura 34. Representación de un elipsoide.	80
Figura 35. Representación de la parte cónica del fermentador.	81
Figura 36. Resultados de los cálculos del fermentador.....	83
Figura 37. Dimensiones del clarificador.....	84
Figura 38. Representación de un elipsoide.	85
Figura 39. Representación de la parte cónica del clarificador.....	85

Figura 40. Resultados de los cálculos del clarificador.....	88
Figura 41. Dimensiones del macerador	89
Figura 42. Resultado de cálculos del macerador.....	90
Figura 43. Dimensiones de la olla de cocimientos.....	91
Figura 44. Resultados de los cálculos de la olla de cocimientos.....	92
Figura 45. Diseño de un intercambiador de placas.....	93
Figura 46. Bomba para mosto	98
Figura 47. Resultados de la primera iteración.....	99
Figura 48. Resultados de la última iteración.....	100

Índice de tablas

Tabla 1. Tipos de cerveza y sus características organolépticas.....	14
Tabla 2. Promedio del PIB per cápita en México.....	17
Tabla 3. Vitaminas y minerales que aporta la cerveza.....	22
Tabla 4. Datos analíticos comparativos.....	26
Tabla 5. Clasificación de las maltas.....	29
Tabla 6. Componentes que forman el lúpulo, importantes para la fabricación de la cerveza.....	34
Tabla 7. Aceites importantes contenidos en el lúpulo.....	35
Tabla 8. Diferencias entre tipos de levadura.....	38
Tabla 9. Diferencias metabólicas entre las levaduras cerveceras.....	38
Tabla 10. Activación de las diferentes enzimas durante la maceración.....	48
Tabla 11. Composición de los sólidos del mosto.....	50
Tabla 12. Carbohidratos menores del mosto.....	50
Tabla 13. Mercado de Cerveza en México.....	71
Tabla 14. Consumo de six percapita por año.....	71
Tabla 15. Porcentaje de utilización.....	76
Tabla 16. Constantes "a" y "b" para el diseño del intercambiador de placas.....	97

Índice de gráficas

Gráfica 1. Producción de cerveza. Miles de millones de litros.....	11
Gráfica 2. Tendencia de crecimiento del consumo de la cerveza artesanal.....	70
Gráfica 3. Tendencia del mercado de cerveza artesanal en México.....	71
Gráfica 4. Consumo de six per cápita.....	72