



ELABORACIÓN DE CERVEZA ARTESANAL A PARTIR DE SUBPRODUCTOS DE CEREAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Curso: 2018/19

**Alumna:
Lucía Rojo León**

**Tutores:
Carlos Martín Lobera
Daniel Sancho Rincón**

Máster en Calidad, Desarrollo e Innovación de Alimentos
E.T.S. Ingenierías Agrarias, Campus de la Yutera (Palencia)
Universidad de Valladolid

RESUMEN.

La cerveza es una bebida muy popular en todo el mundo. Actualmente, ha aumentado el número de empresas dedicadas a su producción, algunas de ellas de pequeño tamaño. Precisamente estas últimas, buscan encontrar diferentes ingredientes que les permitan abaratar costes, manteniendo el producto con buenas características organolépticas. En este trabajo se plantea la sustitución parcial de la malta de cebada por diferentes tipos de pan, lo que además de reducir el precio de producción, ofrece al consumidor un producto novedoso.

Palabras clave: cerveza, pan, subproducto, malta, fermentación, análisis sensorial.

ABSTRACT.

Beer is a very popular drink all over the world. Currently, the number of companies dedicated to its production has increased, some of them of small size. Precisely these last ones, are looking for different ingredients that allow them lower costs, keeping the product with good organoleptic characteristics. In this work, the partial replacement of barley malt by different types of bread is proposed, which in spite of reducing the production price, offers the consumer an innovative product.

Keywords: beer, bread, subproduct, malt, fermentation, sensory analysis.

Índice de contenidos.

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVO.....	6
3. MATERIAL Y MÉTODOS.	7
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	18
5. CONCLUSIONES.....	31
6. BIBLIOGRAFÍA.....	32
7. ANEXOS.....	35

Índice de figuras.

Figura 1. Diferentes variedades de cerveza Toast Real Ale, elaborada en Escocia a partir de restos de pan.	4
Figura 2. Cerveza Babylone, elaborada a partir de restos de pan en Bélgica.	4
Figura 3. Pan de flama.....	5
Figura 4. Pan bregado.	5
Figura 5. Pan de molde.....	5
Figura 6. Cervezas finales embotelladas y diferenciadas por su chapa.	15
Figura 7. Sala de cata.....	17
Figura 8. Densidad del pan bregado con 1 hora de maceración.	18
Figura 9. Densidad del pan bregado con 2 horas de maceración.	18
Figura 10. Densidad del pan de flama con 1 hora de maceración.....	18
Figura 11. Densidad del pan de flama con 2 horas de maceración.	18
Figura 12. Rendimiento de líquido del pan bregado.	19
Figura 13. Rendimiento de líquido del pan de flama.	19
Figura 14. Cervezas ordenadas según valor de turbidez ascendente.	21
Figura 15. Cervezas ordenadas según valor de grado alcohólico ascendente.	22
Figura 16. Fermentación de cerveza control.	22
Figura 17. Fermentación de cerveza.....	22
Figura 18. Cervezas ordenadas según valor de pH ascendente.	23
Figura 19. Cervezas ordenadas según valor de acidez ascendente.	23
Figura 20. Cervezas ordenadas según valor de absorbancia ascendente.	24

Figura 21. Cervezas ordenadas según su color en la escala EBC (European Brewery Convention).	24
Figura 22. Cerveza elaborada sólo con pan bregado.....	25
Figura 23. De izquierda a derecha: cerveza con pan bregado, cerveza con pan de flama, cerveza con pan de molde y cerveza control.....	25
Figura 24. Cervezas ordenadas según valor de extracto seco ascendente.....	26
Figura 25. Diagrama de araña de atributos visuales y gustativos con significación estadística.	28
Figura 26. Diagrama de araña de atributos olfativos con significación estadística.	29

Índice de tablas

Tabla 1. Material necesario para la elección de la cantidad de pan y para la elaboración de cerveza.....	7
Tabla 2. Material necesario para analizar las características de las cervezas terminadas.....	7
Tabla 3. Material necesario para la realización de la cata de producto	8
Tabla 4. Ingredientes de los diferentes tipos de cerveza elaborados	12
Tabla 5. Densidades de todas las muestras antes, durante y después de la fermentación.....	20
Tabla 6. Resultados ANOVA para consumidores.....	26
Tabla 7. Resultados test de Tukey para consumidores.....	27
Tabla 8. División en grupos según resultados del test de Tukey para consumidores..	27

Índice de anexos

Anexo 1. Diagrama de flujo del proceso de elaboración de cerveza	35
Anexo 2. Tabla de conversión entre densidad y grado alcohólico probable	38
Anexo 3. Test de evaluación sensorial para consumidores.....	39
Anexo 4. Datos estadísticos de las catas.....	40

1. INTRODUCCIÓN.

Según el Real Decreto 678/2016, de 16 de diciembre, la cerveza es el alimento resultante de la fermentación, mediante levaduras seleccionadas, de un mosto cervecero, elaborado a partir de materias primas naturales (BOE, 2016).

La misma norma establece que la cerveza de fabricación artesanal debe elaborarse mediante un proceso que se dé por completo en una misma instalación, que la intervención personal sea el factor predominante sobre el mecánico y se realice bajo la dirección de un maestro cervecero.

Históricamente, la cerveza ha sido una bebida muy popular, se conoce su existencia desde hace miles de años. Su elaboración ha variado en las diferentes zonas del mundo y se han usado distintas materias primas, principalmente los cereales más abundantes o típicos de cada zona (Fálder, 2006). Concretamente en España, esta bebida llegó de la mano de los íberos, alrededor del año 1100 antes de Cristo, encontrándose en Cataluña los restos más antiguos que demuestran su existencia (Cerveceros de España, 2001). Sin embargo, varios siglos más tarde, con la romanización, su consumo fue desplazado por el de vino en la vida cotidiana. No sería hasta la llegada de los Austria al trono español que la cerveza volvió a popularizarse, haciéndose su producción y consumo notablemente mayor (García, 2014). Desde entonces, la cerveza se ha convertido en una de las bebidas alcohólicas más consumida en nuestro país. Según el Instituto Nacional de Estadística, el 9,04% de la población adulta española la consume a diario, el 21,36% semanalmente y el 8,08% mensualmente (INE, 2019). Además, como se desprende del Informe socioeconómico del sector de la cerveza en España de 2017, se consumen, de media, 48,3 litros de cerveza por persona y año en nuestro país (Cerveceros de España, 2018), y existe una tendencia al alza de su consumo dentro del hogar (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2017).

Por este gran consumo, se da en nuestro país una gran producción de cerveza: somos el cuarto país de la Unión Europea en cuanto a volumen producido, solo por detrás de Alemania, Reino Unido y Polonia y habiendo aumentado dicha producción en un 6,53% desde 2011, como puede comprobarse en el Informe europeo de

cerveza, producción y economía referido al año 2017 (The Brewers of Europe, 2018). En cuanto a volumen consumido, nos encontramos en tercera posición, por delante de Polonia.

En este mismo informe se recoge que, respecto a la producción artesanal, se pueden contar 502 microcerveceras en nuestro país, refiriéndonos con microcerveceras a aquellas que producen menos de 1000 hl anuales, lo que nos coloca en el 6º puesto de la Unión Europea. Esta cifra ha aumentado algo más de un 600% desde el año 2011, como consecuencia, en parte, de la crisis económica que comenzó pocos años antes (Corzo, 2017).

La oferta de esta bebida es muy variada, ya que existen numerosos estilos distintos de la misma. Todos ellos pueden clasificarse en diferentes grupos atendiendo a la fermentación que hayan sufrido. Algunos autores (Cortés, 2017; González, 2017) las separan en dos grupos: Ale y Lager; mientras que otros (Díaz, 2015; Pulla y Vinci, 2013; Balcells, 2014) lo hacen en tres: Ale, Lager y Lambic. Las diferencias entre los grupos vienen dadas por la temperatura a la que se produce la fermentación y el comportamiento de las levaduras durante la misma.

Otra clasificación de los tipos de cervezas puede ser en función de su estilo. Esta clasificación es realizada por el "*Beer Judge Certification Program*" (BJCP), una organización que tiene como objetivo extender el conocimiento de la cerveza, su degustación y su evaluación. La última actualización de su Guía de Estilos es de 2015 (BJCP, 2015) y en ella se recogen 34 estilos, divididos en 112 subgrupos.

Independientemente de su estilo o tipo de fermentación, para elaborar cerveza son necesarios cuatro ingredientes básicos, según la información recopilada de varios autores (Cortés, 2017; González, 2017; Díaz, 2015; Pulla y Vinci, 2013; Balcells, 2014; Flores, 2015; Díaz, 2018; García, 2015; Solís et al., 2017):

- 1.1. Agua: es el ingrediente mayoritario, y sus características y composición determinarán posibles aromas o sabores finales en la cerveza, que pueden ser deseables o no. También pueden tener influencia en el desarrollo de ciertos procesos de la elaboración de la misma.

- 1.2. Cebada: es la materia prima principal, aunque puede ser sustituida por otros cereales o fuentes de almidón. Normalmente no se usa directamente, sino que previamente sufre un proceso de malteado. En ocasiones sufre además un tostado a distintos niveles, para obtener otros colores, aromas y sabores deseados.

- 1.3. Lúpulo: este ingrediente da aromas y amargor a la cerveza final. Además, promueve la formación y estabilización de la espuma de la cerveza. En la industria cervecera podemos encontrarnos el uso de lúpulo en diferentes formatos, como son la flor entera desecada, los pellets y en extracto.

- 1.4. Levadura: es la encargada de fermentar el mosto obtenido con los otros tres ingredientes y dar lugar a cerveza. Para ello, transforma los azúcares en alcohol y CO₂. Además, genera otro tipo de sustancias, como ésteres o cetonas, que intervienen en el aroma final de la cerveza.

Estos cuatro ingredientes básicos pueden sufrir modificaciones. Así, encontramos cervezas elaboradas a partir de otros cereales distintos a la cebada, como trigo, quinoa o amaranto (Díaz, 2018; García, 2015; Echía, 2018; Mencía, 2016; Martínez y Tuano, 2018). Además, pueden utilizarse los llamados adjuntos, que son fuentes de almidón que se usan como complemento al cereal principal, para obtener mayor cantidad de azúcares fermentables, reduciendo costes en la elaboración.

Una vez escogidos los ingredientes que van a usarse, puede comenzar el proceso de elaboración, que según los mismos autores consultados anteriormente, consta de una serie de etapas:

- 1.1. Molienda de la malta de cebada.
- 1.2. Maceración de la malta molida en agua.
- 1.3. Rociado.
- 1.4. Filtrado.
- 1.5. Cocción con lúpulo.
- 1.6. Enfriado.

- 1.7. Fermentación.
- 1.8. Desfangado.
- 1.9. Carbonatación.
- 1.10. Embotellado.

Todo este proceso aparece en forma de diagrama de flujo en el *ANEXO 1*.

ANTECEDENTES.

El mercado de la cerveza artesanal se encuentra en continuo cambio, ofreciendo cada vez más alternativas al consumidor.

Este es el escenario que observamos en dos regiones de Escocia y Bélgica. En ambos países ha surgido la iniciativa de aprovechar el excedente de pan procedente de las industrias para utilizar como adjunto en la elaboración de una cerveza novedosa, un producto algo diferente a lo que se venía consumiendo, y que, además, se alza como una medida para evitar el despilfarro de alimentos (Fuchs, 2015; Sánchez, 2015; Fresneda, 2017; Gosling, 2016; AFP, 2017).



Figura 1. Diferentes variedades de cerveza Toast Real Ale, elaborada en Escocia a partir de restos de pan.



Figura 2. Cerveza Baby Lone, elaborada a partir de restos de pan en Bélgica.

En base a esta idea, se propone la realización de un proyecto similar utilizando panes típicos de España, como son el pan de flama y el pan bregado; y pan de molde. Se escogen estos tipos de pan por las diferencias entre ellos, principalmente, para poder comparar resultados. Por su parte, el pan de molde es similar al producto que usan en los países de referencia.

En el caso del pan de flama, contamos con una corteza dura y de color pardo, que ofrece aromas intensos a tostado. Su miga presenta grandes oquedades, por la mayor cantidad de agua, lo que se traduce en una menor cantidad de la misma, que puede tener influencia en el proceso. Por otra parte, el pan bregado tiene una corteza más blanda, y con menos color, y una miga muy compacta.



Figura 3. Pan de flama.



Figura 4. Pan bregado.

El pan de molde presenta una composición diferente a la de los panes anteriores, empezando por un pequeño contenido de grasa, además de ciertos conservantes para evitar su endurecimiento y aumentar su vida útil. Esto puede determinar las condiciones requeridas en diferentes etapas del proceso de elaboración de cerveza e, incluso, dificultar la acción de la levadura.



Figura 5. Pan de molde.

2. OBJETIVO.

Cada vez es mayor el número de personas o empresas que se dedican a la producción artesanal de cerveza como medio de vida en nuestro país. Para ellos, es importante encontrar un adjunto cervecero que permita abaratar el coste de producción, pero que sea capaz de mantener las características físicas y sensoriales del producto final.

El pan es un alimento del que diariamente se desechan miles de toneladas en España (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2017). Encontrarle un uso, una vez que ya no es apto organolépticamente para el consumo humano, es primordial para frenar este desperdicio.

En la actualidad, el subproducto generado durante la producción de cerveza se destina a la producción de harina para hacer pan (Satrustegui, 2017; Aricuren-ek, 2017) o barritas de cereales (Jurado, 2018). Por ello, resulta interesante valorar si este aprovechamiento puede aplicarse también al subproducto derivado de la panificación, y convertirlo en materia prima para la elaboración de cerveza, generando un producto aceptado por el consumidor.

Por tanto, los objetivos que se quieren alcanzar con este proyecto son:

- Determinar la cantidad de pan óptima con la que se obtiene la mejor relación de rendimiento y densidad en el mosto.
- Elaborar distintos tipos de cervezas, con diferentes panes y maltas, y evaluar analíticamente sus características más relevantes.
- Exponer el producto resultante a un panel de catadores entrenados y a un grupo de potenciales consumidores, para evaluar su grado de aceptación.

3. MATERIAL Y MÉTODOS.

3.1. Materiales.

Durante el desarrollo del proyecto, se han utilizado los siguientes materiales, ingredientes, equipos o herramientas:

Tabla 1. Material necesario para la elección de la cantidad de pan y para la elaboración de cerveza.

Para la elección de la cantidad de pan idónea y la elaboración de cerveza	
<u>Ingredientes:</u>	<u>Materiales y herramientas:</u>
Agua corriente	Guillotina
Pan bregado	Balanza
Pan de flama	Molino para malta
Pan de molde	Olla de maceración
Malta Bohemian Pilsen	Palas de plástico
Malta Biscuit	Mallas de cocción
Malta Munich	Coladores
Copos de centeno	Bidones de plástico con grifo
Lúpulo variedad Citra	Pala oxigenadora
Lúpulo variedad East Kent Golding	Airlock
Agua mineral	Densímetro
Levadura SafAle S-04, (Fermentis)	Probetas
Levadura SafBrew F-2,(Fermentis)	Termómetro de cocina
Dextrosa	Botellines
<i>Termamyl</i> (Novozymes)	Chapas corona
<i>Attenuzyme</i> (Novozymes)	Chapadora
	Vasos de plástico
	Cucharas de plástico
	Jarra medidora

Tabla 2. Material necesario para analizar las características de las cervezas terminadas.

Para el análisis de la cerveza terminada	
<u>Material y equipos de medición:</u>	<u>Reactivos y otros:</u>
Turbidímetro	Agua destilada
Ebullómetro	NaOH 0,01 N
Matraz Erlenmeyer	
Centrífuga	
Tubos Falcon	

pH-metro
Imán agitador
Bureta
Vaso de precipitados
Espectrofotómetro
Cubetas estándar de 1 cm

Tabla 3. Material necesario para la realización de la cata de producto.

Para la cata
<u>Material:</u>
Vasos de plástico transparente
Servilletas
Copas de cristal

3.2. Métodos.

➤ **Determinación de la cantidad de pan óptima para el proceso.**

Se realizan pruebas de empastación, para determinar cuánta cantidad de pan permite el líquido sin saturarse y se analiza la densidad, pH y acidez del líquido resultante.

Para realizar cada una de estas pruebas, se disponen 5 litros de agua corriente en una olla de maceración y se llevan a 67°C. Una vez que alcanzan esa temperatura, se añade una cantidad determinada de pan bregado duro, el cual se corta previamente en pequeños trozos con ayuda de una guillotina y se mete dentro de una malla de cocción. Se macera durante 1 hora, removiendo bien cada cierto tiempo con una pala de plástico (nunca se usará material de madera). Transcurrida la hora se apaga la olla y se traslada tanto el líquido como la malla que contiene el pan, a bidones de plástico, donde se dejará macerando a temperatura ambiente durante 24 horas más. Pasadas las 24 horas se saca el pan del bidón. Las cantidades elegidas para las pruebas son 150, 300, 500 y 700 gramos.

De cada prueba se realizan varias mediciones de densidad: pasada una hora de maceración, a las 2 horas tras comenzar la maceración y 24 horas tras apagar la

olla. Estas mediciones se llevan a cabo con un densímetro, tras dejar enfriar una muestra de unos 150 ml en una probeta hasta 20°C. Tras la medición de densidad, el líquido extraído para la misma, es añadido de nuevo al resto.

Posteriormente, se cuantifica el rendimiento de líquido obtenido con cada una de las pruebas. Para ello, se escurre bien la malla que contiene el pan sobre un colador, para evitar que pasen al líquido partículas sólidas, y se mide con una jarra medidora el volumen de líquido resultante.

Para intentar aumentar el valor de la densidad, se rocía con agua caliente (>75°C) la malla de pan de cada muestra sobre cada volumen de líquido restante, hasta enrasar de nuevo a 5 litros. Seguidamente, tras remover, vuelve a medirse la densidad.

Además, se realizan mediciones de pH y acidez de cada una de las muestras. El pH se mide con un pH-metro calibrado. Para medir la acidez, se utiliza también el pH-metro calibrado, además de una bureta con NaOH 0,01 N, que va añadiéndose gota a gota hasta estabilizar el pH de la muestra a 7. Los ml de NaOH utilizados nos dan la acidez a través de la siguiente fórmula:

$$\text{Acidez total (\% ácido láctico)} = \frac{V_{\text{NaOH}} \times 0,01 \times 0,09}{V_{\text{muestra}}} \times 100$$

El proceso se repite con las mismas cantidades de pan pero aumentando el tiempo de maceración a 2 horas, para observar si hay diferencias en la densidad obtenida. También se repiten las mediciones de pH y acidez.

Por último, se repite todo el proceso con pan de flama, utilizando las mismas cantidades y macerando 1 y 2 horas, para observar posibles diferencias con respecto al pan bregado.

➤ **Elaboración de distintos tipos de cerveza y análisis de sus características.**

Se elaboran 6 tipos de cerveza: control, con pan bregado, con pan de flama, con corteza de pan de molde, de proceso invertido y solo con pan bregado (sin malta).

Tras elegir la cantidad de pan más adecuada para la elaboración de cerveza, se hacen cálculos para determinar qué cantidad de malta es necesario añadir para obtener una densidad en el mosto cervecero que se traduzca en unos 5-6° de alcohol final tras la fermentación.

Para calcular esta cantidad hay que saber cuánta densidad necesita el mosto para alcanzar ese grado de alcohol. Para ello, acudimos al densímetro, que presenta una escala graduada en la que relaciona ambos valores. También existen tablas de conversión, como la que aparece en el *ANEXO II*.

En este caso, pretende alcanzarse una densidad de 1041-1048 g/L en el mosto cervecero.

El total de malta a utilizar en el proceso se conoce aplicando diferentes fórmulas:

- Para empezar, se debe conocer el valor de densidad que hay que aportar con la malta. Esta densidad viene dada en Unidades de Densidad, no en g/L, y depende de la cantidad que se quiera elaborar y la densidad (en g/L) que se quiera alcanzar.

$$GU = OG \times \frac{Q}{3,785}$$

GU = Unidades de densidad necesarias.

OG = Últimas dos cifras de la densidad objetivo (en g/L).

Q = Volumen que se quiere elaborar (L).

- Sabiendo las unidades de densidad totales que se necesitan, se puede determinar cuántas de esas unidades nos aportará cada malta. Ello va en función del porcentaje que suponga cada una de ellas.

$$IG = GU \times \text{factor porcentual}$$

- Por último, se calcula la cantidad necesaria de cada malta, lo que depende de su extracto potencial o coeficiente de eficiencia, es decir, su capacidad para aportar al mosto azúcares fermentables. Además, depende del rendimiento del equipo de maceración, que suele estimarse en un 80%:

$$P = \frac{GU \times 0,4536}{G \times R}$$

P = Cantidad de malta requerida (en kg).

G = Coeficiente de eficiencia (varía según el tipo de malta).

R = Rendimiento del equipo macerador.

Se emplean 3 maltas diferentes, y copos de centeno, cada uno de los cuales aporta unas características determinadas:

- Bohemian Pilsen: es una malta base válida para casi cualquier estilo de cerveza. Aporta aromas a malta, color dorado y un cierto dulzor. Representa un 62,5 % del total de toda la malta empleada.
- Biscuit: está tostada ligeramente, y aporta aromas y sabores como de pan horneado o bizcocho, lo que puede reforzar los del propio pan añadido. El color que dará a la cerveza es ámbar. Constituye el 16,5 % del total de malta añadida al mosto cervecero.
- Munich: es habitual en las cervezas de estilo Pale Ale, como es el caso propuesto. Aporta un gran sabor a malta y un toque algo dulce. Se añade en un 10,5 % respecto del total de malta.

- Copos de centeno: aportan una textura más densa, gracias a los glucanos que contienen. Se añade un 10,5 % respecto del total de malta.

Finalmente, las recetas de cada cerveza son las siguientes:

Tabla 4. Ingredientes de los diferentes tipos de cervezas elaborados.

CERVEZA	CANTIDAD DE PAN	MALTA			COPOS DE CENTENO	OTROS
		BOHEMIAN PILSEN	BISCUIT	MUNICH		
Control	-	625,00 g	165,00 g	105,00 g	105,00 g	-
Pan bregado	322,10 g	416,25 g	109,89 g	69,93 g	69,23 g	-
Pan de flama	313,20 g	493,75 g	130,35 g	82,95 g	82,95 g	-
Cortezas pan de molde	301,60 g	535,00 g	141,00 g	90,00 g	90,00 g	-
Proceso invertido	308,90 g	441,87 g	116,65 g	74,24 g	74,24 g	-
Solo pan	311,10 g	-	-	-	-	2,5 ml de enzima <i>Termamyl</i> 2,5 ml de enzima <i>Attenuzyme</i>

Además, se calcula la cantidad de lúpulo necesaria para conseguir un amargor de 30 IBU (Unidad Internacional de Amargor), el más habitual en cervezas rubias. Esto se hace a partir de la siguiente fórmula:

$$\text{Cantidad de lúpulo} = \frac{Q \times C_g \times IBU}{U \times A \times 1000} \times 100$$

Q = volumen de cerveza a elaborar.

C_g = 1 (si la densidad inicial es <1050 g/L).

IBU = nivel de amargor.

U = coeficiente de tiempo de hervor

}	15': 0,15
	30': 0,19
	60': 0,27
	90': 0,34

A = % de alfa-ácidos del lúpulo.

Para todas las muestras, la cantidad de lúpulo utilizada es de 7,6 gramos, repartidos entre dos variedades:

- East Kent Golding: presenta un aroma floral y especiado. El amargor que aporta es bastante ligero. Constituye el 60% del total del lúpulo (4 gramos) y se añade cuando comienza la ebullición del mosto cervecero.
- Citra: aporta un toque cítrico y floral y posee un amargor moderado. Supone el 40% del total de lúpulo, es decir, 3,6 gramos, y se añade a los 30 minutos del comienzo de la ebullición.

Finalmente, se calcula la cantidad de levadura necesaria para el proceso de fermentación. La elegida es SafAle S-04 y según las indicaciones, deben añadirse 11,5 gramos de levadura por cada 20 litros de mosto. En este caso, al ser 5 litros, corresponde añadir 2,8 gramos de levadura a cada muestra a fermentar.

Esta levadura debe rehidratarse con medio vaso de agua a 20°C antes de añadirla al mosto, se remueve y se deja unos minutos. Después, se le añade medio vaso del mosto que posteriormente fermentará y se deja unos minutos más. Transcurrido el tiempo, la levadura está lista. Antes de añadirla, se debe oxigenar bien el mosto con la ayuda de una pala oxigenadora. Cuando el mosto está preparado, se añade la levadura y se tapa el bidón, añadiendo en la tapa del mismo un airlock, instrumento que permite que el gas generado durante la fermentación escape, para que no reviente el bidón por el aumento de presión.

El proceso de fermentación se da por terminado cuando la cerveza ha reducido su densidad a 1010-1015 g/L.

Una vez que se conocen las cantidades de todos los ingredientes, puede comenzar el proceso de elaboración de cerveza, representado en forma de diagrama de flujo en el *ANEXO I* de este documento, pero que presentará algunas variaciones para los diferentes tipos:

- Cerveza control: el proceso a seguir es exactamente el que aparece en el diagrama de flujo mencionado anteriormente.

- Cerveza con pan (bregado, de flama o de molde): primero debe macerarse el pan en 5 litros de agua a 67°C durante 1 hora y dejar reposar 24 horas más. Pasadas las 24 horas, se realizará un rociado para intentar extraer más azúcares fermentables y se comenzará a seguir el proceso que aparece en el diagrama de flujo.
- Proceso invertido: el proceso comienza siguiendo el diagrama de flujo, hasta la cocción. Tras la cocción, se realiza un segundo macerado, añadiendo el pan, a 67°C, durante 1 hora. El resto del proceso se mantiene igual.
- Solo pan: este proceso es el que más difiere respecto del diagrama de flujo. Se realiza la maceración del pan en 5 litros de agua a 67°C, añadiendo 2,5 ml de la enzima *Termamyl*, que ayudará a la extracción de azúcares fermentables en ausencia de las enzimas de la malta. A partir del rociado, el proceso se realiza con normalidad, con la salvedad de añadir 2,5 ml de otra enzima, *Attenuzyme*, durante el enfriado previo a la fermentación.

Tras el desfangado de todos los mostos fermentados, que ya son cerveza, hay que determinar la cantidad de dextrosa y levadura de segunda fermentación que hay que añadir antes de embotellar. Ambas cantidades dependerán del líquido que haya quedado tras la fermentación y la eliminación del fango o lodo formado.

Se conoce que 4 gramos de dextrosa aumentan 1 volumen de CO₂ en 1 litro de cerveza. En este caso, se decide aumentar 2,75 volúmenes de CO₂, añadiendo dextrosa en función de la siguiente fórmula:

$$\text{Cantidad de dextrosa} = 4 \times 2,75 \times \text{litros de cerveza}$$

La levadura elegida para la refermentación es SafBrew F-2, cuya dosis es de 0,4 g para 20 litros. Por tanto, en función del volumen del que se disponga, a partir de una regla de tres, se establece la cantidad a añadir a cada cerveza.

Una vez elaborada la cerveza, se embotella por tercios en botellas limpias y desinfectadas y se tapa con chapas de diferentes colores, para diferenciarlas posteriormente.



Figura 6. Cervezas finales embotelladas y diferenciadas por su chapa.

Pasarán en botella al menos una semana, a temperatura ambiente y constante, para permitir la refermentación y una cierta maduración. Después, pueden refrigerarse.

Cuando las cervezas estén completamente terminadas, se procede al análisis de diferentes características que las definen. Se mide analíticamente:

- Turbidez: se mide con un turbidímetro marca Hanna Instruments, modelo HI 98703. Cada muestra se coloca en un recipiente transparente con tapa, y se introduce en el equipo, el cual da directamente la medida de turbidez en NTU (Unidad de Medición de Turbidez).
- Grado alcohólico: para medirlo se utiliza un ebullómetro marca GAB, el cual se calibra poniendo a hervir agua. A partir de la temperatura a la que éste hierva, puede calcularse mediante una regla graduada los grados de alcohol que contiene cada muestra según su temperatura de ebullición.
- pH: se mide con un pH-metro marca Hach, modelo Sension+, cuyo electrodo se introduce directamente en el líquido, mostrando en la pantalla digital el resultado de pH.

- Acidez: se utiliza el mismo pH-metro que para el pH, además de una bureta que contiene NaOH 0,01 N. Se usa la función para medir pH en continuo, y se utiliza NaOH para equilibrar el pH de la muestra a 7.
- Absorbancia a 430 nm: se determina introduciendo cada muestra en una cubeta estándar de 1 cm, y ésta en un espectrofotómetro marca Thermo Scientific, modelo Genesys 20. Automáticamente, el aparato indica en la pantalla digital la absorbancia a esa longitud de onda, que luego se puede transformar en color según la escala EBC (European Brewery Convention) multiplicando por 25.
- Extracto seco: se mide con una balanza especial de determinación de humedad de la marca Gibertini Eurotherm. La medición se basa en la evaporación del agua que contiene la muestra y el pesado del resto, que constituye el extracto seco. Por diferencia con el total de muestra introducida para el análisis, se obtiene directamente el % de extracto seco.

➤ **Exposición del producto a cata.**

Para valorar subjetivamente el resultado del proceso de elaboración, se ofrece el producto a diferentes personas, potenciales consumidores. A estas personas se les pide que realicen, de forma anónima, un test de aceptación, en el que puntúen el color, el olor y el sabor de cada muestra de cerveza en función de una escala hedónica, atendiendo a sus gustos (*ANEXO III*).

Las muestras se presentan en vasos de plástico transparente, codificados con números aleatorios de 3 cifras, en cantidad suficiente para permitir que cada consumidor las pruebe adecuadamente. Son servidas en el momento de la cata, para evitar que la espuma desaparezca por completo, o que sus características se vean afectadas por la exposición al aire y a la luz. Además, son almacenadas a una temperatura constante, para que todos los catadores las prueben en las mismas condiciones. También se ofrece a los consumidores agua para enjuagarse la boca si así lo desean, y se les explica cómo deben evaluar cada uno de los atributos.

La sala de cata cuenta con una iluminación suficiente para la evaluación del color de la cerveza y sus colores son neutros, para evitar comparaciones o distracciones no deseadas.

Además, el producto es analizado por 5 personas entrenadas específicamente para la caracterización de diferentes atributos de la cerveza, según diferentes normas ISO. Todos los jueces han superado las pruebas de cualificación de dicho entrenamiento.

Los jueces analizan las diferentes cervezas mediante *focus group*, y rellenan una ficha de cata propia, con la que han trabajado durante todo el entrenamiento, y que no se recoge en este documento por pertenecer a una empresa privada y estar protegida. A lo largo de la cata evalúan diferentes descriptores, tales como grado de lupulizado, acidez, color, cuerpo e, incluso, defectos si los hubiera.

Las muestras les son servidas una por una en copas de cristal, apropiadas para realzar los atributos de cada una de ellas, y se les informa del tipo de cerveza ante el que se encuentran. Se les ofrece agua para enjuagarse la boca si así lo desean.

La sala de cata es la misma que la utilizada para la evaluación sensorial realizada por los consumidores.



Figura 7. Sala de cata.

Los datos obtenidos de las catas se analizaron con el programa Statgraphics Centurion, versión XVII.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

➤ Determinación de la cantidad de pan óptima para el proceso.

Tras la realización de todas las pruebas de empastación, se obtienen los siguientes resultados de densidad:

– Pan bregado:

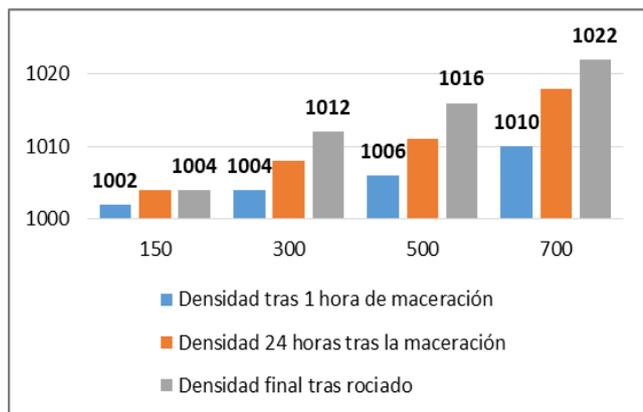


Figura 8. Densidad del pan bregado aplicando 1 hora de maceración.

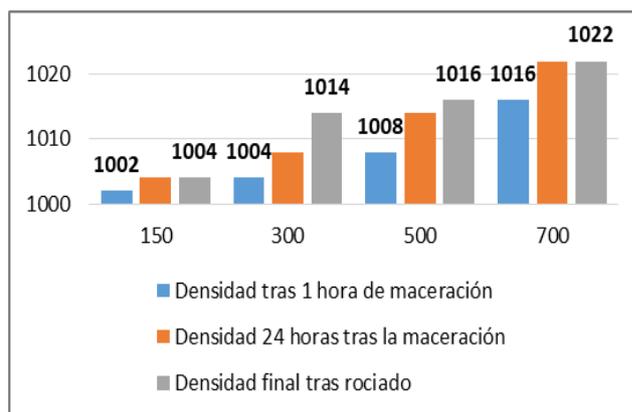


Figura 9. Densidad del pan bregado aplicando 2 horas de maceración.

– Pan de flama:

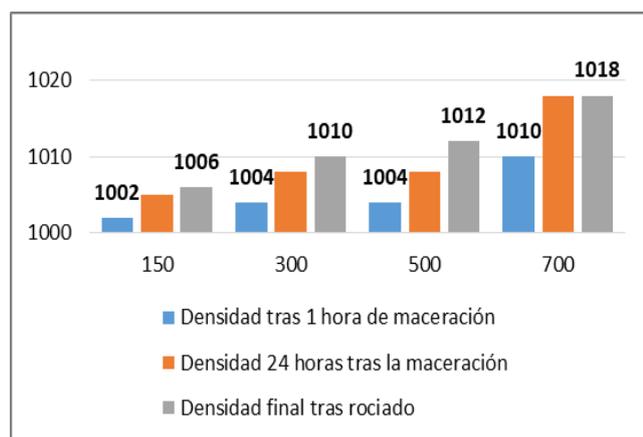


Figura 10. Densidad del pan de flama con 1 hora de maceración.

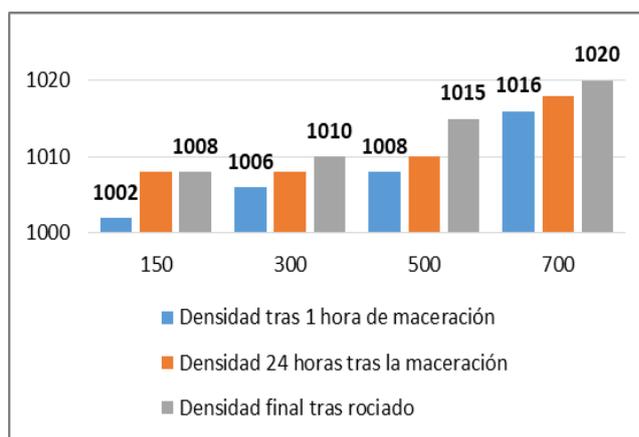


Figura 11. Densidad del pan de flama con 2 horas de maceración.

También se obtienen resultados sobre los rendimientos finales obtenidos con cada tipo de pan y cada tiempo de maceración.

Las gráficas que lo representan son las siguientes:



Figura 12. Rendimiento de líquido del pan bregado.

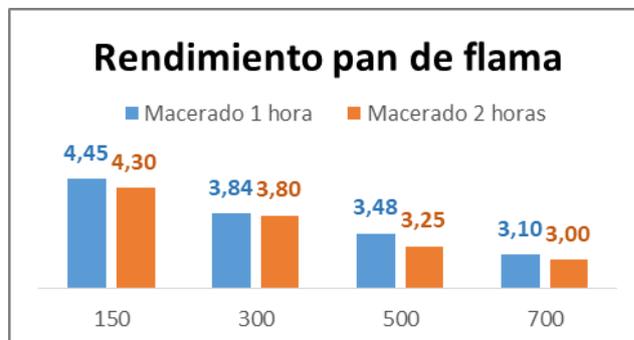


Figura 13. Rendimiento de líquido del pan de flama.

Lo primero que se puede observar en las gráficas es la diferencia en las densidades finales obtenidas con los distintos tipos de pan. El valor más alto se obtiene a partir de pan bregado, lo que está justificado, por su mayor cantidad de miga y el nivel de compactación de ésta.

Respecto a las pruebas realizadas con diferentes tiempos de maceración, se ve que el aumento de este tiempo no genera grandes cambios en las densidades finales de ambos tipos de pan, por lo que el mayor tiempo empleado y el aumento del gasto energético no están justificados.

También se aprecian diferencias en los rendimientos derivados de los dos tipos de pan. En el caso del pan bregado, se obtiene algo menos de líquido claro que con el pan de flama, lo que puede deberse a su mayor cantidad de miga y su nivel de compactación, que le permiten absorber más agua.

Por otra parte, los rendimientos nos indican que, a mayor tiempo de maceración, mayor cantidad de líquido se pierde. Esto es debido a la evaporación que se produce al aplicar calor: cuanto más tiempo se aplique el calor, más líquido se evapora. Se ve que se pierden alrededor de 100-200 ml más cuando se realizan 2 horas de maceración.

De todo ello se deduce que dos horas de maceración no ayudan en gran medida a la obtención de más azúcares, pero sí afectan a los rendimientos finales. Por tanto, se decide realizar los mostos cerveceros macerando la materia prima durante 1 hora, ya que se considera que el aumento del tiempo conlleva mayor coste que beneficio.

Además, a partir de estos datos se decide que la cantidad óptima que asegura el mejor resultado con el mínimo gasto de pan es 300 gramos, ya que con 150 gramos se llega a una densidad muy baja, con la que habría que emplear prácticamente la misma malta que si no añadimos pan; y con 500 gramos comienza a disminuir bastante el rendimiento líquido final.

➤ **Elaboración de distintos tipos de cerveza y análisis de sus características.**

A medida que se elaboran las diferentes cervezas, se va midiendo su densidad, previamente a la fermentación y durante ésta, para determinar cuándo finaliza el proceso.

Todas las medidas se recogen en la siguiente tabla:

Tabla 5. Densidades de todas las muestras, antes, durante y después de la fermentación.

	Densidad inicial	Densidad a los 2 días de fermentación	Densidad final
Control	1044	1014	1010
Bregado	1046	1016	1010
De flama	1048	1020	1012
Pan de molde	1044	1022	1014
Proceso invertido	1032	1015	1010
Solo pan	1019	1005	1002

Finalmente, se obtienen 6 cervezas diferentes, entre las que hay diferencias en cuanto a pH, acidez, grado alcohólico, turbidez, color y extracto seco.

A continuación, se muestran gráficas que representan la comparación de las 6 muestras en función de los distintos atributos medidos:

- Turbidez, expresado en NTU:

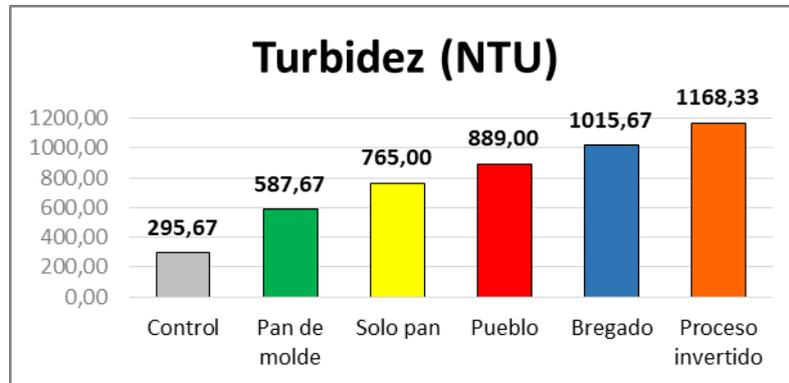


Figura 14. Cervezas ordenadas según valor de turbidez ascendente.

Se observa que la cerveza que se realizó mediante un proceso invertido tiene una mayor turbidez. Esto es lógico, ya que se agregó el pan al final. En el resto de cervezas, el pan puede haberse deshecho más por la cocción realizada para la lupulización, además de haber pasado por un filtro posteriormente.

Por otra parte, a simple vista ya se percibe, la cerveza control es la que menor cantidad de sedimento presenta. Esto es debido a que no lleva pan entre sus ingredientes, que es el responsable de la turbidez del resto.

La cerveza realizada con pan de molde tiene una menor turbidez que las elaboradas con otro tipo de panes, ya que sólo se usa la corteza y, además, es más compacto que el resto. El hecho de que la cerveza realizada con pan bregado tenga una mayor turbidez que la elaborada con pan de flama también es algo esperado, porque tiene mayor cantidad de miga.

- Grado alcohólico, expresado en porcentaje:

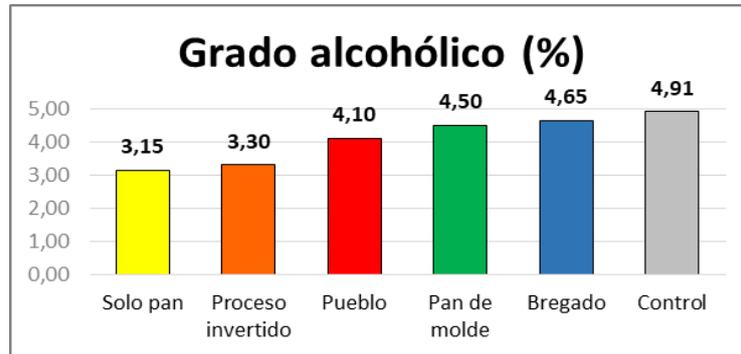


Figura 15. Cervezas ordenadas según valor de grado alcohólico ascendente.

Los resultados son, en parte, los esperados. La cerveza elaborada sólo con pan presenta una menor densidad inicial, por lo que cabe esperar que su grado alcohólico sea menor.

Se observa que la cerveza control es la que mayor graduación presenta. Esto puede deberse a que la capacidad de extracción de azúcares fermentables a partir de malta sea más fácil que a partir de pan, o que estos azúcares sean más fácilmente asimilables y transformables por parte de las levaduras.

No se observan grandes diferencias entre los diferentes tipos de pan, aunque sorprende que en el pan de molde se alcance ese grado de alcohol, ya que, visualmente, la fermentación ha ocurrido de forma más lenta y menos visible. Esto puede deberse a que este tipo de pan presenta en su composición cierta cantidad de grasa, además de algún aditivo conservante, lo que puede interferir con la acción de las levaduras durante la fermentación.



Figura 16. Fermentación de cerveza control.



Figura 17. Fermentación de cerveza con pan de molde.

– pH:

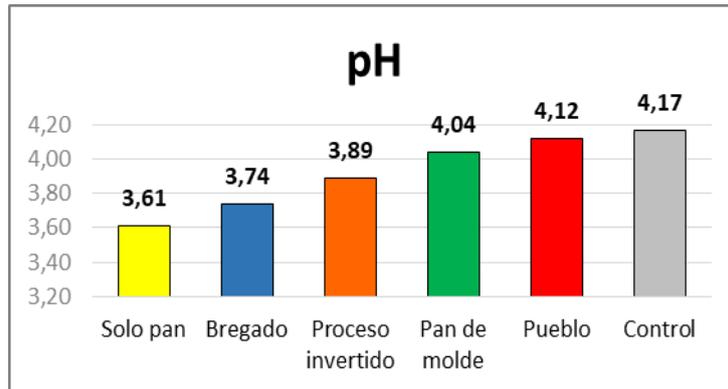


Figura 18. Cervezas ordenadas según valor de pH ascendente.

Aunque el pH ideal para la cerveza se sitúa entre 4,2 y 4,7, valores que apenas alcanzan 2 de las 6 muestras elaboradas, esto no influye en el nivel de seguridad alimentaria. Las cervezas son aptas para el consumo humano según la legislación (BOE, 2016). Sin embargo, su valor puede tener influencia en la aceptación por parte de los consumidores.

El hecho de añadir pan como adjunto, sea del tipo que sea, parece tener influencia en el pH, disminuyéndolo. Además, lo hace en mayor medida el pan bregado, utilizado para elaborar 3 de las 6 cervezas, las que menor pH presentan.

– Acidez, expresada en porcentaje de ácido láctico:

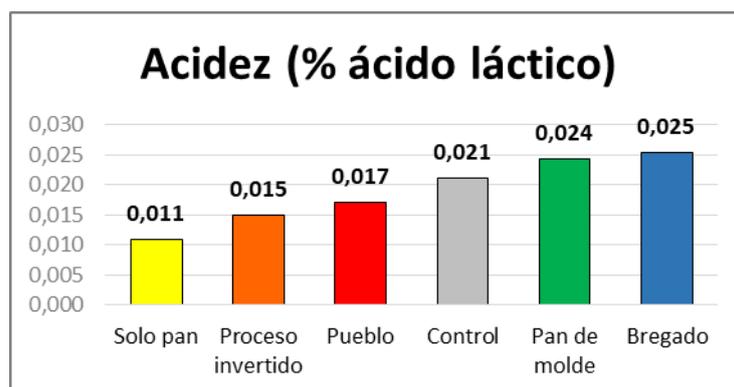


Figura 19. Cervezas ordenadas según valor de acidez ascendente.

Según la ley (BOE, 2016), la acidez de la cerveza no debe superar el valor de 0,3% expresado en porcentaje de ácido láctico. La más ácida no supera esta cifra, por lo que el valor de las muestras solo puede tener influencia en el nivel de aceptación por parte de los consumidores.

– Absorbancia y color EBC:

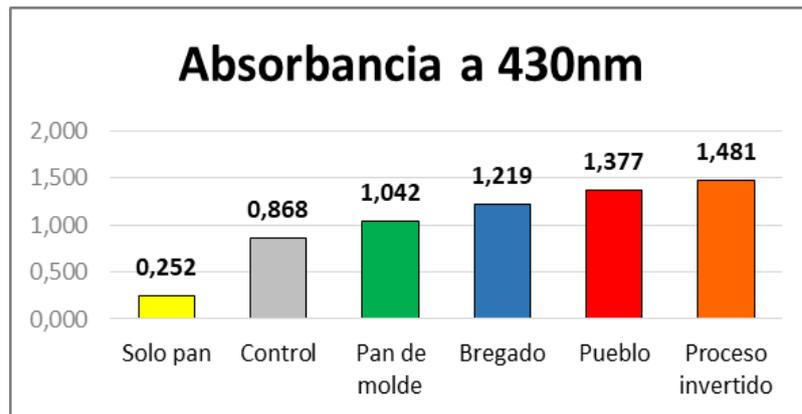


Figura 20. Cervezas ordenadas según valor de absorbancia ascendente.



Figura 21. Cervezas ordenadas según su color en la escala EBC (European Brewery Convention).

A simple vista se observa que la cerveza elaborada sólo con pan es muy clara, ya que no contiene malta de ningún tipo, por lo que su color en la escala EBC y su absorbancia están cercanos a 0.



Figura 22. Cerveza elaborada sólo con pan bregado.

Por otra parte, como se esperaba, la cerveza elaborada con pan de flama tiene un color algo más oscuro que la elaborada con pan bregado, ya que la corteza de ambos panes varía en tonalidad.

De esta gráfica también se deduce que el pan aporta color, ya que la cerveza control tiene un color EBC inferior al de todas las cervezas, excepto la elaborada sólo con pan.



Figura 23. De izquierda a derecha: cerveza con pan bregado, cerveza con pan de flama, cerveza con pan de molde y cerveza control.

- Extracto seco, expresado en porcentaje:

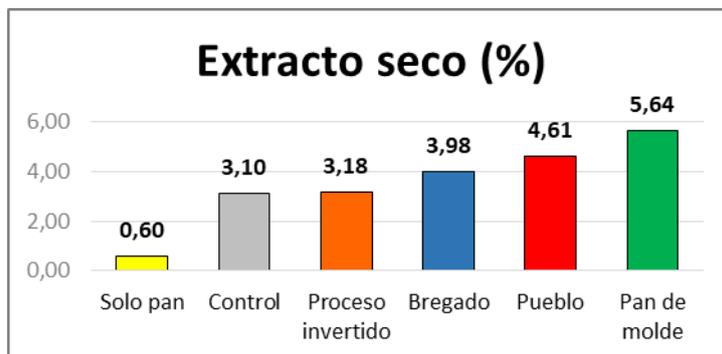


Figura 24. Cervezas ordenadas según valor de extracto seco ascendente.

Como resulta lógico, la cerveza elaborada sólo con pan tiene un extracto seco muy bajo, correspondiente con su densidad inicial, no tiene apenas sustancias disueltas en el líquido.

También puede explicarse que la elaborada con pan de molde sea la que mayor extracto seco tiene, ya que la composición de este tipo de pan incluye grasa en mucha mayor medida que la que puede aparecer en el resto.

Por otra parte, la cerveza control presenta un menor extracto seco que aquellas elaboradas con pan, lo que se debe a que éstas tienen un ingrediente adicional que puede contribuir a aumentar dicho extracto seco.

➤ Exposición del producto a cata.

Para evaluar los resultados obtenidos de la cata de consumidores, se realiza un análisis ANOVA, a partir de las medias de puntuación resultantes de cada consumidor para cada muestra, representado en la siguiente tabla:

Tabla 6. Resultados ANOVA.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	F	P-valor
Entre grupos	3568,02	5	713,603	28,35	0,0000
Intra grupos	7099,06	282	25,174		
Total	10667,1	287			

Se observa que hay diferencias significativas entre las diferentes muestras de cerveza, ya que el P-valor es $<0,05$.

Para profundizar, se realiza un test de Tukey, con el que se valora entre qué muestras se dan estas diferencias significativas. El resultado se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 7. Resultados test de Tukey.

Muestras	Significación	Diferencia	± Límites
Bregado – De flama	*	-3,75	2,9386
Bregado – Control	*	-3,95833	2,9386
Bregado – Invertido		0,979167	2,9386
Bregado – Solo pan	*	6,45833	2,9386
Bregado – De molde		-1,58333	2,9386
De flama – Control		-0,208333	2,9386
De flama – Invertido	*	4,72917	2,9386
De flama – Solo pan	*	10,2083	2,9386
De flama – De molde	*	3,16667	2,9386
Control – Invertido	*	4,9375	2,9386
Control – Solo pan	*	10,4167	2,9386
Control – De molde	*	3,375	2,9386
Invertido – Solo pan	*	5,47917	2,9386
Invertido – De molde		-2,5625	2,9386
De molde – Solo pan	*	-8,04167	2,9386

*: Presenta significación estadística.

Como puede verse, existe significación estadística entre las medias de varias parejas de muestras. Además, este test divide las muestras en tres grupos según estas diferencias:

Tabla 8. División en grupos según resultados de test de Tukey.

Muestra	Número de resultados	Media de resultados	Grupo
Solo pan	48	17,8333	A
Proceso invertido	48	23,3125	B
Pan bregado	48	24,2917	B
Pan de molde	48	25,875	B
Pan de flama	48	28,0417	C
Control	48	28,25	C

Se establecen 3 grupos, entre los que hay diferencias significativas. Las muestras que pertenecen al mismo grupo no presentan estas diferencias entre ellas. La muestra elaborada solo con pan presenta diferencias significativas con todas las demás, lo que puede verse en la **Tabla 7**, y por eso es la única en su grupo.

Lo más destacable de estos resultados es que la muestra de cerveza elaborada con pan de flama no presenta diferencias significativas con respecto a la muestra control, están en el mismo grupo. Esto resulta determinante para el proyecto, ya que se deduce que es factible la elaboración de una cerveza, aceptada sensorialmente por los consumidores, utilizando este tipo de pan como adjunto.

Para evaluar los resultados obtenidos de la cata de jueces entrenados, se realiza un análisis ANOVA y un test de Tukey de cada cerveza, para determinar si hay diferencias significativas entre ellas, y en función de qué atributos.

Todos los resultados aparecen graficados por fases a continuación. Los datos estadísticos que se han tomado para su construcción se encuentran en el *ANEXO IV*.

- Fase visual y gustativa:

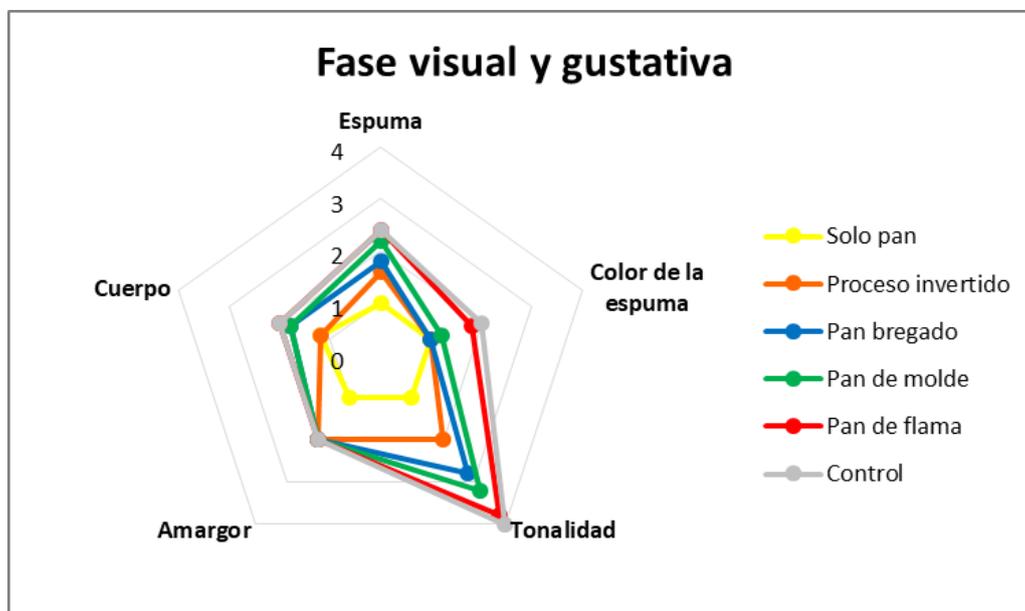


Figura 25. Diagrama de araña de atributos visuales y gustativos con significación estadística.

Observando el diagrama se puede apreciar la similitud descrita por los catadores entrenados entre la muestra control y la elaborada con pan de flama, para todos los atributos analizados.

Se ven también las diferencias entre el resto de muestras. Estas diferencias se dan en todos los atributos, excepto en el amargor, en el que todas las muestras están más o menos al mismo nivel, menos la elaborada solo con pan.

Cabe destacar que la muestra elaborada con pan de molde presenta, además, dos defectos, detectados por todos los catadores, que son sabor asidrado y jabonoso (derivado de la degradación de ácidos grasos durante la fermentación). No aparecen graficados por detectarse solo en esta muestra, pero está justificada su significación estadística en el ANEXO IV.

– Fase olfativa:

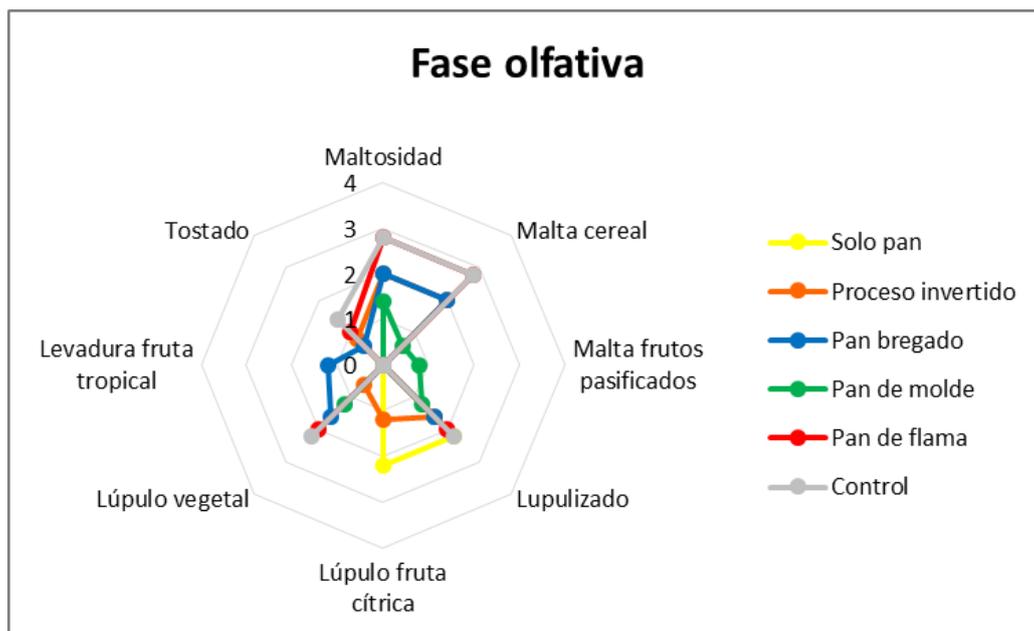


Figura 26. Diagrama de araña de atributos olfativos con significación estadística.

En esta fase aparecen muchas más diferencias entre las distintas muestras analizadas por los catadores.

En primer lugar, destacar que la muestra elaborada solo con pan no presenta maltosidad, lo que es lógico, teniendo en cuenta que no lleva malta en su composición. Sin embargo, es esta cerveza la que destaca por su olor a fruta cítrica.

De nuevo, se observa la semejanza descrita entre la muestra control y la muestra elaborada con pan de flama, ambas con maltosidad, sobretodo de tipo cereal, y un grado similar de tostado y lupulizado.

El resto de muestras aparecen más heterogéneas en los diferentes atributos, destacando el olor a frutos pasificados de la muestra elaborada con pan de molde, el de fruta cítrica de la muestra elaborada invirtiendo el proceso, y el de levadura tropical de la muestra de pan bregado.

Como puede observarse, hay diferentes atributos que caracterizan cada muestra. Sin embargo, al igual que los consumidores, los jueces entrenados ponen al mismo nivel la muestra control y la muestra elaborada con pan de flama.

5. CONCLUSIONES.

- Es posible elaborar una receta de cerveza utilizando pan de diferentes tipos como adjunto cervecero para conseguir un ahorro económico. La cantidad óptima de pan a añadir junto con malta es de 300 gramos, obteniendo un buen rendimiento y densidad del mosto.
- La cerveza elaborada con pan de flama puede compararse con la cerveza control en cuanto a acidez y pH, lo que influye directamente en su sensación en boca. Sin embargo, presenta una mayor turbidez, lo que puede afectar a su aceptación visual.
- Los consumidores valoran la cerveza elaborada con pan de flama con puntuaciones muy similares a las de la cerveza control, lo que indica una tendencia a la aceptación del producto.
- Los jueces entrenados en análisis sensorial de cerveza también colocan al mismo nivel, en cuanto a diferentes atributos, la cerveza control y la elaborada con pan de flama, corroborando que el nivel de aceptación de esta última puede ser alto, en general.
- Es recomendable la repetición de las diferentes muestras y su análisis posterior, para determinar que los resultados son reproducibles y no fruto del azar.
- A futuro, sería conveniente analizar la viabilidad económica de este proyecto en fábricas de cerveza artesanal y microcervecerías, y valorar si realmente supone un ahorro con respecto a recetas elaboradas utilizando solo malta. Además, habría que analizar si diferentes panaderías podrían mantener un suministro de materia prima, constante en cantidad y calidad.

6. **BIBLIOGRAFÍA.**

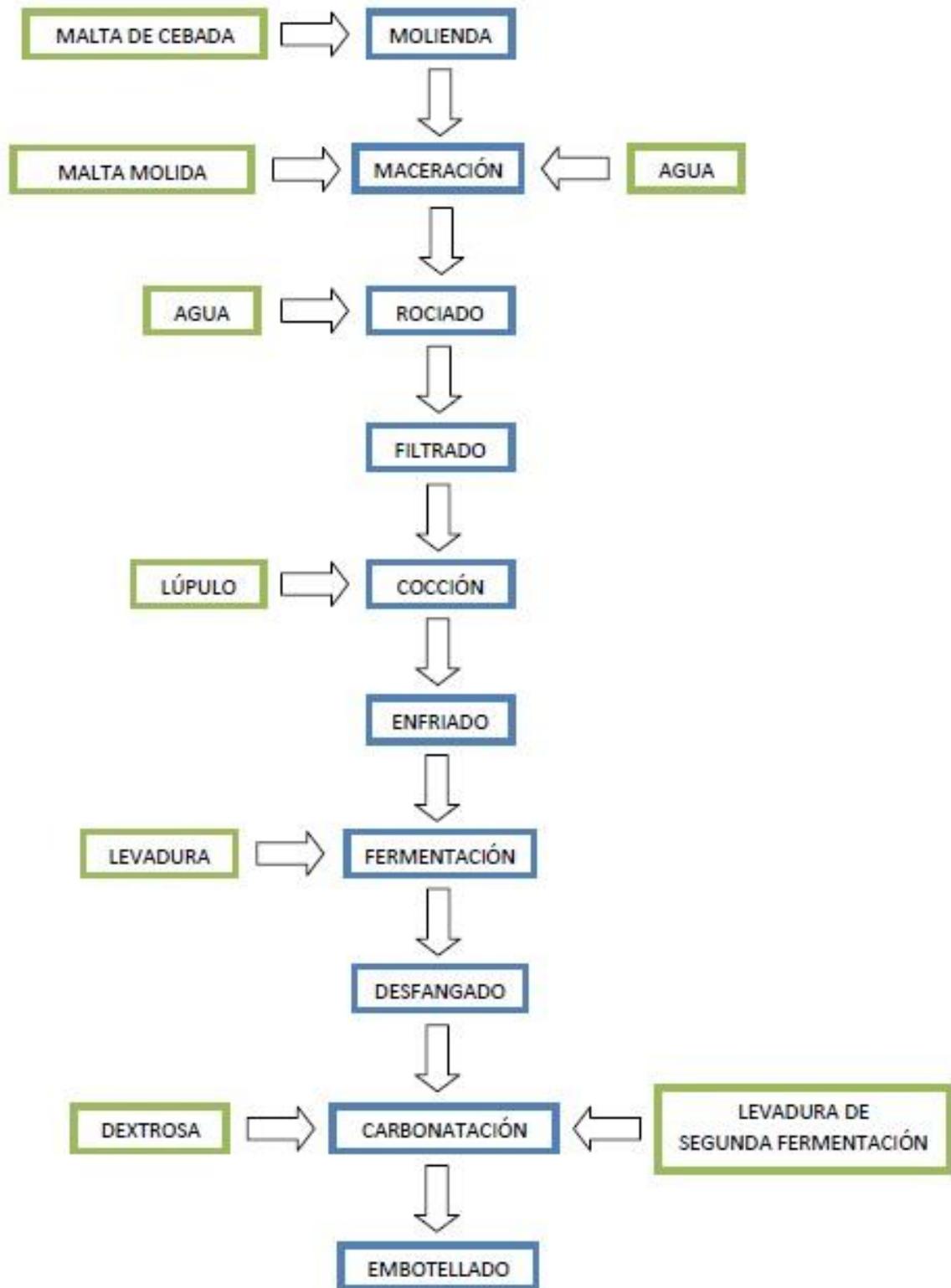
- AFP. (2017). “Cerveza hecha con pan, la fórmula británica para que la comida no termine en la basura”. El País digital. Disponible en: <https://www.elpais.com.uy/mundo/cerveza-hecha-pan-formula-britanica-comida-termine-basura.html> [Consultado el 16/05/2019].
- Arizkuren-ek, S. (2017). Elaboración de pan de molde con subproductos de la industria cervecera. Universidad Pública de Navarra.
- Balcells, LG. (2014). Cerveza, la bebida de la felicidad. Editorial Planeta, Barcelona, España. 2ª edición.
- BJCP. (2015). Beer Style Guidelines 2015. Disponible en: https://www.bjcp.org/docs/2015_Guidelines_Beer.pdf. [Consultado el 15/05/2019].
- BOE. (2016). Real Decreto 678/2016, de 16 de diciembre, por el que se aprueba la norma de calidad de la cerveza y de las bebidas de malta. Disponible en: <https://www.boe.es/eli/es/rd/2016/12/16/678>. [Consultado el 14/05/2019].
- Cerveceros de España. (2001). Libro Blanco de la Cerveza. Editado por Cerveceros de España, Madrid, España. 1ª edición.
- Cortés, D. (2017). Análisis comparativo de cervezas artesanales extremeñas. Escuela de Ingenierías Agrarias. Universidad de Extremadura.
- Corzo, L. (2017). La crisis y la publicidad: un análisis del mercado de la cerveza. Universidad de Valladolid. Campus de Segovia.
- Díaz, D. (2018). Elaboración de cerveza artesanal tipo Ale, a partir de malta preparada con amaranto y otros cereales. Escuela de Gastronomía.
- Díaz, I. (2015). Alimentos con historia, cerveza. Distribución y Consumo, año 25, número 138, pp 45-55. Disponible en: https://www.mercasa.es/files/multimedios/1437675314_Alimento_con_historia_cerveza.pdf. [Consultado el 14/05/2019].
- Echía, DB. (2018). Elaboración de cerveza utilizando una mezcla de malta de cebada y papa nativa amarilla "Tumbay". Universidad San Ignacio de Loyola. Lima, Perú.
- Fálder, A. (2006). Enciclopedia de los Alimentos. Cervezas. Distribución y consumo, año 16, número 87, pp 107-118. Disponible en:

- https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_DYC/DYC_2006_87_107_118.pdf. [Consultado el 14/05/2019].
- Flores, R. (2015). Estudio de los hábitos de consumo de cerveza artesanal de los habitantes de Pamplona. Universidad Pública de Navarra.
 - Fresneda, C. (2017). “El círculo virtuoso del pan y la cerveza”. El Mundo digital. Disponible en:
<https://www.elmundo.es/ciencia-y-salud/ciencia/2017/06/25/594e4a79e2704eb9698b4591.html>. [Consultado el 16/05/2019].
 - Fuchs, L. (2015). “No tires el pan, haz cerveza. Artesanos belgas elaboran cerveza con sobras de panadería. Blog Directo al Paladar. Disponible en:
<https://www.directoalpaladar.com/ingredientes-y-alimentos/no-tires-el-pan-haz-cerveza-artesanos-belgas-elaboran-cerveza-con-sobras-de-panaderia>. [Consultado el 16/05/2019].
 - García, KB. (2015). Elaboración de cerveza artesanal a partir de almidón extraído de tubérculos andinos. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.
 - García, X. (2014). La cerveza en España, orígenes e implantación de la industria cervecera. Editorial LID Empresarial, Madrid, España. 1ª edición.
 - González, M. (2017). Principios de elaboración de las cervezas artesanales. Práctico libro de consulta para aficionados y expertos. Editorial Lulu Enterprises, Carolina del Norte, Estados Unidos. 1ª edición.
 - Gosling, F. (2016). “Toast Ale Brew: London brewery turns bread into beer to tackle food waste”. Independent Minds digital. Disponible en:
<https://www.independent.co.uk/life-style/food-and-drink/news/toast-ale-brew-london-brewery-turns-bread-into-beer-to-tackle-food-waste-a6837421.html> [Consultado el 16/05/2019].
 - INE. (2019). Frecuencia de consumo de bebidas alcohólicas según sexo. Población de 16 y más años. Disponible en:
<http://www.ine.es/jaxi/Datos.htm?path=/t15/p419/a2006/p07/l0/&file=03042.px>. [Consultado el 14/05/2019].
 - Jurado, SD. (2018). Aprovechamiento del bagazo de malta de cebada como insumo en la elaboración de una barra de cereales alta en fibra. Universidad Técnica del Norte. Ibarra, Ecuador.

- Martínez, S., Tuano, ML. (2018). Análisis sensorial en adultos de la cerveza artesanal elaborada con quinoa, oca y cebada. Universidad Inca Garcilaso de la Vega. Lima, Perú.
- Mencía, GA., Pérez, RD. (2016). Desarrollo de cerveza artesanal ale y lager con malta de maíz, cebada, carbonatada con azúcar y miel de abeja. Escuela Panamericana, Zamorano, Honduras.
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. (2018). Informe socioeconómico del sector de la cerveza en España. 2017. Disponible en: https://cerveceros.org/uploads/5b30d4612433a_Informe_Cerveceros_2017.pdf. [Consultado el 14/05/2019].
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. (2018). Informe del Consumo de Alimentos en España. Disponible en: https://www.mapa.gob.es/es/alimentacion/temas/consumo-y-comercializacion-y-distribucion-alimentaria/informeconsumoalimentacionenespana2017_prefinal_tcm30-456186.pdf. [Consultado el 14/05/2019].
- Pulla, S., Vinci, G. (2013). Cervezas de todo el mundo. Editorial Parkstone International, Nueva York, Estados Unidos. 1ª edición.
- Sánchez, Á. (2015). “Cerveza hecha con migas de pan”. Crónica Norte Digital. Disponible en: <http://www.cronicanorte.es/cerveza-hecha-con-migas-de-pan/84928> [Consultado el 16/05/2019].
- Satrústegui, U. (2017). Sustitución de harina de trigo por harina de bagazo de cerveza en panificación. Universidad Pública de Navarra.
- Solís, R., Blitzler, N., Gómez, J. (2017). Generación de cerveza artesanal baja en calorías y elaboración de un plan de negocios para su comercialización. Universidad ORT Uruguay.
- The Brewers of Europe. (2018). Beer Statistics, 2918 edition. Disponible en: <https://brewersofeurope.org/uploads/mycms-files/documents/publications/2018/EU-beer-statistics-2018-web.pdf>. [Consultado el 14/05/2019].

7. ANEXOS.

ANEXO 1. Diagrama de flujo del proceso de elaboración de cerveza.



Fuente: elaboración propia.

PASOS DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE CERVEZA.

1. Molienda de la malta de cebada: en la mayoría de los casos, no se parte del grano de cebada, sino que se utiliza directamente este grano ya germinado y, en su caso, tostado. Por tanto, se parte de malta de cebada, la cual debe ser molida, para facilitar la acción de sus enzimas.
2. Maceración de la malta molida en agua: la malta es añadida a una determinada cantidad de agua, y se mantiene a una temperatura de entre 60 y 70°C durante 1 o 2 horas. De esta manera, se consigue que las enzimas ejerzan su función, aumentando la disponibilidad de azúcares fermentables.
3. Rociado: tras la maceración, se extrae la malta de cebada del agua y se escurre bien el líquido que haya absorbido. Para aprovechar lo máximo posible los azúcares fermentables, se hace pasar agua a alta temperatura (unos 75-80°C) por esta malta, hasta alcanzar el volumen del que se partió en el agua, que ya no es agua sino mosto cervecero.
4. Filtrado: con el fin de eliminar posibles restos sólidos del mosto, éste se pasa por un colador o filtro, de modo que quede solamente el líquido.
5. Cocción con lúpulo: se pone a hervir el mosto cervecero. Cuando hierva, se echa el/los lúpulo/s, en los tiempos marcados, teniendo en cuenta que cuanto más tiempo esté el lúpulo hirviendo con el mosto, mayor amargor le conferirá y que si el lúpulo se añade al final de la cocción, solo aportará aromas.
6. Enfriado: es importante enfriar el mosto a la temperatura de acción de la levadura lo más rápido posible, para evitar que se formen compuestos o microorganismos no deseados.
7. Fermentación: es el paso que supone la transformación del mosto cervecero en cerveza propiamente dicha. Para que esto suceda, debe añadirse la levadura escogida en las condiciones que requiera. La levadura transformará los azúcares del mosto en alcohol y CO₂.
8. Desfangado: una vez que la fermentación ha finalizado, debemos eliminar los restos de levadura, que dan lugar a una especie de lodo o fango en el fondo del recipiente de fermentación. Para ello, se vierte la cerveza a otro recipiente limpio, a un ritmo constante, sin parar ni volver a inclinar el recipiente, ya que

esto supondría el mezclado del lodo con la cerveza. Facilita el proceso almacenar la cerveza, tras la fermentación, a bajas temperaturas.

9. Carbonatación: el objetivo de este paso es añadir gas a la cerveza, para posibilitar la formación de espuma. Esto se consigue añadiendo, si fuese necesario, un azúcar fermentable y/o una levadura de refermentación. El proceso también puede darse si quedan aún azúcares no consumidos en la fermentación y levaduras en activo.
10. Embotellado: la producción de gas se realizará en botella, por lo que, tras la carbonatación, la cerveza se embotellará y se chapará, dejando que se produzca el gas durante, al menos, una semana. Para embotellar, nunca se inclinará el recipiente que contiene la cerveza, sino que se utilizará un conducto que éste presenta en su parte inferior, que permite que la cerveza salga. Se utilizarán botellas de color marrón, que no permitan que la luz incida directamente en el producto, pues podría oxidarlo y estropearlo. La botella se colocará inclinada en la boca del conducto para ser llenada sin generar demasiada espuma durante el proceso. Una vez llenas las botellas, se tapan con una chapa corona, con ayuda de una chapadora, manual o de sobremesa.

ANEXO 2. Tabla de conversión entre densidad y grado alcohólico probable.

DENSIDAD	GRADO ALCOHÓLICO PROBABLE (% vol.)	DENSIDAD	GRADO ALCOHÓLICO PROBABLE (% vol.)
1012	0,11	1044	5,1
1013	0,23	1045	5,3
1014	0,43	1046	5,4
1015	0,59	1047	5,6
1016	0,70	1048	5,7
1017	0,88	1049	5,9
1018	1,06	1050	6,0
1019	1,18	1051	6,2
1020	1,35	1052	6,3
1021	1,47	1053	6,5
1022	1,65	1054	6,7
1023	1,82	1055	6,8
1024	1,94	1056	7,0
1025	2,21	1057	7,2
1026	2,30	1058	7,3
1027	2,41	1059	8,5
1028	2,69	1060	7,6
1029	2,77	1061	76,8
1030	2,95	1062	7,9
1031	3,06	1063	8,1
1032	3,24	1064	8,2
1033	3,42	1065	8,4
1034	3,54	1066	8,7
1035	3,71	1067	8,9
1036	3,75	1068	9,0
1037	4,0	1069	9,2
1038	4,2	1070	9,3
1039	4,4	1071	9,5
1040	4,5	1072	9,6
1041	4,7	1073	9,8
1042	4,8	1074	10,0
1043	5,0	1075	10,1

Fuente: Instrumentación Científico-Técnica. Disponible en: <https://studylib.es/doc/5537065/tablas-de-conversi%C3%B3n-de-unidades-de-medida-y-de>.

ANEXO 3. Test de evaluación sensorial para consumidores.

EDAD:.....

SEXO: F / M

A continuación, va a probar varias muestras de CERVEZA identificadas con diferentes códigos. Por favor, rellene las casillas con un valor entero comprendido entre 1 y 9, según la siguiente escala:



Código	325	217	902	154	488	503
COLOR						

Observaciones:.....

Código	325	217	902	154	488	503
OLOR						

Observaciones:.....

Código	325	217	902	154	488	503
SABOR						

Observaciones:.....

Código	325	217	902	154	488	503
PUNTUACIÓN GLOBAL						

ANEXO 4. Datos estadísticos de las catas.

FASE VISUAL.

Tonalidad:

Tabla. Tabla ANOVA para "tonalidad".

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	F	P-valor
Entre grupos	32,4	5	6,48	64,80	0,0000
Intra grupos	2,4	24	0,1		
Total	34,8	29			

Tabla. Test de Tukey para "tonalidad".

Muestra	Número de resultados	Media de resultados	Grupo
Solo pan	5	1,0	A
Proceso invertido	5	2,0	B
Pan bregado	5	2,8	C
Pan de molde	5	3,2	C
Pan de flama	5	3,8	D
Control	5	4,0	D

Limpidez:

Tabla. Tabla ANOVA para "limpidez".

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	F	P-valor
Entre grupos	0,7	5	0,14	1,68	0,1778
Intra grupos	2,0	24	0,0833		
Total	2,7	29			

Espuma:

Tabla. Tabla ANOVA para "espuma".

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	F	P-valor
Entre grupos	7,5	5	1,5	3,91	0,0098
Intra grupos	9,2	24	0,3833		
Total	16,7	29			

Tabla. Test de Tukey para "espuma".

Muestra	Número de resultados	Media de resultados	Grupo
Solo pan	5	1,0	A
Pan de molde	5	1,6	A-B
Proceso invertido	5	1,8	A-B
Control	5	2,2	A-B
Pan de flama	5	2,4	B
Pan bregado	5	2,4	B

Color de la espuma:

Tabla. Tabla ANOVA para "color de la espuma".

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	F	P-valor
Entre grupos	5,0666	5	1,01333	15,20	0,0000
Intra grupos	1,6	24	0,06666		
Total	6,6666	29			

Tabla. Test de Tukey para "color de la espuma".

Muestra	Número de resultados	Media de resultados	Grupo
Solo pan	5	1,0	A
Proceso invertido	5	1,0	A
Pan bregado	5	1,0	A
Pan de molde	5	1,2	A
Pan de flama	5	1,8	B
Control	5	2,0	B

FASE GUSTATIVA.

Acidez:

Tabla. Tabla ANOVA para "acidez".

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	F	P-valor
Entre grupos	2,9666	5	0,5933	2,37	0,0695
Intra grupos	6,0	24	0,25		
Total	8,9666	29			

Carbonatado:

Tabla. Tabla ANOVA para "carbonatado".

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	F	P-valor
Entre grupos	0,1666	5	0,0333	1,00	0,4389
Intra grupos	0,8	24	0,0333		
Total	0,9666	29			

Amargor:

Tabla. Tabla ANOVA para "amargor".

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	F	P-valor
Entre grupos	4,5666	5	0,9133	9,13	0,0001
Intra grupos	2,4	24	0,1		
Total	6,9666	29			

Tabla. Test de Tukey para "amargor".

Muestra	Número de resultados	Media de resultados	Grupo
Solo pan	5	1,0	A
Proceso invertido	5	2,0	B
Pan bregado	5	2,0	B
Pan de molde	5	2,0	B
Pan de flama	5	2,0	B
Control	5	2,0	B

Cuerpo:

Tabla. Tabla ANOVA para "cuerpo".

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	F	P-valor
Entre grupos	3,6	5	0,72	4,80	0,0035
Intra grupos	3,6	24	0,15		
Total	7,2	29			

Tabla. Test de Tukey para “cuerpo”.

Muestra	Número de resultados	Media de resultados	Grupo
Pan de molde	5	1,2	A
Solo pan	5	1,2	A
Proceso invertido	5	1,8	B
Pan bregado	5	1,8	B
Pan de flama	5	2,0	B
Control	5	2,0	B

Persistencia aromática:

Tabla. Tabla ANOVA para “persistencia aromática”.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	F	P-valor
Entre grupos	1,6	5	0,32	1,48	0,2342
Intra grupos	5,2	24	0,2166		
Total	6,8	29			

FASE OLFATIVA.

Maltosidad:

Tabla. Tabla ANOVA para “maltosidad”.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	F	P-valor
Entre grupos	27,3667	5	5,4733	46,91	0,0000
Intra grupos	2,8	24	0,1166		
Total	30,1667	29			

Tabla. Test de Tukey para “maltosidad”.

Muestra	Número de resultados	Media de resultados	Grupo
Solo pan	5	0	A
Pan de molde	5	1,4	A
Pan bregado	5	2,0	B
Proceso invertido	5	2,0	B
Pan de flama	5	2,8	C
Control	5	2,8	C

- Malta cereal:

Tabla. Tabla ANOVA para "malta cereal".

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	F	P-valor
Entre grupos	33,5	5	6,7	33,50	0,0000
Intra grupos	4,8	24	0,2		
Total	38,3	29			

Tabla. Test de Tukey para "malta cereal".

Muestra	Número de resultados	Media de resultados	Grupo
Solo pan	5	0	A
Pan de molde	5	0,6	A
Pan bregado	5	2,0	B
Proceso invertido	5	2,0	B
Pan de flama	5	2,8	B
Control	5	2,8	B

- Malta fruta madura:

Tabla. Tabla ANOVA para "malta fruta madura".

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	F	P-valor
Entre grupos	7,0666	5	1,4133	2,17	0,0908
Intra grupos	15,6	24	0,65		
Total	22,666	29			

- Malta frutos pasificados:

Tabla. Tabla ANOVA para "malta frutos pasificados".

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	F	P-valor
Entre grupos	2,6666	5	0,5333	4,57	0,0045
Intra grupos	2,8	24	0,1166		
Total	5,4666	29			

Tabla. Test de Tukey para “malta frutos pasificados”.

Muestra	Número de resultados	Media de resultados	Grupo
Control	5	0	A
Pan de flama	5	0	A
Pan bregado	5	0	A
Proceso invertido	5	0	A
Solo pan	5	0	A
Pan de molde	5	0,8	B

Lupulizado:

Tabla. Tabla ANOVA para “lupulizado”.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	F	P-valor
Entre grupos	4,0	5	0,8	4,00	0,0088
Intra grupos	4,8	24	0,2		
Total	8,8	29			

Tabla. Test de Tukey para “lupulizado”.

Muestra	Número de resultados	Media de resultados	Grupo
Pan de molde	5	1,2	A
Proceso invertido	5	1,6	A-B
Pan bregado	5	1,6	A-B
Pan de flama	5	2,0	A-B
Solo pan	5	2,2	B
Control	5	2,2	B

- Lúpulo fruta exótica:

Tabla. Test de Tukey para “lúpulo fruta exotica”.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	F	P-valor
Entre grupos	0,1666	5	0,0333	1,00	0,4389
Intra grupos	0,8	24	0,0333		
Total	0,9666	29			

- Lúpulo fruta cítrica:

Tabla. Tabla ANOVA para "lúpulo fruta cítrica".

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	F	P-valor
Entre grupos	21,7667	5	4,3533	18,66	0,0000
Intra grupos	5,6	24	0,2333		
Total	27,3667	29			

Tabla. Test de Tukey para "lúpulo fruta cítrica".

Muestra	Número de resultados	Media de resultados	Grupo
Pan de flama	5	0	A
Control	5	0	A
Pan de molde	5	0	A
Pan bregado	5	0	A
Proceso invertido	5	1,2	B
Solo pan	5	2,2	C

- Lúpulo vegetal:

Tabla. Tabla ANOVA para "lúpulo vegetal".

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	F	P-valor
Entre grupos	17,8667	5	3,5733	14,29	0,0000
Intra grupos	6,0	24	0,25		
Total	23,8667	29			

Tabla. Test de Tukey para "lúpulo vegetal".

Muestra	Número de resultados	Media de resultados	Grupo
Solo pan	5	0	A
Proceso invertido	5	0,6	A-B
Pan de molde	5	1,2	B-C
Pan bregado	5	1,6	C-D
Pan de flama	5	2,0	C-D
Control	5	2,2	D

Levadura:

Tabla. Tabla ANOVA para “levadura”.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	F	P-valor
Entre grupos	4,6666	5	0,9333	1,75	0,1616
Intra grupos	12,8	24	0,5333		
Total	17,4667	29			

- Levadura fruta tropical:

Tabla. Tabla ANOVA para “levadura fruta tropical”.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	F	P-valor
Entre grupos	6,0	5	1,2	10,29	0,0000
Intra grupos	2,8	24	0,1166		
Total	8,8	29			

Tabla. Test de Tukey para “levadura fruta tropical”.

Muestra	Número de resultados	Media de resultados	Grupo
Control	5	0	A
Pan de flama	5	0	A
Pan de molde	5	0	A
Proceso invertido	5	0	A
Solo pan	5	0	A
Pan bregado	5	1,2	B

- Levadura especiado:

Tabla. Tabla ANOVA para “levadura especiado”.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	F	P-valor
Entre grupos	0,6666	5	0,1333	1,00	0,4389
Intra grupos	3,2	24	0,1333		
Total	3,8666	29			

- Levadura panadería:

Tabla. Tabla ANOVA para "levadura panadería".

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	F	P-valor
Entre grupos	7,2	5	1,44	1,96	0,1208
Intra grupos	17,6	24	0,7333		
Total	24,8	29			

Tostado:

Tabla. Tabla ANOVA para "tostado".

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	F	P-valor
Entre grupos	7,7666	5	1,5533	5,18	0,0023
Intra grupos	7,2	24	0,3		
Total	14,9667	29			

Tabla. Test de Tukey para "tostado".

Muestra	Número de resultados	Media de resultados	Grupo
Pan de molde	5	0	A
Solo pan	5	0	A
Pan bregado	5	0,6	A-B
Proceso invertido	5	0,8	A-B
Pan de flama	5	1,0	A-B
Control	5	1,4	B

- Tostado regaliz:

Tabla. Tabla ANOVA para "tostado regaliz".

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	F	P-valor
Entre grupos	4,6666	5	0,9333	3,11	0,2614
Intra grupos	7,2	24	0,3		
Total	11,8666	29			

- Tostado frutos secos:

Tabla. Tabla ANOVA para “tostado frutos secos”.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	F	P-valor
Entre grupos	5,3666	5	1,0733	3,22	0,2310
Intra grupos	8,0	24	0,3333		
Total	13,3666	29			

Caramelizado:

Tabla. Tabla ANOVA para “caramelizado”.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	F	P-valor
Entre grupos	0,2666	5	0,0533	0,80	0,5606
Intra grupos	1,6	24	0,0666		
Total	1,8666	29			

DEFECTOS.

Asidrado:

Tabla. Tabla ANOVA para “asidrado”.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	F	P-valor
Entre grupos	1,5	5	0,3	6,00	0,0010
Intra grupos	1,2	24	0,05		
Total	2,7	29			

Tabla. Test de Tukey para “asidrado”.

Muestra	Número de resultados	Media de resultados	Grupo
Pan de molde	5	0,6	A
Solo pan	5	0	A
Pan bregado	5	0	A
Proceso invertido	5	0	A
Pan de flama	5	0	A
Control	5	0	B

Reducción:

Tabla. Tabla ANOVA para "reducción".

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	F	P-valor
Entre grupos	0,7	5	0,14	1,68	0,1778
Intra grupos	2,0	24	0,0833		
Total	2,7	29			

Diacetilo:

Tabla. Tabla ANOVA para "diacetilo".

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	F	P-valor
Entre grupos	0,6666	5	0,1333	1,14	0,3653
Intra grupos	2,8	24	0,1166		
Total	3,4666	29			

Jabonoso:

Tabla. Tabla ANOVA para "jabonoso".

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	F	P-valor
Entre grupos	4,1666	5	0,83333	8,3333	0,0000
Intra grupos	0	24	0,1		
Total	4,1666	29			

Tabla. Test de Tukey para "jabonoso".

Muestra	Número de resultados	Media de resultados	Grupo
Control	5	0	A
Solo pan	5	0	A
Pan bregado	5	0	A
Proceso invertido	5	0	A
Pan de flama	5	0	A
Pan de molde	5	1,0	B