

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Química

Manual de análisis para el control de calidad de la cerveza en los laboratorios del Departamento de Ingeniería Química y Ambiental

Autor: Aránzazu Valverde Álvarez

Tutor: José Fernando Vidal Barrero

Dpto. Ingeniería Química y Ambiental
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2020



Trabajo Fin de Grado
Ingeniería Química

Manual de análisis para el control de calidad de la cerveza en los laboratorios del Departamento de Ingeniería Química y Ambiental

Autor:

Aránzazu Valverde Álvarez

Tutor:

José Fernando Vidal Barrero

Profesor titular

Dpto. de Ingeniería Química y Ambiental

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2020

Proyecto Fin de Carrera: Manual de análisis para el control de calidad de la cerveza en los laboratorios del
Departamento de Ingeniería Química y Ambiental

Autor: Aránzazu Valverde Álvarez

Tutor: José Fernando Vidal Barrero

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2020

El Secretario del Tribunal

A mi familia

A mis maestros

A mi hija

Agradecimientos

Agradecer en primer lugar a Fernando Vidal, por darme la posibilidad y flexibilidad de realizar un trabajo, que, a pesar de muchos cambios, variaciones y sobre todo años, ha seguido dándome la oportunidad de continuar con el proyecto. Y que además de cambios, se ha esforzado en ayudarme a pesar de disponer de escaso tiempo para realizar correcciones y consejos. A Maite, que sin ella no hubiera podido moverme ni entender los laboratorios.

Por otro lado, darle las gracias, a la ETSI, tanto profesores, como a lo que representa el edificio para mí. He pasado muchos años, tantos que he perdido la cuenta, años que me han hecho ser quien soy y hacerme llegar donde he estoy hoy. Amigos que nunca se remplazarán, que están y alguno que se fue, profesores que nunca olvidaré y experiencias que no podría haber vivido en otro lugar. Aunque me ha costado mucho finalizar esta etapa, cuesta decir adiós, pero no olvidar.

Por último, no podría no nombrar a mi familia, tanto a la que me ha criado como a la que he creado estos años. A mis padres, Manoli y Paco, porque si no fuera por ellos, por su lucha constante, no hubiera podido realizar esta carrera, que, a pesar de muchos altibajos, bailes por aprobar asignaturas y quebraderos de cabeza por fin van a tener una hija ingeniera. A mi hermano Paquito por seguir, cuando mis padres no nos veían, riñendo de forma cariñosa y hacer que ponga los pies en la tierra. A mi cuñada Adela, que es como la hermana que nunca he tenido, siempre apoyándome y dándome los ánimos que me faltaban en los momentos precisos, una voz de la experiencia que siempre lo que me decía se cumplía.

Y por último y no menos importante, a mi amigo, novio y ahora marido Alfonso, que desde el primer año de carrera ha estado a mi lado, apoyándome, regañándome y celebrando todo lo que vivido durante los años de carrera. Me has hecho más fuerte y me has ayudado a luchar por mis metas. Sin ti no hubiera sido posible. Gracias por acompañarme en esta lucha y aventura y a seguir con la que empezamos en febrero.

De todo corazón, Gracias.

Aránzazu Valverde Álvarez
Grado en Ingeniería Química
Sevilla, 2020

Resumen

Este trabajo es la continuación del Trabajo Fin de Grado: Análisis fisicoquímicos para el control de calidad en la producción de cerveza (1), por lo cual, parte de la información teórica inicial se basa en ese proyecto. Se pretende realizar una extensión realizando la parte práctica en los laboratorios del Departamento de Ingeniería Química y Ambiental de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Sevilla.

El objetivo de este documento es hacer una investigación sobre qué parámetros, según el BOE, se pueden determinar y qué técnicas se pueden utilizar en dichos laboratorios, por qué se realizan y describir, tanto los materiales como el proceso, de forma exhaustiva para que este documento pueda servir como guía para el procedimiento de éstos.

Para llegar a este objetivo, el documento consta inicialmente de una introducción a la cerveza, en la cual se resume la forma de elaboración y las distintas formas existentes de clasificar la cerveza.

A continuación, se realiza un resumen de los parámetros importantes para la calidad de la cerveza, tanto parámetros obligatorios como aconsejables a determinar.

Seguidamente, se expondrán los análisis realizables en las instalaciones y una explicación de las técnicas utilizadas y su procedimiento. Así mismo, los parámetros y técnicas que no puedan ser realizadas, serán explicadas y se justificarán los diversos motivos por los que no es posible y se explicará que es necesario para poder llevarlos a cabo.

Como último análisis, se expone una solución a las técnicas no realizables, para ello se explica que equipos o materiales se deben adquirir y la inversión que supone.

Finalmente se presentan las conclusiones.

Abstract

This work is the continuation of the End of Degree Work: Physical-chemical analysis for quality control in beer production (1), so, part of the initial theoretical information is based on that project. It is intended to carry out an extension by performing the practical part in the laboratories of the Department of Chemical and Environmental Engineering of the Escuela Técnica Superior de Ingeniería in Seville.

The aim of this document is to make an investigation on which parameters, according to the BOE, can be determined and which techniques can be used in those laboratories, why they are made and to describe, both the materials and the process, in a comprehensive way so that this document can serve as a guide for their procedure.

In order to achieve this objective, the document initially consists of an introduction to beer, in which the way it is brewed, and the different existing ways of classifying beer are summarized.

Afterwards, a summary is made of the important parameters for the quality of the beer, both mandatory and advisable parameters to be determined.

Afterwards, the analyses that can be carried out in the facilities will be presented, along with an explanation of the techniques used and their procedure. Likewise, the parameters and techniques that cannot be carried out will be explained and the different reasons why this is not possible will be justified and it will be explained what is necessary to carry them out.

As a final analysis, a solution to the unfeasible techniques is presented, explaining what equipment or materials must be acquired and the investment involved.

Finally, the conclusions are presented.

Índice

Agradecimientos	ix
Resumen	xi
Abstract	xiii
Índice	i
Índice de Tablas	i
Índice de Figuras	iii
Notación	v
1 Introducción a la cerveza	7
1.1 ¿Qué es la cerveza?	7
1.2 Malteado	8
1.3 Ingredientes	9
1.3.1 Agua	9
1.3.2 Malta	10
1.3.3 Lúpulo	10
1.3.4 Levadura	11
1.3.5 Otros	12
1.4 Proceso de elaboración	12
1.4.1 Molienda	13
1.4.2 Macerado	13
1.4.3 Cocción	14
1.4.4 Fermentación y maduración	16
1.4.5 Carbonatación	17
1.5 Clasificación	17
1.5.1 Fermentación	18
1.5.1.1 Fermentación baja	18
1.5.1.2 Fermentación Alta	18
1.5.1.3 Fermentación espontánea	19
1.5.1.4 Fermentación mixta	19
1.5.2 Ingredientes	19
1.5.2.1 Cerveza de cebada	19
1.5.2.2 Trigo	19
1.5.2.3 Maltas de otros cereales	19
1.5.2.4 Adjuntos	20
1.5.2.5 Otros	20
1.5.3 País de procedencia	20
1.5.3.1 Centro de Europa	20
1.5.3.2 Bélgica	21

1.5.3.3	Reino unido.....	22
1.5.3.4	Estados Unidos	22
1.5.4	Contenido en alcohol	22
1.5.5	Color	22
1.5.6	Método de producción	23
1.5.7	Clasificación según época de elaboración.....	23
1.5.8	Clasificación según BOE-A-2016-11952.....	23
2	Parámetros fundamentales en la calidad de la cerveza	25
2.1	<i>Parámetros Obligatorios.....</i>	26
2.1.1	Grado alcohólico.....	26
2.1.2	pH	26
2.1.3	Densidad y masa volumétrica	27
2.1.4	Extracto real.....	28
2.1.5	Extracto seco primitivo	28
2.1.6	Color	28
2.1.7	Amargor	29
2.2	<i>Parámetros no obligatorios.....</i>	29
2.2.1	Anhídrido carbónico.....	30
2.2.2	Anhídrido sulfuroso.....	31
2.2.3	Turbidez	31
2.2.4	Contenido en metales.....	32
3	Análisis y procedimientos	35
3.1	<i>Análisis realizables.....</i>	35
3.1.1	Destilación.....	36
3.1.1.1	Procedimiento destilación	37
3.1.1.2	Determinación del Grado Alcohólico.....	39
3.1.1.2.1	Picnometría	39
3.1.1.2.2	Aerometría.....	42
3.1.1.3	Determinación de la densidad y masa volumétrica.....	42
3.1.1.4	Determinación del extracto real	43
3.1.1.5	Determinación extracto seco primitivo (ESP).....	44
3.1.2	Potenciometría	45
3.1.2.1	Determinación del pH	46
3.1.3	Turbidimetría.....	47
3.1.3.1	Determinación de la turbidez.....	48
3.1.4	Determinación Contenido en Metales	50
3.1.5	Espectrofotometría a 430nm	52
3.1.5.1	Determinación del color	53
3.2	<i>Análisis no realizables</i>	55
3.2.1	Amargor	55
3.2.2	Anhídrido carbónico.....	55
3.2.3	Anhídrido sulfuroso.....	55
3.3	<i>Técnicas no realizables.....</i>	56
3.3.1	Espectrofotometría	56
3.3.1.1	Espectrofotometría a 275nm	56
3.3.1.2	Espectrofotometría a 415nm	56
3.3.1.3	Espectrofotometría de infrarrojo cercano (NIR).....	57
3.3.2	Cromatografía de gases	57
3.3.3	HPLC	58
3.3.4	Volumetría y cálculos	59
3.3.4.1	Medida de presión en botella	59
3.3.5	Destilación con corriente de nitrógeno	60
3.4	<i>Cálculo económico.....</i>	61

Conclusiones	65
Referencias	67
Glosario.....	71
Anexos	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Clasificación cerveza según BOE	24
Tabla 2-1: Evolución del color en la elaboración de la cerveza (4)	28
Tabla 2-2: Guía básica IBUs/Amargor (4)	29
Tabla 2-3: Cuerpo de la cerveza según carbonatación (18)	30
Tabla 2-4: Sulfitos (1)	31
Tabla 2-5: Turbidez de la cerveza (20)	32
Tabla 2-6: Límites metales pesados establecidos por la OMS (21)	32
Tabla 3-1: Análisis realizables en los laboratorios del DIQA	36
Tabla 3-2: Clasificación cerveza según ESP (28)	44
Tabla 3-3: Relación unidades turbidez (1)	49
Tabla 3-4: Turbidez según tipo de cerveza (30)	49
Tabla 3-5: Guía estilo cerveza según color (42)	54
Tabla 3-6: Resumen evaluación equipos	61
Tabla 3-7: Coste económico aproximado (34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45)	62
Tabla 3-8: Inversión necesaria	63
Tabla 3-9: Inversión opción A	63
Tabla 3-10: Inversión opción B	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Cervezas en jarra (2)	8
Figura 1-2: Proceso malteado (5)	9
Figura 1-3: Agua (7)	10
Figura 1-4: Malta (8)	10
Figura 1-5: Lúpulo (9)	11
Figura 1-6: Proceso de Elaboración de la cerveza (11)	12
Figura 1-7: Evolución actividad enzimática respecto a la temperatura (4)	13
Figura 1-8: Dependencia de la actividad enzimática con el pH (4)	14
Figura 1-9: Macerado (8)	14
Figura 1-10: Cocción con lúpulo (3)	15
Figura 1-11: Etapa fermentación (3)	16
Figura 1-12: Mapa de clasificación de cerveza (10)	17
Figura 2-1: Ratio Amargor: Densidad Específica (4)	27
Figura 2-2: Escala color de la cerveza EBS/SRM (17)	29
Figura 3-1: Acondicionamiento de la muestra	37
Figura 3-2: Montaje destilación (25)	38
Figura 3-3: Picnómetro (26)	39
Figura 3-4: Densímetro para cerveza (27)	42
Figura 3-5: pHmetro realizando medición	46
Figura 3-6: pH (29)	47
Figura 3-7: Medición pH en laboratorio	47
Figura 3-8: Equipo Turbidímetro	48
Figura 3-9: ICP-OES	50
Figura 3-10: Equipo EAA	51
Figura 3-11: Generador de hidruros	52
Figura 3-12: Atomizador del EAA	52
Figura 3-13: Espectrofotómetro UV-VIS	53
Figura 3-14: Medida de Absorbancia a 430nm	55
Figura 3-15: Longitud de onda UV-VIS (32)	56
Figura 3-16: Espectrofotómetro para grasas y aceites	57
Figura 3-17: Cromatógrafo en desuso	58
Figura 3-18: HPLC obsoleto	58
Figura 3-19: Dispositivo para control de carbonatación	59
Figura 3-20: Destilación anhídrido sulfuroso (33)	60

Notación

cm	centímetros
cm ⁻¹	Centímetro menos uno
etc	Etcétera
g	gramos
g/ml	Gramos por mililitro
g/l	Gramos por litro
kg/m ³	Kilogramos por metro cúbico
mg/l	Miligramos por litro
ml	mililitros
nm	Nanómetros
pH	Potencial hidrógeno
ppb	Partes por billón
ppm	Partes por millón
rpm	Revoluciones por minuto
°	Grados alcohólicos
°C	Grados centígrados
°L	Grados Lovibond
°P	Grados Plato
%	Porcentaje
%v/v	Porcentaje en volumen

1 INTRODUCCIÓN A LA CERVEZA

Cerveza: bebida alcohólica de sabor amargo y color amarillento, que se obtiene por fermentación de cebada y se aromatiza con lúpulo.

- Definición -

En estos últimos años la cerveza se ha vuelto un producto del que todos hemos oído hablar más de lo habitual y qué decir de la cerveza artesanal. Hoy en día muchas personas se han vuelto aficionadas a esta bebida, que tanto por sus variedades de colores, sabores, tipos de elaboración y sobre todo sus ingredientes, no dejan a ninguna persona sin una variedad que se adapte a ella y si no, tardará poco en aparecer.

Si nos centramos en la cerveza tipo artesanal, esta variedad se suele consumir mucho en otros países, como EE. UU., desde hace años, pero en España, es desde hace poco que está creciendo de forma exponencial la fabricación y la afición por esta. La demanda de esta cerveza está creciendo continuamente y, por lo tanto, la creación de nuevas variedades que antes no se solían consumir. Además, el aumento de demanda de cervezas artesanales ha hecho que aumente la demanda de otros tipos de cervezas que antes no se solían consumir tan habitualmente, como es la IPA, por ejemplo. Ello ha llevado incluso a grandes cerveceras a crear estas variedades entre sus productos.

Por ello es importante saber qué es lo que diferencia a una cerveza, cómo se elabora y cómo se clasifican.

Por otro lado, es importante saber si la cerveza que consumimos es de calidad y aún más importante, si la cerveza que producimos cumple los requisitos de calidad. Para ello es necesario saber qué análisis son necesarios realizar para la calidad de la cerveza elaborada y, en este caso, cuáles podemos realizar en nuestro laboratorio y cómo se realizan.

Este texto pretende proporcionar un manual para la realización de análisis de calidad en nuestra cerveza y facilitar tanto la realización del análisis como guiar en el uso del material necesario.

1.1 ¿Qué es la cerveza?

Según el BOE-A-2016-11952, la cerveza se define como el alimento resultante de la fermentación, mediante levaduras seleccionadas, de un mosto cervecero elaborado con materias primas naturales.



Figura 1-1: Cervezas en jarra (2)

En palabras simples, la cerveza es una bebida alcohólica elaborada a partir de azúcares obtenidos de cereales y otros granos (principalmente cebada y trigo), saborizada y aromatizada con lúpulo (entre otras hierbas y aditivos). Que luego son fermentados con agua con levaduras. (3)

Los ingredientes principales de la cerveza son cuatro: agua, malta, lúpulo y levadura, a partir de los cuales se pueden crear una infinidad de recetas de cervezas diferentes, cervezas especiales o incluso cervezas sin alcohol (3). Más adelante se explicarán algo más detallado estos ingredientes.

En la producción de cerveza podemos destacar un proceso básico en serie, el cual es común para todos los tipos de cerveza, en el que cada fabricante lo diferencia de otro aportando a las materias primas distintos tratamientos o características. En las cervezas artesanas esto es una de las características principales que las diferencian de las industriales.

En esta producción de cerveza, hay un proceso previo, el cual está claramente diferenciado y no pertenece al proceso de producción, el malteado. Distinguiremos el malteado, como un proceso aparte, no incluyéndolo en el proceso de producción de cerveza, ya que se puede considerar un acondicionamiento de una de las materias primas necesarias para la producción de la cerveza.

1.2 Malteado

Como se ha comentado anteriormente, separamos este proceso de las etapas de producción de cerveza, ya que es un proceso previo a la producción.

El malteado es un proceso que suele realizarse normalmente a la cebada, ya que es el grano que más nos puede aportar a la hora de realizar cerveza, pero también puede realizarse a otros como el trigo, por ejemplo. En este proceso se tuesta y germina el cereal, pero no sólo consta de esas dos etapas. A continuación, se explican brevemente las etapas de este proceso (4):

- Recepción y limpieza: la cual normalmente se realiza con ciclones o filtros de mangas.
- Limpieza preliminar, para eliminar metales o elementos no deseados. Se suele realizar con electroimanes, tamices y mesas densimétricas.
- Almacenamiento: se almacenan en silos donde el tiempo de almacenamiento depende del clima geográfico, ya que este se realiza a temperatura y humedad ambiente.
- Selección: en esta etapa se eliminan elementos que pueden afectar a la germinación, sólidos inorgánicos, granos partidos...
- Remojo: se aumenta la humedad del grano hasta un 44% para su germinación, se puede realizar por inmersión o rociado.
- Germinación: en esta etapa se inicia el proceso biotecnológico natural de producción de enzimas. Suele durar entre 4 y 6 días a una humedad entre 12 y 20°C. para realizar esta etapa, después de remojo, se extiende y se inyecta aire controlando la humedad y temperatura de éste. Aquí se liberan las enzimas necesarias para la maceración y fermentación posterior.

- Secado: se detiene el proceso de germinación secando y tostando. El tiempo y la intensidad determina el color y propiedades organolépticas del producto final.
- Eliminación de raicillas¹: se enfría y se eliminan las raicillas por frotación de granos.



Figura 1-2: Proceso malteado (5)

1.3 Ingredientes

Como se ha comentado anteriormente, los ingredientes principales son cuatro: agua, malta, lúpulo y levadura. A continuación, se explicará la importancia y cualidades de cada uno de ellos.

1.3.1 Agua

Cerca del 95% de la cerveza es agua, por lo que se puede entender que es un ingrediente fundamental en la cerveza. Los iones que contiene hacen que sea un factor decisivo en el tipo de cerveza que se va a realizar. Si se trata químicamente, se puede adaptar cualquier agua para la elaboración de cualquier tipo de cerveza. Es tan importante que determina el tipo de cerveza que se va a elaborar.

Hay varios iones a tener en cuenta que deben evaluarse para la elaboración de la cerveza, ya que estos determinan dos aspectos importantes para la elaboración de la cerveza: la dureza y el pH.

La dureza es fundamental para la elaboración de la cerveza, ya que durezas muy bajas (aguas blandas) son ideales para cervezas claras, altas durezas (aguas duras) son perfectas para cervezas oscuras.

El pH del agua no es el factor determinante sino el pH del mosto, el cual se elabora con el agua y la malta, proceso que más tarde será explicado.

Los iones principales a tener en cuenta son (6):

- Calcio (Ca^{2+}): produce claridad, aroma y estabilidad.
- Magnesio (Mg^{2+}) es un nutriente importante para la levadura, pero en cantidades mayores a 50ppm da un sabor amargo.
- Bicarbonato (HCO_3^{-1}): es muy importante para la elaboración. La cantidad de este ion diferencia el tipo de cerveza que se realiza, 0-50ppm para Pale Ale, 50-150 para cervezas ligeramente tostadas (Amber Ale), 150-250ppm para cervezas negras, de maltas muy tostadas.

¹ También conocido como brotes de malta y cascarilla. Producto de alto contenido en fibra lo que es perfecto para uso de pienso animal.

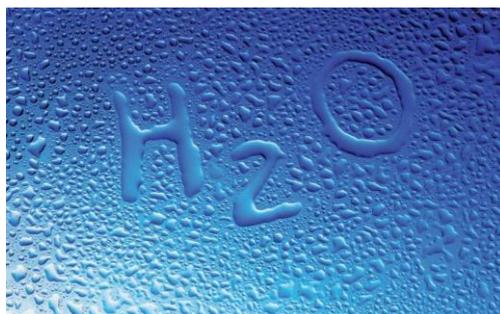


Figura 1-3: Agua (7)

Otros iones que considerar son el sodio, cloro y sulfato, influyen en el sabor del agua y por tanto en el de la cerveza, pero no afectan tanto al pH del mosto como los anteriores (6):

- Sodio (Na⁺): acentúa la dulzura de la malta. Junto con el sulfato dan un sabor muy áspero, por lo que es importante que ambos estén en niveles bajos.
- Cloruro (Cl⁻): también acentúa el dulzor y a su vez destaca el resto de los sabores, pero si superamos las 300ppm da un sabor a medicamento.
- Sulfato (SO₄⁻²): acentúa el sabor del lúpulo y hace que parezca más seco, a partir de 400ppm producen un sabor desagradable.

1.3.2 Malta

Como se ha comentado, la malta es un producto que se obtiene a partir de la cebada, generalmente, siguiendo el proceso de malteado. El objetivo es activar las enzimas que posteriormente se obtendrá los azúcares fermentables. Podemos diferenciar tres tipos de malta:

- Maltas base: son claras y poco horneadas, suelen ser el 85-100% del grano utilizado. Tienen gran poder enzimático.
- Maltas especiales: son maltas muy horneadas, se usan en pequeñas cantidades para aportar color, sabor y aromas concretos. Tienen bajo poder enzimático.
- Maltas mixtas: es una mezcla de las anteriores, ya que tienen un alto horneado, pero tienen gran poder enzimático.



Figura 1-4: Malta (8)

1.3.3 Lúpulo

Es esencial para la elaboración de la cerveza. El lúpulo aporta el sabor amargo y el aroma característico de la cerveza, también aporta estabilidad a la espuma. El lúpulo es una planta trepadora, para la elaboración de cerveza sólo se usa la flor de la planta femenina. Ésta tiene forma de cono, están compuestas por brácteas verdes y finas, de textura similar al papel y forma de hoja.



Figura 1-5: Lúpulo (9)

Los maestros cerveceros suelen utilizar tres formatos de lúpulos: en flor (los conos secos), en pellet, es el más usado, en extracto y, por último, frescos, conos no procesados.

Los lúpulos se pueden dividir en dos grandes grupos, aromáticos y de amargor. El lúpulo se añade en un momento u otro de la elaboración de la cerveza en función de la característica que se quiera obtener.

Los lúpulos de amargor se incorporan en el hervido o al menos 60 minutos antes de terminar el proceso. Los de sabor se añaden entre 20-40 minutos antes de acabe la cocción y los de aroma en los últimos minutos de cocción (10).

También se pueden añadir en otros momentos para resaltar el sabor y aroma, por ejemplo, Dry Hopping, que se añade a los tanques de fermentación una vez terminada ésta, otorgando un aroma fresco y potente a lúpulo y realzando su sabor o el Hop Back, el mosto caliente pasa por el lúpulo antes de ser enfriado aumentando así su aroma a lúpulo.

1.3.4 Levadura

La levadura es un hongo unicelular que se reproduce asexualmente por gemación. La mayoría de los estilos de cerveza se elaboran utilizando levaduras de dos especies del tipo Saccharoyces, que consumen azúcar y la transforman produciendo alcohol y dióxido de carbono. A esta transformación se la conoce con el nombre de fermentación.

Hay cinco parámetros que debe considerar un maestro cerveceros para determinar qué levadura se utiliza:

- Tipo: suelen estar divididas en tres, tales como ale, lager y weizen. Es el primer criterio a tener en cuenta.
- Carácter aromático: en un mismo tipo distintas cepas pueden producir diferentes sabores. El sabor y el aroma quedan determinado a malta, lúpulo, afrutado, azufre, madera, mineral, dulce, seco, neutral o limpia.
- Atenuación: es el grado en el que se fermenta el azúcar, este rasgo se suele conocer en términos generales, bajo, medio o alto.
- Temperatura óptima: temperatura que se alcanza y se debe mantener en la fermentación.
- Floculación: el grado de floculación determina la rapidez con la que la cerveza de clarificará. Por ejemplo, cervezas con levadura de baja floculación pueden tener que ser refinadas o filtradas para clarificarlas.

Las cepas de levadura comunes son (4):

- Levaduras Ale: fermentan a temperaturas más cálidas que las Lager, se acumulan en la parte superior, por ello reciben el nombre de alta fermentación. Hay distintos tipos: American (neutral), Belgian (sabor afrutado y algo de olor a clavo), British (hay más de doce tipos: Whitbread, London, Woody, Full-boieded, Classic, Scottish...), Canadian (afrutada), German (se distinguen dos cepas una seca y otra dulce), Kolsh (carácter de malta y algo afrutado), Irish (alta atenuación).
- Levaduras Lager: fermentan a temperaturas más bajas (7-13°C), fermentan algunos azúcares que las

Ale no pueden y se obtienen cervezas limpias y lisa. Tipos: Bohemian (suave), Pilsen (seca), Bavarian (sabor complejo y rico) y Munich (aroma liso).

- Levaduras para trigo Weizem: se diferencian de las Ale y Lager por su sabor característico a plátano y clavo y su acabado turbio y brumoso.
- También hay organismos No-Saccharomyces, estos tres tipos son: Brettanomyces bruxellensis: se combina con otras levaduras, dando un aroma a tierra y un acabado ácido. Brettanomyces lambicus: se debe añadir junto a la levadura Ale, da un aroma a cuero. Y por último Pediococcus damnosus que se intenta evitar.

Por último, hay que comentar que hay factores importantes a tener en cuenta para el rendimiento, los cuales son: la temperatura de fermentación, composición del mosto, los niveles de oxígeno y la cantidad de levadura. Por otro lado, la geometría del fermentador y la cepa también son importantes.

Para hacernos una idea de la inmensa variedad de levaduras existentes en el mercado, en el Anexo A se muestran la mayoría de las levaduras comerciales y sus características.

1.3.5 Otros

Además de los ingredientes principales que se han nombrado y explicado, también podemos añadir lo que se denomina adjuntos. Estos, son ingredientes que se añaden a la cerveza con el fin de proporcionar un sabor, color, aromas. Otros son añadidos para elevar la cantidad de azúcares fermentables.

Ejemplos de adjuntos son los cereales sin maltear, que suelen usarse en copos, granos laminados, etc.

Por otro lado, a la cerveza se le puede añadir casi cualquier ingrediente que se nos ocurra, esto es una práctica muy común en la elaboración artesana. Donde se busca destacar y personalizar el producto.

1.4 Proceso de elaboración

Como se ha comentado anteriormente, existe un proceso de producción básico para todas las cervezas, el cual será el explicado brevemente, ya que no es el objetivo de este texto.

El malteado es un proceso que se no se incluye en el proceso de producción de la cerveza, ya que es un acondicionamiento o tratamiento, opcional, que se le realiza a la materia prima. Por ello se ha explicado en otro apartado.

Dentro del proceso de elaboración de cerveza, hay un conjunto de etapas que recibe el nombre de fabricación del mosto, donde se incluyen las etapas de molienda, maceración, cocción y filtración. La elaboración de cerveza no sólo comprende estas etapas, seguidamente se explican cada una de ellas.

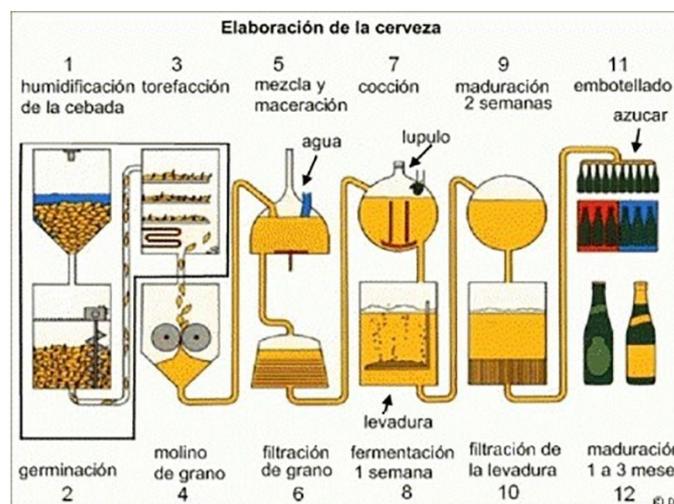


Figura 1-6: Proceso de Elaboración de la cerveza (11)

1.4.1 Molienda

La malta debe ser triturada para aumentar su superficie de contacto ya que esto mejora la degradación de sustancias necesarias en la siguiente etapa que es la maceración. Después de la maceración son necesarias las cáscaras del grano ya que estas son utilizadas como material filtrante, por lo que deben ser rotas lo menos posible.

La molienda deberá ser tanto más fina, cuanto peor modificada este la malta, pero cuanto más fina es la molienda, será menor la porosidad del lecho filtrante. Se compactará más y la duración del filtrado del mosto se prolongará. Llegando a suceder que el mosto ya no pueda fluir. Esto se puede evitar si tras la molienda se tamiza con un tamiz lo suficientemente fino para solo eliminar las harinas.

Los molinos más usados son molinos de malta secos, molinos dispuestos a pares. Si la cascara es muy seca puede ser dañada en la molienda, lo que no interesa, por lo que se puede optar por humedecer la malta antes de ser molida, así la cascara obtiene elasticidad, aumenta el volumen de esta en el macerado teniendo una mayor capa filtrante y aumenta el grado de fermentación. El humedecer la malta antes de la molienda también produce un desgaste de los equipos y tener que realizar una limpieza. Es importante en la molienda que no queden granos intactos, ya que esto puede afectar a la calidad de la molienda. Esta calidad afecta a muchos factores (4):

- El proceso de maceración
- Filtración del mosto
- El rendimiento total de la cocción
- La fermentación
- La filtrabilidad de la cerveza
- El color, sabor y carácter de la cerveza.

1.4.2 Macerado

Es la etapa más importante de la fabricación del mosto. En esta etapa el maestro cervecero personaliza la cerveza, ya que en este punto se definen en gran medida el cuerpo, grado alcohólico y el sabor. En esta etapa se mezclan la molienda y el agua, siendo el propósito la obtención de azúcares y dextrinas solubles, para que puedan ser procesados por las levaduras. Estas transformaciones las realizan las enzimas, las cuales su funcionamiento dependen de dos parámetros: temperatura y pH.

La actividad de las enzimas aumenta directamente proporcional con la temperatura alcanzando un valor óptimo para cada enzima, lo que hace que a mayores temperaturas tengan una rápida inactivación, mayor inactivación contra mayor sea en rango sobrepasado de temperatura óptima. A temperaturas bajas la actividad se conserva de forma casi ilimitada.

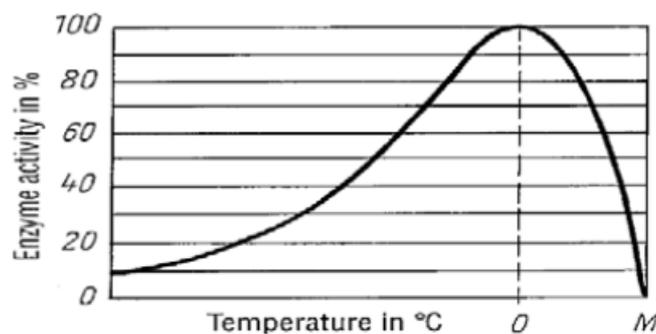


Figura 1-7: Evolución actividad enzimática respecto a la temperatura (4)

Respecto al pH, no tiene una influencia en las enzimas tan importante como la temperatura. La actividad

enzimática alcanza un valor óptimo con un valor de pH específico para cada una y disminuye con valores menores o mayores.

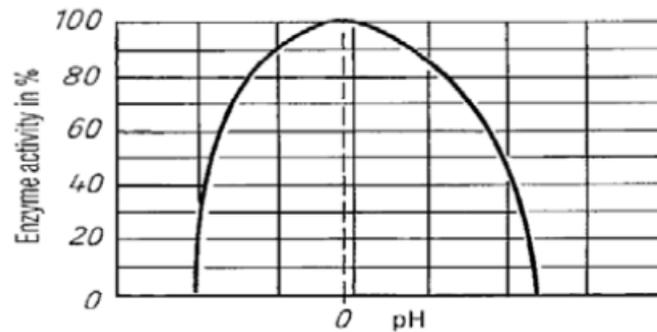


Figura 1-8: Dependencia de la actividad enzimática con el pH (4)

Según como se aumente la temperatura, recibe un nombre. Si la temperatura se mantiene constante durante toda la maceración se llama proceso de infusión, mientras que si se realiza por etapas recibe el nombre de proceso de decocción.

Proceso de infusión: se mezcla la molienda con agua caliente, solo es necesario un recipiente pero que pueda ser calentado. Este proceso suele ser realizado por cerveceros caseros y principiantes, ya que no necesita mucho control. Las principales ventajas de este proceso son: tienen menor demanda energética, son fáciles de monitorizar y permiten ser automatizados de forma sencilla.

Proceso de decocción: se extrae una parte de la templa y se cuece y luego del bombeo de retorno se incrementa toda la temperatura. Según el número de veces que se realice este paso se distinguen entre procesos de una, dos o tres templeas. En la cocción son destruidas las enzimas, por ello no se debe cocer toda la templa en la maceración.



Figura 1-9: Macerado (8)

Finalmente obtenemos una mezcla acuosa de sustancias disueltas y no disueltas, por lo que es necesario el filtrado. Esta solución acuosa se le llama mosto. Inicialmente se filtra a través de las partes no disueltas, este mosto debe tener entre un 4 y un 6% de extracto mayor que la cerveza a fabricar. Seguidamente, se lava con agua caliente las sustancias no disueltas utilizadas anteriormente como filtros, este proceso se llama riego o rociado. La cantidad de agua que se utiliza para el rociado depende de la cantidad y concentración del primer mosto y la alcanzable. A mayor agua mayor rendimiento de lavado, pero mayor agua a evaporar en la siguiente etapa, la cocción, por ello debe llegarse a un equilibrio.

1.4.3 Cocción

Esta es la última etapa del proceso de fabricación del mosto, pero no de la elaboración de cerveza. En esta etapa el mosto elaborado en la maceración se lleva a ebullición durante 50-90 minutos, se debe evitar cocer durante más tiempo para que las proteínas coagulables no se separen completamente. El coste energético de

esta operación aumenta con cada minuto.

En este paso se agrega el lúpulo, hay que tener en cuenta cómo se debe agregar, cuándo y cuánto hay que agregar, ya que ello marcará la diferencia en nuestra cerveza.

Durante este proceso ocurre una serie de procesos importantes para la fabricación de cerveza (4):

- Disolución y transformación de componentes del lúpulo
- Formación y precipitación de compuestos formados por proteínas y polifenoles.
- Evaporación de agua
- Esterilización del mosto
- Destrucción de todas las enzimas
- Carga térmica del mosto
- Reducción del pH del mosto
- Formación de sustancias reductoras
- Evaporación de sustancias aromáticas indeseadas.



Figura 1-10: Cocción con lúpulo (3)

Hay factores que afectan directamente al rendimiento como (4):

- Rendimiento de las maltas: ya que estas pueden ser más o menos ricas en extractos.
- Tiempo del macerado: un macerado prolongado e intensivo aumenta el rendimiento.
- Trabajo de filtración: un riego no uniforme y un flojo desigual bajan el rendimiento
- Forma de operación: se debe mantener de forma exacta las temperaturas y los tiempos.

El mosto caliente debe ser enfriado lo más rápidamente a 5-6°C para cervezas Lager o a 18-20°C para cervezas Ale, ya que la larga exposición a temperaturas intermedias puede provocar la propagación de microorganismos perjudiciales para la cerveza. Esto se realiza mediante un enfriador de placas. En este proceso el mosto se enturbia formándose el trub frío², el cual debe ser extraído, para que no reduzca el contacto entre células de levaduras y afecte a la velocidad de fermentación. Pero el trub frío no debe extraerse totalmente ya que le quitaría el sabor a la cerveza. Para que la levadura trabaje es esencial la presencia de oxígeno, por ello es necesario la aireación del mosto, aunque se produzca una fuerte oxidación. En esta etapa, como se ha podido observar, ocurren una serie de procesos que son importantes para la fermentación posterior.

² Minúsculas partículas que tienden a depositarse en otras partículas como pueden ser células de levadura o burbujas de aire.

1.4.4 Fermentación y maduración

En la fermentación la mayoría de los azúcares fermentables y el oxígeno se convierten en etanol y dióxido de carbono. En la fermentación algunos productos de metabolismo pasan a la cerveza por medio de la levadura. Estos productos secundarios son muy importantes ya que afectan a la calidad de la cerveza y deben mantenerse dentro de uno rango óptimo. Estos productos son:

Sustancias de bouquet de cerveza verde (diacetilo, aldehídos, compuestos de azufre): Éstas le otorgan a la cerveza un sabor y olor impuro, joven y en altas concentraciones bajan la calidad de la cerveza.

Sustancias de bouquet (alcoholes superiores, ésteres) determinan fundamentalmente el aroma y su presencia indican una alta calidad en la cerveza. Éstas no pueden ser extraídas.



Figura 1-11: Etapa fermentación (3)

Además de la formación de estos productos secundarios, también se producen otros procesos importantes, algunos de ellos son (4):

- Disminución del pH
- Aclarado del color
- Disolución de CO₂
- Clarificación

Dentro de esta etapa de fermentación, se producen distintos procesos, los cuales reciben el nombre de Ciclo de la levadura:

- Fase de adaptación
- Respiración
- Fermentación
- Precipitación
- Degradación

Conforme se va reduciendo el contenido de azúcares, las levaduras empiezan a precipitar y mueren. Este precipitado debe ser eliminado ya que pueden producir aspectos no deseados en la cerveza. Al finalizar esta etapa obtenemos lo que se llama cerveza verde.

1.4.5 Carbonatación

Cuando queremos embotellar la cerveza hay que tener en cuenta que una cerveza tratada normalmente mantiene su contenido de CO₂ hasta la botella, pero en algunos casos puede que haya disminuido por tratamientos a presión reducida o a mayor temperatura, por ello se debe añadir el CO₂ perdido. Para ello hay distintas técnicas:

- Carbonatación con azúcar o primming: Normalmente se suele añadir dextrosa o glucosa para no añadir sabor a la cerveza.
- Carbonatación con mosto no fermentado o Gyle/Speise: durante la cocción del mosto se guarda una parte del mosto que debe ser congelado hasta el momento de embotellar.
- Carbonatación Krausening: es similar al Gyle, pero introduciendo cerveza en fermentación activa.

1.5 Clasificación

Como ocurre con los vinos, existen infinidad de cervezas, son innumerables los tipos y marcas de cervezas que hay en el mundo. Hoy en día la variedad de ingredientes, las formas de elaboración, etc. son infinitas, por ello hay muchas formas de clasificar la cerveza.

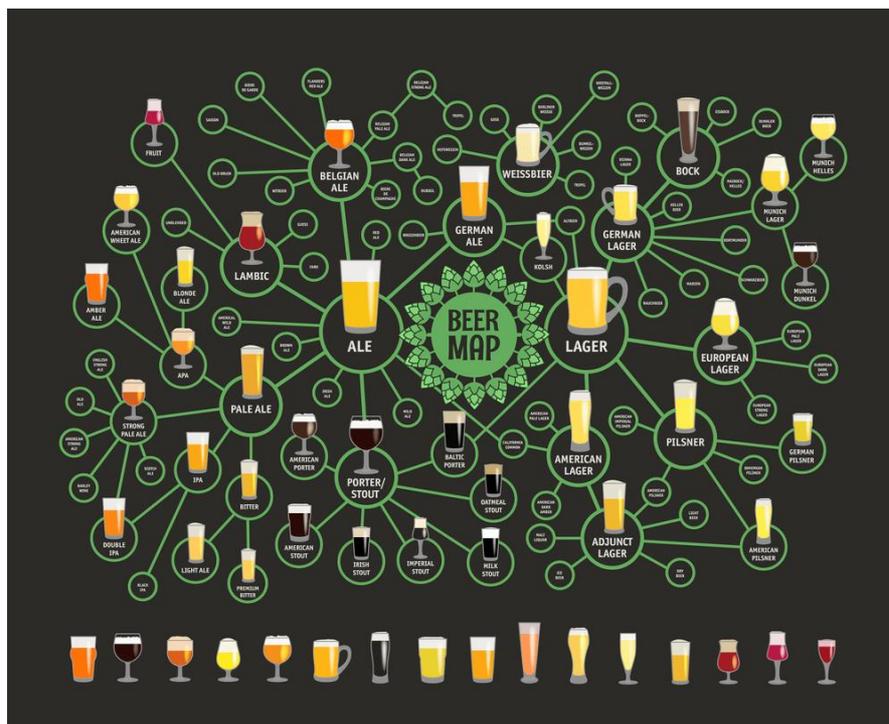


Figura 1-12: Mapa de clasificación de cerveza (10)

Hay varias formas de clasificar la cerveza: por el tipo de agua empleada, la forma de fermentación, el color, los ingredientes... A pesar de todo ello hay unos parámetros básicos que definen las características de la cerveza:

- Grado alcohólico valorado en % vol.
- Nivel de amargor, medido en unidades IBU (International Bitterness Unit)
- Densidad del mosto y de la cerveza final, en gramos por litro.
- Color de la cerveza, unidades EBC (European Brewery Convention) o unidades SRM (Standard Reference Method)

Sin embargo, la gran clasificación de cerveza se rige por el tipo de fermentación, la cual puede ser: baja, alta o espontánea.

Existe una Organización mundial de certificación para jueces de cerveza y productos fermentados relacionados, el cual tiene una clasificación de tipos de cerveza, donde distingue cuatro tipos de cerveza, tres de ellos clasificados según el tipo de fermentación y otro engloba otras cervezas especiales.

A continuación, se exponen algunos tipos de clasificación:

1.5.1 Fermentación

Como se ha mencionado, es la clasificación más usada y general. Esta propiedad es el inicio de la clasificación, ya que a partir de ella se siguen clasificando según otras características. Los tres tipos de fermentación son: fermentación baja, fermentación alta y fermentación espontánea.

1.5.1.1 Fermentación baja

También recibe el nombre de fermentación Lager. Es probablemente el estilo más popular de cerveza ya que se consumen en grandes cantidades en todo el mundo. Recibe este nombre porque la fermentación se lleva a cabo en la parte baja del tanque de fermentación y es un proceso más lento que las Ale, tienen un periodo de maduración largo con almacenamiento en frío, el cual particulariza a la cerveza haciéndola más clara. Tienen una fermentación a temperaturas más bajas que el tipo Ale, por lo que son cervezas que suelen elaborarse en lugares más fríos como el centro de Europa. La levadura usada es *Saccharomyces pastorianus*. Se obtienen cervezas más dulces y se deben consumir a temperaturas más bajas que las cervezas Ale. Las cervezas de fermentación baja se pueden clasificar en cuatro familias (12):

- Familia Pilsner: se caracterizan por ser familias claras y limpias, fácilmente bebibles, muy carbonatadas y recomendables para beber durante comidas. Tienen un bajo contenido en alcohol, presentan un color ámbar y tiene un contenido bajo-intermedio en amargor. Cuerpo ligero con retención de espuma blanca y aroma a lúpulo floral.
- Familia Amber Lager: Son cervezas rubias que pueden ser cobrizas y con contenido en alcohol moderado.
- Familia Dark Lager: son cervezas oscuras, tienen un contenido a alcohol igual al resto.
- Familia Bock “Stark”: son las más fuertes e intensas de esta familia, con un mayor cuerpo y grado de alcohol.

1.5.1.2 Fermentación Alta

Las cervezas de fermentación alta se conocen comúnmente como cervezas Ale. Al igual que las de fermentación baja el proceso ocurre en la parte baja del tanque, en las de alta se produce en la parte alta del fermentador. Como se mencionó anteriormente en otro apartado, al ir fermentando y muriendo las partículas van descendiendo hasta el fondo, las cuales no deben permanecer allí durante largos periodos de tiempo ya que pueden dañar el producto final. Estas cervezas tienen un acabado más turbio respecto a las anteriores. La levadura usada en esta fermentación es más resistente al alcohol, por lo que suelen tener mayor contenido en alcohol. La fermentación se produce a una temperatura más elevada que la anterior. Se suelen consumir entre 6-11°C.

Al igual que la anterior podemos diferenciar distintas familias (12):

- Familia Pale Ale: son cervezas pálidas. Hay diferencias de amargor y grado alcohólico según el país de origen siendo ambos de bajo a moderado.
- Familia Indian Pale Ale: también llamada comúnmente IPA por sus siglas, son más amargas ya que tienen un alto contenido en lúpulo y tienen mayor grado alcohólico que la anterior. Tienen un color claro.
- Familia Amber-Red-Brown Ale: el amargor suele ser de bajo a intermedio, aunque nos podemos

encontrar con cervezas dentro de esta familia de alto amargor, son cervezas apropiadas para consumir durante comidas por su contenido en alcohol (2,5%-8,5%). Tienen colores que pasan por el marrón, rojo y ámbar.

- Familia Porter-Stout: cervezas muy oscuras con olor y sabor intenso a tostado, siendo el contenido en alcohol muy variable. Reciben ese nombre por ser cervezas con mucho cuerpo.
- Familia Strong Ale: tienen niveles de amargor muy variables y gran contenido de alcohol. Suelen ser elaboradas en Europa.
- Familia Abbey/Trappist Ale: esta familia se caracteriza porque tiene una segunda fermentación en botella.
- Familia Wheat/Rye Beer: se caracterizan por sus ingredientes principales, los cuales suelen ser trigo o centeno. Son más turbias.

1.5.1.3 Fermentación espontánea

Esta fermentación se caracteriza porque no se añade levadura, sino que la fermentación se produce sola, ya que el fermentador se deja abierto al aire y se fermenta debido a la aparición de hongos y bacterias que se desarrollan de forma espontánea. Estos depósitos abiertos reciben el nombre de piscinas. Se caracterizan por un contenido bajo o nulo de lúpulo, por lo que el nivel de amargor es mínimo.

1.5.1.4 Fermentación mixta

Es una forma nueva de fermentación que cada vez se está usando más. Estas cervezas suelen recibir el nombre de Ale salvajes, ya que suelen utilizar una mezcla de la levadura usada en la fermentación Ale. También suele añadirse zumos o frutas a esta fermentación.

1.5.2 Ingredientes

Según los ingredientes principales con los que se realice la cerveza podemos clasificarla_

1.5.2.1 Cerveza de cebada

La cebada es el grano más usado en la elaboración de la cerveza, contiene entre un 60-65% de almidón que le dota de un sabor dulce y suave. Hay tres tipos de cebada, pero sólo dos se usan para la elaboración de cerveza, de dos carreras y de seis (las carreras hacen referencia al número de filas de grano de cada tallo), aunque es más común usar la de dos. Algunas de las cebadas más conocidas son la Harrington, la inglesa Marris Otter o la Halcyon. No es casualidad que sea el más usado, ya que se caracteriza por tener una germinación breve y un alto contenido en almidón, lo que facilita una mayor cantidad de azúcares fermentables, además tienen una gran concentración proteica, lo que reduce la turbidez de la cerveza. La mayoría de la cebada se maltea, pero también se puede usar cruda lo que mejora el cuerpo y la retención de la espuma.

1.5.2.2 Trigo

El contenido suele ser de un 50% y un 30% en cervezas especiales belgas. Éste le confiere un sabor algo más agrio que el de la cebada. Destaca su superior contenido proteico en comparación con la cebada, lo que produce cervezas con una sensación en boca plena, rica y con espuma cremosa. Tiene gran capacidad para poder convertir su almidón en azúcares, por lo que se puede usar en grandes cantidades. El trigo aporta turbidez a la cerveza.

1.5.2.3 Maltas de otros cereales

Son los granos de otros cereales distintos de la cebada sometidos al proceso de germinación, desecación y tostado. Estos pueden ser:

- Avena: contribuye a la cremosidad y untuosidad de la cerveza. La cantidad de aceite y grasa de la avena provoca problemas en cualquier cantidad. La avena no malteada produce turbidez en el

producto final.

- Centeno: ayuda a crear espuma cremosa, añade sequedad en cualquier receta y proporción. En grandes cantidades provoca aromas y sabores a manzana madura.
- Trigo Sarraceno: crea cervezas turbias casi opacas. Estas cervezas son conocidas como cervezas agrias.
- Arroz: no contribuye al sabor, aporta azúcar para la conversión en alcohol. Aumenta la sequedad y así destaca el sabor a lúpulo.
- Maíz: se usa para dar suavidad y aporta azúcares como el arroz.

1.5.2.4 Adjuntos

Hay mucha controversia en el mundo cervecero de que es un adjunto y que no. Algunos llaman adjuntos a todo lo que se añada a la receta que no sea cebada y otro a cualquier grano que aporte almidón y que no esté malteado. La utilización de adjuntos se realiza normalmente por motivos económicos. Podemos diferenciar dos grupos:

- Adjuntos macerables: son adjuntos que precisan ser macerados porque contienen almidón para convertirlos en azúcares fermentables como maíz y arroz.
- Adjuntos no macerables: se añaden directamente a la olla durante la cocción, como son los azúcares, melazas o los jarabes, con lo que se añaden azúcares fermentables directamente a nuestra cerveza.

1.5.2.5 Otros

También se puede añadir a la cerveza zumos, frutas, café, hierbas. Hay que tener en cuenta que si se añaden zumos o extractos deben estar pasteurizados anteriormente.

Al añadir, por ejemplo, frutas, marca tanto el aroma como el color y el sabor. Normalmente se añaden en el proceso de fermentación o con la maduración. La manzana mejora la espuma de la cerveza. La fruta más usada es la cereza, ya que encaja perfectamente con la cerveza.

El café se añade en el momento de cocción, pero hay que tener en cuenta que el café añade amargor al igual que el lúpulo, por lo que hay que encontrar el equilibrio. Hoy en día hay muchas cervezas que añaden este grano a su elaboración.

1.5.3 País de procedencia

Otra forma de clasificación de cerveza es según su país de elaboración. Podemos distinguir:

1.5.3.1 Centro de Europa

Podemos distinguir dos países importantes en la cerveza dentro del centro de Europa (13):

- **Alemania:** suelen primar las Lager, sin embargo, hay muchos más tipos:

Helles: presentar color pajizo claro, carbonatación suave o media con poco amargor, aroma floral y herbal. Son cervezas claras.

Pilsner: como se explicó anteriormente son claras y ligeras.

Doppelbock: de color caoba oscuro donde la protagonista es la malta, son tipo lager. Tienen toques a bizcocho, ciruelas pasas o algún toque a café. Tienen una graduación media alta y tiene cuerpo medio.

Kölsch: cerveza de alta fermentación, con color dorado vivo, abundante espuma blanca, carbonatación media-alta. Tienen un ligero perfil frutal y aromas herbales.

Altbier: potente sabor a malta, sabor a frutos rojos y pasas. Color rojizo claro al marrón oscuro. Carbonatación media-alta.

Rauchbier: elaborada con maltas ahumadas con intenso aroma a barbacoa y madera. Es seca.

Berliner weisse: cervezas ácidas muy refrescantes. Es dorada con algo de turbidez ya que contienen trigo.

Hefeweizen: cervezas de trigo. Color dorado con gran turbidez, su espuma es cremosa, aunque poco persistente. Destaca el aroma a banana madura, clavo y en algunos casos a chicle de fresa. Hay muchas variedades.

Weizenbock: es una versión fortificada de las cervezas de trigo alemanas, se emplea más malta y más trigo. Tienen un color más oscuro. Tienen toques frutales más maduros como pasas, ciruelas o frutos rojos. Tienen un mayor dulzor.

Eisbock: es una cerveza con mucho contenido en alcohol y mayor densidad. No tienen casi carbonatación. Aromas a frutos rojos, ahumado y a brandy.

- **República Checa:**

Utilizan la graduación Balling que mide la concentración de azúcar fermentado en el mosto, a más azúcar fermentado tenemos una cerveza más fuerte. Antiguamente se utilizaba este sistema para calcular los impuestos sobre la cerveza. Algunos tipos que podemos encontrar (14):

Color: Svetlé (clara), Polotmavé (semi oscura), Tmavé (oscura) y Rezané (mezcla de oscura y clara).

Grado de alcohol: Desitka (10°), Jedenáctka (11°) y Dvanáctka (12°)

ALT: tipo de cerveza malteada, moderadamente amarga y fermentada.

Pilsner

Kvasnicové: cerveza sin pasteurizar.

Psenicné pivo: cerveza de trigo.

1.5.3.2 Bélgica

Bélgica es uno de los países con más tradición y variedad de estilos de cerveza. Algunos de ellos son (15):

- Cervezas de mesa: con menos de 1,5 °.
- Pilsner: las más exportadas.
- De abadía: son elaboradas por marcas comerciales y utilizan nombre de una abadía abandonada, suelen elaborar toda gama de cervezas.
- Trapenses: son elaboradas exclusivamente en abadías trapenses y se elaboran bajo supervisión de monjes estrictos en la tradición. Sólo seis marcas belgas pueden utilizar ese nombre.
- Double: son Fuertes y su nombre se debe a que son el doble de fuerte que las Lager. Tienen entre 6 y 8° de alcohol, ligeramente amargas y con notas frutales y de cereal.
- Tripel: son las cervezas más Fuertes.
- Amberee: adaptación a las Ale británicas.
- Blanche: elaboradas con trigo, son ligeras y refrescantes. Suelen incluir especias para alterar su sabor.
- Brut: se produce y embotella siguiendo la tradición del champán, lo que le da un cuerpo y gusto que nos recuerda a éste.
- Vieille brune: son muy similares a las rojas.
- Lambic: fermentación espontánea.
- Cerveza roja: se elabora con una fermentación mixta, con los mismos fermentos que el yogur. Es una cerveza fuerte de color rojo y gustos ácidos y afrutados.

1.5.3.3 Reino unido

Hay diversos tipos de cerveza:

- Brown Ale: más dulce que la Ale, con color entre ámbar y marrón oscuro, sabor a malta y frutas.
- Mild Ale: cerveza suave con muy poco sabor a lúpulo. Desde colores pálidos a oscuros.
- IPA: color oro o cobre claro y tienen un aspecto turbio.
- Old Ale: tienen un carácter ácido y picante, a veces afrutado y vinificado.
- Bitter: incluye las cervezas amargas, no son tan amargas como indican su nombre, se parecen a las Pale Ales.
- Winter Warmer: cuerpo robusto y malteado con lúpulo muy presente. De color desde rojo rubí hasta casi negro.
- Barleywine: color desde ámbar a marrón oscuro y alto nivel a alcohol.
- Porter: cerveza elaborada para poder consumir sin necesidad de ser almacenada y madurada en pubs y otros lugares. A pesar de ser oscura no es tostada, tiene notas a caramelo o chocolate.
- Stout: sabor tostado con notas de cacao o café. Su color característico es negro.

1.5.3.4 Estados Unidos

Algunas de las cervezas americanas más conocidas son:

- Amber Ale: es una cerveza híbrida que se fermenta con levadura de Ale, pero a altas temperaturas. Es bastante amarga, pero tiene un final estilo Lager.
- NEIPA³: es un estilo relativamente nuevo, son tipo IPA, tienen un fuerte aroma frutal que aportan los lúpulos americanos.
- APA⁴: elaborada tradicionalmente con lúpulos americanos. La gran cantidad de lúpulo empleado le da un sabor fuerte pero equilibrado y un aroma cítrico muy potente. Tiene un alto contenido en alcohol.

1.5.4 Contenido en alcohol

Esta clasificación es simple y solo tiene tres clases:

- Con alcohol
- Bajo contenido en alcohol
- Sin alcohol

1.5.5 Color

La gran diversidad de colores de la cerveza depende principalmente del grado de secado o tostado de las maltas empleadas y el agua utilizada. Por supuesto un proceso largo de maduración también dará colores más intensos.

Existen dos unidades básicas para la medición del color:

EBC: Unidades de color europeas. Existe una escala que mide el color a partir de espectrofotómetro.

SRM: Unidades de color americanas. Es otra escala, en este caso norteamericana. Una unidad SRM es la cantidad de luz a 430nm que puede pasar a través de 1 cm de cerveza en un fotómetro.

³ New England Indian Pale Ale

⁴ American Pale Ale

Tipos de cervezas (16):

- Rubia: 2-6 SRM/ 4-12 EBC
- Tostada: 6-24 SRM/12-47 EBC
- Roja: 14-18 SRM
- Negra:24-40 SRM/47-79 EBC
- Otros

1.5.6 Método de producción

Existen dos grandes distinciones a la hora de elaborar cerveza: industrial y artesanal. Las principales diferencias son:

- La procedencia de los ingredientes: la mayoría de las cervezas industriales están elaboradas con los mismos ingredientes, mientras que las artesanales suelen tener peculiaridades en los ingredientes. Además, las cervezas artesanas normalmente sólo utilizan en su elaboración los cuatro ingredientes (agua, malta, lúpulo y levadura) y si utilizan otros es para aportar características diferenciadoras, no para abaratar costes como las industriales.
- Receta: normalmente la cerveza industrial sabe exactamente igual y la artesanal puede ir variando su sabor, ya que el maestro cervecero está constantemente en busca de la receta perfecta.
- Sabor y aroma: por lo general la cerveza artesana destaca su sabor y aroma respecto a las cervezas industriales, lo que hace que se disfrute más.
- Filtrado: en las cervezas manuales el filtrado suele ser manual y en la industrial suele ser químico y muchos ingredientes se pierden.
- Volumen: otra de las diferencias más notables es el volumen de producción, ya que la cerveza artesana suele tener el volumen limitado debido a su procedimiento artesano. La cerveza industrial se fabrica en grandes cantidades.

1.5.7 Clasificación según época de elaboración

Desde los principios básicos de la cerveza y la base han pasado siglos. La cerveza tal y como la conocemos hoy, sólo tiene unas décadas, pero la receta más antigua encontrada, del siglo III A.C., los egipcios ya elaboraban cerveza. Por ello, con el paso del tiempo se ha ido perfeccionando recetas, hasta llegar al día de hoy y por tanto hay estilos de elaboración de cerveza que ya no son usados, estilos que se usan actualmente, nuevos estilos basándose en los tradicionales y estilos nuevos.

Por lo tanto, podemos clasificar en cuatro familias:

- Estilos olvidados
- Estilos tradicionales
- Estilos reinterpretados
- Nuevos estilos

1.5.8 Clasificación según BOE-A-2016-11952

Para su etiquetado y comercialización en España, el boletín oficial del estado clasifica los distintos tipos de cerveza a partir de unos parámetros medidos. El BOE nombra cada tipo de cerveza según el extracto seco primitivo (ESP) o Extracto de Mosto original, que es la cantidad de componentes orgánicos presentes en el mosto antes de fermentar, por lo que proporciona la cantidad de azúcares fermentables existentes en el mosto y por lo tanto el alcohol que se puede obtener. La clasificación puede resumirse en la siguiente tabla:

BOE	RANGO	NOMBRE
INGREDIENTE	Malta cebada < 50% Malta total	Cerveza de cereales
ESP	ESP ≥ 15% p/p	Cerveza extra
	13% p/p ≤ ESP < 15% p/p	Cerveza especial
COLOR	EBC > 50	Cerveza negra
%v/v ALCOHOL	1% v/v > Grado alcohólico > 3% v/v	Cerveza de bajo contenido alcohólico
	Grado alcohólico < 1% v/v	Cerveza sin alcohol

Tabla 1-1: Clasificación cerveza según BOE

2 PARÁMETROS FUNDAMENTALES EN LA CALIDAD DE LA CERVEZA

“Un hombre que miente sobre la cerveza hace enemigos”

- Stephen King, escritor -

Como se ha podido observar en los apartados anteriores, hay infinidad de variedades de cerveza y muchas formas de elaboración que finalmente dan lugar a un producto tan personificado como el maestro cervecero quiera. Se han ido nombrando algunos parámetros que sirven para clasificar la cerveza en las distintas familias nombradas. Estos parámetros no sólo sirven para la clasificación de cerveza en distintas familias según el tipo de clasificación, sino también proporcionan una información legal exigida, en nuestro caso, por España.

En España se requiere una información legal concreta sobre el producto final. Esta información viene definida a través de unos parámetros cuantificados o de forma cualitativa, determinando la presencia o ausencia de ciertos componentes. Estos parámetros quedan recogidos en el BOE-265-Código de la cerveza. En este código de la cerveza se establece una recopilación de normas que fundamentan la cadena alimentaria de la cerveza desde la producción de los cereales hasta la elaboración y presentación de la bebida. En este código se centra en cuatro partes concretas: el producto, los empresarios, la elaboración y comercialización y la calidad.

En el BOE se mencionan tanto los métodos como los parámetros en el Artículo 9 del BOE-A-2016-11952, en él explica que se nombran conforme a la normativa recomendada por la EBC o en su defecto, aquellos métodos de organismos nacionales e internacionales de reconocida solvencia. Algunos de esos organismos son:

- MEBACK: comisión europea de análisis de técnicas cerveceras.
- RBIM: Instituto de investigación y elaboración de cerveza y malta
- BD: instituto de elaboración de cerveza y destilación.
- ASBC: sociedad estadounidense de cerveceros químicos.

Por lo tanto, el BOE reconoce los métodos de análisis para unos parámetros concretos, pero permite al laboratorio o al fabricante, la elección del método que crea conveniente, siempre que esté avalado y mientras se aporte esa información requerida. Los parámetros necesarios que determinar son:

- Grado alcohólico
- pH
- Densidad y masa volumétrica
- Extracto real
- Extracto seco primitivo

- Color
- Amargor

En este apartado se definirán estos parámetros y se explicará que información proporciona cada uno de ellos y qué métodos podemos usar según el BOE

Cabe decir, que además de los parámetros de obligado cumplimiento según el BOE, existen otros que dan información sobre el producto final. De ellos también se hablará en este apartado.

2.1 Parámetros Obligatorios

2.1.1 Grado alcohólico

La graduación o grado alcohólico volumétrico de una bebida alcohólica es la expresión en grados del número de volúmenes de alcohol (etanol) contenidos en 100 volúmenes del producto, medidos a la temperatura de 20°C. Se trata de una medida de concentración porcentual en volumen ABV. Existen otras formas de medida como porcentaje en peso. Se puede expresar como porcentaje (%) o en grados (°).

Como se ha comentado anteriormente, existe una clasificación de tipos de cerveza según su contenido en alcohol. Las cervezas sin alcohol tienen un grado alcohólico igual o inferior al 1%. El contenido habitual de una cerveza oscila entre el 3% y 12%. Si la cerveza tiene un contenido en alcohol mayor 1,2%, según legislación debe aparecer en la etiqueta del envase (1).

Como se ha comentado, el contenido en alcohol de la cerveza queda determinado por la cantidad de azúcares fermentables presentes en el mosto, ya que, gracias a la levadura, los azúcares pasan a ser alcohol, por ello una forma de incrementar el contenido es aumentando el tamaño del grano o la cantidad de extracto de malta, incluso azúcar. En España queda prohibido añadir alcohol para conseguir un mayor contenido en alcohol.

Según el BOE, disponemos de cuatro métodos de análisis, aceptados, para calcular el grado de alcohol de la cerveza, ellos son:

- Destilación y densimetría.
- Espectroscopía de Infrarrojo Cercano (NIR)
- Cromatografía de gases
- Enzimático

2.1.2 pH

El pH es el índice que expresa el grado de acidez o alcalinidad de una disolución. Su nivel se mide en una escala que tiene un rango de 0 a 14, siendo 7 el término neutral. Usa solución con un nivel de pH inferior a 7 se considera ácida, mientras que cualquier solución superior a ese número sería alcalina.

El pH juega un papel muy importante en cada parte del proceso de producción de cerveza, desde el agua, el macerado, el mosto, la levadura, la fermentación hasta el producto terminado. Altos valores de pH pueden deteriorar sabores y tener poca conversión enzimática.

El agua afecta al pH ya que constituye cerca del 95% del producto final, por ello es importante conocer las características del agua. La malta se acidifica y el macerado disminuye su pH, pero se necesita de un volumen considerable de agua para airear, enjuagar y extraer el extracto fermentable del grano. Es posible corregir el pH del agua de lavado. Durante el macerado, hay que tener en cuenta que las enzimas, dependiendo del tipo de cerveza que queramos elaborar, necesitan de un pH u otro.

El pH al final de cada etapa de producción es un indicador de la estabilidad. La cerveza terminada debe tener un pH más bajo que el mosto pre-fermentado. Cualquier variación del pH final, especialmente una lectura mucho más baja, puede indicar una infección que debe llevar a cervezas amargas y turbias. La cerveza suele tener un pH de entre 4,1 y 4,6, que inhibe el crecimiento de ciertos organismos, un pH más bajo puede indicar proliferación de bacterias productoras de ácido, resultando cervezas amargas.

Por lo tanto, la determinación del pH es fundamental, tanto para la calidad del producto final como por legislación, ya que el BOE establece que el pH de la cerveza no debe sobrepasar el valor de 5,5. Este parámetro no es obligatorio que aparezca en el etiquetado del producto.

Este texto se centra únicamente en los parámetros medidos en el producto terminado para determinar la calidad.

Según el BOE, el método analítico aprobado es la potenciometría.

2.1.3 Densidad y masa volumétrica

Primero se definirán ambos parámetros:

Masa volumétrica: es la masa de cerveza por unidad de volumen, lo que generalmente se define como densidad. Se expresa en kg/m^3 .

Densidad: lo que se entiende por densidad cuando se habla de cerveza, es la densidad relativa. Es decir, la densidad entre la masa volúmica del mosto o cerveza final y la del agua en las mismas condiciones de presión y temperatura.

Ambos parámetros se utilizan para determinar otros exigidos por el BOE, por ejemplo, el grado de alcohol. Tanto la densidad como la masa volumétrica no son obligadas a aparecer en el etiquetado del producto.

Durante la elaboración de cerveza se tienen en cuenta distintas densidades, como la densidad original objetivo, que se trata de un valor particular dado por el estilo de cerveza que se pretende realizar. Es importante, durante el proceso, controlar si la densidad objetivo será alcanzada, ya que esta puede desviarse dando problemas. Si no se alcanza la densidad objetivo se pueden realizar ajustes para llegar a alcanzarla, como prolongar la cocción, diluir mosto en agua, eliminar parte del mosto, por ejemplo. La densidad original influye en la cantidad de alcohol en la cerveza y también en la percepción del balance entre maltosidad y amargor. En la Figura 10 se puede observar como para un mismo nivel de IBU⁵, medida de la concentración de iso- α -ácidos, en partes por millón, en la cerveza terminada que mide el amargor, 25, una variación de 1,050 a 1,060 se pasa de una cerveza equilibrada a una con cierta maltosidad.

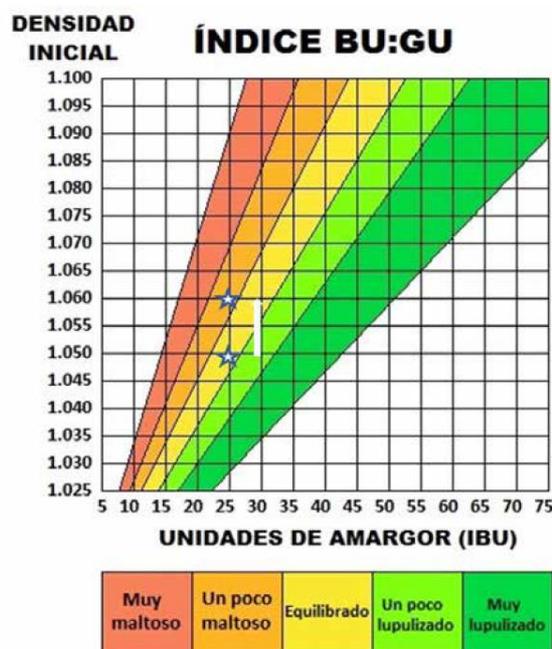


Figura 2-1: Ratio Amargor: Densidad Específica (4)

Según el BOE ambos parámetros deben determinarse a 20°C y presión atmosférica. El método analítico

⁵ International Bitterness Units

aceptado es la densimetría.

2.1.4 Extracto real

Es la fracción de sustancias disueltas en la cerveza, pero sin considerar el alcohol en la mezcla.

El método analítico aprobado por el BOE es a partir de densimetría y cálculos.

2.1.5 Extracto seco primitivo

Extracto seco primitivo (ESP): es el conjunto de componentes orgánicos que componen el mosto antes de la fermentación.

Ambos se miden en grados plato (°P), es el valor en gramos de extracto en 100mL. Estos parámetros son obligatorios según el BOE, el ESP clasifica la cerveza, diferenciando para valores mayores de 13°P como cerveza extra y la cerveza especial y esta denominación debe aparecer en el etiquetado.

Se debe determinar a partir de cálculos por la fórmula de Balling.

2.1.6 Color

Como se ha podido ver anteriormente, el color es una característica muy importante en la cerveza, tanto, que es una forma de clasificación de cerveza. Uno de los grandes problemas de la evaluación del color de la cerveza y del mosto es el gran abanico de colores posibles.

Tanto los ingredientes como el proceso tienen un efecto sobre el color de la cerveza. La malta y los extractos de malta tienen un gran efecto, el lúpulo oscurece la cerveza, el agua usada tanto para el malteo o como para la elaboración. Respecto a los procesos, los de mayor impacto son los involucrados en el procesamiento del grano y del mosto. También afecta la cocción del mosto y separación, es un paso muy importante para el color, sobre todo para las cervezas pálidas, y fermentación, donde se puede observar una reducción del color. En la siguiente tabla se puede muestra un ejemplo de la evolución del color en el proceso de elaboración de la cerveza, desde la cebada hasta el producto final.

ELEMENTO	COLOR (SRM)
Cebada	1,2
Malta	1,4
Mosto, prehervido	2,8
Mosto, posthervido	5,3
Cerveza	4,4

Tabla 2-1: Evolución del color en la elaboración de la cerveza (4)

A lo largo del tiempo se han hecho cambios en las mediciones, el sistema original Lovibond (creado en 1883 por J.W. Lovibond), calibración con diapositivas, aunque la mayoría de los métodos se basan en el sistema Lovibond. Actualmente existen los espectrofotómetros que permiten la lectura exacta del color. Hay dos escalas para la medición del color: EBC y SRM, equivaliendo esta última a la escala Lovibond (°L). En Europa se utiliza las unidades EBC, aunque hay una equivalencia con la escala en unidades SRM.

La determinación de este parámetro en España sólo es obligatoria si se indica en la etiqueta o si se debe emplear la definición de cerveza negra, para la cual hay que comprobar que tenga un color mayor a 50 EBC. El método aceptado por el BOE es la espectrofotometría 430nm.

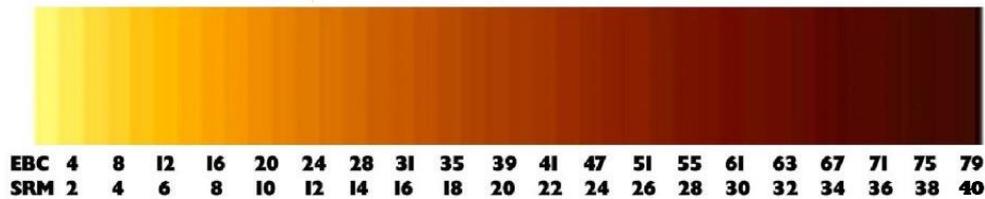


Figura 2-2: Escala color de la cerveza EBS/SRM (17)

2.1.7 Amargor

El amargor es una de las características principales de la cerveza. El amargor principal de la cerveza viene proporcionado por la adición del lúpulo, que es quien da ese amargor y aroma característico. Dependiendo de la cantidad y variedad de lúpulo este variará de infinitas formas, ya que la forma de adición del lúpulo es una personalización tanto del estilo como del tipo de cerveza que se quiera realizar. El lúpulo contrarresta el dulzor que proporciona la malta. El lúpulo proporciona su amargor a partir de los α -ácidos que aparecen en la resina blanca que mediante la cocción cambian de estructura generando unos compuestos responsables del amargor llamados iso- α -ácidos.

El amargor en la cerveza se mide por el sistema IBUs (International Bitterness Units), también se puede referir como BUs. Es una medida de concentración de los iso- α -ácidos en la cerveza terminada en partes por millón. Es decir, un IBU es una ppm de iso- α -ácidos.

Hay que tener en cuenta que el amargor de la cerveza no proviene exclusivamente del lúpulo, ya que puede venir de otros componentes en la cerveza, por ejemplo, las maltas muy tostadas o adicciones de determinadas frutas y especias, lo que puede provocar que una cerveza sea más amarga a pesar de encontrar un número de IBUs bajo o viceversa. Esto provoca un gran debate en el mundo cervecero. Para el estándar de calidad de este producto queda definido que la cerveza debe tener un amargor superior a 5 IBUs, excepto en el caso de las bebidas de malta. En la siguiente tabla se muestra una guía básica del amargor de la cerveza según los IBUs.

IBUs	Amargor
De 5 a 20	Poco amarga
De 21 a 35	Amarga
De 36 a 50	Bastante amarga
Más de 50	Muy amarga
Más de 100	Amargor extra

Tabla 2-2: Guía básica IBUs/Amargor (4)

Existen cervezas con un altísimo valor de IBUs, pero hay que tener en cuenta que el umbral sensorial se estima que tiene su límite en 120 IBUs para los más expertos, pero para la mayoría este límite es mucho más bajo, 80 IBUs.

Se reconocen dos métodos de análisis, según el BOE, para la determinación del amargor. Estos son: Espectrofotometría a 275nm y la HPLC⁶.

2.2 Parámetros no obligatorios

En este apartado se nombran distintos parámetros que, a pesar de no estar regulados según el BOE, se consideran parámetros fundamentales para determinar la calidad de la cerveza. Por lo que su análisis no es obligatorio, pero aportan información importante a la elaboración de nuestra cerveza, ya que podemos comprobar si el producto es el deseado y si cumple con nuestros objetivos.

⁶ High-performance liquid chromatography

2.2.1 Anhídrido carbónico

El contenido de anhídrido carbónico (CO₂) o dióxido de carbono, es un criterio de calidad importante ya que afecta en gran medida al sabor de la cerveza. Un adecuado nivel de anhídrido carbónico da a la cerveza una buena formación de espuma y sensación en boca. Por ejemplo, las cervezas más maltosas suelen tener un contenido en anhídrido carbónico más bajo para destacar ese matiz, mientras que cervezas con más lúpulo suelen tener mayor contenido ya que este destaca su aroma.

VOLÚMENES CO ₂	CARBONATACIÓN	CUERPO
7	Muy alta	Muy pleno
6	alta	Pleno
5	Media-alta	Medio-pleno
4	Media	Medio
3	Media-baja	Medio-bajo
2	Baja	Bajo
1	Muy baja	Muy bajo
0	Sin carbonatación	Agua

Tabla 2-3: Cuerpo de la cerveza según carbonatación (18)

En la elaboración industrial de cerveza, durante la fermentación, se inyectan gases para la oxigenación del mosto con la intención de que las levaduras tengan las dosis necesarias de oxígeno para llevar a cabo la fermentación en condiciones adecuada.

Durante la fermentación se genera anhídrido carbónico, la cantidad que retenga nuestra cerveza dependerá del punto de saturación. La cantidad de CO₂ disuelto se mide en volúmenes de CO₂. Se define como un volumen de CO₂ disuelto como el mismo volumen de gas disuelto en la misma cantidad de líquido. A nivel industrial se usan gramos de CO₂ por litro (g/l)

El punto de saturación es la cantidad máxima de gas que puede contener el líquido y este punto depende de dos factores: temperatura y presión. A menor temperatura mayor contenido en CO₂ puede retener el líquido, es decir mayor punto de saturación. Mientras que la presión afecta de manera inversa que la temperatura, a mayor presión mayor punto de saturación. Hay que tener en cuenta que parte de este dióxido de carbono disuelto puede perderse, sobre todo en los procesos artesanales. Por lo que hay que restituir este CO₂ perdido, este proceso se llama carbonatación

Hay distintas formas de carbonatación:

- Con azúcar o primming: se añade azúcar a la cerveza para que después de embotellar, las levaduras se activen de nuevo y de lugar a una fermentación en botella y el gas generado quede en la botella.
- Con mosto no fermentado: esta técnica también se llama Gyle/Speise. Se incorpora mosto no fermentado al embotellar para que este termine de fermentar en la botella.
- Kraeusening: es parecido al Gyle, pero se introduce cerveza en fermentación activa. Este término se refiere a la espuma que se crea al realizar este proceso.
- Carbonatación forzada: donde se inyecta directamente dióxido de carbono. También este dióxido puede ser recuperado del tanque de fermentación, este proceso suele ser más a nivel industrial.

El método utilizado se realiza a nivel industrial. A nivel artesanal no se suele analizar este parámetro ya que es necesario disponer de un equipo más complejo. Este método es realizando una volumetría y posteriormente cálculos. Inicialmente este parámetro tenía un límite inferior, el cual era 3g/l, el cual ya no aparece como parámetro obligatorio para el estándar de calidad.

2.2.2 Anhídrido sulfuroso

En anhídrido sulfuroso es un gas incoloro de olor penetrante que bajo presión se encuentra como un líquido, se disuelve fácilmente en agua.

Es un compuesto que en dosis adecuadas y permitidas actúa como antioxidante, antiséptico y desinfectante. Esta propiedad antioxidante evita que la cerveza se deteriore antes. Sin embargo, en medidas excesivas provoca olores y sabores desagradables.

Estos compuestos se forman durante el proceso de fermentación, normalmente durante la segunda fase. Dependiendo del tipo de levadura esta aparición será en mayor o menor medida. Por ejemplo, levaduras *Saccharomyces cerevisiae*, son bajas productoras de SO₂, mientras que las levaduras *Saccharomyces bayanus*, son altas productoras. Algunas pueden producir hasta 300mg/l durante la fermentación, aunque actualmente los productores de levaduras secas comerciales tienen cepas que producen un máximo de 20mg/l (19).

La presencia de este compuesto, en mayor medida, es debido a la fermentación como se ha comentado, pero puede aparecer debido a una contaminación bacteriana o si se manipula de forma inapropiada.

En el BOE, aunque no es un requisito de calidad, aparece el límite máximo de sulfitos, ya que la cerveza es un producto alimenticio y debe tener un control. Este compuesto es un alérgeno. Estos límites quedan reflejados en la siguiente tabla:

TIPO DE CERVEZA	MÁXIMO mg/l
Sin alcohol y bajas en contenido de alcohol	20
Barril sin alcohol	20
Con segunda fermentación en barril	50

Tabla 2-4: Sulfitos (1)

El método de análisis reconocido por la European Brewery Convention para este parámetro es la destilación en medio ácido y realización de espectrofotometría. Hay otros métodos reconocidos por otras asociaciones nacionales o internacionales de reconocida solvencia, por ejemplo, ASBC.

2.2.3 Turbidez

La turbidez es provocada partículas en suspensión que reflejan la luz. Estas partículas pueden ser elementos como carbohidratos, proteínas, ácidos grasos, etc., que precipitan o incluso células de la levadura. Hay que tener en cuenta que la turbidez también depende del estilo de la cerveza que se elabore, como se ha podido ver en el apartado 1.5, donde se habla de la clasificación de la cerveza.

Este parámetro es muy importante, ya que afecta a la calidad de la cerveza. La turbidez a nivel industrial se mide durante todo el proceso, no sólo en el producto final. ES tan importante, ya que influye mucho en el consumidor debido a que una cerveza turbia se suele relacionar con un producto en mal estado. Hoy en día, la turbidez, es una característica clave de la cerveza artesana. Si se quiere eliminar la turbidez se pueden usar estabilizantes o realizar un filtrado exhaustivo. En la siguiente tabla se indica el grado de turbidez correspondiente con las escalas EBC y ASBC.

GRADO	EBC	ASBC
Brillante	0,0 a 0,5	0,0 a 34,5
Casi brillante	0,5 a 1	34,5 a 69
Muy ligeramente turbia	1,0 a 2,0	69 a 138
Ligeramente turbia	2,0 a 4,0	138 a 276
Turbia	4,0 a 8,0	276 a 552
Muy turbia	> 8,0	> 552

Tabla 2-5: Turbidez de la cerveza (20)

La turbidez se mide en unidades NTU⁷ (o FNU) o en unidades EBC o ASBC. EL método utilizado para el análisis es la turbidimetría.

2.2.4 Contenido en metales

Los metales se encuentran en los organismos vivos y tienen diferentes funciones, por lo que algunos son imprescindibles para algunas funciones biológicas, pero hay que tener en cuenta que si los metales se encuentran en exceso se convierten en elementos tóxicos. Los metales no se transforman en el organismo, por lo que se acumulan hasta ser expulsados, por lo tanto, el contenido en metales es un aspecto muy importante a nivel sanitario.

La contaminación de alto contenido en metales en cerveza se suele producir por un uso inadecuado de materiales, por ejemplo, algunos métodos de filtración que pueden introducir pequeñas cantidades, o por contaminación de materias primas o incluso de los envases. El agua es una de las materias primas fundamental, por lo que debe ser analizada antes de elaboración y comprobar que no sobrepase los límites en los metales o que no esté contaminada por ellos.

Este texto, se centra en la importancia de cinco metales: Cobre, Zinc, Plomo, Arsénico y Cobalto. Estos metales, están regulados por el BOE-A-1995-3394, donde no excederán los siguientes límites:

Cobre: 1,0 ppm.

Zinc: 1,0 ppm.

Plomo: 0,2 ppm.

Arsénico: 0,2 ppm.

Cobalto: 50 ppm.

Por otro lado, existen algunos elementos que han sido responsables de grandes intoxicaciones, por ello la OMS⁸ ha fijado límites que se muestran en la siguiente tabla:

Metal	Ingesta semanal tolerable µg/(Kg peso y semana)	µg/día para un individuo de 68 Kg de peso
Plomo	25	243
Cadmio	7	68
Mercurio	5	49
Arsénico	15	146

Tabla 2-6: Límites metales pesados establecidos por la OMS (21)

⁷ Formazine Nephelometric Unit

⁸ Organización Mundial de la Salud

El análisis de los metales obligados por el BOE se suele realizar en laboratorios, ya que se dispone del equipo necesario para hacerlo. El método de análisis usado aprobado por la ASBC es la Espectroscopía de absorción atómica (EAA).

3 ANÁLISIS Y PROCEDIMIENTOS

“Hubiera podido lograr un profundo conocimiento de las matemáticas. Pero consumí la mayor parte del tiempo en el laboratorio de física, fascinado por el contacto directo con la experiencia”

-Albert Einstein, físico germano-estadounidense-

En este capítulo se van a explicar los distintos análisis nombrados anteriormente necesarios para determinar los parámetros del capítulo anterior.

Los métodos de análisis que vamos a ver son métodos aceptados por el BOE, para parámetros obligatorios para la calidad de la cerveza, y otros métodos son aceptados por otros organismos nacionales y/o internacionales de reconocida solvencia como EBC, ASBC, etc.

Además de explicar en qué consisten estos métodos, se elaborará un manual para poder realizarlos en los laboratorios del Departamento de Ingeniería Química y Ambiental, explicando tanto los equipos como el procedimiento, mostrando algunos ejemplos realizados.

3.1 Análisis realizables

En el capítulo anterior se nombraron y definieron los parámetros importantes para la calidad de la cerveza, de los cuales no todos son obligatorios la realización de análisis ya que no están reflejados en el BOE, pero, sin embargo, se consideran parámetros que nos ayudan a determinar la calidad, no solo en el producto final sino también durante el proceso de elaboración, asegurándonos un correcto procedimiento para la obtención de un producto dentro de los parámetros deseados.

En los laboratorios se disponen de infinidad de materiales y equipos para la realización de diferentes experimentos y análisis de distintos ámbitos. Se ha estudiado e investigado de la disposición de materiales y equipos necesarios para la realización de los análisis que interesan en este texto. En la siguiente tabla se recoge información sobre las técnicas, su obligatoriedad, su posibilidad de realización y dónde se pueden realizar.

PARÁMETROS	OBLIGATORIOS	ACONSEJABLES	REALIZABLES	LUGAR de REALIZACIÓN
Grado alcohólico	x		x	L5 planta baja
pH	x		x	L5 planta baja
Densidad	x		x	L5 planta baja
Masa volumétrica	x		x	L5 planta baja
Extracto real	x		x	L5 planta baja
Extracto seco primitivo	x		x	L5 planta baja
Color	x		x	L4 planta alta
Turbidez		x	x	L5 planta baja
Contenido en metales	x	x	x	L4 planta alta
Amargor	x			L4 planta alta
Anhídrido carbónico		x		L4 planta alta
Anhídrido sulfuroso		x		L4 planta alta

Tabla 3-1: Análisis realizables en los laboratorios del DIQA

Algunos de los parámetros analizables en los laboratorios del departamento, tienen más de una metodología aceptada por el BOE para ser realizados, si son realizables esas metodologías se explicarán en los siguientes apartados.

A continuación, se profundizará en cada uno de ellos.

Se considera, para el lector, que es más cómodo agrupar estos análisis por procedimiento, ya que partes de algunos procedimientos son fundamentales para el análisis de otros parámetros

3.1.1 Destilación

La destilación es un procedimiento fundamental para la determinación de varios parámetros, por ello se ha decidido agrupar todos ellos en un apartado para que la realización inicial de la destilación nos sirva para la realización de diferentes análisis y determinación de distintos parámetros.

La destilación es el método aceptado por el BOE para la determinación de los parámetros:

- Grado alcohólico
- Densimetría y masa volumétrica
- Extracto real
- Extracto seco primitivo

La destilación es un método de separación que se basa en la diferencia de temperaturas de ebullición de los componentes que queremos separar, es decir, las distintas temperaturas en las que los componentes pasan de encontrarse en estado líquido a gas.

Una destilación consiste en calentar una mezcla de componentes que tengan distintas temperaturas de ebullición, hasta que el componente más volátil se convierta en gas y pasen a la parte superior del equipo de destilación, donde se enfriará y pasará por condensación, de nuevo, a estado líquido. Hay que tener en cuenta, que, en la destilación, podemos tener una mezcla, que, a ciertas condiciones de temperatura y presión, sea una mezcla azeotrópica. Una mezcla azeotrópica es una mezcla de dos o más componentes que a ebullición a la misma temperatura como si fueran un solo componente, por lo que tanto en fase líquida como en fase gaseosa se encuentran en la misma composición.

A continuación, se explicará inicialmente cómo realizar la destilación y los materiales necesarios y posteriormente se explicarán los análisis a realizar a partir de la obtención de los productos del destilado.

Se facilita en el Anexo E una hoja de datos para que sea más fácil la anotación de datos durante los análisis.

3.1.1.1 Procedimiento destilación

Inicialmente hay que realizar un acondicionamiento de la muestra. Para ello es necesario eliminar todo el anhídrido carbónico que contenga nuestra muestra y a su vez eliminar la espuma que tenga la cerveza.

Cabe decir que, para la realización de la destilación, se puede disponer de distintas cantidades de muestra a destilar. Según la cantidad de muestra que se tome, se obtendrá mayor o menor cantidad de productos de destilación. En nuestro caso, se explicará para la realización de 100g de muestra, pero se aconseja tomar más cantidad, ya que para el análisis de masa volumétrica es necesario más volumen de destilado que el obtenido para 100g de muestra, el motivo se explicará en el apartado correspondiente.

El laboratorio debe encontrarse a una temperatura de 20°C según legislación. La temperatura en la que se realicen los análisis debe tenerse en cuenta para la realización de cálculos.

i. Acondicionamiento de la muestra.

Para acondicionar la muestra se necesitará los siguientes materiales:

- 2 Erlenmeyer de 500ml
- Imán
- Agitador mecánico⁹
- Embudo
- Papel de filtro seco

La muestra se verterá en el Erlenmeyer y se introducirá el imán. Se dispondrá en el agitador, el cual se irá aumentando su velocidad en rpm hasta que se considere el máximo para que la muestra no sea derramada. Se dejará agitando la muestra alrededor de unos 8 minutos. Se deja a consideración de la persona que realiza el análisis, la valoración de si el tiempo es suficiente para haber eliminado el gas y la espuma de la muestra, de no ser así se continuaría realizando la agitación hasta que se hayan eliminado.

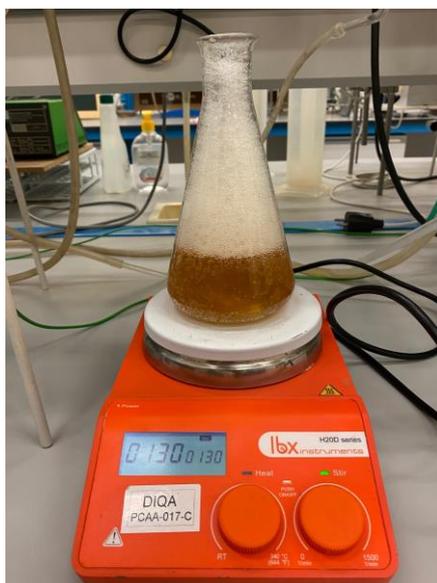


Figura 3-1: Acondicionamiento de la muestra

A continuación, se filtra a través del papel en el embudo recogiendo en el otro Erlenmeyer.

⁹ Sino se dispone de agitador mecánico se puede realizar tapando el Erlenmeyer y agitando manualmente hasta que quede eliminado el CO₂ y la espuma.

ii. Preparación de la muestra

Materiales:

- Balanza analítica
- Matraz de destilado de 500ml

Se deben pesar 100g de muestra. Para ello, inicialmente pesaremos el matraz de destilado vacío, ya que es un dato que necesitaremos más adelante. Seguidamente se pesarán 100g y a continuación le añadimos 50ml de agua destilada.

iii. Montaje del equipo

Los materiales necesarios para la destilación son:

- Matraz de destilación de 500ml (esto dependerá de la cantidad de muestra a destilar)
- Manta calefactora
- Tubo refrigerante Liebig
- Tapón para el matraz de destilación
- Termómetro graduado de 0,1°C
- Matraz aforado de 100 ml



Figura 3-2: Montaje destilación (25)

Una vez pesada la muestra y añadidos los 50ml de agua destilada, se tapa el matraz y se coloca en la manta calefactora. En el tapón del matraz se dispone de un termómetro que debe estar en contacto con el vapor que se produzca durante la destilación. Se conecta en tubo Liebig, teniendo este la inclinación correcta para facilitar la caída de la condensación al Erlenmeyer deseado, y se dispone el agua de refrigeración, que tanto la entrada y la salida deben estar conectadas respectivamente a la fuente y salida correspondientes. Se coloca en la salida del tubo el matraz aforado de 100ml, el cual debe ser pesado en vacío, ya que este dato nos servirá más adelante, con 10 ml de agua destilada añadida previamente.

iv. Procedimiento

Es momento de empezar la destilación, para ello se va aumentando la temperatura de la manta calefactora y se va observando en el termómetro la temperatura de destilación. Cuando se empiece a evaporar parte de la mezcla, se mantendrá el nivel de calefacción de la manta. Debido a la diferencia de temperatura, el alcohol se evaporará, ascendiendo y condensándose en el tubo y pasando al matraz de 100ml. Cuando obtengamos entre 80 o 90 ml de destilado, podremos detener la destilación.

Seguidamente se homogeniza la muestra con agua destilada, enrasando el matraz a 100ml. Este paso se realiza, ya que la mayoría de los análisis que se realizan, los datos que necesitamos son mezclas hidroalcohólicas.

Llegado este punto, ya obtendríamos el destilado. Para los análisis que se van a realizar, se necesita tanto el destilado como el residuo del destilado (lo que tenemos en el matraz de destilado). Por lo que es importante no deshacerse de los distintos productos de esta operación.

v. Valoración de productos

Antes de seguir realizando análisis y cálculos debemos anotar ciertos datos que serán necesarios. Se debe anotar el peso del residuo en el matraz de destilado y el peso del matraz enrasado a 100ml.

A continuación, se hablan de los parámetros que se pueden determinar a partir de este procedimiento.

3.1.1.2 Determinación del Grado Alcohólico

Para la determinación del grado alcohólico tenemos cuatro métodos reconocidos por el BOE, de los cuales sólo uno de ellos podemos realizar en nuestros laboratorios. El método que podemos realizar es destilación y densimetría. La destilación se ha explicado en el punto anterior. Para realizar la densimetría tenemos tres métodos, dos ellos tienen mayor exactitud. Los métodos con más precisión son picnometría y aerometría.

Una vez obtenida la densidad, a partir de unas tablas, en el Anexo B, podremos obtener la graduación alcohólica de nuestra cerveza.

La densidad y la masa volúmica deben determinarse a una temperatura de 20°C según el BOE. Si se obtiene a otras temperaturas se puede realizar la corrección con las tablas del Anexo C.

3.1.1.2.1 Picnometría

La picnometría, también conocida como método del frasco, se basa en la comparación de masas de mismos volúmenes. Es decir, a partir de la masa de un volumen que se toma como referencia, se calcula la densidad de otra masa del mismo volumen, en las mismas condiciones de presión y temperatura. Este método tiene una precisión de 0,0001.



Figura 3-3: Picnómetro (26)

i. Destilación

Inicialmente hay que realizar una destilación como se menciona anteriormente, realizando todos los pasos. Con el producto de la destilación, la mezcla hidroalcohólica, procedemos a la realización de este análisis.

ii. Acondicionamiento de la muestra

Para la realización de este análisis debemos tener tanto el líquido que utilizemos de referencia como nuestra muestra a las mismas condiciones de temperatura y presión.

En nuestro caso, el picnómetro se encuentra en una sala de los laboratorios donde encontramos balanzas y agua destilada, que nunca salen de esa sala, asegurando que se encuentren a la misma temperatura que a la que se va a realizar la experimentación, temperatura que puede saberse gracias al termómetro dispuesto en la misma sala. Para asegurarnos que nuestra mezcla a analizar se encuentre a la misma temperatura, dejamos que el matraz repose en esa sala asegurando que alcance las mismas condiciones que el agua destilada que vamos a

usar como referencia.

iii. Pesajes

Materiales:

- Picnómetro aforado
- Balanza analítica sensible a 0,0001g
- Jeringuilla con aguja

Inicialmente se observa la temperatura a la que se encuentra la sala y se anota. En la sala se dispone de una tabla con datos del agua destilada a distintas condiciones. Localizamos nuestras condiciones en la tabla y anotamos los datos que nos proporciona. Estos datos son fundamentales, ya que gracias a ellos podremos calcular y determinar los datos necesarios.

Pesamos inicialmente el picnómetro vacío, se anota y taramos antes de retirar. Retiramos el picnómetro.

Se llena de agua destilada y enrasamos, nos podemos ayudar de la jeringuilla y/o de papel para enrasar. Hay que tener cuidado y evitar y/o eliminar las burbujas de agua que se encuentren. Volvemos a pesar.

Se vacía el picnómetro y se llena con la muestra que queremos analizar. Volvemos a realizar el pesaje teniendo en cuenta lo comentado anteriormente. Se anota el pesaje.

Este procedimiento, con la muestra a analizar, se puede realizar una vez más para obtener resultados más precisos.

iv. Cálculos

A partir de los datos obtenido anteriormente se procede a los cálculos:

Densidad relativa de la muestra respecto a la del agua, es el cociente entre la densidad de la muestra entre la densidad del agua. Teniendo en cuenta que la densidad de cualquier sustancia es la relación entre su masa y su volumen, podemos simplificar los cálculos

$$\text{Densidad relativa} = \frac{\text{densidad de la muestra}}{\text{densidad del agua}} \quad (3-1)$$

Definiendo:

Densidad relativa: ρ_r

Densidad de la muestra: ρ_m

Densidad del agua: ρ_a

Por otro lado

$$\text{densidad} = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}} \quad (3-2)$$

Dónde:

$$\rho_r = \frac{m_m/V_m}{m_a/V_a} \quad (3-3)$$

Definiendo:

Masa de la muestra: m_m

Volumen de la muestra: V_m

Masa del agua: m_a

Volumen del agua: V_a

Como los volúmenes son iguales, finalmente obtenemos:

$$\rho_r = \frac{m_m}{m_a} \quad (3-4)$$

Sabiendo la densidad el agua y la densidad relativa podemos obtener la densidad de la muestra:

$$\rho_m = \rho_a \cdot \rho_r \quad (3-5)$$

Con el dato de densidad de la muestra y los datos del Anexo B se puede obtener la graduación alcohólica de nuestra cerveza. Estas tablas están tabuladas para 20°C, pero pueden extrapolarse a otras temperaturas, junto con el Anexo C.

A continuación, se muestra un ejemplo, realizado en el laboratorio.

Ejemplo 3-1: Cálculo del grado alcohólico mediante picnometría.

Se calcula el grado alcohólico de una cerveza. En este caso, la cerveza que se va a analizar es BIRRUS #3, cerveza elaborada en el curso de ciencia y tecnología de elaboración de la cerveza realizado en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Sevilla. Hay que tener en cuenta que la cerveza se encuentra pasada de fecha de caducidad.

Datos que disponemos:

Temperatura habitación = 22°C

$$\rho_a = 997,86 \text{ Kg/m}^3$$

Realizando las pesadas:

$$m_{m_1} = 27,1593g$$

$$m_a = 27,3317g$$

Normalmente se suele hacer más de un análisis en el picnómetro para obtener resultados fiables.

Segunda pesada:

$$m_{m_2} = 27,1867g$$

Con la ecuación (3-4) se obtiene la densidad relativa:

$$\rho_{r_1} = 0,993692 \frac{g/ml}{g/ml}$$

$$\rho_{r_2} = 0,994683 \frac{g/ml}{g/ml}$$

A partir de la ecuación (3-5) se obtiene la densidad de la muestra:

$$\rho_{m_1} = 0,991565 \frac{g/ml}{g/ml}$$

$$\rho_{m_2} = 0,992555 \frac{g/ml}{g/ml}$$

Junto con el Anexo B, se obtiene el grado alcohólico para 20°C, pero como la habitación se encuentra a 22°C, se tiene que realizar una corrección con el Anexo C.

Grado alcohólico a 20°C:

$$\rho_{m_1} = 0,991565 \rightarrow 4,79\%$$

$$\rho_{m_2} = 0,992555 \rightarrow 4,18 \%$$

Corrección a 22°C:

Para la primera muestra: $-0,31 \rightarrow 4,48 \%$

y para la segunda muestra: $-0,31 \rightarrow 3,87 \%$

3.1.1.2.2 Aerometría

Este método proporciona la densidad relativa. Se basa en el principio de Arquímedes y es un método fácil de realizar y rápido, ya que existen aerómetros calibrados para distintas mezclas evitando así la realización de cálculos.

Para realizar esta medición hay que tener en cuenta que necesitamos una cantidad de destilado mayor a la que se explica en el apartado de destilación, a continuación, se explica el por qué.

Materiales:

- Aerómetro
- Probeta de radio suficiente para realizar la medición

Es necesario que el recipiente donde se va a realizar la medición, en este caso la probeta, tenga como mínimo 1,5 cm más ancho que el aerómetro que se va a utilizar. Es por ello, que se necesita más volumen de destilado, ya que el aerómetro debe flotar en el destilado.



Figura 3-4: Densímetro para cerveza (27)

El procedimiento es muy simple. Únicamente se ha de verter el destilado obtenido en la probeta e introducir el aerómetro y tomar nota de la medición. El dato que proporciona es la densidad relativa. Realizando los cálculos de la ecuación (3-5) se obtiene la densidad de la muestra. Al igual que en el caso anterior, con ese dato y junto el Anexo B obtenemos el grado alcohólico, y si es necesario se corrige con el Anexo C. Normalmente están graduados a 20°C.

3.1.1.3 Determinación de la densidad y masa volumétrica

Estos dos parámetros son los calculados en el punto anterior mediante las dos técnicas: picnometría y aerometría. Por lo cual para la determinación del grado alcohólico necesitamos el cálculo de estos parámetros. En el *Ejemplo 3-1*, se puede ver un ejemplo del cálculo.

3.1.1.4 Determinación del extracto real

El extracto real es la fracción de sustancias disueltas en la cerveza, pero sin considerar el alcohol en la mezcla. Las unidades en las que se mide son °P (grados plato)

i. Acondicionamiento de la muestra

Materiales necesarios:

- Matraz del destilado anterior/recipiente nuevo (según opción a elegir)
- Balanza
- Agua destilada

En este apartado nuestra muestra será el residuo que permanece en el matraz de destilación. Este residuo debe encontrarse a 20°C. A continuación, debe llevarse la muestra hasta los 100g añadiendo agua destilada. Para ello, se debe llevar el matraz a la balanza, se puede usar el mismo para no perder parte de la muestra o utilizar un matraz nuevo:

- Si se usa el utilizado en la destilación: antes de comenzar la destilación se pesó el matraz de destilación. Teniendo en cuenta ese dato, llevamos nuestro matraz con el residuo a la balanza y haciendo el cálculo correspondiente (restando el peso del matraz utilizado para la destilación), sabremos el peso de nuestra muestra y debemos añadir agua destilada hasta que la suma de la muestra y el agua sea de 100g.
- Si se usa un nuevo matraz/recipiente: se deberá siempre pesar nuestros instrumentos en vacío antes de incorporarles cualquier mezcla, ya que nunca se sabe si nos será de utilidad en cálculos de más adelante. Se lleva el matraz/recipiente a la balanza, se anota la pesada y se tara. Seguidamente añadimos a nuestro matraz/recipiente la muestra de nuestra destilación (residuo), y pesamos y anotamos. Y finalmente añadimos agua hasta alcanzar los 100g.

Para este procedimiento necesitamos el residuo de la destilación realizada anteriormente.

ii. Determinar densidad de la muestra

Para ello, utilizaremos el método del apartado 3.1.1.2.1 Picnometría, para el cálculo de la densidad de la muestra, en el cual se procederá exactamente igual, pero con nuestra muestra preparada en el apartado 1 de esta sección y sin llegar a utilizar el anexo mencionado para la graduación alcohólica. Simplemente nos quedaremos con el dato de la densidad de la muestra, el cual será utilizado junto con el Anexo D, donde podremos obtener los °P.

Cabe decir, que hay otra unidad en la que se suelen medir los extractos, ella es los grados Baumé (°B), cuya relación es:

$$^{\circ}B = \frac{\rho_m \cdot ^{\circ}P}{1000} \quad (3-6)$$

Los grados platos también pueden ser calculados por una fórmula que relaciona la densidad de la muestra:

$$^{\circ}P = \frac{\rho_m - 1000}{4} \quad (3-7)$$

Ejemplo 3-2: Determinación del extracto real de una cerveza.

Para ello, se procede con el método del picnómetro, el cálculo de la densidad de la muestra. En este caso, la muestra será el residuo de la destilación.

Datos que disponemos:

Temperatura habitación = 22°C

$$\rho_a = 997,86 \text{ Kg/m}^3 = 0,99786 \text{ g/ml}$$

Realizando las pesadas:

$$m_{m_1} = 28,0590g$$

$$m_a = 27,3317g$$

Normalmente se suele hacer más de un análisis en el picnómetro para obtener resultados fiables.

Segunda pesada:

$$m_{m_2} = 28,0596g$$

Con la ecuación (3-4) se obtiene la densidad relativa:

$$\rho_{r_1} = 1,02661 \frac{g/ml}{g/ml}$$

$$\rho_{r_2} = 1,02663 \frac{g/ml}{g/ml}$$

A partir de la ecuación (3-5) se obtiene la densidad de la muestra:

$$\rho_{m_1} = 1,02441 \frac{g/ml}{g/ml}$$

$$\rho_{m_2} = 1,02446 \frac{g/ml}{g/ml}$$

Junto con el dato de densidad de la muestra, utilizando el Anexo D: Extracto en % según densidad, obtenemos el extracto real para cada muestra:

$$\text{Para la muestra 1: } 6,18 \text{ \% de ext. } g/100ml = 6,18 \text{ } ^\circ P$$

$$\text{Para la muestra 2: } 6,19 \text{ \% de ext. } g/100ml = 6,19 \text{ } ^\circ P$$

Por otro lado, también se puede calcular a partir de los datos de densidad de la muestra y la ecuación (3-7).

El extracto real también se puede expresar mediante grados Baumé, a partir de los grados Plato y la ecuación (3-6), se obtiene:

$$\text{Para la primera muestra: } ^\circ B = 6,33$$

$$\text{Para la segunda muestra: } ^\circ B = 6,34$$

3.1.1.5 Determinación extracto seco primitivo (ESP)

El extracto seco primitivo es el conjunto de compuestos orgánicos que componen el mosto antes de la fermentación a excepción del agua. Se expresa en porcentaje, normalmente gramos de ESP por cada 100g de mosto. Es una forma de expresar la densidad inicial u original de la cerveza. Expresa la cantidad de azúcares que tiene el mosto de la cerveza antes de fermentar.

Este parámetro hay que determinarlo obligatoriamente, ya que a partir de él se clasifican las cervezas en España en diferentes tipos:

ESP	CLASIFICACIÓN CERVEZA
2 < ESP < 4	Cerveza Sin Alcohol
11 < ESP < 13	Cervezas Tradicionales
13 < ESP < 15	Cervezas Especiales
> 15	Cervezas Especiales Extras

Tabla 3-2: Clasificación cerveza según ESP (28)

El ESP debe determinarse según el BOE por cálculos mediante la fórmula de Balling. Se mide, al igual que el extracto real, en °P. La fórmula de Balling es la siguiente:

$$ESP = \frac{(Ar \cdot 2,0665 + Er)}{100 + (Ar \cdot 1,0665)} \cdot 100 \quad (3-8)$$

Dónde:

ESP: Extracto seco primitivo (g de extracto/100g mosto final), lo que es lo mismo que °P.

Ar: Contenido de alcohol en la cerveza (g alcohol/100g cerveza)

Er: Extracto real (g extracto/100g cerveza), lo que es lo mismo que °P.

i. Obtención de datos

Como se puede observar en la fórmula de Balling, se necesitan el cálculo o determinación de dos datos, estos son, el contenido en alcohol y el extracto real de la cerveza a analizar. Para ello se debe realizar la determinación de estos parámetros a partir de lo explicado en los apartados anteriores, 3.1.1.2 y 3.1.1.4, donde se explica el procedimiento.

ii. Cálculos

A partir de la obtención de esos dos datos, simplemente se tendría que introducir en la fórmula (3-8) para obtener el extracto seco primitivo.

Ejemplo 3-3: Determinación del extracto seco primitivo de una cerveza.

Para ello, se procede con los datos obtenidos en los Ejemplo 3-1 y Ejemplo 3-2 y utilizando la ecuación (3-8).

Los datos de los que se dispone son:

$$Ar_1 = 4,79$$

$$Er_1 = 6$$

$$Ar_1 = 4,18$$

$$Er_1 = 6,19$$

Con la ecuación (3-8):

$$ESP_1 = 15,1258$$

$$ESP_2 = 14,1952$$

3.1.2 Potenciometría

La potenciometría es un método analítico basado en la diferencia de potencial que se crea entre dos celdas electroquímicas en ausencia de corriente. Tiene como objetivo determinar la concentración de los analitos, que son especies electroactivas de la solución, a partir de la diferencia de potencial o FEM que se crea entre los electrodos. (22)

Con este método se va a determinar el pH de la cerveza.

Para realizar este análisis se va a utilizar el pH metro, que es el instrumento con el que se mide los iones H^+ . El valor de pH que mide está relacionado con los iones H^+ de la siguiente forma:

$$pH = -\log [H^+] \quad (3-9)$$



Figura 3-5: pHmetro realizando medición

3.1.2.1 Determinación del pH

i. Acondicionamiento de la muestra

Para ello se debe realizar exactamente el mismo procedimiento que en el punto i del apartado 3.1.1.1 Procedimiento destilación, donde se elimina el anhídrido carbónico y la espuma de la muestra y se filtra.

ii. Calibración del pHmetro

Para ello se necesita:

- pHmetro
- Solución tampón pH=4,0
- Solución tampón pH=7,0
- Imán
- Agitador mecánico

Se debe calibrar el equipo, normalmente de forma diaria o antes de la utilizar el equipo, antes de realizar una medición para evitar errores. Para realizar esta calibración se usan las soluciones tampón. Normalmente se usan dos soluciones. El equipo que se va a utilizar nos va pidiendo la solución tampón necesaria para realizar la calibración. Tendremos en cuenta que cada solución tampón tiene en su interior un imán, el cual no se debe extraer ni introducir en otras soluciones, ya que así evitamos que las soluciones tampón queden contaminadas. Mientras el equipo realiza la medición de la solución tampón, esta debe estar situada en un agitador mecánico para que la mezcla sea homogénea. Siempre que cambiemos a otra solución se deben limpiar los electrodos para evitar contaminación. Una vez terminado este procedimiento pasaremos al siguiente.

iii. Medición del pH

Materiales necesarios:

- Vaso de precipitado
- pHmetro
- Imán
- Agitador mecánico

A continuación, se vierte, cantidad suficiente para que los electrodos puedan quedar sumergidos, la muestra acondicionada en un vaso de precipitado. En el vaso se introduce un imán y se sitúa en el agitador mecánico. Se realiza la lectura y se anota.

iv. Interpretación de los resultados

Teniendo en cuenta la escala de pH que varía de 0 a 14, siendo pH neutro 7, los pH menores a 7 se consideran ácidos mientras que los mayores básicos, podremos interpretar si nuestra cerveza es ácida o básica. Se suele buscar que una cerveza tenga un pH de entre 4,1 y 4,6. El BOE establece que no debe sobrepasar el valor de pH=5,5.

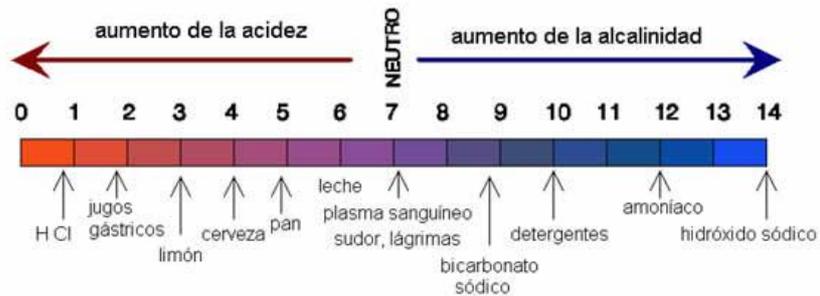


Figura 3-6: pH (29)

Ejemplo 3-4: Determinación del pH de una cerveza.

En este ejemplo se muestra el dato recogido por una medición realizada en el laboratorio, utilizando la misma cerveza que en los ejemplos anteriores.

pH= 3,56 a 22°C



Figura 3-7: Medición pH en laboratorio

3.1.3 Turbidimetría.

Para la realización de este análisis se va a utilizar un turbidímetro. En este procedimiento se va a determinar a turbidez que, normalmente, se mide en NTU o FTU y determina si existen partículas en suspensión y la cantidad. Para determinar la turbidez o limpidez, hay que tener en cuenta tres parámetros:

Turbidez permanente: es la turbidez que presenta la muestra tanto a temperaturas frías como a temperaturas ambientes.

Turbidez fría: es la turbidez que tiene la muestra cuando se encuentra a temperaturas bajas, en torno a 0°C o menor temperatura.

Turbidez total: es la suma de las dos anteriores. Será el valor exigido cuando se requiera la turbidez de una muestra.

El principio de funcionamiento de un turbidímetro se basa en medir la intensidad de la luz que se difunde por las partículas suspendidas en el líquido. La dispersión de esta luz depende del tamaño de las partículas.

Con la medida de la turbidez se realizará un control de calidad ya que no es un parámetro obligatorio según el

BOE.

3.1.3.1 Determinación de la turbidez

A continuación, se procede a la descripción del procedimiento para la realización del análisis con el equipo del que se dispone: turbidímetro portátil Modelo 966, de la marca Orbeco-Hellige.

i. Acondicionamiento de la muestra

En este caso, se debe eliminar el anhídrido carbónico y la espuma. Para ello se procederá como en el punto i del apartado 3.1.1.1, donde se explica cómo acondicionar la muestra.

ii. Calibración del turbidímetro

Antes de realizar cualquier medición es necesario calibrar nuestro equipo. Para ello, en este caso, el turbidímetro del que disponemos tiene una pre-calibración realizada, por lo que simplemente hay que realizar una calibración de confirmación la cual es fácil y rápida. Para ello necesitamos los siguientes materiales:

- Turbidímetro
- Estándar primario Cero de calibración
- Estándar primario 40.0 NTU de calibración
- Cubierta de tubo para mediciones
- Mopa/toallita

Los estándares de calibración están suministrados por el equipo, es decir, vienen ya preparados para realizar la calibración. En el caso que estos estándares se perdieran o contaminaran se podrían hacer, para ello, seguiremos las instrucciones que trae el equipo.

Hay que tener en cuenta que cada vez que se manipule el recipiente donde están contenido tanto los estándares como la muestra, deben sujetarse por la parte superior donde se encuentra el tapón, para evitar que los recipientes queden impregnados de grasa corporal o de manchas, por lo que antes de introducir los recipientes en el orificio para realizar la medición, es necesario que éstos se limpien con un papel absorbente, toallita o mopa para eliminar las huellas o suciedad.



Figura 3-8: Equipo Turbidímetro

Inicialmente introduciremos, previamente limpiado y sujetándolo por el tapón, el recipiente que contiene el estándar primario Cero en el hueco de medición TUBE y se cubre con la cubierta para mediciones y se presiona el botón TEST y se espera a que se estabilice la medida. Si no muestra 00.0, se debe ajustar utilizando el control de calibración ZERO. Este control consta de dos partes, una anilla de bloqueo y una perilla central. Para poder rotar la perilla se debe bajar la anilla de bloqueo. Se irá girando y posteriormente

presionando el botón TEST hasta que se muestre el valor 00.0. Una vez realizado esta calibración, se debe proceder de la misma forma, pero con el estándar primario 40.0 de calibración y con el control de calibración CAL., hasta alcanzar una lectura de 40.0. Una vez realizado este procedimiento ya se tiene el equipo calibrado y se puede proceder al análisis de nuestra muestra.

iii. Análisis de la muestra

Los materiales necesarios son:

- Recipiente para muestra
- Muestra
- Turbidímetro
- Cubierta de tubo para mediciones
- Recipiente
- Hielo
- Termómetro

Para la determinación de la turbidez total se necesita determinar la turbidez permanente y la turbidez fría.

Turbidez permanente: tomamos un recipiente que incorpora el equipo y lo llenamos de la muestra a analizar. Tapamos y agitamos. A continuación, introducimos el recipiente en el hueco TUBE, siempre limpiando el recipiente para eliminar huellas y suciedad, y tapamos con la cubierta para mediciones. Presionamos el botón TEST y anotamos. Este dato, obtenido en NTU, es la turbidez permanente.

Turbidez fría: en un recipiente introduciremos hielo, realizando un baño e incorporaremos el recipiente con la muestra utilizado para la turbidez permanente. Esperaremos el tiempo suficiente para que alcance al menos los -5°C. Una vez alcanzada la temperatura deseada, se sacará del baño y se agitará. Y se procederá al igual que para la turbidez permanente, teniendo en cuenta que hay que secar y limpiar previamente el recipiente. Así se obtendrá la turbidez fría.

iv. Interpretación de los resultados

Una vez se obtengan ambos datos podemos calcular la turbidez total:

$$turbidez\ total = turbidez\ permanente + turbidez\ fría \quad (3-10)$$

Nuestro equipo muestra las mediciones en NTU, pero también puede medirse en unidades EBC o ASBC. En la Tabla 3-3 se muestra la relación.

UNIDAD	1 EBC	1 NTU/FNU	1 ASBC
EBC	1	0,25	0,014
NTU/FNU	4	1	0,057
ASBC	70	17,5	1

Tabla 3-3: Relación unidades turbidez (1)

Según el tipo de cerveza se tiene una turbidez aproximada. En la Tabla 3-4 se muestra la turbidez para distintos tipos de cerveza.

Muestra de cerveza	Turbidez total (NTU)	Turbidez permanente (NTU)	Turbidez fría (NTU)
Pilsner	13,5	5,48	8,02
Amber Ale	59,3	2,55	56,8
Porter	84,1	8,04	76,1
Stout	31,9	14,1	17,8

Tabla 3-4: Turbidez según tipo de cerveza (30)

Ejemplo 3–5: Determinación de la turbidez en una cerveza.

Se realiza el cálculo de la turbidez de la cerveza utilizada en los ejemplos anteriores.

Para ello debemos obtener primero la turbidez permanente y la turbidez fría. Realizando los pasos pertinentes se obtiene:

Turbidez permanente= 9,2 NTU

Turbidez fría= 7,8 NTU

Como la turbidez total de la muestra es la suma de las dos anteriores, utilizando la ecuación (3-10) se obtiene:

Turbidez total= 17 NTU

3.1.4 Determinación Contenido en Metales

Para la determinación de contenido en metales, según el BOE, el método analítico aceptado es la espectrofotometría de absorción atómica. En el laboratorio, de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería, del departamento de Ingeniería Química y Ambiental, el equipo de espectrofotometría de absorción atómica (EAA) está muy anticuado, se puede utilizar, pero se dispone de un equipo mucho más moderno y preciso que el equipo de absorción atómica. El equipo mencionado es ICP óptico.

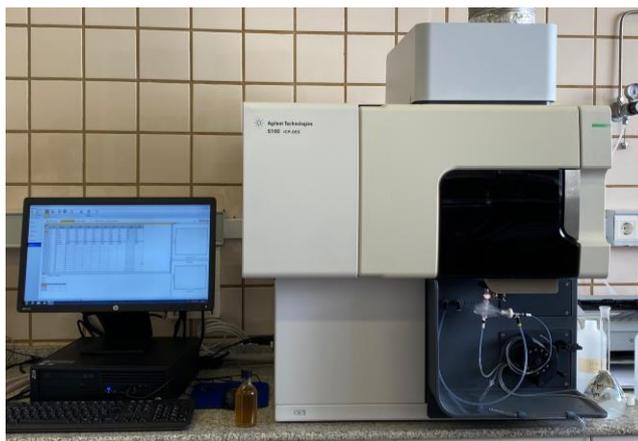


Figura 3-9: ICP-OES

El plasma de acoplamiento inductivo (ICP) es una fuente de ionización que junto a un espectrofotómetro óptico (OES) constituye el equipo de ICP-OES. En esta técnica, la introducción continua de la muestra líquida y un sistema de nebulización forma un aerosol que es transportado por el argón a la antorcha del plasma, acoplado inductivamente por radio frecuencia. En el plasma, debido a las altas temperaturas generadas, los analitos son atomizados e ionizados generándose los espectros de emisión atómicos de líneas características. Los espectros son dispersados por la red de difracción y el detector sensible a la luz se encarga de medir las intensidades de las líneas. La información es procesada por el sistema informático. (23)

En nuestro laboratorio, este equipo se está utilizando actualmente para la medición de elementos en agua. Por lo que si se realiza este análisis se debe realizar una puesta a punto del equipo generando una matriz para la cerveza, añadiendo patrones para ver repetición, ya que la cerveza contiene elementos orgánicos que pueden dar errores en la medición de entorno a un 20 o 30%. El objetivo es que los patrones que use el equipo tengan una matriz lo más parecida a la muestra. Por otro lado, el arsénico puede dar problemas porque normalmente se encuentra en bajas concentraciones en la cerveza, por lo que si es necesario el análisis de este elemento en absorción atómica con generación de hidruro.

Ejemplo 3–6: Determinación de contenido en metales de una cerveza.

En este caso, se va a realizar una medición en el equipo ICP-OES del que se dispone. En este caso no se pudo realizar la matriz de la muestra debido a que el equipo se está actualmente utilizando para realizar análisis específicos. Hay que tener en cuenta que al no hacer la matriz los datos que se van a obtener serán datos con un error de entorno al 20-30% y que el dato de arsénico, al encontrarse en concentraciones muy bajas no será válido. Aunque no se puedan dar por válidos estos datos, se muestran como ejemplo, para que se pueda crear una idea del tipo de medición que puede realizar el equipo. Los datos obtenidos son:

676,79 ppb de Ar

4,79 ppb de Cd

7,99 ppb de Cr

42,14 ppb de Cu

21,93 ppb de Ni

111,48 ppb de Pb

0,36 ppb de Ti

1831,33 ppb de Zn

1,29 ppb de Y

El Itrio es el elemento que nos indica el grado de error que se está cometiendo en la medida. Si el valor supera el valor de 1, significa que estaremos cometiendo error. En este caso un error del 29%. Esto se debe a que la cerveza contiene más elementos orgánicos que para los que está puesto a punto el equipo, en este caso para aguas. Por lo que no podemos dar por válidos estos datos.

Para medir el arsénico se debe utilizar la técnica de absorción atómica con generación de hidruros. El principio de esta técnica se basa en que el ácido arsenioso, en el estado de oxidación As (III), se convierte instantáneamente en su hidruro volátil con el reactivo borohidruro de sodio en solución ácida.



Figura 3-10: Equipo EAA

Los hidruros se purgan continuamente con argón en un atomizador del espectrómetro y se convierten en los átomos de la fase gaseosa. El reductor borohidruro de sodio, por una rápida generación de los hidruros de los

elementos en una célula de reacción apropiada, hace que sea mínima la dilución de los hidruros por el gas portador y proporciona una determinación rápida y sensible del arsénico. Para la determinación del arsénico total en la muestra, requiere que todos los compuestos del arsénico inorgánicos estén en el estado As (III). Para ello se reduce el As (V) a As (III) con yoduro de sodio o potasio antes de la reducción con borohidruro de sodio (31).



Figura 3-11: Generador de hidruros

La muestra es absorbida junto con el borohidruro de sodio y argón, que llegan al atomizador. Seguidamente, el equipo realiza una medición del arsénico. Hay que tener en cuenta que inicialmente hay que calibrar el equipo con los patrones pertinentes.



Figura 3-12: Atomizador del EAA

3.1.5 Espectrofotometría a 430nm

La espectrofotometría a 430 nm se utiliza para medir el color de la cerveza. El fundamento es el mismo que para las otras espectrofotometrías explicadas en el apartado 3.3.1.



Figura 3-13: Espectrofotómetro UV-VIS

En esta técnica, el equipo emite una radiación UV-VIS a 430nm, y se mide la radiación y la luz absorbida. Junto con la ley de Lambert Beer, se determina el valor de la radiación absorbida por la muestra, es decir la absorbancia.

3.1.5.1 Determinación del color

Este parámetro es una característica fundamental de la cerveza, ya que, gracias a él, podemos adelantar algunas características, como, por ejemplo, al ver un color marrón dorado podemos adelantar que es una cerveza tostada. Pero este parámetro se determina de una forma más rigurosa y exacta. Para ello, la medida utilizada EBC o SRM, como se ha explicado en el apartado 2.1.6.

A continuación, se procede a la explicación del proceso de determinación del color.

i. Acondicionamiento de la muestra

Se debe preparar la muestra previamente a la realización del análisis, para ello procederemos de la misma forma que en el punto i del apartado 3.1.1.1, donde se explica cómo acondicionar la muestra.

ii. Preparación del equipo y muestras

Materiales necesarios:

- Espectrofotómetro UV-VIS de doble haz
- Cubetas para espectrofotómetro de 1 cm
- Pipetas

Se prepara el equipo seleccionando la longitud de onda a la que se va a realizar el análisis, en este caso 430nm.

Se procede a llenar una cubeta con la muestra a analizar. Se necesita disponer de un blanco, para ello utilizaremos agua, por lo que la otra cubeta la llenaremos con agua.

iii. Análisis de la muestra

Se introducen ambas cubetas en el equipo y se toma nota de la absorbancia que nos indique el equipo. Cada muestra debe ser analizada tres veces, ya que es el procedimiento que indica MEBACK.

iv. Cálculos

El equipo nos proporciona el valor de la absorbancia, pero el color, como se ha comentado anteriormente, se mide en unidades EBC o SRM. Para ello, utilizamos, a partir del valor de la absorbancia, la siguiente ecuación, que define la unidad de EBC como 25 veces la absorbancia:

$$EBC = 25 \cdot x \cdot A430 \quad (3-11)$$

Donde:

A430: absorbancia a 430nm que proporciona el equipo.

x: factor de dilución (si no está diluida la muestra $x=1$, si es dilución 1:1 $x=2$)

Si se quiere obtener el valor del color en unidades SRM, se utiliza la siguiente ecuación:

$$SRM = 12,7 \cdot x \cdot A430 \quad (3-12)$$

La relación entre ambas unidades sería:

$$EBC = SRM \cdot 1,92 \quad (3-13)$$

Nota: para la realización de este análisis, es importante la turbidez, ya que, si es muy turbia, se debe filtrar. Se considera que tiene un alto valor de turbidez cuando se obtenga una absorbancia de 1/25. Para cervezas oscuras, la muestra debe diluirse, esa dilución se aplicará en el factor x.

Seguidamente se muestra una tabla como guía de estilos según su color.

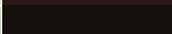
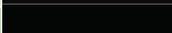
EBC	EJEMPLO ESTILO	COLOR
4	Pale Lager, Pilsener	
6	Blonde Ale	
8	Weibbier	
12	American Pale Ale, IPA	
16	Saison	
20	Extra Special Bitter	
26	Double IPA	
33	Amber Ale	
39	Brown Ale	
47	Porter	
57	Stout	
69	Foreign Stout	
79	Imperial Stout	

Tabla 3-5: Guía estilo cerveza según color (42)

Ejemplo 3-7: Determinación del color de una cerveza.

Se realiza la determinación del color de una cerveza.

Para ello se procede como se ha descrito anteriormente, realizando tres medidas y se obtienen las absorbancias:

$$A430_1 = 0,15$$

$$A430_2 = 0,17$$

$$A430_3 = 0,15$$

A partir de la ecuación (3-13), obtenemos las tres medidas:

$$EBC_1 = 3,75$$

$$EBC_2 = 4,25$$

$$EBC_3 = 3,75$$

Si se realiza el valor medio de los resultados obtenidos: $EBC = 3,91$

Si comparamos con la tabla de colores, se puede observar que tenemos una cerveza estilo Pilsener, Pale Lager.

A continuación, se muestra otro ejemplo con otro tipo de cerveza.

Ejemplo 3-8: Determinación del color de una cerveza.

Se realiza la determinación del color de una cerveza.

En este caso se va a realizar únicamente una medición. Se procede al igual que en el ejemplo anterior y se obtiene:

$$A_{430}=0,847$$

A partir de la ecuación (3-13) y la ecuación (3-12), obtenemos la medida en ambas unidades:

$$EBC= 21,175$$

$$SRM= 10,757$$



Figura 3-14: Medida de Absorbancia a 430nm

3.2 Análisis no realizables

A pesar de disponer de gran cantidad de materiales y equipos, hay análisis que no se pueden realizar debido a diversos motivos. En este apartado se hablará de los análisis que no se pueden realizar y sus motivos, y de qué parámetros quedan excluidos de la posibilidad de obtención.

Los procedimientos para la realización de los siguientes análisis se pueden consultar en el Trabajo Fin de Grado Análisis fisicoquímicos para el control de calidad en la producción de cerveza (1), nombrado en la bibliografía.

3.2.1 Amargor

Como se menciona anteriormente en el apartado 2.1.7, el amargor se mide en IBUs. En la Tabla 2-2: Guía básica IBUs/Amargor, se muestra una orientación sobre la unidad IBU. Hay que tener en cuenta que esta unidad sólo mide el amargor que aporta el lúpulo, por lo que no se puede tomar como una medida real sensitiva. Para la determinación del amargor, el BOE aprueba dos técnicas: espectrofotometría a 275nm y HPLC. En los apartados 3.3.1.1 y 3.3.3 se explicarán cada una de ellas respectivamente.

3.2.2 Anhídrido carbónico

Este parámetro no podemos determinarlo en los laboratorios. Aunque no es un parámetro obligatorio, se considera un parámetro fundamental para la calidad de la cerveza. En el apartado 2.2.1, se explica la importancia de este y se comenta que la técnica utilizada es volumetría y cálculos, la cual será explicada más adelante, en el apartado 3.3.4.

3.2.3 Anhídrido sulfuroso

La técnica utilizada para determinar el contenido de anhídrido sulfuroso es la destilación junto con una espectrofotometría a 415nm, como se comenta en el apartado 2.2.2. Esta técnica se explicará en el apartado 3.3.1.2.

3.3 Técnicas no realizables

Hay que tener en cuenta que, de los parámetros de calidad expuestos en el BOE, sólo no se pueden analizar dos parámetros, el amargor y el color.

No obstante, aunque sean pocos los parámetros que no se pueden analizar, hay más de tres técnicas que no se pueden realizar, ya que algunos de los parámetros pueden ser analizados por distintas técnicas.

Si es de interés, el procedimiento de realización de estas técnicas explicadas a continuación, se pueden consultar en el Trabajo Fin de Grado Análisis fisicoquímicos para el control de calidad en la producción de cerveza (1).

3.3.1 Espectrofotometría

La espectrofotometría es una técnica que se utiliza para la determinación de varios parámetros de calidad en la cerveza.

Para cada parámetro a analizar, necesita realizar un acondicionamiento de la muestra y seleccionar en el equipo una longitud de onda diferente, según que se quiera determinar.

A continuación, se diferencia cada análisis según la longitud de onda elegida.

3.3.1.1 Espectrofotometría a 275nm

Esta técnica es una de las aceptadas por el BOE para medir el amargor de la cerveza, el cual se mide en IBUs.

La espectrofotometría permite determinar la concentración de un compuesto en solución en una muestra. Su fundamento se basa en la capacidad que tienen las moléculas de absorber distintas radiaciones. La longitud de onda y la eficiencia con que se absorbe depende de la estructura de las moléculas y las condiciones. (24) Para la realización de este análisis se necesita un espectrofotómetro UV-VIS de doble haz. El espectrofotómetro, normalmente, puede trabajar, según lo que se quiera a analizar, a distintas longitudes de ondas. Las distintas longitudes de ondas se presentan en la siguiente figura:

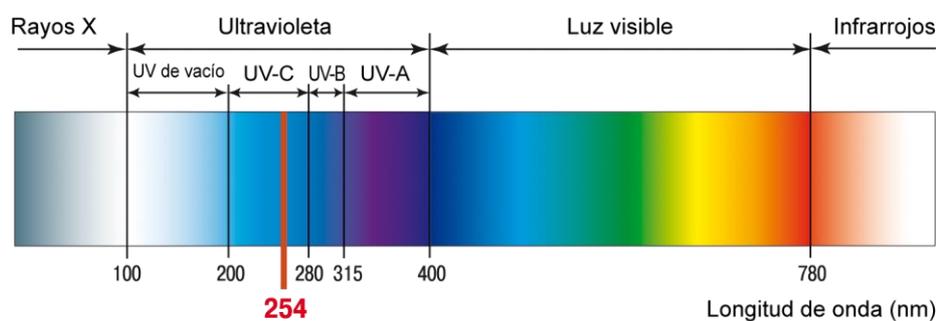


Figura 3-15: Longitud de onda UV-VIS (32)

Para determinar el amargor, la longitud de onda utilizada en el espectrofotómetro es 275nm. El amargor lo determina la presencia de iso- α -ácidos.

Se dispone del equipo, pero la lámpara necesaria para esta longitud de onda está fundida, por lo que no se puede realizar esta medición.

3.3.1.2 Espectrofotometría a 415nm

Inicialmente, la espectrofotometría a 415nm, requiere un espectrofotómetro UV-VIS, del cual se dispone, como se ha comentado en el apartado anterior. En este caso el espectrofotómetro requeriremos que trabaje a una longitud de onda de 415nm, longitud de onda que se encuentra en el espectro visible. Como se comenta en el apartado 3.3.1.1, se dispone del equipo, pero la lámpara para la longitud de onda UV está fundida, pero como se necesita para el espectro visible, no tendríamos problemas de operar con el equipo.

Esta técnica junto con una destilación con corriente de nitrógeno, explicada en el apartado 3.3.5, se utiliza para la determinación del anhídrido sulfuroso.

3.3.1.3 Espectrofotometría de infrarrojo cercano (NIR)

Este análisis está aceptado por el BOE para la determinación del grado alcohólico. Este método se basa en la radiación infrarroja sobre una muestra, la cual, según su composición, absorberá una cantidad u otra de energía. La espectrofotometría de infrarrojo cercano (NIR¹⁰) utiliza el rango espectral de 12500 a 4000 cm^{-1} (800-2500 nm). Para el etanol se necesita el rango de longitud de 1670-1740 nm.

El equipo del que se dispone es un espectrofotómetro que sólo dispone de un rango de longitud de onda para grasas y aceites (850-1050 nm), por lo que no nos sirve. Por otro lado, el equipo está en desuso y no funciona.



Figura 3-16: Espectrofotómetro para grasas y aceites

3.3.2 Cromatografía de gases

La cromatografía de gases es un método analítico aceptado por el BOE para cervezas de bajo contenido en alcohol.

Se utiliza en cervezas de bajo contenido en alcohol o sin alcohol, ya que es un método muy preciso, ya que se utiliza para la separación, identificación y cuantificación de sustancias volátiles. Es decir, se utiliza para analizar la pureza de una determinada sustancia o para separar componentes de una mezcla. Utiliza una fase móvil y otra estacionaria.

Los componentes pasan por una columna, donde se separan, al aumentar su temperatura, según sus puntos de ebullición. Los compuestos se separan según la afinidad en la columna, los que tengan menor afinidad pasarán más rápido y los que tengan más afinidad pasarán más lentos. Esto son los tiempos de retención. A partir de cromatograma se puede determinar de forma cuantitativa y cualitativa los componentes de la mezcla. No suele usarse esta técnica para cervezas con alcohol, ya que es una técnica cara.

Se dispone del equipo, pero este está en desuso. Para su puesta en marcha inicialmente es necesario la visita del servicio técnico, el cual el precio es desorbitado, y, en segundo lugar, la puesta en marcha es muy cara. Por lo que no se puede utilizar para análisis aislados, como sería en este caso.

¹⁰ Near Infrared Spectroscopy



Figura 3-17: Cromatógrafo en desuso

3.3.3 HPLC

Para la determinación del amargor, como se ha mencionado en el apartado 2.1.7, se determina la presencia de iso- α -ácidos. Este parámetro se puede analizar por el método HPLC, el cual es otro método aprobado por el BOE.

En fundamento teórico de este análisis es muy similar al de la cromatografía de gases, ya que, en este caso, se trataría de una cromatografía, pero líquida, en el que las dos fases que se utilizan son estacionarias. Al igual que el cromatógrafo de gases, el HPLC trabaja con una columna y tiempos de retención, aunque estas columnas difieren una de otras. Dependiendo de lo que se quiera analizar se necesitará un tipo de columna.

En el laboratorio se dispone de este equipo, pero lleva en desuso más de 10 años. Este equipo se utilizaba para medir unas resinas específicas de aviones, para la calidad de aviones. Pertenecía a un proyecto que en su momento se analizaban muchas muestras. A diferencia de los HPLC actuales, el equipo del que disponemos sólo trabaja a una longitud de onda determinada, lo que lo hace un equipo aún más obsoleto. Por lo que no podemos realizar el análisis.



Figura 3-18: HPLC obsoleto

3.3.4 Volumetría y cálculos

La volumetría es el método utilizado para determinación del anhídrido carbónico. Para realizar esta volumetría se necesita, además de varios materiales y soluciones, un equipo de perforación. Al utilizarse específicamente para este tipo de análisis, no es común encontrarlo en un laboratorio, a no ser que se dedique a la realización de estos tipos de análisis, los cuales sólo se pueden realizar en botellas o latas.

El equipo de perforación consiste en un equipo, que permite realizar una perforación al tapón de la botella o lata sin fugas de gases, que junto con un manómetro mide la presión en el interior del recipiente. Al obtener la medida de presión del recipiente, junto con los datos de volumen y presión, se puede calcular el contenido de dióxido de carbono.

Dado que no se dispone del equipo de perforación, no se puede realizar este análisis en los laboratorios.

Sin embargo, se da la posibilidad de medir este parámetro de otro modo, pero solamente será posible utilizar el siguiente sistema si la cerveza es elaborada por nosotros mismos.

El sistema que se va a presentar es un sistema diseñado por los maestros de laboratorios de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería.

3.3.4.1 Medida de presión en botella

Este sistema se diseñó para la elaboración de un trabajo fin de carrera que no se ha llegado a finalizar en la actualidad. En este trabajo se medía la importancia de la carbonatación en las propiedades organolépticas de la cerveza. Para ello se elaboraba cerveza y se carbonataba de distintas formas. Para evaluar si esa carbonatación seguía la evolución correcta y/o esperada, se elaboró un sistema de medición de presión en la cerveza, durante su maduración.

Para evaluar la evolución de la carbonatación, se tomaba dos botellas de cada tipo de carbonatación, y como referencia dos botellas con agua.

Este sistema consta fundamentalmente de un manómetro, dos espárragos metálicos, sus respectivas arandelas y tuercas, un listón de madera, tapón de silicona para evitar fugas, y unas piezas metálicas, diseñadas específicamente para este dispositivo. El dispositivo permitía observar la evolución de la carbonatación en las botellas. Este dispositivo se muestra a continuación:



Figura 3-19: Dispositivo para control de carbonatación

A partir de los datos de volumen, presión y temperatura se podría determinar la cantidad de anhídrido

carbónico en la botella.

Este método nos sirve de forma orientativa para elaboraciones caseras y/o artesanales, no es un método aceptado por ninguna asociación.

3.3.5 Destilación con corriente de nitrógeno

Este análisis, junto con la espectrofotometría a 415nm, es el aceptado para la determinación del anhídrido carbónico.

La destilación debe realizarse previa a la espectrofotometría. Esta destilación difiere del apartado 3.1.1, ya que es más compleja.

En la destilación que se debe realizar para la preparación de la muestra, se debe disponer de un matraz de destilado con tres bocas, donde en una de ellas se introducirá una corriente de nitrógeno. No se dispone de esta corriente de nitrógeno. El montaje de la destilación es muy laborioso y complejo, pero se dispone de todos los materiales. Además de lo comentado, es necesario para la destilación, disponer de dos soluciones: solución tampón de fosfato pH=8,0 y solución DTNB.

- Solución tampón de fosfato: se obtiene a partir de disodio hidrógeno fosfato anhidro y de potasio dihidrógeno fosfato. No se dispone de ninguno de los dos compuestos.
- Solución DTNB: se obtiene a partir de una mezcla de ácido nitro benzoico y solución tampón y etanol. No se posee actualmente de ácido nitro benzoico.

Como no se posee de las distintas soluciones, no se puede proceder a la realización de la destilación y posterior espectrometría.

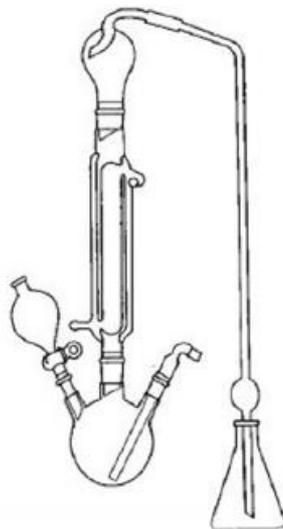


Figura 3-20: Destilación anhídrido sulfuroso (33)

3.4 Cálculo económico

A continuación, se procede a realizar un resumen del cálculo económico que supondría la adquisición de equipos necesarios, la puesta en marcha de equipos obsoletos o reparación de alguno de ellos.

Para ello se ha consultado con diferentes fuentes y se ha realizado una evaluación de los costes.

Hay que tener en cuenta que, al margen de conocer el problema principal del funcionamiento del equipo, se debe contactar previamente con el equipo de mantenimiento, siendo este, constituido por personal cualificado que domina los equipos y siempre realizará un diagnóstico preciso.

La siguiente tabla recoge un resumen de la evaluación de los equipos:

ANÁLISIS	EQUIPO con CONFLICTO	DISPONIBILIDAD del EQUIPO	POSIBILIDAD de REPARACIÓN	ADQUISICIÓN EQUIPO NUEVO
Grado alcohólico	Cromatógrafo de gases	SI	NO	SI
Grado alcohólico	Espectrofotómetro NIR	SI	NO	SI
Amargor	HPLC	SI	NO	SI
Amargor	Espectrofotómetro UV-VIS	SI	SI	NO
Anhídrido carbónico	Equipo de perforación	NO	NO	SI
Anhídrido sulfuroso	Destilación	NO	NO	SI

Tabla 3-6: Resumen evaluación equipos

Seguidamente se evalúa cada equipo y se ofrece una solución:

- Espectrofotómetro: Este equipo es utilizado para la realización de varios análisis. Como se ha visto anteriormente sólo existiría impedimento para la realización de dos de ellos: espectrofotometría a 275nm y espectrofotometría NIR.

La espectrofotometría a 275nm, no se puede realizar debido a que la longitud de onda 275nm utiliza la lámpara ultravioleta, lámpara que se encuentra fundida. Los espectrofotómetros constan normalmente como fuente de energía radiante una lámpara de deuterio y lámpara de tungsteno. Las lámparas de tungsteno se utilizan normalmente para longitudes de onda del espectro visible y ultravioleta próximo (360-950 nm). Por otro lado, la lámpara de deuterio genera un espectro continuo en la región ultravioleta (220-360nm) (34). En este caso, la lámpara que necesita reponerse es la lámpara de deuterio. Esta lámpara debe ser instalada y calibrada por el servicio técnico.

Respecto a la espectrofotometría de infrarrojo cercana (NIR), sería necesario la adquisición de un equipo nuevo, ya que además de no funcionar, tiene un rango de longitud muy pequeño y que no es de utilidad para nuestro análisis. La espectrofotometría NIR es muy utilizada en los análisis del sector alimentario, por lo que no sólo se utilizaría para este análisis, lo que ayudaría a la rentabilidad de la inversión, como ocurre con otro equipo nombrado posteriormente.

Respecto a la espectrofotometría restante, 415nm, pueden ser realizada sin problema alguno, pero recordando que no se puede realizar la destilación previa necesaria, que se comenta más adelante.

- Cromatógrafo de gases: en este caso, como se ha comentado el equipo está en desuso. Se necesita al personal de mantenimiento para que realice un diagnóstico, además de reparar y adquirir distintos patrones. El precio/hora del personal diagnóstico es muy elevado. Actualmente no compensa la reparación, por lo que se ofrece la adquisición de un equipo nuevo.
- HPLC: este equipo además de estar en desuso y necesitar, al igual que el equipo anterior, una gran inversión sólo en diagnóstico, está obsoleto. Por lo que se valora que la mejor opción sería la adquisición de un equipo nuevo.

- Equipo de perforación: este equipo, a diferencia de los anteriores, no se dispone de él. Por lo que se debe comprar uno. Hay que tener en cuenta que este equipo sólo tendría esta utilidad, medir la carbonatación de la cerveza.
- Por último, para realizar la destilación necesaria para determinación del anhídrido sulfuroso, es necesario, además de una corriente de nitrógeno, de la cual no se dispone, dos soluciones. Como se ha comentado, para realizar estas soluciones se necesitan tres compuestos, los cuales es necesario pedir al proveedor de material de laboratorio con el que se suele trabajar, en este caso, COSELA. Para poder disponer de la corriente de nitrógeno, es necesario adquirir una botella de nitrógeno y un manorreductor, ya que el que hay actualmente está en uso.

En consecuencia, a estos comentarios y/o opciones, se recoge en la siguiente tabla el precio aproximado de los equipos y/o materiales necesarios.

TÉCNICA	ADQUISICIÓN	PRECIO APROXIMADO	PRECIO MEDIO
Espectrofotometría 275nm	Lámpara Deuterio	448€ a 1212€	830,05 €
Espectrofotometría NIR	Espectrofotómetro NIR	5000 € a 9000 €	7.000,00 €
Cromatografía	Cromatógrafo de gases	14000€ a 20000€	17.000,00 €
HPLC	HPLC	14450€ a 17950€	16.200,70 €
Perforación	Equipo de perforación	846 €	846,65 €
Destilación	Botella de nitrógeno	207,8€ a 230,25€	219,03 €
Destilación	Manorreductor	95€ a 222€	158,50 €
Destilación	disodio hidrógeno fosfato anhidro	53,39 €	53,39 €
Destilación	potasio dihidrogeno fosfato	45,15 €	45,15 €
Destilación	ácido nitrobenzoico	33,88 €	33,88 €
		TOTAL	42.387,35 €

Tabla 3-7: Coste económico aproximado (34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45)

Los rangos de precio se han obtenido consultando en varias fuentes y proveedores. El precio depende de las características del equipo.

Si tomamos el precio medio de cada equipo o material necesario para completar todos los análisis, se obtiene una cifra de 42.387,35 €, como se puede observar la inversión a realizar no es pequeña.

Hay que tener en cuenta que no sería necesario realizar toda la inversión para la determinación de los parámetros tratados en este documento, ya que algunos de ellos se pueden determinar por otras técnicas. Sólo sería necesaria una de las técnicas que nos permita obtener el parámetro de amargor y el equipo para la técnica para el anhídrido sulfuroso.

ANÁLISIS	TÉCNICA	EQUIPO NECESARIO	INVERSIÓN
Amargor	HPLC	Equipo HPLC	16.200,70 €
Amargor	Espectrofotometría 275nm	Lámpara deuterio	830,00 €
Anhídrido sulfuroso	Destilación	Botella de nitrógeno	219,03 €
Anhídrido sulfuroso	Destilación	Manorreductor	158,50 €
Anhídrido sulfuroso	Destilación	Disodio hidrógeno fosfato anhidro	53,39 €
Anhídrido sulfuroso	Destilación	Potasio dihidrogeno fosfato	45,15 €
Anhídrido sulfuroso	Destilación	Ácido nitrobenzoico	33,88 €

Tabla 3-8: Inversión necesaria¹¹

Si sólo se valora la inversión económica, por lógica, se debe optar por elegir la opción que permita realizar el análisis de amargor con el menor coste posible. En este caso, como se observa en la Tabla 3-8, el precio que supone adquirir un equipo HPLC es mucho mayor que el que supone la reposición de la lámpara de deuterio necesaria para realizar la espectrofotometría a 275nm.

OPCIÓN A		
ANÁLISIS	TÉCNICA	INVERSIÓN
Amargor	HPLC	16.200,70 €
Anhídrido sulfuroso	Destilación	509,95 €
TOTAL		16.710,65 €

Tabla 3-9: Inversión opción A

OPCIÓN B		
ANÁLISIS	TÉCNICA	INVERSIÓN
Amargor	Espectrofotometría 275nm	830,00 €
Anhídrido sulfuroso	Destilación	509,95 €
TOTAL		1.339,95 €

Tabla 3-10: Inversión opción B

Por lo tanto, realizando la elección más económica, opción B, el precio de la inversión sería de **1.339,35 €**, coste razonablemente asequible y mucho menor que el necesario para realizar todos los análisis.

Hay que tener en cuenta, que la reposición de la lámpara de deuterio, no la puede realizar una persona sin cualificación. Para ello es necesario que sea el servicio técnico quien realice esta operación y calibre de manera exacta el equipo. Todo ello tendría un coste adicional, el cual debe sumarse a esta inversión.

¹¹ Los precios se han obtenido realizando una media de los datos de la tabla anterior.

CONCLUSIONES

A partir de la información recogida y obtenida a lo largo de este Trabajo Fin de Grado, tras investigación y realización de diferentes tipos de análisis, se puede resumir, diferenciando las distintas partes, las siguientes conclusiones:

- Aunque exista una definición aprobada por el BOE que defina qué es la cerveza, el mundo de la cerveza es muy amplio y cada persona la define según lo que signifique para ella.
- Respecto al proceso de elaboración, se puede apreciar claramente, como existe un proceso básico común, tanto para la industria o como para el maestro cervecero artesano. Pero a pesar de existir este proceso común, hay infinidad de variantes según que ingredientes se añadan, según cómo se fermenta, si se filtra o no. Existe una infinidad de combinaciones posibles dando lugar a una infinidad de tipos de cerveza.
- Al igual que existe infinidad de tipos de cerveza, existen infinidad de formas de clasificación como se ha podido comprobar. Dentro de cada criterio de clasificación existen muchos tipos, tipos de cerveza que incluso comprenden otros criterios de clasificación. Como se mencionó al principio de este trabajo, existe una cerveza para cada tipo de persona y sino, se puede elaborar.
- En cuanto a los parámetros existentes, se han mencionado los obligatorios por el BOE para determinar la calidad de la cerveza y aunque esos parámetros sean suficientes según legislación, existen otros que nos permiten determinar la calidad de una forma más personalizada.
- Respecto a los análisis que se pueden realizar en los laboratorios, se dispone de material necesario y equipos, y se puede observar que son de relativa facilidad de realizar. Por el contrario, los análisis que no se dispone de equipo o material, en menor número que los que si se pueden, se necesita de una gran inversión económica e inversión de tiempo para poder reparar o comprar equipos nuevos. Por lo que, es más factible llevar la muestra a un laboratorio especializado que realizar la inversión, ya que no hay actualmente un proyecto que requiere y compense esa inversión.
- Por otro lado, hay que tener en cuenta, que para la determinación de todos los parámetros que comprenden este documento, no es necesaria la totalidad de la inversión económica, ya que, para algunos parámetros, como el grado alcohólico, existen varias técnicas aprobadas. Por lo que, basándonos en optimizar la inversión económica, se elegirá las técnicas que supongan menor gasto económico. Se puede observar que la inversión que inicialmente era muy grande se convierte en una inversión mínima en comparación.

REFERENCIAS

1. **María Picón Sánchez.** Trabajo Fin de Grado: Análisis para el Control de Calidad en la Producción de Cerveza. Escuela Técnica Superior de Ingeniería. Universidad de Sevilla. 2020.
2. **The Gourmet Journal.** [Consulta en noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.thegourmetjournal.com/a-fondo/la-historia-de-la-cerveza/>
3. **The Beer Times** [Consulta en octubre 2020]. Disponible en: <https://www.thebeertimes.com/que-es-la-cerveza-y-como-se-elabora/>
4. **Gonzalo Romero Millán.** Proyecto Fin de Carrera: Manual de Elaboración de Malta y Cerveza. Escuela Técnica Superior de Ingeniería. Universidad de Sevilla.
5. **Diego Benjamín Echía Morales.** Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Agroindustrial y Agronegocios: Elaboración de cerveza utilizando una mezcla de malta de cebada y papa nativa amarilla `tumbay`. Universidad San Ignacio de Loyola. Lima, Perú. 2018.
6. **Triplenlace.** [Consulta en octubre 2020]. Disponible en: <https://tripenlace.com/2014/07/15/la-importancia-de-la-quimica-del-agua-en-la-elaboracion-de-una-buena-cerveza/>
7. **Geo innova.** [Consulta en noviembre 2020]. Disponible en: <https://geoinnova.org/blog-territorio/el-agua-fuente-de-vida-manantial-de-salud/>
8. **The Beer Times.** [Consulta en noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.thebeertimes.com/maceracion-descubre-todos-sus-secretos/>
9. **Sabeer.** [Consulta en noviembre 2020]. Disponible en: <https://sabeer.es/2016/12/16/el-lupulo-ingrediente-de-moda/>
10. **Cerveza Artesana.** [Consulta en octubre 2020]. Disponible en: <https://www.cervezartesana.es/blog/post/la-guia-definitiva-del-lupulo.html>
11. **Pinterest.** [Consulta en noviembre 2020]. Disponible en: www.Pinterest.com
12. **José Vargas Cruz.** Trabajo Fin de Grado: Diseño de una planta industrial de elaboración de cerveza en la provincia de Sevilla. Universidad de Sevilla.
13. **Espuma cultura cervecera.** [Consulta en octubre 2020]. Disponible en: <https://espumadecerveza.es/cervezas-alemanas-clasicas/>
14. **Callejeando por el planeta.** [Consulta en octubre 2020]. Disponible en: <https://www.callejeandoporelplaneta.com/ruta-cerveza-checa-praga/>
15. **QueVer.Travel.** [Consulta en octubre 2020]. Disponible en: <https://www.quever.travel/2020/03/09/todo-sobre-las-cervezas-belgas/>
16. **MEGA.** [Consulta en octubre 2020]. Disponible en: <https://mundoestrellagalicia.es/clasificacion-cervezas-segun-color/>
17. **El secreto de la cerveza.** [Consulta en noviembre 2020]. Disponible en: <http://elsecretodelacerveza.blogspot.com/2018/02/tabla-declasificacion-del-color-el.html>
18. **Cervezomición.** <https://cervezomicon.com/>
19. **Infowine.** [Consulta en noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.infowine.com/intranet/libretti/libretto7368-01-1.pdf>
20. **Infoagro.** [Consulta en noviembre 2020]. Disponible en:

- [https://infoagro.com/instrumentos_medida/medidor.asp?id=6087&_medidor_y_registrador_de_turbidez_para_la_cerveza_hi_93124_\(c124\)](https://infoagro.com/instrumentos_medida/medidor.asp?id=6087&_medidor_y_registrador_de_turbidez_para_la_cerveza_hi_93124_(c124))
21. **Dr. José M^a Sendra y Dr. José V. Carbonell.** Evaluación de las propiedades nutritivas, funcionales y sanitarias de la cerveza, en comparación en otras bebidas. Febrero 1999. Instituto de Agroquímica y Tecnología de los Alimentos- Consejo Superior de Investigaciones Científicas (IATA/CSIC). [Consulta en noviembre 2020]. Disponible en: http://www.cervezaysalud.es/wp-content/uploads/2015/05/Estudio_3.pdf
 22. **Escuela Técnica Superior de Ingenieros.** Análisis Químico. Sevilla, España: Universidad de Sevilla, 2015.
 23. **Laboratorio de Técnicas Instrumentales Uva.** [Consulta en noviembre 2020]. Disponible en: <http://laboratoriotecnicasinstrumentales.es/analisis-quimicos/espectroscopa-de-plasma-icp-oes>
 24. **Espectrofotometría: Espectros de absorción y cuantificación colorimétrica de biomoléculas.** Departamento de bioquímica y Biología Molecular. Universidad de Córdoba. https://www.uco.es/dptos/bioquimica-biol-mol/pdfs/08_ESPECTROFOTOMETRIA.pdf
 25. **Lidefer.** [Consulta en noviembre 2020]. Disponible en: www.lidefer.com
 26. **Laboteca.** [Consulta en noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.laboteca.com.mx/products/picnometro-no-calibrado-blaubrand-gay-lussac>
 27. **Cocinista.** [Consulta en noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.cocinista.es/web/es/densimetro-hidrometro-para-vino-y-cerveza--1579.html>
 28. **Infoalimentación.** [Consulta en noviembre 2020]. Disponible en: https://www.infoalimentacion.com/documentos/tipos_cerveza.asp
 29. **RM. Revista mash.** [Consulta en noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.revistamash.com/>
 30. **Hach. Aplicación: Determinación de turbidez de la cerveza.** [Consulta en noviembre 2020]. Disponible en: <https://es.hach.com/asset-get.download.jsa?id=51854315377#:~:text=La%20turbidez%20de%20la%20cerveza,aspecto%20turbio%20a%20la%20cerveza.>
 31. **Métodos Normalizados para el Análisis de aguas potables y residuales.** Díaz de Santos. APHA-AWWA-WPCF.
 32. **LIT. Tecnología ultravioleta.** [Consulta en noviembre 2020]. Disponible en: [Consulta en noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.lit-uv.com/es/technology/>
 33. **Panreac cereales.** [Consulta en noviembre 2020]. Disponible en: <http://www.usc.es/caa/MetAnalysisStgo1/cervezas1.pdf>
 34. **Pelkin Elmer.** [Consulta en noviembre 2020]. Disponible en: <https://consumiblesparaequiposanaliticos.com.mx/lamparas-espectrofotometros.html>
 35. **Fisher Scientific.** [Consulta en noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.fishersci.es/shop/products/deuterium-lamps/p-6824022#?keyword=lampara+deuterio>
 36. **Labolan,** [Consulta en noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.labolan.es/es/producto/lampara-deuterio-para-espectrofotometro.html>
 37. **Amazon.** [Consulta en noviembre 2020]. Disponible en: www.amazon.es
 38. **Adendorf.** [Consulta en noviembre 2020]. Disponible en: <http://www.adendorf.net/industria-de-latas-c-44.html>
 39. **Hermanos Alamo.** [Consulta en noviembre 2020]. Disponible en: <http://www.hermanos-alamo.com/>
 40. **Galileo Equipos.** [Consulta en noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.galileoequipos.com/es/>
 41. **Equipnet Marketplace.** [Consulta en noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.equipnet.com/es/>
 42. **HACH. DR6000 en la industria cervecera: Métodos importantes en conformidad con la MEBACK y la ASBC.**

43. **CLIMASTOCK.** [Consulta en noviembre 2020]. Disponible en: https://www.climastock.com/store/p445/Botellas_de_Nitr%C3%B3geno.html
44. **SALVADOR ESCODA S.A.** [Consulta en noviembre 2020]. Disponible en: https://www.salvadorescoda.com/tarifas/Mantenimiento_Herramientas_Tarifa_PVP_SalvadorEscoda.pdf
45. **COSELA.** Instrumentación y suministro de laboratorio. Presupuesto para la universidad de Sevilla. Diciembre 2020.
46. **FEDNA.** Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal [Consulta en octubre 2020]. Disponible en: http://www.fundacionfedna.org/ingredientes_para_piensos/raicillas-de-malta-25-pb#:~:text=La%20raicilla%20de%20malta%20es,de%20la%20cebada%20en%20malta.
47. **El Reitú.** [Consulta en octubre 2020]. Disponible en: https://www.elreitu.com.ar/pna_raicilla_de_malta.html
48. **Fundación FEDNA.** [Consulta en octubre 2020]. Disponible en: http://fundacionfedna.org/microscopia/HTML/19cMaintext%20raicillas%20cebada_sp.html
49. **Directo al paladar.** [Consulta en octubre 2020]. Disponible en: <https://www.directoalpaladar.com/ingredientes-y-alimentos/el-lupulo-i-un-ingrediente-esencial-para-la-elaboracion-de-la-cerveza>
50. **HUFFPOST.** [Consulta en octubre 2020]. Disponible en: https://www.huffingtonpost.es/entry/como-se-obtiene-el-lupulo-de-la-cerveza-que-bebes_es_5d84e17de4b070d468cbaee7
51. **Cerveza Ríos.** [Consulta en octubre 2020]. Disponible en: <https://cervezarios.com/articulos/el-macerado-de-cerveza-macerado-de-cerveza-artesanal/#:~:text=El%20macerado%2C%20es%20la%20parte,su%20receta%20un%20toque%20especial.&text=Lo%20que%20hacemos%20en%20el,un%20mosto%20dulce%20y%20fermentable.>
52. **Hacer cerveza artesanal.** [Consulta en octubre 2020]. Disponible en: <https://hacercervezaartesanal.com/tipos-de-cervezas/cervezas-lager/>
53. **Birrapedia.** [Consulta en octubre 2020]. Disponible en: <https://birrapedia.com/enciclopedia-de-la-cerveza/cebada/c>
54. **La Maltería del Cerveceros.** [Consulta en octubre 2020]. Disponible en: <https://www.lamalteriadelcervecero.es/adjuntos-para-la-cerveza/>
55. **Mas Capacitación: Cerveza.** [Consulta en octubre 2020]. Disponible en: <https://mascapacitacionencerveza.wordpress.com/adjuntos-cerveceros/>
56. **Los cervecistas.** [Consulta en octubre 2020]. Disponible en: <https://www.loscervecistas.es/cultura-cervecista/el-uso-de-frutas-en-la-elaboracion-de-cerveza/>
57. **Perfect Daily Grind.** [Consulta en octubre 2020]. Disponible en: <https://perfectdailygrind.com/es/2017/01/27/cafe-y-cerveza-una-combinacion-paradisica/>
58. **Beertesans.** [Consulta en octubre 2020]. Disponible en: <https://www.beertesans.com/estilos-cerveza/guia-cerveza-inglesa/#english-brown-ale>
59. **Cervezas y vino.** [Consulta en noviembre 2020]. Disponible en: <https://decervezasyvino.com/cuales-son-las-diferencias-entre-la-cerveza-artesanal-y-la-cerveza-industrial/>
60. **AECAIO.** [Consulta en noviembre 2020]. Disponible en: <https://aecaio.es/diferencias-cerveza-artesana-industrial/>
61. **Mauro Gisbert Verdú.** Trabajo Fin de Grado. Diseño del proceso industrial para la elaboración de cerveza. Universidad politécnica de Valencia.
62. **Boletín oficial del estado.** BOE.
63. **HANNA instruments.** [Consulta en noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.hannacolombia.com/blog/post/209/ph-cerveza-y-usted-la-importancia-del-ph-en-la-elaboracion-cerveza#:~:text=Altos%20valores%20de%20pH%20pueden,%C3%A1cido%2C%20resultando%20en%20cer>

vezas%20amargas.

64. **Boto Fidalgo, Juan Antonio y Boto Ordóñez, María.** La cerveza. Ciencia, tecnología, ingeniería, producción, valoración. León: Universidad de León, 2017. ISBN: 978-84-9773-884-2.

65. **Install Beer.** [Consulta en noviembre 2020]. Disponible en: <https://installbeer.com/blogs/diariocervecerero/que-son-los-ibus-cerveza>

66. **Beers and trips.** [Consulta en noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.beersandtrips.com/que-es-el-ibu-en-una-cerveza-significado-y-calculo-del-amargor/>

67. **Rubén Sancho Saurina.** Trabajo Fin de Grado: Diseño de una micro-planta de fabricación de cerveza y estudio de técnicas y procesos de producción. 2015

68. **El mostrador.** [Consulta en noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.elmostrador.cl/generacion-m/2019/06/05/como-algunos-gases-ayudan-a-realzar-el-sabor-de-las-cervezas-y-su-espuma/>

69. **ATSDR: Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades.** [Consulta en noviembre 2020]. Disponible en: https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs116.html#bookmark1

70. **De vinos y vides.** [Consulta en noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.devinosyvides.com.ar/nota/808-que-es-el-anhidrido-sulfuroso-y-para-que-se-utiliza-en-la-enologia#:~:text=El%20anh%C3%ADrido%20sulfuroso%20es%20un,protector%20de%20vino%20por%20excelencia.>

71. **José Marcelo Becerra Delgado.** Trabajo de graduación: Determinación de metales en cervezas. Escuela de Ingeniería en Alimentos. Universidad de Azuay. [Consulta en noviembre 2020]. Disponible en: <http://201.159.222.99/bitstream/datos/4244/1/10803.pdf>

72. **Alfermi. Instrucciones de uso del aerómetro.** [Consulta en noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.leo-kuebler.de/index.php/es/faqs-es/474-instrucciones-de-uso-del-are%C3%B3metro.html>

73. **2d2dspuma.** [Consulta en noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.2d2dspuma.com/blog/que-es/extracto-seco-primitivo/>

74. **Materiales de laboratorio.** [Consulta en noviembre 2020]. Disponible en: <https://materialeslaboratorio.com/turbidimetro/>

75. **Manual turbidímetro Orbeco-Hellige Modelo 966.** Equipo de laboratorio.

76. **Clara Téllez Mesa.** Trabajo Fin de grado: Aplicaciones espectroscopía infrarroja en análisis de alimentos. Facultad de Farmacia. Universidad de Sevilla. [Consulta en octubre 2020]. Disponible en: <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/91690/T%C3%89LLEZ%20MESA%2C%20CLARA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

77. **A. García Sánchez, N. Ramos Martos y E. Ballesteros.** Estudio comparativo de distintas técnicas analíticas (espectroscopia de NIR y RMN y extracción mediante Soxhlet) para la determinación del contenido graso y de humedad en aceitunas y orujo de Jaén. Facultad de Ciencias Experimentales, Jaén.

78. **Servicios técnicos de investigación.** [Consulta en noviembre 2020]. Disponible en: <https://ssti.ua.es/es/instrumentacion-cientifica/unidad-de-analisis/cromatografia-de-gases.html>

79. **Fundamentos de la cromatografía de gases: teoría.** Agilent Technologies. (PowerPoint: 5991-5422ES_Agilent_GC_Theory_Spanish)

80. **Onlinelicor.** [Consulta en noviembre 2020]. Disponible en: <https://onlinelicor.es/las-mejores-15-frases-sobre-la-cerveza/>

81. **Citas.in.** [Consulta en noviembre 2020]. Disponible en: <https://citas.in/temas/laboratorio/>

82. **The Beer Times.** [Consulta en octubre 2020]. Disponible en: <https://www.thebeertimes.com/que-es-la-cerveza-y-como-se-elabora/>

GLOSARIO

ABV	
Alcohol By Volume	42
APA	
American Pale Ale	39
ASBC	
Sociedad Estadounidense de Cerveceros Químicos	41, 47, 48, 49, 50, 64
BD	
Instituto de elaboración de cerveza y destilación	41
BOE	
Boletín Oficial del Estado.....	23, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 47, 48, 49, 50, 51, 54, 60, 62, 65, 70, 71, 72, 73, 82
EAA	
Espectrometría de Absorción Atómica.....	49, 65
EBC	
European Brewery Convention.....	34, 39, 41, 44, 47, 48, 50
ESP	
Extracto Seco Primitivo	40, 44, 59, 60
FEM	
Fuerza Electromotriz.....	60
FNU	
Formazine Nephelometric Unit.....	48
FTU	
Formazine Nephelometric Unit.....	62
HPLC	
High Performance Liquid Chromatography.....	45, 73
IBU	
International Bitterness Unit.....	34, 43, 45
IBUs	
International Bitterness Units	45, 70, 71
IPA	
Indian Pale Ale	23, 35, 38, 39
MEBACK	
Comisión Europea de Análisis de Técnicas cerveceras.....	41, 68, 81
NEIPA	
New England Indian Pale Ale	39
NIR	
Near Infrared Spectroscopy	42, 71
NTU	
Nephelometric Turbidity Unit.....	48, 62, 63, 64
°B	
Grados Baumé.....	58
°L	
Grados Lovibond.....	44
OMS	
Organización Mundial de la Salud.....	48

°P	
Grados Plato	xxi, 44, 58, 60
pH	
Potencial de Hidrogenios	xxi, 25, 26, 30, 31, 33, 41, 42, 43, 60, 61, 62
RBIM	
Instituto de Investigación y elaboración de cerveza y malta.....	41
SRM	
Standard Reference Method.....	34, 39, 44, 45
UV	
Ultra Violeta.....	67, 71
UV-VIS	
Ultra Violeta-Visible	67, 71

ANEXOS

Anexo A: Lista de levaduras comerciales y sus características (4)

Laboratorio: Fermentis- Dry yeast					
Nombre	ID	Atenuación	Floculación	T. óptima	Tolerancia alcohol
Safale – English Ale	S-04	Media	Media	15-23°C	Media
Safale – American Ale	US-05	Media	Media	15-23°C	Media
Safale – American Ale	US-56	Media	Media	15-23°C	Media
Safale – German Ale	K-97	Media	Media	15-23°C	Media
Safbrew – Specialty Ale	T-58	Media	Media	15-23°C	12%
Safbrew – General/Belgian	S-33	Alta	Media	15-23°C	12%
Safbrew – Wheat beer	WB-06	Media	Baja	15-23°C	Media
Saflager – German lager	S-23	Media	Alta	9-15°C	Media
Saflager – German lager	W-34/70	Media	Alta	9-15°C	Media
Saflager – Swiss lager	S-189	Media	Alta	9-15°C	Media
Laboratorio: Danstar Lallemand – Dry yeast					
Nombre	ID	Atenuación	Floculación	T. óptima	Tolerancia alcohol
Nottingham Ale	-	Alta	Alta	14-21°C	Media-alta
Windsor Ale	-	Media	Media	18-21°C	Media
Diamond Lager	-	Alta	Alta	10-15°C	Media
Munich Dry Wheat	-	Media-alta	media	18-21°C	Media
Laboratorio: Wyeast					
Levaduras Ale de Wyeast					
Nombre	ID	Atenuación	Floculación	T. óptima	Tolerancia alcohol
German Ale	1007	73-77%	Baja	13-20°C	11%
American wheat	1010	74-78%	Baja	14-24°C	10%
London Ale	1028	73-77%	Media-baja	16-23°C	10%
American Ale	1056	73-77%	Media-baja	16-23°C	10%
Irish Ale	1084	71-75%	Media	17-23°C	10%
British Ale	1098	73-75%	Media-alta	16-23°C	10%
Whitbread Ale	1099	68-72%	Alta	18-23°C	10%
Ringwood Ale	1187	68-72%	Alta	18-24°C	10%
American Ale II	1272	72-76%	Alta	16-23°C	10%
Thames Valley Ale	1275	77%	Media-baja	17-23°C	10%
London Ale III	1318	71-75%	Alta	18-24°C	10%

Nombre	ID	Atenuación	Floculación	T. óptima	Tolerancia alcohol
Northwest Ale	1332	67-71%	Alta	18-25°C	10%
British Ale II	1335	73-76%	Alta	17-25°C	10%
European Ale	1338	67-71%	Alta	17-23°C	10%
Scottish Ale	1728	69-73%	Alta	13-24°C	12%
London ESB Ale	1968	67-71%	Muy alta	18-23°C	10%
Kölsh	2565	73-77%	baja	13-21°C	10%
Levaduras Lager de Wyeast					
Nombre	ID	Atenuación	Floculación	T. óptima	Tolerancia alcohol
Budvar Lager	2000	71-75%	Media-alta	9-13°C	9%
Urquell Lager	2001	72-76%	Media-alta	9-15°C	9%
Pilsen Lager	2007	71-75%	Media	9-13°C	9%
American Lager	2035	73-77%	Media	9-15°C	9%
Danish Lager	2042	73-77%	Baja	9-13°C	9%
California Lager	2112	67-71%	Alta	14-20°C	9%
Bohemian Lager	2124	73-77%	Media	9-15°C	9%
Bavarian Lager	2206	73-77%	Media-alta	8-14°C	9%
Czech Pils	2278	70-74%	Media-alta	10-15°C	9%
Munich Lager	2308	70-74%	Media	9-13°C	9%
Octoberfest Lager Blend	2633	73-77%	Media-baja	9-15°C	9%
Levaduras Belgas de Wyeast					
Nombre	ID	Atenuación	Floculación	T. óptima	Tolerancia alcohol
Belgian Ale	1214	73-77%	Media-baja	20-26°C	9%
Belgian Strong Ale	1388	74-78%	Baja	18-27°C	12%
Belgian Abby Ale II	1762	73-77%	Media	18-24°C	12%
Bavarian wheat	3056	73-77%	Media	18-24°C	10%
Weihenstephan Weizen	3068	73-77%	Baja	18-24°C	10%
Belgian Lambic blended	3278	-	-	18-24°C	12%
German Wheat	3333	70-76%	Alta	18-24°C	10%
Forbidden Fruit	3463	72-76%	Baja	18-24°C	12%
Belgian Ardennes	3522	72-76%	Alta	18-30°C	12%
Bavarian Wheat	3638	70-76%	Baja	18-24°C	10%
Belgian Saison	3724	76-80%	Baja	21-35°C	12%
Trappist High Gravity	3787	74-78%	Media-alta	18-26°C	12%

Nombre	ID	Atenuación	Floculación	T. óptima	Tolerancia alcohol
Belgian Wheat	3942	72-76%	Media	18-24°C	12%
Belgian Witbier	3944	72-76%	Media-baja	17-24°C	12%

Levaduras Varias de Wyeast					
Nombre	ID	Atenuación	Floculación	T. óptima	Tolerancia alcohol
Cider	4766	-	Baja	18-21°C	12%
Sweet Mead	4184	-	Media	18-24°C	11%
Dry Mead	4632	-	Baja-media	13-24°C	18%
Brettanomyces bruxellensis	5112	Muy alta	Media	16-24°C	12%
Lactobacillus	5335	-	-	15-35°C	9%
Brettanomyces lambicus	5526	Media	Muy alta	15-24°C	12%
Pediococcus	5733	-	-	15-35°C	9%

Laboratorio: White Labs

Levaduras Ale de White Labs					
Nombre	ID	Atenuación	Floculación	T. óptima	Tolerancia alcohol
California Ale	WLP001	73-80%	Media	20-23°C	Alta
English Ale	WLP002	67-70%	Media	18-20°C	Media
German Ale II	WLP003	73-80%	Media	18-20°C	Media
Irish Ale	WLP004	69-74%	Media-alta	18-20°C	Media-alta
British Ale	WLP005	67-74%	Alta	18-20°C	Media
Bedford British	WLP006	72-80%	Alta	18-20°C	Media
Dry English Ale	WLP007	70-80%	Media-alta	18-20°C	Media-alta
East Coast Ale	WLP008	70-75%	Media-baja	20-23°C	Media
Australian Ale	WLP009	70-75%	Alta	18-20°C	Media
European Ale	WLP011	65-70%	Media	18-20°C	Media
London Ale	WLP013	67-75%	Media	18-20°C	Media
Essex Ale	WLP022	71-76%	Media-alta	18-20°C	Media
Burton Ale	WLP023	69-75%	Media	20-23°C	Media
Edinburgh Scottish Ale	WLP028	70-75%	Media	18-20°C	Media-alta
German Ale/ Kölsch	WLP029	72-78%	Media	18-20°C	Media
Dusseldorf Alt	WLP036	65-72%	Media	18-21°C	Media
Nottingham Ale	WLP039	73-82%	Media-alta	18-20°C	Media

Nombre	ID	Atenuación	Floculación	T. óptima	Tolerancia alcohol
Pacific Ale	WLP041	65-70%	Alta	18-20°C	Media
California Ale V	WLP051	70-75%	Media alta	18-20°C	Media-alta
American Ale Blend	WLP060	72-80%	Media	18-20°C	Media-alta
French Ale	WLP072	68-75%	Media-alta	17-20°C	Media
Cream Ale Yeast Blend	WLP080	75-80%	Media	18-20°C	Media-alta
English Ale Blend	WLP085	69-76%	Media-alta	18-20°C	Media
Super High Gravity Ale	WLP099	>80%	Media	18-21°C	Muy alta
Levaduras Lager de White Labs					
Nombre	ID	Atenuación	Floculación	T. óptima	Tolerancia alcohol
Pilsner Lager	WLP800	72-77%	Media-alta	10-13°C	Media
Czech Budejovice Lager	WLP802	75-80%	Media	10-13°C	Media
San Francisco Lager	WLP810	65-70%	Alta	15-18°C	Media-alta
Oktoberfest/Märzen Lager	WLP820	65-73%	Media	11-14°C	Media-alta
German Lager	WLP830	74-79%	Media	10-13°C	Media
German Bock Lager	WLP833	70-76%	Media	9-13°C	Media-alta
Southern German Lager	WLP838	68-76%	Media-alta	10-13°C	Media
American Lager	WLP840	75-80%	Media	10-13°C	Media
Cry Havoc	WLP862	66-70%	Media-baja	20-23°C	Media
Zurich Lager	WLP885	70-80%	Media	10-13°C	Media
Mexican Lager	WLP940	70-78%	Media	10-13°C	Media
Levaduras Specialty/Belgian de White Labs					
Nombre	ID	Atenuación	Floculación	T. óptima	Tolerancia alcohol
Hefeweizen Ale	WLP300	72-76%	Baja	19-22°C	Media
American Hefeweizen Ale	WLP320	70-75%	Baja	18-21°C	Media
Bavarian Weizen	WLP351	73-77%	Baja	18-21°C	Media
Hefeweizen IV Ale	WLP380	73-80%	Baja	18-21°C	Media
Belgian Wit Ale	WLP400	74-78%	Baja-media	19-23°C	Media
Belgian Wit II Ale	WLP410	70-75%	Baja-media	19-23°C	Media
Trappist Ale	WLP500	75-80%	Baja-media	18-22°C	Alta
Belgian Bastogne Ale	WLP510	74-80%	Media	18-21°C	Alta
Antwerp Ale	WLP515	73-80%	Media	19-22°C	Media
Abbey Ale	WLP530	75-80%	Media-alta	19-22°C	Alta
Abbey IV Ale	WLP540	74-82%	Media	18-21°C	Alta

Nombre	ID	Atenuación	Floculación	T. óptima	Tolerancia alcohol
Belgian Ale	WLP550	78-85%	Media	18-26°C	Media-alta
Belgian Saison I	WLP565	65-75%	Media	20-24°C	Media
Belgian Saison II	WLP566	78-85%	Media	20-26°C	Media
Belgian Style Saison Blend	WLP568	70-80%	Media	21-27°C	Media
Belgian Golden Ale	WLP570	73-78%	Baja	20-24°C	Alta
Belgian Style Ale Blend	WLP575	74-80%	Media	20-24°C	Media-alta

Anexo B: Grado alcohólico en % según la densidad obtenida a 20°C (33)

Densidad	%	Densidad	%	Densidad	%	Densidad	%
1,00000	0,00	0,99926	0,40	0,99851	0,80	0,99777	1,20
0,99998	1	24	1	49	1	75	1
97	2	22	2	47	2	73	2
95	3	21	3	45	3	71	3
93	4	19	4	43	4	70	4
91	5	17	5	41	5	68	5
89	6	15	6	39	6	66	6
87	7	13	7	37	7	64	7
86	8	11	8	35	8	62	8
84	9	09	9	33	9	60	9
0,99982	0,10	0,99907	0,50	0,99832	0,90	0,99758	1,30
80	1	05	1	30	1	57	1
78	2	03	2	28	2	55	2
76	3	02	3	26	3	53	3
75	4	00	4	24	4	51	4
73	5	0,99898	5	22	5	49	5
71	6	96	6	20	6	47	6
69	7	94	7	19	7	46	7
67	8	92	8	17	8	44	8
65	9	90	9	15	9	42	9
0,99963	0,20	0,99888	0,60	0,99813	1,00	0,99740	1,40
61	1	87	1	11	1	38	1
60	2	85	2	09	2	37	2
58	3	83	3	08	3	35	3
56	4	81	4	06	4	33	4
54	5	79	5	04	5	31	5
52	6	77	6	02	6	29	6
50	7	76	7	00	7	28	7
49	8	74	8	0,99798	8	26	8
47	9	72	9	97	9	24	9
0,99945	0,30	0,99870	0,70	0,99795	1,10	0,99722	1,50
43	1	68	1	93	1	20	1
41	2	66	2	91	2	18	2
39	3	64	3	90	3	17	3
37	4	62	4	88	4	15	4
35	5	60	5	86	5	13	5
33	6	59	6	84	6	11	6
32	7	57	7	82	7	09	7
30	8	55	8	80	8	07	8
28	9	53	9	79	9	06	9
0,99926	0,40	0,99851	0,80	0,99777	1,20	0,99704	1,60

Densidad	%	Densidad	%	Densidad	%	Densidad	%
0,99704	1,60	0,99631	2,00	0,99559	2,40	0,99489	2,80
02	1	29	1	57	1	87	1
00	2	28	2	55	2	85	2
0,99698	3	26	3	53	3	83	3
97	4	24	4	52	4	81	4
95	5	22	5	50	5	80	5
93	6	20	6	48	6	78	6
91	7	19	7	46	7	76	7
89	8	17	8	44	8	75	8
87	9	15	9	42	9	73	9
0,99685	1,70	0,99613	2,10	0,99541	2,50	0,99472	2,90
84	1	11	1	39	1	70	1
82	2	10	2	37	2	68	2
80	3	08	3	35	3	67	3
78	4	06	4	33	4	65	4
76	5	04	5	32	5	63	5
74	6	02	6	30	6	62	6
72	7	00	7	28	7	60	7
71	8	0,99599	8	26	8	58	8
69	9	97	9	25	9	57	9
0,99667	1,80	0,99595	2,20	0,99523	2,60	0,99455	3,00
65	1	93	1	21	1	53	1
64	2	91	2	20	2	51	2
62	3	89	3	18	3	50	3
60	4	87	4	16	4	48	4
58	5	86	5	14	5	46	5
56	6	84	6	13	6	45	6
54	7	82	7	11	7	43	7
52	8	80	8	09	8	42	8
50	9	78	9	07	9	40	9
0,99649	1,90	0,99577	2,30	0,99506	2,70	0,99438	3,10
47	1	75	1	04	1	36	1
45	2	73	2	02	2	35	2
44	3	71	3	00	3	33	3
42	4	69	4	0,99499	4	31	4
40	5	67	5	97	5	30	5
38	6	65	6	95	6	28	6
36	7	64	7	94	7	26	7
35	8	62	8	92	8	24	8
33	9	60	9	90	9	23	9
0,99631	2,00	0,99559	2,40	0,99489	2,80	0,99421	3,20

Densidad	%	Densidad	%	Densidad	%	Densidad	%
0,99421	3,20	0,99352	3,60	0,99285	4,00	0,99220	4,40
19	1	50	1	83	1	18	1
17	2	49	2	82	2	16	2
16	3	47	3	80	3	15	3
14	4	45	4	79	4	13	4
12	5	43	5	77	5	12	5
11	6	42	6	75	6	10	6
09	7	40	7	74	7	09	7
07	8	38	8	72	8	07	8
05	9	37	9	70	9	05	9
0,99404	3,30	0,99335	3,70	0,99269	4,10	0,99203	4,50
02	1	33	1	67	1	02	1
00	2	32	2	65	2	00	2
0,99398	3	30	3	64	3	0,99199	3
96	4	28	4	62	4	97	4
95	5	27	5	60	5	96	5
93	6	25	6	59	6	94	6
91	7	23	7	57	7	92	7
89	8	21	8	55	8	90	8
88	9	19	9	54	9	89	9
0,99386	3,40	0,99318	3,80	0,99252	4,20	0,99187	4,60
84	1	16	1	51	1	85	1
83	2	14	2	49	2	84	2
81	3	13	3	47	3	82	3
79	4	11	4	46	4	81	4
77	5	09	5	44	5	79	5
76	6	08	6	42	6	77	6
74	7	06	7	41	7	75	7
72	8	04	8	39	8	74	8
70	9	03	9	37	9	73	9
0,99369	3,50	0,99301	3,90	0,99236	4,30	0,99171	4,70
67	1	0,99299	1	34	1	69	1
65	2	98	2	33	2	67	2
64	3	96	3	31	3	66	3
62	4	94	4	29	4	64	4
60	5	93	5	28	5	63	5
59	6	91	6	26	6	61	6
57	7	89	7	24	7	59	7
55	8	88	8	23	8	58	8
54	9	86	9	21	9	56	9
0,99352	3,60	0,99285	4,00	0,99220	4,40	0,99154	4,80

Densidad	%	Densidad	%	Densidad	%	Densidad	%
0,99154	4,80	0,99089	5,20	0,99026	5,60	0,98962	6,00
53	1	87	1	24	1	61	1
51	2	85	2	23	2	59	2
49	3	84	3	21	3	58	3
47	4	82	4	19	4	56	4
46	5	81	5	18	5	55	5
44	6	79	6	16	6	53	6
42	7	77	7	14	7	52	7
41	8	76	8	13	8	50	8
39	9	74	9	11	9	49	9
0,99138	4,90	0,99073	5,30	0,99010	5,70	0,98947	6,10
36	1	71	1	08	1	45	1
34	2	69	2	07	2	44	2
33	3	68	3	05	3	42	3
31	4	66	4	03	4	41	4
29	5	64	5	02	5	40	5
27	6	63	6	00	6	38	6
26	7	61	7	0,98999	7	36	7
24	8	59	8	97	8	34	8
23	9	58	9	85	9	33	9
0,99121	5,00	0,99057	5,40	0,98994	5,80	0,98931	6,20
19	1	55	1	92	1	29	1
18	2	54	2	90	2	28	2
16	3	52	3	89	3	26	3
14	4	51	4	87	4	24	4
13	5	49	5	86	5	23	5
11	6	47	6	84	6	22	6
10	7	45	7	83	7	20	7
08	8	44	8	81	8	18	8
06	9	42	9	80	9	17	9
0,99105	5,10	0,99041	5,50	0,98978	5,90	0,98915	6,30
03	1	40	1	76	1	13	1
02	2	38	2	74	2	12	2
00	3	37	3	73	3	10	3
0,99098	4	35	4	71	4	09	4
97	5	33	5	70	5	07	5
95	6	32	6	68	6	05	6
93	7	30	7	67	7	04	7
92	8	29	8	65	8	02	8
90	9	27	9	63	9	0,98901	9
0,99089	5,20	0,99026	5,60	0,98962	6,00	0,98899	6,40

Densidad	%	Densidad	%	Densidad	%	Densidad	%
0,98899	6,40	0,98837	6,80	0,98777	7,20	0,98717	7,60
97	1	35	1	76	1	16	1
96	2	34	2	75	2	14	2
94	3	32	3	73	3	13	3
92	4	30	4	72	4	11	4
91	5	29	5	70	5	10	5
89	6	27	6	68	6	08	6
88	7	26	7	67	7	07	7
86	8	24	8	65	8	05	8
85	9	23	9	64	9	04	9
0,98883	6,50	0,98821	6,90	0,98762	7,30	0,98702	7,70
82	1	20	1	60	1	00	1
80	2	19	2	59	2	0,98699	2
78	3	17	3	57	3	98	3
76	4	15	4	56	4	96	4
75	5	14	5	55	5	94	5
74	6	12	6	53	6	93	6
72	7	11	7	52	7	92	7
70	8	10	8	50	8	90	8
69	9	08	9	49	9	89	9
0,98867	6,60	0,98807	7,00	0,98747	7,40	0,98687	7,80
66	1	06	1	46	1	86	1
64	2	04	2	44	2	84	2
62	3	03	3	43	3	83	3
61	4	01	4	41	4	81	4
59	5	00	5	39	5	80	5
58	6	0,98798	6	38	6	78	6
56	7	97	7	36	7	77	7
55	8	95	8	35	8	75	8
53	9	94	9	33	9	74	9
0,98852	6,70	0,98792	7,10	0,98732	7,50	0,98672	7,90
50	1	91	1	30	1	71	1
49	2	89	2	29	2	69	2
47	3	88	3	27	3	68	3
46	4	86	4	26	4	66	4
44	5	85	5	24	5	65	5
43	6	83	6	23	6	63	6
41	7	82	7	22	7	62	7
40	8	80	8	20	8	60	8
38	9	79	9	19	9	59	9
0,98837	6,80	0,98777	7,20	0,98717	7,60	0,98657	8,00

Anexo C: Corrección de grado alcohólico según temperatura

			Alcohol a t °C																
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Temperaturas	0	A sumar	0.76	0.77	0.82	0.87	0.95	1.04	1.16	1.31	1.43	1.70	1.95	2.26	2.62	3.03	3.43	4.02	4.56
	1		0.81	0.83	0.87	0.92	1.00	1.09	1.20	1.35	1.52	1.73	1.97	2.26	2.50	2.97	3.40	3.87	4.36
	2		0.85	0.87	0.92	0.97	1.04	1.13	1.24	1.38	1.54	1.74	1.97	2.24	2.54	2.83	3.23	3.72	4.17
	3		0.88	0.91	0.95	1.00	1.07	1.15	1.26	1.39	1.55	1.73	1.95	2.20	2.43	2.80	3.16	3.55	3.95
	4		0.90	0.92	0.97	1.02	1.08	1.17	1.27	1.40	1.55	1.72	1.92	2.15	2.41	2.71	3.03	3.38	3.75
	5		0.91	0.93	0.98	1.03	1.10	1.17	1.27	1.39	1.53	1.69	1.87	2.08	2.33	2.60	2.89	3.21	3.54
	6		0.92	0.94	0.98	1.02	1.09	1.16	1.23	1.37	1.50	1.65	1.82	2.01	2.23	2.47	2.74	3.02	3.32
	7		0.91	0.93	0.97	1.01	1.07	1.14	1.23	1.33	1.45	1.60	1.75	1.92	2.12	2.34	2.58	2.83	3.10
	8		0.90	0.91	0.94	0.98	1.04	1.11	1.19	1.28	1.30	1.52	1.66	1.82	2.00	2.20	2.47	2.65	2.88
	9		0.86	0.88	0.91	0.95	1.01	1.07	1.14	1.23	1.33	1.44	1.57	1.71	1.87	2.05	2.24	2.44	2.65
	10		0.82	0.84	0.87	0.91	0.96	1.01	1.03	1.16	1.25	1.35	1.47	1.60	1.74	1.99	2.06	2.24	2.43
	11		0.78	0.79	0.82	0.86	0.90	0.95	1.01	1.08	1.16	1.25	1.36	1.47	1.60	1.73	1.88	2.03	2.20
	12		0.72	0.74	0.76	0.79	0.83	0.88	0.93	0.99	1.07	1.15	1.24	1.34	1.44	1.56	1.69	1.82	1.95
	13		0.66	0.67	0.69	0.72	0.76	0.80	0.84	0.90	0.96	1.03	1.11	1.13	1.28	1.33	1.43	1.61	1.73
	14		0.59	0.60	0.62	0.64	0.67	0.71	0.74	0.79	0.85	0.91	0.97	1.04	1.12	1.20	1.29	1.39	1.49
	15		0.51	0.52	0.53	0.55	0.58	0.61	0.64	0.68	0.73	0.77	0.83	0.69	0.95	1.02	1.09	1.16	1.24
	16		0.42	0.43	0.44	0.46	0.48	0.50	0.53	0.56	0.60	0.63	0.67	0.72	0.77	0.82	0.88	0.94	1.00
	17		0.33	0.33	0.34	0.35	0.37	0.39	0.41	0.43	0.46	0.48	0.51	0.55	0.59	0.62	0.67	0.71	0.75
	18		0.23	0.23	0.23	0.24	0.25	0.26	0.27	0.29	0.31	0.33	0.35	0.37	0.40	0.42	0.45	0.46	0.51
19	0.12	0.12	0.12	0.12	0.13	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19	0.20	0.21	0.23	0.24	0.25		

Sigue

TABLA II (continuación)

			Alcohol a t °C																
			14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Temperaturas	0	A sumar	3.49	4.02	4.56	5.11	5.65	6.16	6.63	7.05	7.39	7.67	7.91	8.07	8.20	8.30	8.36	8.39	8.40
	1		3.40	3.87	4.36	4.86	5.35	5.82	6.26	6.64	6.96	7.23	7.45	7.62	7.75	7.85	7.91	7.95	7.96
	2		3.29	3.72	4.17	4.61	5.05	5.49	5.89	6.25	6.55	6.81	7.02	7.18	7.31	7.40	7.47	7.51	7.53
	3		3.16	3.55	3.95	4.36	4.77	5.17	5.53	5.85	6.14	6.39	6.59	6.74	6.86	6.97	7.03	7.07	7.09
	4		3.03	3.38	3.75	4.11	4.48	4.84	5.17	5.48	5.74	5.97	6.16	6.31	6.43	6.53	6.59	6.63	6.66
	5		2.89	3.21	3.54	3.86	4.20	4.52	4.83	5.11	5.35	5.56	5.74	5.89	6.00	6.10	6.16	6.20	6.23
	6		2.74	3.02	3.32	3.61	3.91	4.21	4.49	4.74	4.96	5.16	5.33	5.47	5.58	5.67	5.73	5.77	5.80
	7		2.58	2.83	3.10	3.36	3.63	3.90	4.15	4.38	4.58	4.77	4.92	5.05	5.15	5.24	5.30	5.34	5.37
	8		2.42	2.65	2.88	3.11	3.35	3.59	3.81	4.02	4.21	4.38	4.52	4.64	4.74	4.81	4.87	4.92	4.95
	9		2.24	2.44	2.65	2.86	3.07	3.28	3.48	3.67	3.84	3.99	4.12	4.23	4.32	4.39	4.45	4.50	4.53
	10		2.06	2.24	2.43	2.61	2.80	2.98	3.16	3.33	3.48	3.61	3.73	3.83	3.91	3.98	4.03	4.08	4.11
	11		1.88	2.03	2.20	2.36	2.52	2.68	2.83	2.98	3.12	3.24	3.34	3.43	3.50	3.57	3.62	3.66	3.69
	12		1.69	1.82	1.96	2.10	2.24	2.38	2.51	2.64	2.76	2.87	2.96	3.04	3.10	3.16	3.21	3.25	3.27
	13		1.49	1.61	1.73	1.84	1.96	2.08	2.20	2.31	2.41	2.50	2.58	2.65	2.71	2.76	2.80	2.83	2.85
	14		1.29	1.39	1.49	1.58	1.68	1.78	1.88	1.97	2.06	2.13	2.20	2.26	2.31	2.36	2.39	2.42	2.44
	15		1.09	1.16	1.24	1.32	1.40	1.48	1.56	1.64	1.71	1.77	1.83	1.88	1.92	1.96	1.98	2.01	2.03
	16		0.88	0.94	1.00	1.06	1.12	1.19	1.25	1.31	1.36	1.41	1.46	1.50	1.53	1.56	1.58	1.60	1.62
	17		0.67	0.71	0.75	0.80	0.84	0.89	0.94	0.98	1.02	1.05	1.09	1.12	1.14	1.17	1.18	1.20	1.21
	18		0.45	0.48	0.51	0.53	0.56	0.59	0.62	0.65	0.68	0.70	0.72	0.74	0.76	0.78	0.79	0.80	0.81
19	0.23	0.24	0.25	0.27	0.28	0.30	0.31	0.33	0.34	0.35	0.36	0.37	0.38	0.39	0.40	0.40	0.41		

		Alcohol a t °C																
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Temperaturas	21	A restar	0.13	0.13	0.13	0.14	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19	0.19	0.20	0.22	0.23	0.25	0.26
	22		0.26	0.27	0.28	0.29	0.30	0.31	0.32	0.34	0.36	0.37	0.39	0.41	0.44	0.47	0.49	0.52
	23		0.40	0.41	0.42	0.44	0.45	0.47	0.49	0.51	0.54	0.57	0.60	0.63	0.66	0.70	0.74	0.78
	24		0.55	0.56	0.58	0.60	0.62	0.64	0.67	0.70	0.73	0.77	0.81	0.85	0.89	0.94	0.99	1.04
	25		0.69	0.71	0.73	0.76	0.79	0.82	0.85	0.89	0.93	0.97	1.02	1.07	1.13	1.19	1.25	1.31
	26		0.85	0.87	0.90	0.93	0.96	1.00	1.04	1.08	1.13	1.18	1.24	1.30	1.36	1.43	1.50	1.57
	27			1.03	1.07	1.11	1.15	1.19	1.23	1.28	1.34	1.40	1.46	1.53	1.60	1.68	1.76	1.84
	28			1.21	1.25	1.29	1.33	1.38	1.43	1.49	1.55	1.62	1.69	1.77	1.85	1.93	2.02	2.11
	29			1.39	1.43	1.47	1.52	1.58	1.63	1.70	1.76	1.84	1.92	2.01	2.10	2.19	2.29	2.39
	30			1.57	1.61	1.66	1.72	1.78	1.84	1.91	1.98	2.07	2.15	2.25	2.35	2.45	2.56	2.67
	31			1.75	1.80	1.86	1.92	1.99	2.05	2.13	2.21	2.30	2.39	2.49	2.50	2.71	2.80	2.94
	32			1.94	2.00	2.06	2.13	2.20	2.27	2.35	2.44	2.53	2.63	2.74	2.86	2.97	3.09	3.22
	33				2.20	2.27	2.34	2.42	2.50	2.58	2.67	2.77	2.88	2.99	3.12	3.24	3.37	3.51
	34				2.41	2.46	2.56	2.64	2.72	2.81	2.91	3.02	3.13	3.25	3.28	3.51	3.65	3.79
	35				2.62	2.70	2.78	2.86	2.95	3.05	3.16	3.27	3.39	3.51	3.64	3.78	3.93	4.08
	36				2.83	2.91	3.00	3.09	3.19	3.29	3.41	3.53	3.65	3.78	3.91	4.05	4.21	4.37
	37					3.13	3.23	3.33	3.43	3.54	3.65	3.78	3.91	4.04	4.18	4.33	4.49	4.65
	38					3.35	3.47	3.57	3.68	3.79	3.91	4.03	4.17	4.31	4.45	4.61	4.77	4.94
	39					3.59	3.70	3.81	3.93	4.05	4.17	4.30	4.44	4.58	4.74	4.90	5.06	5.23
	40					3.82	3.94	4.06	4.18	4.31	4.44	4.57	4.71	4.86	5.02	5.19	5.36	5.53

Sigue

TABLA II (continuación)

		Alcohol a t °C																	
		14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
Temperaturas	21	A restar	0.23	0.25	0.26	0.28	0.29	0.30	0.31	0.33	0.34	0.35	0.37	0.38	0.39	0.39	0.40		
	22		0.47	0.49	0.52	0.55	0.57	0.50	0.62	0.65	0.67	0.70	0.72	0.74	0.75	0.76	0.78	0.79	0.80
	23		0.70	0.74	0.78	0.82	0.86	0.90	0.93	0.97	1.01	1.04	1.07	1.10	1.12	1.15	1.17	1.18	1.19
	24		0.94	0.99	1.04	1.10	1.15	1.20	1.25	1.29	1.34	1.39	1.43	1.46	1.50	1.53	1.55	1.57	1.59
	25		1.19	1.25	1.31	1.37	1.43	1.49	1.56	1.62	1.68	1.73	1.78	1.83	1.87	1.90	1.94	1.97	1.99
	26		1.43	1.50	1.57	1.65	1.73	1.80	1.87	1.94	2.01	2.07	2.13	2.19	2.24	2.28	2.32	2.35	2.38
	27		1.68	1.76	1.84	1.93	2.01	2.10	2.18	2.26	2.34	2.41	2.48	2.55	2.61	2.66	2.70	2.74	2.77
	28		1.93	2.02	2.11	2.21	2.31	2.40	2.49	2.58	2.67	2.76	2.83	2.90	2.98	3.03	3.08	3.13	3.17
	29		2.19	2.29	2.39	2.50	2.60	2.70	2.81	2.91	3.00	3.09	3.18	3.26	3.34	3.40	3.46	3.51	3.55
	30		2.45	2.56	2.67	2.78	2.90	3.01	3.12	3.23	3.34	3.44	3.53	3.62	3.70	3.77	3.84	3.90	3.95
	31		2.71	2.83	2.94	3.07	3.19	3.31	3.43	3.55	3.67	3.78	3.88	3.98	4.07	4.15	4.22	4.28	4.33
	32		2.97	3.09	3.22	3.36	3.49	3.62	3.74	3.87	4.00	4.11	4.22	4.33	4.43	4.51	4.59	4.66	4.72
	33		3.24	3.37	3.51	3.65	3.79	3.92	4.06	4.20	4.33	4.45	4.57	4.68	4.79	4.88	4.97	5.04	5.10
	34		3.51	3.65	3.79	3.94	4.09	4.23	4.37	4.52	4.65	4.79	4.91	5.03	5.15	5.25	5.34	5.42	5.49
	35		3.78	3.93	4.08	4.23	4.38	4.53	4.69	4.84	4.98	5.12	5.26	5.38	5.50	5.61	5.71	5.80	5.87
	36		4.05	4.21	4.37	4.52	4.68	4.84	5.00	5.16	5.31	5.46	5.60	5.73	5.86	5.97	6.08	6.17	6.25
	37		4.33	4.49	4.65	4.82	4.98	5.15	5.31	5.48	5.64	5.80	5.95	6.09	6.22	6.33	6.44	6.54	6.63
	38		4.61	4.77	4.94	5.12	5.29	5.46	5.63	5.80	5.97	6.13	6.29	6.43	6.57	6.69	6.81	6.92	7.01
	39		4.90	5.06	5.23	5.41	5.59	5.77	5.94	6.12	6.30	6.47	6.63	6.78	6.93	7.06	7.18	7.29	7.39
	40		5.19	5.36	5.53	5.71	5.90	6.08	6.26	6.44	6.62	6.80	6.97	7.13	7.28	7.41	7.54	7.66	7.76

Anexo D: Extracto en % según densidad (33)

Densidad 20° / 20°	% de ext. g / 100 g	Densidad real 20° / 4°	% de ext. g / 100 ml	Densidad 20° / 20°	% de ext. g / 100 g	Densidad real 20° / 4°	% de ext. g / 100 ml
1,00000	0,00	0,99823	0,00	109	28	932	28
004	01	827	01	113	29	936	29
008	02	831	02	117	0,30	940	0,30
012	03	835	03	121	31	944	31
016	04	839	04	125	32	948	32
020	05	843	05	128	33	951	33
024	06	847	06	132	34	955	34
028	07	851	07	136	35	959	35
031	08	854	08	140	36	963	36
035	09	858	09	144	37	967	37
039	0,10	862	0,10	148	38	971	38
043	11	866	11	152	39	975	39
047	12	870	12	156	0,40	979	0,40
051	13	874	13	160	41	983	41
055	14	878	14	164	42	987	42
059	15	882	15	167	43	990	43
063	16	886	16	172	44	994	44
067	17	890	17	176	45	998	45
070	18	893	18	180	46	1,00002	46
074	19	897	19	184	47	006	47
078	0,20	0,99901	0,20	187	48	009	48
082	21	905	21	191	49	013	49
086	22	909	22	195	0,50	017	0,50
089	23	912	23	199	51	021	51
093	24	916	24	1,00203	52	025	52
097	25	920	25	207	53	029	53
1,00101	26	924	26	211	54	033	54
105	27	928	27	215	55	037	55

Densidad 20° / 20°	% de ext. g / 100 g	Densidad real 20° / 4°	% de ext. g / 100 ml	Densidad 20° / 20°	% de ext. g / 100 g	Densidad real 20° / 4°	% de ext. g / 100 ml
219	56	041	56	394	01	216	01
223	57	045	57	398	02	220	02
226	58	048	58	1,00401	03	223	03
230	59	052	59	405	04	227	04
234	0,60	056	0,60	409	05	231	05
238	61	060	61	413	06	235	06
242	62	064	62	417	07	239	07
246	63	068	63	421	08	243	08
250	64	072	64	425	09	247	09
254	65	076	65	429	1,10	251	1,10
258	66	080	66	433	11	255	11
262	67	084	67	437	12	259	12
265	68	087	68	440	13	262	13
269	69	091	69	444	14	266	14
273	0,70	095	0,70	448	15	270	15
277	71	099	71	452	16	274	16
281	72	1,00103	72	456	17	278	17
285	73	107	73	460	18	282	18
289	74	111	74	464	19	286	19
293	75	115	75	468	1,20	290	1,20
297	76	119	76	472	21	294	21
1,00301	77	123	77	476	22	298	22
304	78	126	78	479	23	1,00301	23
308	79	130	79	483	24	305	24
312	0,80	134	0,80	487	25	309	25
316	81	138	81	491	26	313	26
320	82	142	82	495	27	317	27
324	83	146	83	499	28	321	28
328	84	150	84	1,00503	29	325	29
332	85	154	85	508	1,30	329	1,30
336	86	158	86	512	31	333	31
340	87	162	87	516	32	337	32
343	88	165	88	519	33	340	33
347	89	169	89	523	34	344	34
351	0,90	173	0,90	527	35	348	35
355	91	177	91	531	36	352	36
359	92	181	92	535	37	356	37
363	93	185	93	539	38	360	38
367	94	189	94	543	39	364	1,40
371	95	193	95	547	1,40	368	41
375	96	197	96	551	41	372	42
379	97	1,00201	97	555	42	376	43
382	98	204	98	558	43	379	44
386	99	208	99	562	44	383	45
390	1,00	212	1,00	566	45	387	46

Densidad 20° / 20°	% de ext. g / 100 g	Densidad real 20° / 4°	% de ext. g / 100 ml	Densidad 20° / 20°	% de ext. g / 100 g	Densidad real 20° / 4°	% de ext. g / 100 ml
570	46	391	47	745	91	566	92
574	47	395	48	749	92	570	93
577	48	398	49	753	93	574	94
581	49	1,00402	1,50	757	94	578	95
585	1,50	406	51	761	95	582	96
589	51	410	52	765	96	586	97
593	52	414	53	769	97	590	98
597	53	418	54	773	98	594	99
1,00601	54	422	55	777	99	598	2,00
605	55	426	56	781	2,00	1,00602	01
609	56	430	57	785	01	606	02
613	57	434	58	789	02	610	03
616	58	437	59	792	03	613	04
620	59	441	1,60	796	04	617	05
624	1,60	445	61	1,00800	05	621	06
628	61	449	62	804	06	625	07
632	62	453	63	808	07	629	08
636	63	457	64	812	08	633	09
640	64	461	65	816	09	637	2,10
644	65	465	66	820	2,10	641	11
648	66	469	67	824	11	645	12
652	67	473	68	828	12	649	13
655	68	476	69	831	13	652	14
659	69	480	1,70	835	14	656	15
663	1,70	484	71	840	15	660	16
667	71	488	72	844	16	664	17
671	72	492	73	848	17	668	18
675	73	496	74	852	18	672	19
679	74	1,00500	75	856	19	676	2,20
683	75	504	76	860	2,20	680	21
687	76	508	77	864	21	684	23
691	77	512	78	868	22	688	24
694	78	515	79	871	23	691	25
698	79	519	1,80	875	24	695	26
1,00702	1,80	523	81	879	25	699	27
706	81	527	82	883	26	1,00703	28
710	82	531	83	887	27	707	29
714	83	535	84	891	28	711	2,30
718	84	539	85	895	29	715	31
722	85	543	86	899	2,30	719	32
726	86	547	87	1,00903	31	723	33
730	87	551	88	907	32	727	34
733	88	554	89	910	33	730	35
737	89	558	1,90	914	34	734	36
741	1,90	562	91	918	35	738	37

Densidad 20° / 20°	% de ext. g / 100 g	Densidad real 20° / 4°	% de ext. g / 100 ml	Densidad 20° / 20°	% de ext. g / 100 g	Densidad real 20° / 4°	% de ext. g / 100 ml
922	36	742	38	099	81	919	84
926	37	746	39	1,01103	82	923	85
930	38	750	2,40	106	83	926	86
934	39	754	41	110	84	930	87
938	2,40	758	42	114	85	934	88
942	41	762	43	118	86	938	89
946	42	766	44	122	87	942	2,90
950	43	770	45	126	88	946	91
954	44	774	46	130	89	950	92
958	45	778	47	134	2,90	954	93
962	46	782	48	138	91	958	94
966	47	786	49	142	92	962	95
969	48	789	2,50	146	93	966	96
973	49	793	51	150	94	970	97
977	2,50	797	52	154	95	974	98
981	51	1,00801	53	158	96	978	99
985	52	805	54	162	97	982	3,00
989	53	809	55	165	98	985	01
993	54	813	56	169	99	989	02
997	55	817	57	173	3,00	993	03
1,01001	56	821	58	178	01	997	04
005	57	825	59	182	02	1,01001	05
008	58	828	2,60	186	03	005	06
012	59	832	61	190	04	009	07
016	2,60	836	62	194	05	013	08
020	61	840	63	198	06	017	09
024	62	844	64	1,01202	07	021	3,10
028	63	848	65	206	08	025	11
032	64	852	66	210	09	029	12
036	65	856	67	214	3,10	033	13
040	66	860	68	218	11	037	14
044	67	864	69	222	12	041	15
048	68	868	2,70	225	13	044	16
052	69	872	71	229	14	048	17
056	2,70	876	72	233	15	052	18
060	71	880	73	237	16	056	19
064	72	884	74	241	17	060	3,20
067	73	887	75	245	18	064	21
071	74	891	76	249	19	068	22
075	75	895	77	253	3,20	072	23
079	76	899	78	257	21	076	24
083	77	1,00903	2,80	261	22	080	25
087	78	907	81	265	23	084	27
091	79	911	82	269	24	088	28
095	2,80	915	83	273	25	092	29

Densidad 20° / 20°	% de ext. g / 100 g	Densidad real 20° / 4°	% de ext. g / 100 ml	Densidad 20° / 20°	% de ext. g / 100 g	Densidad real 20° / 4°	% de ext. g / 100 ml
277	26	096	3,30	454	71	273	76
281	27	1,01100	31	458	72	277	77
285	28	104	32	462	73	281	78
289	29	108	33	466	74	285	79
293	3,30	112	34	470	75	289	3,80
297	31	116	35	474	76	293	81
1,01301	32	120	36	478	77	297	82
304	33	123	37	482	78	1,01301	83
308	34	127	38	486	79	305	84
312	35	131	39	490	3,80	309	85
316	36	135	3,40	494	81	313	86
320	37	139	41	498	82	317	87
324	38	143	42	1,01502	83	321	88
328	39	147	43	506	84	325	89
332	3,40	151	44	510	85	329	3,90
336	41	155	45	515	86	333	91
340	42	159	46	519	87	337	92
344	43	163	47	523	88	341	93
348	44	167	48	527	89	345	94
352	45	171	49	531	3,90	319	95
356	46	175	3,50	535	91	353	96
360	47	179	51	539	92	357	97
363	48	182	52	542	93	360	98
367	49	186	53	546	94	364	99
371	3,50	190	54	550	95	368	4,00
375	51	194	55	554	96	372	01
379	52	198	56	558	97	376	02
383	53	1,01202	57	562	98	380	03
387	54	206	58	566	99	384	05
391	55	210	59	570	4,00	388	06
395	56	214	3,60	574	01	392	07
399	57	218	61	578	02	396	08
1,01403	58	222	62	582	03	1,01400	09
407	59	226	63	586	04	404	4,10
411	3,60	230	64	590	05	408	11
415	61	234	65	594	06	412	12
419	62	238	66	598	07	416	13
423	63	242	68	1,01602	08	420	14
427	64	246	69	606	09	424	15
431	65	250	3,70	610	4,10	428	16
435	66	254	71	614	11	432	17
439	67	258	72	618	12	436	18
442	68	261	73	622	13	440	19
446	69	265	74	626	14	444	4,20
450	3,70	269	75	630	15	448	21

Densidad 20° / 20°	% de ext. g / 100 g	Densidad real 20° / 4°	% de ext. g / 100 ml	Densidad 20° / 20°	% de ext. g / 100 g	Densidad real 20° / 4°	% de ext. g / 100 ml
634	16	452	22	812	61	630	69
638	17	456	23	816	62	634	4,70
641	18	459	24	820	63	638	71
645	19	463	25	824	64	642	72
649	4,20	467	26	828	65	646	73
653	21	471	27	832	66	650	74
657	22	475	28	836	67	654	75
661	23	479	29	840	68	658	76
665	24	483	4,30	844	69	662	77
669	25	487	31	849	4,70	666	78
673	26	491	32	853	71	670	79
677	27	495	33	857	72	674	4,80
681	28	499	34	861	73	678	81
685	29	1,01503	35	865	74	682	82
689	4,30	507	36	869	75	686	83
693	31	511	38	873	76	690	84
697	32	515	39	877	77	694	85
1,01701	33	519	4,40	881	78	698	86
705	34	523	41	885	79	1,01702	87
709	35	527	42	889	4,80	706	88
713	36	531	43	893	81	710	89
717	37	535	44	897	82	714	4,90
721	38	539	45	1,01901	83	718	91
725	39	543	46	905	84	722	92
729	4,40	547	47	909	85	726	93
733	41	551	48	913	86	730	94
737	42	555	49	917	87	734	95
741	43	559	4,50	921	88	738	96
745	44	563	51	925	89	742	98
749	45	567	52	929	4,90	746	99
753	46	571	53	933	91	750	5,00
757	47	575	54	937	92	754	01
760	48	578	55	941	93	758	02
764	49	582	56	945	94	762	03
768	4,50	586	57	949	95	766	04
772	51	590	58	953	96	770	05
776	52	594	59	957	97	774	06
780	53	598	4,60	960	98	777	07
784	54	1,01602	61	964	99	781	08
788	55	606	62	968	5,00	785	09
792	56	610	63	972	01	789	5,10
796	57	614	64	976	02	793	11
1,01800	58	618	65	980	03	797	12
804	59	622	66	984	04	1,01801	13
808	4,60	626	67	988	05	805	14

Densidad 20° / 20°	% de ext. g / 100 g	Densidad real 20° / 4°	% de ext. g / 100 ml	Densidad 20° / 20°	% de ext. g / 100 g	Densidad real 20° / 4°	% de ext. g / 100 ml
992	06	809	15	172	51	989	62
996	07	813	16	176	52	993	63
1,02000	08	817	17	180	53	997	64
004	09	821	18	185	54	1,02001	65
008	5,10	825	19	189	55	005	66
012	11	829	5,20	193	56	009	67
016	12	833	21	197	57	013	68
020	13	837	22	1,02201	58	017	69
024	14	841	23	205	59	021	5,70
028	15	845	25	209	5,60	025	71
032	16	849	26	213	61	029	72
036	17	853	27	217	62	033	73
040	18	857	28	221	63	037	74
044	19	861	29	225	64	041	76
048	5,20	865	5,30	229	65	045	77
052	21	869	31	233	66	049	78
056	22	873	32	237	67	053	79
060	23	877	33	241	68	057	5,80
064	24	881	34	245	69	061	81
068	25	885	35	249	5,70	065	82
072	26	889	36	253	71	069	83
076	27	893	37	257	72	073	84
080	28	897	38	261	73	077	85
084	29	1,01901	39	265	74	081	86
088	5,30	905	5,40	269	75	085	87
092	31	909	41	273	76	089	88
096	32	913	42	277	77	093	89
1,02100	33	917	43	281	78	097	5,90
104	34	921	44	285	79	1,02101	91
108	35	925	45	289	5,80	105	92
112	36	929	46	293	81	109	93
116	37	933	47	297	82	113	94
120	38	937	48	1,02301	83	117	95
124	39	941	49	305	84	121	96
128	5,40	945	5,51	309	85	125	97
132	41	949	52	313	86	129	98
136	42	953	53	317	87	133	6,00
140	43	957	54	321	88	137	01
144	44	961	55	325	89	141	02
148	45	965	56	329	5,90	145	03
152	46	969	57	333	91	149	04
156	47	973	58	337	92	153	05
160	48	977	59	341	93	157	06
164	49	981	5,60	345	94	161	07
168	5,50	985	61	349	95	165	08

Densidad 20° / 20°	% de ext. g / 100 g	Densidad real 20° / 4°	% de ext. g / 100 ml	Densidad 20° / 20°	% de ext. g / 100 g	Densidad real 20° / 4°	% de ext. g / 100 ml
353	96	169	09	535	41	350	56
357	97	173	6,10	539	42	354	57
362	98	178	11	544	43	359	58
366	99	182	12	548	44	363	59
370	6,00	186	13	552	45	367	6,60
374	01	190	14	556	46	371	61
378	02	194	15	560	47	375	62
382	03	198	16	564	48	379	63
386	04	1,02202	17	568	49	383	64
390	05	206	18	572	6,50	387	66
394	06	210	19	576	51	391	67
398	07	214	6,20	580	52	395	68
1,02402	08	218	21	584	53	399	69
406	09	222	23	588	54	1,02403	6,70
410	6,10	226	24	592	55	407	71
414	11	230	25	596	56	411	72
418	12	234	26	1,02600	57	415	73
422	13	238	27	604	58	419	74
426	14	242	28	608	59	423	75
430	15	246	29	612	6,60	427	76
434	16	250	6,30	616	61	431	77
438	17	254	31	620	62	435	78
442	18	258	32	624	63	439	79
446	19	262	33	628	64	443	6,80
450	6,20	266	34	632	65	447	81
454	21	270	35	636	66	451	82
458	22	274	36	640	67	455	83
462	23	278	37	644	68	459	84
466	24	282	38	648	69	463	85
470	25	286	39	652	6,70	467	87
474	26	290	6,40	656	71	471	88
478	27	294	41	660	72	475	89
482	28	298	42	665	73	480	6,90
486	29	1,02302	43	669	74	484	91
490	6,30	306	45	673	75	488	92
494	31	310	46	677	76	492	93
498	32	314	47	681	77	496	94
1,02502	33	318	48	685	78	1,02500	95
506	34	322	49	689	79	504	96
510	35	326	6,50	693	6,80	508	97
514	36	330	51	697	81	512	98
519	37	334	52	1,02701	82	516	99
523	38	338	53	705	83	520	7,00
527	39	342	54	709	84	524	01
531	6,40	346	55	713	85	528	02

Densidad 20° / 20°	% de ext. g / 100 g	Densidad real 20° / 4°	% de ext. g / 100 ml	Densidad 20° / 20°	% de ext. g / 100 g	Densidad real 20° / 4°	% de ext. g / 100 ml
717	86	532	03	1,02900	31	714	51
721	87	536	04	904	32	718	52
725	88	540	05	908	33	722	53
729	89	544	07	912	34	726	54
733	6,90	548	08	916	35	730	55
737	91	552	09	920	36	734	56
741	92	556	7,10	924	37	738	57
745	93	560	11	928	38	742	58
749	94	564	12	932	39	746	59
753	95	568	13	936	7,40	750	7,60
757	96	572	14	940	41	754	61
761	97	576	15	944	42	758	62
766	98	581	16	949	43	763	64
770	99	585	17	953	44	767	65
774	7,00	589	18	957	45	771	66
778	01	593	19	961	46	775	67
782	02	597	7,20	965	47	779	68
786	03	1,02601	21	969	48	783	69
790	04	605	22	973	49	787	7,70
794	05	609	23	977	7,50	791	71
798	06	613	24	981	51	795	72
1,02802	07	617	26	985	52	799	73
806	08	621	27	989	53	1,02803	74
810	09	625	28	993	54	807	75
814	7,10	629	29	997	55	811	76
818	11	633	7,30	1,03001	56	815	77
822	12	637	31	005	57	819	78
826	13	641	32	010	58	824	79
830	14	645	33	014	59	828	7,80
834	15	649	34	018	7,60	832	82
838	16	653	35	022	61	836	83
842	17	657	36	026	62	840	84
846	18	661	37	030	63	844	85
850	19	665	38	034	64	848	86
855	7,20	669	39	038	65	852	87
859	21	673	7,40	042	66	856	88
863	22	677	41	046	67	860	89
868	23	682	42	050	68	864	7,90
872	24	686	43	054	69	868	91
876	25	690	45	058	7,70	872	92
880	26	694	46	062	71	876	93
884	27	698	47	066	72	880	94
888	28	1,02702	48	071	73	885	95
892	29	706	49	075	74	889	96
896	7,30	710	7,50	079	75	893	97

Densidad 20° / 20°	% de ext. g / 100 g	Densidad real 20° / 4°	% de ext. g / 100 ml	Densidad 20° / 20°	% de ext. g / 100 g	Densidad real 20° / 4°	% de ext. g / 100 ml
083	76	897	98	267	21	080	46
087	77	1,02901	8,00	271	22	084	47
091	78	905	01	275	23	088	48
095	79	909	02	279	24	092	49
099	7,80	913	03	283	25	096	8,51
1,03103	81	917	04	287	26	1,03100	52
107	82	921	05	291	27	104	53
111	83	925	06	296	28	109	54
115	84	929	07	1,03300	29	113	55
119	85	933	08	304	8,30	117	56
123	86	937	09	308	31	121	57
127	87	941	8,10	312	32	125	58
132	88	946	11	316	33	129	59
136	89	950	12	320	34	133	8,60
140	7,90	954	13	324	35	137	61
144	91	958	14	328	36	141	62
148	92	962	15	332	37	145	63
152	93	966	17	336	38	149	64
156	94	970	18	340	39	153	65
160	95	974	19	344	8,40	157	67
164	96	978	8,20	348	41	161	68
168	97	982	21	352	42	165	69
172	98	986	22	357	43	170	8,70
176	99	990	23	361	44	174	71
180	8,00	994	24	365	45	178	72
184	01	998	25	369	46	182	73
189	02	1,03002	26	373	47	186	74
194	03	007	27	377	48	190	75
198	04	011	28	381	49	194	76
1,03202	05	015	29	385	8,50	198	77
206	06	019	8,30	389	51	1,03202	78
210	07	023	31	393	52	206	79
214	08	027	32	398	53	211	8,80
218	09	031	34	1,03402	54	215	81
222	8,10	035	35	406	55	219	83
226	11	039	36	410	56	223	84
230	12	043	37	414	57	227	85
234	13	047	38	418	58	231	86
238	14	051	39	422	59	235	87
242	15	055	8,40	426	8,60	239	88
246	16	059	41	430	61	243	89
250	17	063	42	434	62	247	8,90
255	18	068	43	439	63	252	91
259	19	072	44	443	64	256	92
263	8,20	076	45	447	65	260	93

Densidad 20° / 20°	% de ext. g / 100 g	Densidad real 20° / 4°	% de ext. g / 100 ml	Densidad 20° / 20°	% de ext. g / 100 g	Densidad real 20° / 4°	% de ext. g / 100 ml
451	66	264	94	636	11	448	42
455	67	268	95	640	12	452	43
459	68	272	96	644	13	456	45
463	69	276	97	648	14	460	46
467	8,70	280	99	652	15	464	47
471	71	284	9,00	656	16	468	48
475	72	288	01	660	17	472	49
479	73	292	02	665	18	477	9,50
483	74	296	03	669	19	481	51
487	75	1,03300	04	673	9,20	485	52
491	76	304	05	677	21	489	53
495	77	308	06	681	22	493	54
1,03500	78	313	07	686	23	498	55
504	79	317	08	690	24	1,03502	56
508	8,80	321	09	694	25	506	57
512	81	325	9,10	698	26	510	59
516	82	329	11	1,03702	27	514	9,60
520	83	333	12	706	28	518	61
525	84	337	13	710	29	522	62
529	85	341	15	714	9,30	526	63
533	86	345	16	718	31	530	64
537	87	349	17	722	32	534	65
542	88	354	18	727	33	539	66
546	89	358	19	731	34	543	67
550	8,90	362	9,20	735	35	547	68
554	91	366	21	739	36	551	69
558	92	370	22	743	37	555	9,70
562	93	374	23	747	38	559	71
566	94	378	24	751	39	563	72
570	95	382	25	755	9,40	567	74
574	96	386	26	750	41	571	75
578	97	390	27	763	42	575	76
583	98	395	28	768	43	580	77
587	99	399	9,30	772	44	584	78
591	9,00	1,03403	31	776	45	588	79
595	01	407	32	780	46	592	9,80
599	02	411	33	784	47	596	81
1,03603	03	415	34	788	48	1,03600	82
607	04	419	35	792	49	604	83
611	05	423	36	796	9,50	608	84
615	06	427	37	1,03800	51	612	85
619	07	431	38	804	52	616	86
624	08	436	39	809	53	621	88
628	09	440	9,40	813	54	625	89
632	9,10	444	41	817	55	629	9,90

Densidad 20° / 20°	% de ext. g / 100 g	Densidad real 20° / 4°	% de ext. g / 100 ml	Densidad 20° / 20°	% de ext. g / 100 g	Densidad real 20° / 4°	% de ext. g / 100 ml
821	56	633	91	007	01	818	39
825	57	637	92	011	02	822	10,40
829	58	641	93	016	03	827	41
833	59	645	94	020	04	831	42
837	9,60	649	95	024	05	835	44
841	61	653	96	028	06	839	45
845	62	657	97	032	07	843	46
850	63	662	98	037	08	848	47
854	64	666	99	041	09	852	48
858	65	670	10,00	045	10,10	856	49
863	66	674	01	049	11	860	10,50
867	67	678	03	053	12	864	51
872	68	683	04	057	13	868	52
876	69	687	05	061	14	872	53
880	9,70	691	06	065	15	876	54
884	71	695	07	069	16	880	55
888	72	699	08	073	17	884	57
892	73	1,03703	09	078	18	889	58
896	74	707	10,10	082	19	893	59
1,03900	75	711	11	086	10,20	897	10,60
904	76	715	12	090	21	1,03901	61
908	77	719	13	094	22	905	62
913	78	724	14	099	23	910	63
917	79	728	15	1,04103	24	914	64
921	9,80	732	17	107	25	918	65
925	81	736	18	111	26	922	66
929	82	740	19	115	27	926	67
933	83	744	10,20	119	28	930	68
937	84	748	21	123	29	934	69
941	85	752	22	127	10,30	938	10,71
945	86	756	23	131	31	942	72
949	87	760	24	135	32	946	73
954	88	765	25	140	33	951	74
958	89	769	26	144	34	955	75
962	9,90	773	27	148	35	959	76
966	91	777	28	152	36	963	77
970	92	781	10,30	156	37	967	78
975	93	786	31	161	38	972	79
979	94	790	32	165	39	976	10,80
983	95	794	33	169	10,40	980	81
987	96	798	34	173	41	984	82
991	97	1,03802	35	177	42	988	84
995	98	806	36	181	43	992	85
999	99	810	37	185	44	996	86
1,04003	10,00	814	38	189	45	1,04000	87

Densidad 20° / 20°	% de ext. g / 100 g	Densidad real 20° / 4°	% de ext. g / 100 ml	Densidad 20° / 20°	% de ext. g / 100 g	Densidad real 20° / 4°	% de ext. g / 100 ml
193	46	004	88	381	91	191	37
198	47	008	89	385	92	195	38
1,04203	48	013	10,90	390	93	1,04200	39
207	49	017	91	394	94	204	11,40
211	10,50	021	92	398	95	208	41
215	51	025	93	1,04402	96	212	42
219	52	029	94	406	97	216	43
224	53	034	95	411	98	221	44
228	54	038	97	415	99	225	45
232	55	042	98	419	11,00	229	47
236	56	046	99	423	01	233	48
240	57	050	11,00	427	02	237	49
245	58	055	01	432	03	242	11,50
249	59	059	02	436	04	246	51
253	10,60	063	03	440	05	250	52
257	61	067	04	444	06	254	53
261	62	071	05	448	07	258	54
265	63	075	06	452	08	262	55
269	64	079	07	456	09	266	56
273	65	083	08	460	11,10	270	57
277	66	087	11,10	464	11	274	58
281	67	091	11	468	12	278	11,60
286	68	096	12	473	13	283	61
290	69	1,04100	13	477	14	287	62
294	10,70	104	14	481	15	291	63
298	71	108	15	485	16	295	64
1,04302	72	112	16	489	17	299	65
307	73	117	17	494	18	1,04304	66
311	74	121	18	498	19	308	67
315	75	125	19	1,04502	11,20	312	68
319	76	129	11,20	506	21	316	69
323	77	133	22	510	22	320	11,70
328	78	138	23	515	23	325	72
332	79	142	24	519	24	329	73
336	10,80	146	25	523	25	333	74
340	81	150	26	527	26	337	75
344	82	154	27	532	27	341	76
348	83	158	28	537	28	346	77
352	84	162	29	541	29	350	78
356	85	166	11,30	545	11,30	354	79
360	86	170	31	549	31	358	11,80
364	87	174	32	553	32	362	81
369	88	179	33	558	33	367	82
373	89	183	35	562	34	371	84
377	10,90	187	36	566	35	375	85

Densidad 20° / 20°	% de ext. g / 100 g	Densidad real 20° / 4°	% de ext. g / 100 ml	Densidad 20° / 20°	% de ext. g / 100 g	Densidad real 20° / 4°	% de ext. g / 100 ml
570	36	379	86	758	81	567	35
574	37	383	87	762	82	571	36
578	38	387	88	766	83	575	37
582	39	391	89	770	84	579	38
586	11,40	395	11,90	774	85	583	39
590	41	399	91	778	86	587	12,40
594	42	1,04403	92	782	87	591	41
599	43	408	93	787	88	596	43
1,04603	44	412	94	791	89	1,04600	44
607	45	416	96	795	11,90	604	45
611	46	420	97	799	91	608	46
615	47	424	98	1,04803	92	612	47
620	48	429	99	808	93	617	48
624	49	433	12,00	812	94	621	49
628	11,50	437	01	816	95	625	12,50
632	51	441	02	820	96	629	51
636	52	445	03	824	97	633	52
641	53	450	04	829	98	638	54
645	54	454	05	833	99	642	55
649	55	458	06	837	12,00	646	56
653	56	462	08	841	01	650	57
657	57	466	09	845	02	654	58
662	58	471	12,10	850	03	659	59
666	59	475	11	854	04	663	12,60
670	11,60	479	12	858	05	667	61
674	61	483	13	862	06	671	62
678	62	487	14	867	07	675	63
683	63	492	15	872	08	680	65
687	64	496	16	876	09	684	66
691	65	1,04500	17	880	12,10	688	67
695	66	504	19	884	11	692	68
699	67	508	12,20	888	12	696	69
1,04704	68	513	21	893	13	1,04701	12,70
708	69	517	22	897	14	705	71
712	11,70	521	23	1,04901	15	709	72
716	71	525	24	905	16	713	73
720	72	529	25	909	17	717	74
725	73	534	26	914	18	722	76
729	74	538	27	918	19	726	77
733	75	542	28	922	12,20	730	78
737	76	546	29	926	21	734	79
741	77	550	12,31	930	22	738	12,80
746	78	555	32	935	23	743	81
750	79	559	33	939	24	747	82
754	11,80	563	34	943	25	751	83

Densidad 20° / 20°	% de ext. g / 100 g	Densidad real 20° / 4°	% de ext. g / 100 ml	Densidad 20° / 20°	% de ext. g / 100 g	Densidad real 20° / 4°	% de ext. g / 100 ml
947	26	755	84	136	71	944	34
951	27	759	85	140	72	948	35
956	28	764	87	145	73	953	36
960	29	768	88	149	74	957	37
964	12,30	772	89	153	75	961	38
968	31	776	12,90	157	76	965	39
972	32	780	91	161	77	969	13,40
977	33	785	92	166	78	974	42
981	34	789	93	170	79	978	43
985	35	793	94	174	12,80	982	44
989	36	797	95	178	81	986	45
993	37	1,04801	96	182	82	990	46
998	38	806	97	187	83	995	47
1,05002	39	810	99	191	84	999	48
006	12,40	814	13,00	195	85	1,05003	49
010	41	818	01	199	86	007	13,50
014	42	822	02	1,05204	87	011	51
019	43	827	03	209	88	016	53
023	44	831	04	213	89	020	54
027	45	835	05	217	12,90	024	55
031	46	839	06	221	91	028	56
035	47	843	07	225	92	032	57
040	48	848	09	230	93	037	58
044	49	852	13,10	234	94	041	59
048	12,50	856	11	238	95	045	13,60
052	51	860	12	242	96	049	61
056	52	864	13	247	97	054	63
061	53	869	14	251	98	058	64
065	54	873	15	256	99	063	65
069	55	877	16	260	13,00	067	66
073	56	881	17	264	01	071	67
077	57	885	18	268	02	075	68
082	58	890	13,20	273	03	080	69
086	59	894	21	277	04	084	13,70
090	12,60	898	22	281	05	088	71
094	61	1,04902	23	285	06	092	73
098	62	906	24	289	07	096	74
1,05103	63	911	25	294	08	1,05101	75
107	64	915	26	298	09	105	76
111	65	919	27	1,05302	13,10	109	77
115	66	923	28	306	11	113	78
119	67	927	29	310	12	117	79
124	68	932	13,31	315	13	122	13,80
128	69	936	32	319	14	126	81
132	12,70	940	33	323	15	130	82

Densidad 20° / 20°	% de ext. g / 100 g	Densidad real 20° / 4°	% de ext. g / 100 ml	Densidad 20° / 20°	% de ext. g / 100 g	Densidad real 20° / 4°	% de ext. g / 100 ml
327	16	134	84	517	61	324	33
331	17	138	85	512	62	328	35
336	18	143	86	526	63	333	36
340	19	147	87	530	64	337	37
344	13,20	151	88	534	65	341	38
348	21	155	89	539	66	345	39
352	22	159	13,90	544	67	350	14,40
357	23	164	91	548	68	354	41
361	24	168	92	553	69	359	42
365	25	172	94	557	13,70	363	43
369	26	176	95	561	71	367	45
373	27	180	96	565	72	371	46
378	28	185	97	570	73	376	47
382	29	189	98	574	74	380	48
386	13,30	193	99	578	75	384	49
390	31	197	14,00	582	76	388	14,50
394	32	1,05201	01	586	77	392	51
399	33	206	02	591	78	397	52
1,05403	34	210	04	595	79	1,05401	53
407	35	214	05	599	13,80	405	55
411	36	218	06	1,05603	81	409	56
416	37	223	07	607	82	413	57
420	38	227	08	612	83	418	58
425	39	232	09	616	84	422	59
429	13,40	236	14,10	620	85	426	14,60
433	41	240	11	624	86	430	61
437	42	244	12	629	87	435	62
442	43	249	13	633	88	439	63
446	44	253	15	638	89	444	65
450	45	257	16	642	13,90	448	66
454	46	261	17	646	91	452	67
458	47	265	18	650	92	456	68
463	48	270	19	655	93	461	69
467	49	274	14,20	659	94	465	14,70
471	13,50	278	21	663	95	469	71
475	51	282	22	667	96	473	72
479	52	286	23	671	97	477	74
484	53	291	25	676	98	482	75
488	54	295	26	680	99	486	76
492	55	299	27	684	14,00	490	77
496	56	1,05303	28	688	01	494	78
1,05500	57	307	29	692	02	498	79
505	58	312	14,30	697	03	1,05503	14,80
509	59	316	31	1,05701	04	507	81
513	13,60	320	32	705	05	511	82

Densidad 20° / 20°	% de ext. g / 100 g	Densidad real 20° / 4°	% de ext. g / 100 ml	Densidad 20° / 20°	% de ext. g / 100 g	Densidad real 20° / 4°	% de ext. g / 100 ml
709	06	515	84	1,05902	51	707	34
714	07	520	85	906	52	711	35
718	08	524	86	911	53	716	36
723	09	529	87	915	54	720	37
727	14,10	533	88	919	55	724	38
731	11	537	89	923	56	728	39
735	12	541	14,90	928	57	733	15,41
740	13	546	91	932	58	737	42
744	14	550	92	937	59	742	43
748	15	554	94	941	14,60	746	44
752	16	558	95	945	61	750	45
756	17	562	96	949	62	754	46
761	18	567	97	954	63	759	47
765	19	571	98	958	64	763	48
769	14,20	575	99	962	65	767	49
773	21	579	15,00	966	66	771	15,51
777	22	583	01	970	67	775	52
782	23	588	03	975	68	780	53
786	24	592	04	979	69	784	54
790	25	596	05	983	14,70	788	55
794	26	1,05600	06	987	71	792	56
799	27	605	07	992	72	797	57
1,05803	28	609	08	996	73	1,05801	58
808	29	614	09	1,06001	74	806	15,60
812	14,30	618	15,10	005	75	810	61
816	31	622	11	009	76	814	62
820	32	626	13	013	77	818	63
825	33	631	14	018	78	823	64
829	34	635	15	022	79	827	65
833	35	639	16	026	14,80	831	66
837	36	643	17	030	81	835	67
841	37	647	18	034	82	839	69
846	38	652	19	039	83	844	15,70
850	39	656	15,20	043	84	848	71
854	14,40	660	22	047	85	852	72
858	41	664	23	051	86	856	73
863	42	669	24	056	87	861	74
867	43	673	25	060	88	865	75
872	44	678	26	065	89	870	76
877	45	682	27	069	14,90	874	78
881	46	686	28	073	91	878	79
885	47	690	29	077	92	882	15,80
890	48	695	15,30	082	93	887	81
894	49	699	32	086	94	891	82
898	14,50	1,05703	33	090	95	895	83

Densidad 20° / 20°	% de ext. g / 100 g	Densidad real 20° / 4°	% de ext. g / 100 ml	Densidad 20° / 20°	% de ext. g / 100 g	Densidad real 20° / 4°	% de ext. g / 100 ml
094	96	899	84	245	31	049	24
099	97	1,05904	85	250	32	054	25
1,06103	98	908	87	254	33	058	26
108	99	913	88	259	34	063	27
112	15,00	917	89	263	35	067	28
116	01	921	15,90	267	36	071	29
120	02	925	91	271	37	075	16,30
125	03	930	92	276	38	080	32
129	04	934	93	280	39	084	33
133	05	938	94	284	15,40	088	34
137	06	942	95	288	41	092	35
141	07	946	97	292	42	096	36
146	08	951	98	297	43	1,06101	37
150	09	955	99	1,06301	44	105	38
154	15,10	959	16,00	305	45	109	39
158	11	963	01	309	46	113	16,41
163	12	968	02	314	47	118	42
167	13	972	03	318	48	122	43
172	14	977	04	323	49	127	44
176	15	981	06	327	15,50	131	45
180	16	985	07	331	51	135	46
184	17	989	08	335	52	139	47
189	18	994	09	340	53	144	48
193	19	998	16,10	344	54	148	16,50
197	15,20	1,06002	11	348	55	152	51
1,06201	21	006	12	352	56	156	52
206	22	011	13	357	57	161	53
211	23	015	15	361	58	165	54
216	24	020	16	366	59	170	55
220	25	024	17	370	15,60	174	56
224	26	028	18	374	61	178	57
228	27	032	19	378	62	182	59
233	28	037	16,20	383	63	187	16,60
237	29	041	21	387	64	191	61
241	15,30	045	22				

Anexo E: Hoja de datos

Temperatura Laboratorio				
DESTILACIÓN				
Matraz destilación vacío			Matraz aforado vacío	
Matraz residuo destilación			Matraz aforado	
PICNÓMETRO				
Determinación densidades				
Temperatura habitación				
Densidad agua a Temp. Hab.				
Picnómetro vacío			Picnómetro con muestra 1	
Picnómetro con agua			Picnómetro con muestra 2	
Densidad relativa				
Densidad muestra 1			Grado alcohólico muestra 1	
Densidad muestra 2			Grado alcohólico muestra 2	
Extracto real				
Picnómetro vacío			Picnómetro con muestra 1	
Picnómetro con agua			Picnómetro con muestra 2	
Densidad relativa				
Densidad muestra 1			Extracto real 1	
Densidad muestra 2			Extracto real 2	
TURBIDEZ				
Turbidez permanente			Turbidez total	
Turbidez fría				
COLOR				
Absorbancia 1			EBC 1	
Absorbancia 2			EBC 2	
Absorbancia 3			EBC 3	

