



**FACULTAD DE FARMACIA
UNIVERSIDAD COMPLUTENSE**

**TRABAJO FIN DE GRADO
MÉTODOS DE ELABORACIÓN DE CERVEZA
SIN GLUTEN**

Autor: Belén García Alonso

Fecha: Julio 2020

Tutor: María Alejandra García Alonso

ÍNDICE

RESUMEN	3
1. INTRODUCCIÓN: ANTECEDENTES.....	4
1.1. CERVEZA.....	4
1.1.1. <i>Materias primas</i>	4
1.1.2. <i>Proceso de elaboración.....</i>	5
1.1.3. <i>Componentes.....</i>	5
1.1.4. <i>Efectos beneficiosos de la cerveza en la salud</i>	6
1.2. GLUTEN.....	8
1.3. ENFERMEDADES RELACIONADAS CON EL GLUTEN Y SU TRATAMIENTO.....	9
1.3.1. <i>Enfermedad celiaca</i>	9
1.3.2. <i>Alergia al trigo.....</i>	9
1.3.3. <i>Sensibilidad al gluten no celiaca.....</i>	10
1.3.4. <i>Tratamiento de las enfermedades relacionadas con el gluten</i>	10
2. OBJETIVOS	10
3. MATERIAL Y MÉTODOS	10
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	10
4.1. CERVEZA SIN GLUTEN A PARTIR DE CEREALES SIN GLUTEN.....	10
4.1.1. <i>Cerveza a partir de arroz</i>	11
4.1.2. <i>Cerveza a partir de maíz.....</i>	11
4.1.3. <i>Cerveza a partir de sorgo.....</i>	12
4.1.4. <i>Cerveza a partir de mijo.....</i>	12
4.1.5. <i>Cerveza a partir de teff.....</i>	12
4.1.6. <i>Cerveza a partir de quinoa</i>	12
4.1.7. <i>Cerveza a partir de trigo sarraceno.....</i>	13
4.2. CERVEZA SIN GLUTEN POR ELIMINACIÓN DEL GLUTEN.....	13
4.2.1. <i>Selección de las materias primas de partida</i>	13
4.2.2. <i>Precipitación de proteínas</i>	14
4.2.3. <i>Hidrólisis enzimática.....</i>	15
4.2.4. <i>Cavitación hidrodinámica.....</i>	17
4.3. CERVEZA SIN GLUTEN A PARTIR DE AZÚCARES FERMENTABLES.....	17
5. CONCLUSIONES	18
6. BIBLIOGRAFÍA.....	19

RESUMEN

El consumo moderado de cerveza ha demostrado ser beneficioso para la salud debido, mayoritariamente, a los flavonoides y el etanol que contiene. Sin embargo, la cerveza también contiene gluten procedente de los cereales con los que se elabora tradicionalmente, como la cebada. Esta característica hace que no pueda ser consumida por personas que padecen enfermedad celíaca, alergia al trigo o sensibilidad al gluten no celíaca. Para que estos pacientes puedan disfrutar de los beneficios de la cerveza en la salud, se han desarrollado varios métodos para elaborar cerveza sin gluten. El primer método consiste en utilizar como materia prima cereales sin gluten como el arroz, el mijo, el sorgo y el teff o usar pseudocereales como la quinoa y el trigo sarraceno. El segundo método consiste en utilizar materias primas que no sean cereales, como el jarabe de azúcares fermentables. Sin embargo, en estos dos métodos hay que modificar parámetros en el proceso de elaboración y las cervezas resultantes poseen características organolépticas diferentes a las de la cerveza tradicional. Finalmente, el tercer método consiste en elaborar cerveza sin gluten eliminando el gluten del cereal. Existen varias técnicas para conseguirlo, siendo las más utilizadas en la industria cervecera la hidrólisis enzimática del gluten mediante la prolil endopeptidasa de *Aspergillus niger* o mediante un extracto concentrado con endopeptidasas de la malta porque se obtiene una cerveza de características comparables a las de la cerveza tradicional sin modificar el proceso de elaboración. Dentro de este último método, la cavitación hidrodinámica es una técnica novedosa que está dando muy buenos resultados y, además, se consigue una menor degradación de compuestos bioactivos de la cerveza y un mayor ahorro energético.

ABSTRACT

Moderate beer consumption has shown health benefits due to flavonoids and ethanol which beer contains. However, beer also has gluten from cereals which are used traditionally for brewing, as barley. This characteristic makes beer consumption not suitable for people with coeliac disease, wheat allergy or non - coeliac gluten sensitivity. In order for patients to take advantage of health benefits from beer, several methods have been developed for brewing gluten-free beer. The first method consists in using gluten-free cereals as raw material, like rice, millet, sorghum and teff or pseudocereals such as quinoa or buckwheat. The second method consist in using non-cereal raw materials, such as fermented sugar syrups. However, in both methods, parameters have to be modified during brewing and final beers have different characteristics than traditional beer. Finally, third method consist in brewing gluten-free beer by removing gluten from the cereal. There are several techniques to achieve this aim, but the most widely used in brewing are enzymatic hydrolysis of gluten with prolil endopeptidase from *Aspergillus niger* or a concentrated extract of malt endopeptidasas, because it is obtained a beer with comparable characteristics to traditional beer without modifying brewing process. Within this last method, hydrodynamic cavitation is a novel technique which is giving excellent results and, in addition, less degradation of bioactive compounds from beer and greater energy savings are achieved.

1. INTRODUCCIÓN: ANTECEDENTES

La cerveza sin gluten forma parte de un mercado muy amplio de “alimentos sin gluten” que surge hace más de 50 años como única solución para aquellos pacientes que padecen enfermedad celíaca (EC) (1). Posteriormente, pacientes diagnosticados de otras enfermedades como alergia al trigo o sensibilidad al gluten no celíaca también deberán seguir una dieta exenta de gluten como único tratamiento para sus patologías (2).

El Codex Alimentarius denomina “alimentos exentos de gluten” a aquellos que contienen un máximo de 20 mg/kg o partes por millón (ppm) de gluten (3), que a nivel europeo está regulado por el Reglamento (UE) Nº 828/2014 (4).

Para comprender la aparición en el mercado de la cerveza sin gluten y su potencial económico actual, que alcanza solo en Europa miles de millones de euros (5), hay que conocer las características y los beneficios sobre la salud de la cerveza tradicional (con gluten), el gluten presente en la cerveza y las patologías que causa en la población.

1.1. Cerveza

La cerveza es el alimento resultante de la fermentación mediante levaduras seleccionadas, del mosto cervecero a partir de materias primas naturales. Es una bebida ampliamente consumida en España, lo que se muestra como una tendencia a alza desde 2011, siendo la bebida más consumida en el sector hostelero. En 2017, España era el cuarto país productor de la UE (incluyendo Noruega, Turquía y Suiza) y el tercer país consumidor, mientras que en datos de consumo per cápita, se encontraba en la posición veintitrés. Estos datos nos muestran que el patrón de consumo de cerveza por parte de los españoles es moderado (6), entendiéndose por consumo moderado de alcohol una ingesta máxima de 1-1,5 raciones al día en mujeres y de 2-2,5 raciones al día en hombres, siendo una ración equivalente a un botellín de cerveza de 200 ml (7).

Los españoles consumimos esta bebida de manera moderada y generalmente acompañada de alimentos, lo que se relaciona con el patrón de Dieta Mediterránea y los beneficios que esta nos aporta (6). Por ello, desde 2004, la cerveza se incluye entre los alimentos cuyo consumo diario se recomienda, excepto en mujeres embarazadas, lactantes, y menores de edad, y esto aparece representado en la pirámide de alimentación saludable publicada en la guía SENC (Sociedad Española de Nutrición Comunitaria) (7). Fuera de un patrón de consumo moderado de alcohol se anulan los efectos positivos sobre la salud y se producen efectos negativos (8). Además, la cerveza en España forma parte de la cultura y el ocio, y es entendida como bien social ya que en numerosas ocasiones se disfruta en compañía de amigos y familiares (6).

1.1.1. Materias primas

Las materias primas son fundamentalmente agua, cereales, lúpulo y levaduras (9).

El agua representa el 90% del contenido total de la cerveza y es responsable de su calidad. Por ello, debe cumplir los requisitos de pureza, potabilidad, libre de sabores, olores y materia orgánica y sin exceso de sales (9).

El cereal más utilizado en la fabricación de cerveza es la cebada (*Hordeum vulgare*), pero cada vez más, se utilizan otros cereales como trigo, maíz, arroz, sorgo, avena, centeno o mezclas de estos (9).

El lúpulo (*Humulus lupulus L.*) es una planta dioica de la que se utilizan las flores del pie femenino en la elaboración de cerveza y es responsable de su amargor característico (9).

Las levaduras son necesarias para llevar a cabo la fermentación alcohólica por transformación de los carbohidratos del cereal en alcohol etílico y dióxido de carbono (CO₂) (10). Se utilizan dos levaduras diferentes, *Saccharomyces cerevisiae* o *Saccharomyces calbergensis*, en función el tipo de fermentación llevada a cabo (11).

1.1.2. Proceso de elaboración

El proceso de elaboración tradicional de cerveza se basa en una serie de etapas sucesivas que comienzan con el **malteado** del cereal para activar las enzimas degradativas del almidón presentes en el grano (alfa amilasa, beta amilasa y amiloglucosidasa). La malta resultante será **molida** y **macerada** dando lugar al mosto cervecero que contiene los azúcares fermentables procedentes del almidón del grano. Este mosto se lleva a **ebullición**, se le **añade el lúpulo** y se **filtra** para separar el mosto líquido de los restos sólidos del grano. El mosto después es **enfriado y aireado** hasta una temperatura y concentración de oxígeno compatible con la supervivencia de la levadura y se procederá a la **fermentación** en presencia de la levadura seleccionada que actuará sobre los azúcares del mosto transformándolos en alcohol y CO₂. El último paso de la elaboración de la cerveza es la **maduración**, en el que la cerveza se almacena a baja temperatura para que el aroma y el sabor logrados se estabilicen (6,12).

En las grandes industrias las cervezas serán, posteriormente, filtradas (también denominado clarificación) y pasteurizadas para conseguir un aspecto claro y brillante y eliminar la levadura. Sin embargo, la mayoría de cervezas artesanas no se filtran (6,12).

Además, debido a la competencia en el mercado y para disminuir los costes de producción y la contaminación emitida, también se elaboran cervezas eliminando la etapa de malteado y añadiendo enzimas exógenas comerciales para sustituir a las enzimas endógenas que se activarían durante este proceso, consiguiéndose cervezas de características aceptables, pero de menor color, brillo, concentración de ésteres y alcoholes superiores. A pesar de esto, industrialmente sigue predominando el método tradicional de elaboración (13).

1.1.3. Componentes

Podemos clasificar los componentes de la cerveza en volátiles y no volátiles. Los componentes volátiles son alcoholes superiores, ésteres, aldehídos, ácidos, compuestos azufrados, aminas y compuestos fenólicos volátiles, que son responsables del aroma de la cerveza y que proceden principalmente de la fermentación (14).

Los componentes no volátiles presentan características y funciones muy dispares entre sí. Entre ellos se encuentran los principales responsables de los efectos beneficiosos sobre la salud atribuidos a la cerveza y son los que se enumeran a continuación:

Hidratos de carbono. Son los compuestos no volátiles mayoritarios en la cerveza (3-4,4%) siendo en su mayoría dextrinas (75-80%), monosacáridos, oligosacáridos y pentosas (15). Proceden de la degradación enzimática del almidón y son responsables del sabor de la cerveza, retienen el CO₂ formado en la fermentación, intervienen en la formación de la espuma y tienen valor energético (4 Kcal/g) (14).

Fibra. Se considera a la cerveza una buena fuente de fibra soluble, con una concentración media de 2g/L y compuesta principalmente por arabinosilanos y β –glucanos. Estos dos

carbohidratos no son metabolizados por nuestro organismo pasando directamente al intestino grueso donde funcionan como prebióticos para la microbiota colónica (16).

Compuestos fenólicos. Son los principales responsables de la capacidad antioxidante de la cerveza y actúan capturando radicales libres. El contenido de polifenoles de la cerveza varía en función de su presencia inicial en las materias primas, su elaboración, y el tipo de cerveza. Las materias primas responsables son la malta, en un 70-85%, y el lúpulo, en un 15-30% (8,10). Es en el proceso de elaboración donde más varían las concentraciones de polifenoles, principalmente en la clarificación y el filtrado, pero es en el proceso de maduración donde cambia el patrón de polifenoles presente en la cerveza (8).

La estructura común en todos los polifenoles es el grupo fenólico (10) pero los compuestos fenólicos característicos de la cerveza son los prenilflavonoides (xantohumol, isoxantohumol y 8- prenilnaringenina) y los ácidos amargos procedentes del lúpulo (10) constituidos por ácidos α (humulonas) y ácidos β (lupulonas), responsables del amargor y estabilidad de la espuma (10,15)

Vitaminas. La cerveza contiene una elevada proporción de vitaminas del grupo B como niacina (B3), riboflavina (B2), cobalamina (B12), folatos (B9) y piridoxina (B6) (16). Aunque la tiamina (B1) también está presente en cantidades importantes en la malta, es absorbida por la levadura durante la elaboración de cerveza (16), por lo que su contenido no es relevante en ella.

Minerales. La cerveza contiene más de 30 minerales diferentes que contribuyen al sabor característico de la cerveza. Los más abundantes son el magnesio, el potasio, el fósforo y el silicio y su concentración depende de las materias primas empleadas y el proceso de producción. Al ser rica en potasio y baja en sodio, se trata de una bebida adecuada para dietas hiposódicas y al ser rica en magnesio y baja en calcio ayuda a evitar el desarrollo de cálculos biliares y renales (16).

Alcohol etílico. Es un componente presente en la cerveza a excepción de la cerveza sin alcohol, cuyo contenido puede variar entre un 1 y un 10% en función del tipo de cerveza (15,17). Es un componente que no está presente en las materias primas de partida, sino que se produce durante el proceso de fermentación (15) y cuyo consumo moderado en personas adultas y sanas produce efectos beneficiosos sobre la salud (17).

1.1.4. Efectos beneficiosos de la cerveza en la salud

Varios estudios revelan los efectos beneficiosos del consumo moderado de cerveza, señalando a los compuestos polifenólicos y al alcohol como principales responsables (18). Sin embargo, habrá que considerar otros factores cuando hablamos de los efectos del consumo de alcohol como edad, sexo, frecuencia de consumo, cantidad total del alcohol ingerida y tipo de bebida alcohólica consumida (8).

Estos efectos beneficiosos van a ser principalmente a nivel cardiovascular, óseo, inmunológico (8), neuroprotector (19) y de la microbiota intestinal (18).

Efecto cardioprotector

El consumo moderado y regular de alcohol acompañado de una dieta y estilo de vida saludables, reduce de manera significativa el riesgo de enfermedad cardiovascular (CV) (17). Los efectos protectores de la cerveza a nivel cardiovascular dependen tanto del alcohol como de componentes no alcohólicos, principalmente de los compuestos polifenólicos (8,17). Los efectos protectores demostrados atribuidos al etanol son la mejora del perfil lipídico por el aumento de HDL colesterol y la disminución de LDL colesterol, la prevención de la oxidación del LDL colesterol, la disminución de la agregación plaquetaria, la reducción en los niveles de fibrinógeno y el aumento de la sensibilidad a la insulina, disminuyéndose así todos estos factores de riesgo CV (8,17). Mientras que los compuestos polifenólicos han demostrado tener actividad antioxidante sobre el LDL colesterol, estrogénica, antiaterogénica, antitrombótica y disminuye el número de moléculas de adhesión leucocitarias y biomarcadores de inflamación en plasma que son considerados factores de riesgo CV (8,10).

Además, a pesar de que la población general considera que la cerveza produce un aumento de peso, no se han visto cambios significativos en el peso, el IMC o los niveles plasmáticos de glucosa, parámetros que también se relacionan con la salud cardiovascular (9).

Efecto óseo

El consumo elevado de bebidas alcohólicas va a producir osteoporosis, mientras que un consumo moderado produce el efecto contrario, siendo los compuestos no alcohólicos los responsables de este efecto. Son el xantohumol y el silicio, presentes en la cerveza, los que mejoran la estructura ósea por inhibir la resorción ósea y por estimular la diferenciación de los osteoblastos (10).

Efecto inmunológico

Existe una relación entre el consumo moderado de bebidas fermentadas y una disminución de los biomarcadores inflamatorios atribuido principalmente a los polifenoles, las vitaminas y el alcohol. También se ha demostrado el efecto inmunomodulador al aumentar los niveles de linfocitos CD3+ e Inmunoglobulina (Ig) G, IgM e IgA, además del aumento de los niveles de citoquinas como interleuquina (IL) 2, IL4, IL10 e IFN- γ (8).

Efectos sobre la microbiota intestinal

La microbiota intestinal es considerada un órgano debido a su repercusión en nuestra salud. Existe microbiota a distintos niveles del organismo, pero es la microbiota intestinal la de mayor importancia por su elevada proporción y su buena interacción con el intestino. Posiblemente, la dieta sea el factor que más influye en la microbiota intestinal siendo los componentes no digeribles, entre los que destacan los polifenoles presentes en la cerveza como ya se ha indicado, los que tienen una interacción más beneficiosa (18).

La interacción entre la microbiota colónica y los polifenoles es de doble sentido. Los polifenoles actúan como prebióticos para la microbiota estimulando o inhibiendo su crecimiento y la microbiota hidroliza enzimáticamente los polifenoles dando acetato, propionato y butirato (AGCC), siendo el más beneficioso el butirato que actúa como fuente de energía de los colonocitos, manteniendo su integridad y funcionalidad y por tanto, disminuyendo la permeabilidad intestinal, la endotoxemia y la inflamación (8,18). Los efectos beneficiosos derivados de la interacción entre los polifenoles y la microbiota dependen de que haya un predominio de las bacterias beneficiosas en detrimento de las perjudiciales, denominado disbiosis (8).

Efecto neuroprotector

El consumo moderado de alcohol también está asociado a un menor riesgo de desarrollar demencia y Alzheimer en comparación con personas no consumidoras (17).

Según algunos estudios, la cerveza podría ayudar a combatir enfermedades cerebrales degenerativas como la demencia, el Alzheimer o el Parkinson gracias al xantohumol por su capacidad antioxidante capaz de combatir el estrés oxidativo, causante, entre otros factores, de estas enfermedades cerebrales degenerativas (19). Pero también los ácidos amargos del lúpulo demostraron suprimir la inflamación cerebral inducida por la acumulación de beta amiloide y en consecuencia, prevenir del declive cognitivo en ratas con Alzheimer (10).

Efecto anticancerígeno

Los responsables de este posible efecto anticancerígeno de la cerveza son los flavonoides y los fitoestrógenos presentes en la cerveza como el xantohumol, los ácidos amargos y la quercetina (10). Por ejemplo, el xantohumol suprime el PSA, una proteína que propaga el cáncer de próstata (19) y la quercetina actúa en el cáncer de páncreas inhibiendo el crecimiento del tumor y la progresión a metástasis (10).

Sin embargo, el efecto cancerígeno del alcohol (clasificado por la IARC como carcinógeno del Grupo 1) y de otros compuestos cancerígenos en menor cantidad en la cerveza como las nitrosaminas volátiles (10), anula los efectos anticancerígenos que pudiesen tener el resto de componentes de la cerveza (10,17).

1.2. Gluten

El Codex Alimentarius define el gluten como “una fracción proteínica del trigo, el centeno, la cebada, la avena o sus variedades híbridas y derivados de los mismos, que algunas personas no toleran y que es insoluble en agua y en 0,5 M NaCl”, especificando que la avena es tolerada por la mayoría de las personas intolerantes al gluten (3).

Como ya se ha mencionado, el Codex Alimentarius denomina “alimentos sin gluten” a aquellos con menos de 20 mg/Kg de gluten e indica que el método de determinación es el ELISA (siglas en inglés de ensayo por inmunoabsorción ligado a enzimas) R5, que es capaz de cuantificar un mínimo de 3 ppm de gluten (4).

Esta proteína tiene un papel muy importante en la industria alimentaria ya que aporta viscosidad, esponjosidad, consistencia, elasticidad y volumen a panes y productos horneados y es responsable de la textura y propiedades organolépticas específicas de algunos alimentos como la pasta (2,4).

El gluten está a su vez constituido por proteínas que se pueden clasificar en solubles en alcohol (prolaminas) e insolubles en alcohol, pero solubles en ácidos o bases (glutelinas). Ambas proteínas son ricas en los aminoácidos prolina (10-29%) y glutamina (26-53%) que están presentes en todos los péptidos que producen inmunogenicidad. Además, adquieren nombres específicos en función del cereal del que estamos hablando, por ejemplo, en el trigo (*Triticum aestivum*) se denominan gliadinas y gluteninas, respectivamente, en el centeno (*Secale cereale*) secalinas, en la cebada (*Hordeum vulgare*) hordeínas y en la avena (*Avena sativa*) aveninas (2).

1.3. Enfermedades relacionadas con el gluten y su tratamiento

Se clasifican en enfermedad celiaca (EC), alergia al trigo (AT) y sensibilidad al gluten no celiaca (SGNC). Las dos primeras son conocidas desde hace décadas, mientras que la SGNC es de conocimiento más reciente (2).

1.3.1. Enfermedad celiaca

La EC es una enfermedad inflamatoria crónica de base autoinmune y predisposición genética (expresión haplotipos HLA-DQ2/DQ8), inducida por el consumo de alimentos con gluten, que va a producir síntomas intestinales y extraintestinales (2,4). Tiene una prevalencia de entre un 0,5-1% a nivel mundial afectando a personas de cualquier edad y siendo doblemente frecuente en mujeres que en hombres (2).

Las proteínas del gluten son parcialmente resistentes a la acción de enzimas digestivas por ser ricas en glutamina y prolina (2). Algunos de los péptidos obtenidos de la hidrólisis son péptidos inmunogénicos capaces de estimular linfocitos T CD4+ de la lámina propia en pacientes que expresan los heterodímeros HLA-DQ2 o DQ8 en las células presentadoras de antígenos, y otros son péptidos con acción tóxica directa sobre el epitelio intestinal (2,4).

Los péptidos que pasan a la lámina propia son deamidados por la transglutaminasa tisular 2 (TG2), lo que aumenta su inmunogenicidad produciendo una respuesta del sistema inmune que produce lesiones en la mucosa duodenal por apoptosis de enterocitos, alteración de la función barrera, inflamación intestinal, enteropatía y atrofia de las vellosidades. Además se producen anticuerpos IgA, que serán utilizados como biomarcadores en el diagnóstico de EC, concretamente, los IgA anti-TG2 por encontrarse la mayoría de pacientes con EC (2).

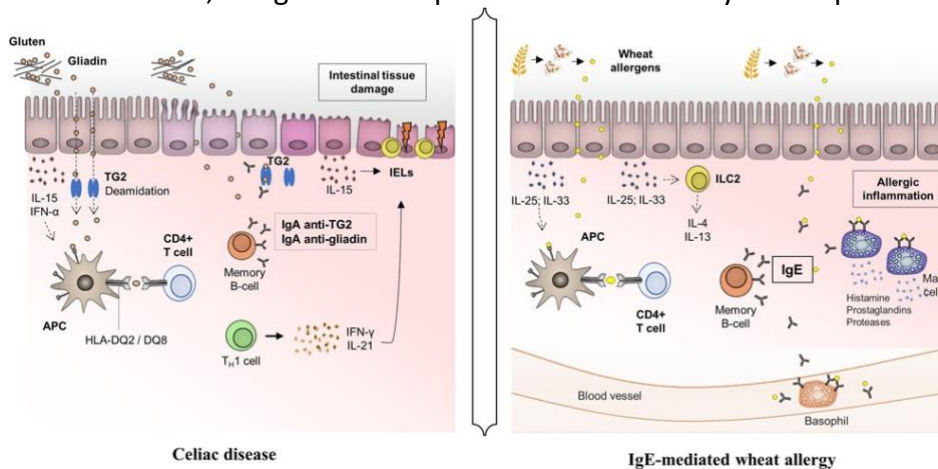


Figura 1. Diferencias inmunológicas entre enfermedad celiaca y alergia al trigo (2).

1.3.2. Alergia al trigo

Tiene una prevalencia global de entre un 0,33 y un 1,17%. Se puede dar por ingestión, más prevalente en niños, o por inhalación (alergia del panadero) que afecta más a adultos y es una de las alergias ocupacionales más frecuentes (2).

La AT también es una reacción inflamatoria en la que está involucrado el sistema inmune pero a diferencia de la EC se van a producir anticuerpos IgE que reconocen los epítomos de proteínas específicas (alérgenos) del trigo en lugar de IgA. Estas proteínas específicas no son exclusivamente las proteínas que forman el gluten, sino también otras proteínas del trigo (2).

1.3.3. Sensibilidad al gluten no celiaca

Los pacientes con SGNC son aquellos con síntomas intestinales y extraintestinales similares a los que se presentan en los síndromes anteriores, pero que no desarrollan los anticuerpos típicos de la EC (IgA anti-TG2) o la AT (IgE específicos para las proteínas del trigo), no tienen lesiones en la mucosa duodenal y una exclusión del gluten de la dieta lleva a la completa desaparición de los síntomas. El diagnóstico, por tanto, se basa en criterios de exclusión de EC y AT (2,20).

La prevalencia de esta enfermedad no se sabe con certeza debido a la cantidad de pacientes que deciden retirar el gluten de su dieta sin consultarlo con ningún profesional (20) y también, debido a la falta de marcadores diagnósticos. Sin embargo, en los últimos estudios se estima que podría tener una prevalencia de 0,16-13% (2) mayor en mujeres, jóvenes y adultos de mediana edad (20).

1.3.4. Tratamiento de las enfermedades relacionadas con el gluten

Todos estos desórdenes son casi siempre sintomatológicamente indistinguibles, con síntomas intestinales y extraintestinales (2), pero en todos ellos la retirada del gluten de la dieta de por vida supone la reversión de estos síntomas e incluso, del daño intestinal ocasionado y hasta la fecha parece ser el único tratamiento eficaz (2,20).

2. OBJETIVOS

El objetivo de este trabajo es realizar una revisión de los métodos utilizados para la obtención de cerveza sin gluten, señalando los métodos más utilizados a nivel industrial y los métodos más recientes.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

Para dar respuesta a los objetivos, se ha realizado una búsqueda bibliográfica de estudios publicados en las bases de datos PubMed (NCBI) y Web of Science (WOS) utilizando como palabras clave “*gluten-free*”, “*beer*”, “*celiac disease*”, “*xanthohumol*”, “*pseudocereal*”, “*AN-PEP*”, “*enzymatic treatment*”, “*hydrodynamic cavitation*”. Paralelamente, se consultaron otras fuentes como Scholar Google y páginas webs de organismos oficiales como “Foro para la investigación de la Cerveza y Estilos de vida (FICYE)” o la “Federación de Asociaciones de Celiacos de España (FACE)”.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se detallan las diferentes cervezas sin gluten que encontramos en el mercado en función de los métodos de obtención empleados.

4.1. Cerveza sin gluten a partir de cereales sin gluten

Uno de los métodos para conseguir cerveza sin gluten es utilizar materias primas que no contengan gluten. Estas pueden ser cereales como el arroz, el maíz, el sorgo, el mijo y el teff o pseudocereales como la quinoa y el trigo sarraceno. Además estos pseudocereales tienen un creciente interés en los consumidores en general debido a su composición, como se indica posteriormente (1).

Todos estos granos son idóneos para introducirlos en dietas exentas de gluten pero presentan características que van a dificultar la elaboración de cerveza por el método tradicional. Uno de los principales inconvenientes es la dificultad de conseguir una sacarificación completa del almidón durante la maceración, que dificultará el proceso de filtración posterior. Esta sacarificación incompleta se debe a las mayores temperaturas de gelatinización de estos granos en comparación con la cebada, el menor número de enzimas endógenas degradativas y la resistencia a la degradación de las paredes celulares de sus endospermos por la diferente composición. Además, el aumento de temperatura para conseguir la gelatinización lleva asociado la posible inactivación de los enzimas endógenos, que tienen unas temperaturas de inactivación inferiores a la de la cebada. Estas desventajas afectarán a la fermentación y al rendimiento, sabor y aroma finales de la cerveza (1).

Sin embargo, a pesar de estos inconvenientes, varios estudios muestran que es posible conseguir cervezas a partir de estos cereales sin gluten añadiendo enzimas exógenas comerciales o reajustando algunos parámetros del proceso de elaboración como veremos a continuación.

4.1.1. Cerveza a partir de arroz

El arroz (*Oryza sativa*) es un cereal muy consumido a nivel mundial y con un contenido proteico menor que el de otros cereales como trigo o maíz (21). Tradicionalmente, se ha utilizado para producir cervezas como el “Zutho” en áreas rurales de la India con un 5% (v/v) de alcohol y una consistencia y densidad mayores que en la cerveza de cebada (1). Se han intentado elaborar cervezas de arroz siguiendo el método no tradicional, es decir, añadiendo enzimas exógenas al arroz no malteado, pero no parece ser una opción posible en el caso del arroz ya que sus proteínas no pueden ser totalmente degradadas por esas enzimas afectando al color, aroma y sabor de la cerveza (22).

También se han elaborado cervezas de arroz siguiendo el método tradicional a partir de arroz malteado, agua, lúpulo y levaduras obteniendo una cerveza de densidad y contenido alcohólico aceptables (1), pero de menor rendimiento y con un sabor y aroma diferentes (22). Por el contrario, en otro estudio posterior, se consigue por primera vez obtener cerveza 100% elaborada a partir de malta de arroz con el mismo rendimiento que el de la cerveza de malta de cebada ajustado el pH y la temperatura del proceso de maceración, lo que permitió la completa sacarificación del almidón. Las cervezas fueron evaluadas y comparadas con una cerveza de malta de cebada por un panel de catadores indicando un aroma, sabor y sensación al gusto similar al de las cervezas de malta de cebada, pero de menor intensidad y con ligero sabor a “arroz”, de color más pálido y con una espuma blanca menos estable (22).

4.1.2. Cerveza a partir de maíz

El maíz (*Zea mays*) es un alimento muy importante en América y gran parte de África, de alto rendimiento por unidad de superficie (21) que ha sido tradicionalmente utilizado en la elaboración de la “Chicha”, una bebida fermentada a base de maíz típica de América Latina (23). Sus paredes celulares poseen compuestos insolubles más complejos que los de la cebada, lo que dificulta la elaboración de cerveza y por esta razón, actualmente el maíz se utiliza como adjunto en la fabricación de cerveza sustituyendo parte del cereal principal por maíz, pero no como cereal único (1). Aunque hay pocos artículos, se han elaborado cervezas a partir de maíz únicamente (1) y concretamente, en 2013, un grupo de científicos mejicanos, elaboró una

cerveza artesanal a partir de maíz rojo y azul que dio lugar a una cerveza de color rojizo, de sabor y aroma diferentes a la cerveza de cebada, pero con un cuerpo y espuma similares (24).

4.1.3. Cerveza a partir de sorgo

El sorgo (*Sorghum vulgare* o *Sorghum bicolor*) es originario de África (21), donde ha sido tradicionalmente utilizado para la producción de cerveza (1).

A pesar de los inconvenientes comunes al resto de cereales sin gluten, es posible elaborar cerveza utilizando como cereal único el sorgo malteado (25). El proceso de elaboración se diferencia del de la cebada en la fermentación ya que previo a la adición de las levaduras se añade un inóculo de bacterias ácido-lácticas del género *Lactobacillus* (1,25). Se consigue una cerveza más opaca, viscosa, dulce y ligeramente más ácida (1).

La utilización de una solución diluida al 0,1% de hidróxido sódico para hidrolizar los polisacáridos de las paredes celulares del sorgo, permite conseguir una cerveza de mejores características (1,25).

4.1.4. Cerveza a partir de mijo

El mijo es originario de África y se ha utilizado tradicionalmente para la fabricación de cerveza (21). Algunas variedades de mijo van a permitir elaborar cerveza a partir de su malta, como ocurre con el mijo perla y el mijo proso (1,26). Sin embargo, la cerveza obtenida es de sabor y aroma diferentes a la cerveza de cebada debido a la diferente proporción de compuestos volátiles (26).

4.1.5. Cerveza a partir de teff

El teff (*Eragrostis tef*) es un cereal rico en hierro y calcio de origen africano muy apreciado en Etiopía (21), donde es utilizado para la fabricación de una cerveza local denominada "Shamit" (1).

Se ha conseguido fabricar cerveza de calidad satisfactoria a partir de malta de teff siguiendo el proceso de elaboración tradicional y a partir de teff sin maltear añadiendo enzimas exógenas comerciales. En comparación con la cerveza de malta de cebada, en ambas cervezas de teff el sabor era más dulce por tener una mayor proporción de glucosa. Los autores concluyeron que tanto la cerveza de teff malteado como sin maltear podría ser una alternativa a la cerveza de malta de cebada y debido a las buenas características organolépticas obtenidas, proponen utilizar el teff como adjunto en la fabricación de otras cervezas para conseguir nuevos sabores (27).

4.1.6. Cerveza a partir de quinoa

La quinoa (*Chenopodium quinoa*) es un pseudocereal similar al mijo, cultivado para la alimentación en América Latina (21). Desde hace algunos años, el interés comercial de la quinoa ha aumentado por la calidad y cantidad de proteínas y ácidos grasos esenciales que presenta. A pesar de que existen escasas publicaciones, un estudio de 2005 indica que es posible elaborar cerveza a partir de malta de quinoa consiguiendo un aspecto ligeramente opaco, de color amarillento y de estabilidad de la espuma y sabor aceptables (1). Sin embargo, publicaciones posteriores demuestran dificultades en la fabricación, siendo necesario modificar las condiciones de elaboración obteniendo una cerveza muy oscura, con un aroma a frutos secos, espuma grisácea y sabor astringente, muy diferente a la cerveza de cebada (28).

Por ello, posteriormente se han elaborado cervezas en el laboratorio sustituyendo parte de la cebada por quinoa sin maltear, consiguiendo una cerveza de mejores características cuando contiene un 30% de quinoa en comparación con la cerveza de malta de cebada 100% (29).

4.1.7. Cerveza a partir de trigo sarraceno

El trigo sarraceno, también conocido como alforfón, es un pseudocereal tradicionalmente cultivado en Asia y Europa del este. Como ocurre con la quinoa, el interés por el trigo sarraceno está creciendo debido a su contenido en proteínas de alto valor biológico, fibra, ácidos grasos insaturados y minerales (23).

Hay estudios que indican que se consiguió fabricar cerveza a partir de su malta optimizando las condiciones de macerado y filtrado obteniendo una cerveza de características diferentes a la cerveza malta de cebada: opaca, marrón, más amarga y de espuma menos estable (23). Sin embargo, en estudios posteriores en plantas piloto, se obtuvo cerveza de características organolépticas comparables a la cerveza de malta de cebada utilizando trigo sarraceno malteado como materia prima de partida (28). Además, utilizando mezclas de trigo sarraceno (40-60%) con jarabe de almidón sin gluten obtenido por hidrólisis de almidón, se han conseguido cervezas de propiedades sensoriales similares a la cerveza de cebada (1).

En resumen, a pesar de que es posible conseguir cerveza a partir de estos granos sin gluten, en general se obtiene una cerveza de características organolépticas diferentes a la cerveza de cebada en cuanto a sabor, aroma y color, lo que es negativamente percibido por los consumidores y aunque sí podrían ser interesantes algunos de estos granos como adjuntos en la fabricación de la cerveza de cebada para reinventarse y conseguir nuevos sabores, no es una solución para las personas que no pueden consumir gluten (1). Además, las industrias cerveceras deben adaptar su utillaje y optimizar las condiciones del proceso en función del cereal o pseudocereal utilizado, lo que supone un coste añadido que no todas podrán permitirse o que repercutirá en el precio final del producto (30).

4.2. Cerveza sin gluten por eliminación del gluten

En este apartado se muestran los métodos utilizados para obtener cerveza sin gluten eliminándolo de aquellos cereales que lo contienen, especialmente de la cebada por ser el cereal más empleado en la fabricación de cerveza. Puesto que la mayoría de los consumidores de cerveza sin gluten buscan un sabor lo más parecido al de la cerveza tradicional, fabricar cerveza a partir de cebada eliminando de esta el gluten es la solución más eficaz para conseguir unas características organolépticas similares (30).

4.2.1. Selección de las materias primas de partida

Una opción es seleccionar variedades de cebada que tengan menor contenido en gluten de manera natural. Sin embargo, esto no es suficiente para obtener cerveza sin gluten y existe una elevada variabilidad en función de las condiciones de cultivo. Por ello, este método se podrá utilizar como paso previo a alguno de los siguientes (1):

- Se pueden **cruzar variedades** de cereales carentes de alguna de las proteínas que conforman el gluten, como las hordeínas en la cebada. En un ensayo, se consiguió una variedad de cebada con menos de 20 mg/kg de gluten cruzando tres variedades distintas que presentaban una mutación única recesiva por la que cada una de ellas no

presentaba un tipo hordeína: B, C o D. Los principales inconvenientes de este método son el tiempo requerido, la posibilidad de mutaciones secundarias que no den los resultados esperados y el riesgo de contaminación cruzada durante el crecimiento (31).

- También se pueden obtener variedades de cebada sin gluten mediante **técnicas de ingeniería genética** como la mutagénesis, la transgénesis o la edición genómica. Existen algunos estudios en los que, mediante estas técnicas, se ha conseguido reducir o eliminar totalmente la expresión de genes responsables de la presencia de prolaminas y glutelinas. Sin embargo, estas técnicas requieren tiempo para confirmar una transformación estable mediante estudios posteriores y existe la posibilidad de no ser aceptados por el consumidor por las técnicas utilizadas (31).

Por sus inconvenientes, hasta ahora ninguna de estas técnicas es una alternativa para la fabricación industrial de cerveza sin gluten (31).

4.2.2. Precipitación de proteínas

En algunas de las etapas del proceso tradicional de fabricación de cerveza, como el macerado y la fermentación, se produce una precipitación espontánea de proteínas que se eliminarán con el filtrado posterior, disminuyendo el contenido en gluten (1). Sin embargo, las concentraciones de gluten obtenidas son muy variables (58 - 397 ppm) en función de las condiciones del proceso o de las concentraciones de partida, no siendo suficiente para conseguir una concentración de menos de 20 ppm (30).

Sin embargo, algunas sustancias añadidas de manera frecuente en el proceso de clarificación para eliminar las proteínas que enturbian la cerveza, como el hidrogel de sílica y los taninos, van a conseguir disminuir la concentración de gluten incluso por debajo de 20 ppm ya que precipitan proteínas ricas en el aminoácido prolina y este es uno de los aminoácidos mayoritarios en las hordeínas y también en las proteínas que producen turbidez (1,30). Los métodos por los que se produce la precipitación son distintos en función de la sustancia empleada:

- **Gel de sílica.** Presenta residuos de silanol (-SiOH) que forman enlaces de hidrógeno con los residuos carbonilo (-CO-) de la prolina y dan lugar a complejos insolubles en la cerveza que serán posteriormente retirados por filtración. En un ensayo a escala industrial realizado en 2018 en tanques de 3000 hL de capacidad, se consiguió reducir el contenido de gluten un 80% mediante el empleo del gel de sílica (35 g/hL) sin modificar ninguna de las etapas del proceso de fabricación de la cerveza. Sin embargo, no fue suficiente para alcanzar el valor de referencia, obteniendo una concentración de 58 ± 7 ppm de gluten en la cerveza final. En estas cervezas, no se modificaron negativamente el sabor, la estabilidad de la espuma, ni la claridad en comparación con cervezas tradicionales de malta de cebada. Para conseguir finalmente una cerveza sin gluten se sometió a una hidrólisis enzimática (30).
- **Taninos.** En este caso, se forman puentes de hidrógeno entre el grupo hidroxilo (-OH) de los taninos y los grupos carbonilo (-CO-) de la prolina formando complejos insolubles que posteriormente se eliminarán por filtración consiguiendo cervezas con un contenido en gluten inferior a 20 ppm (1,30). Sin embargo, en el mismo estudio de 2018 mencionado pero mediante un experimento a escala piloto en un tanque de 0,7 hL de capacidad, se disminuyó el contenido en gluten hasta una concentración media de 224 ppm añadiendo las cantidades de taninos indicadas por el fabricante (2-6g/hL).

En ese estudio se indica que podrían alcanzarse la concentración de 20 ppm de gluten con un proceso previo de clarificación, lo que se había conseguido en estudios anteriores. Al igual que en el ensayo con el gel de sílica, se consiguen cervezas de sabor, estabilidad de la espuma y claridad aceptables (30).

4.2.3. Hidrólisis enzimática

Existen peptidasas que se utilizan para la producción de alimentos sin gluten procedentes de plantas, animales, hongos, bacterias o ingeniería genética. Estas peptidasas cumplen la legislación para poder introducirlas en el proceso de elaboración de alimentos porque son de grado alimentario. Además, son estables y activas a determinados valores de pH, temperatura y grado alcohólico, lo que las hará más adecuadas para ser utilizadas en un tipo de alimento u otro y son generalmente asumibles económicamente por las empresas ya que no hay que modificar los procesos de elaboración para añadirlas. Muchas de ellas son útiles en el proceso de obtención de cerveza sin gluten. Algunas se encuentran de manera natural en la cebada y otras se añadirán a lo largo del proceso de elaboración (32).

Hidrólisis por enzimas endógenas del cereal o la malta

Espontáneamente, se produce una hidrólisis enzimática de las hordeínas durante el proceso de elaboración de cerveza por parte de enzimas presentes en el cereal o la malta. La degradación enzimática durante la etapa de malteado reduce el contenido de gluten entre un 30 y un 70% en función de parámetros como la humedad, la temperatura y el tiempo, consiguiendo una degradación total de la hordeína D en 5 días. También durante la etapa de macerado se produce una degradación enzimática parcial por peptidasas endógenas de la malta. Sin embargo, aunque el contenido en gluten disminuye entre un 46 y un 79% tras todo el proceso de elaboración, su contenido final en la cerveza es muy variable (13-3084 mg/kg), no utilizándose este método por sí solo para obtener cerveza sin gluten (31).

Una de las enzimas endógenas del cereal cuya aplicación podría ser prometedora en la obtención de cerveza sin gluten, es la endoproteasa B2 (EPB2) que es una cistein-endopeptidasa que degrada específicamente el gluten. Sin embargo aun no hay ensayos que muestren el impacto que puede tener en las características de la cerveza (31).

Extracto de malta enriquecido en peptidasas

Aprovechando la presencia de peptidasas en el cereal, se ha visto que es posible obtener cervezas con menos de 20 ppm de gluten por adición en el mosto de un extracto concentrado de malta de cebada u otros cereales que presenten estas enzimas. Ensayos recientes demuestran que es posible obtener cerveza sin gluten añadiendo un extracto concentrado al 10 % de una malta de cebada con unas características específicas. Esta malta poseía una actividad enzimática muy alta obtenida tras 8 días de germinación a 18Cº y a una humedad del 48 %. El extracto concentrado de esta malta se añadió sobre el mosto cervecero antes de la fermentación y tras 24h a 50 Cº disminuyó el contenido de gluten consiguiendo un contenido final en la cerveza de 14mg/kg (32).

Las ventajas de estos extractos de malta son que las peptidasas que presentan son específicas para hidrolizar las proteínas del gluten, son aptas para la alimentación, son fáciles de obtener y extraer de procesos como el malteado, se pueden incluir fácilmente en el proceso de elaboración de cerveza y los consumidores muestran un alto grado de aceptación (31).

Prolil endopeptidasa derivada de *Aspergillus niger* (AN- PEP)

La prolil endopeptidasa exógena más utilizada en la industria cervecera es la derivada de *Aspergillus niger* (AN - PEP), que hidroliza específicamente las uniones peptídicas desde el extremo carboxílico de un residuo de prolina interno. Puesto que este aminoácido está presente en las proteínas responsables del enturbiamiento de la cerveza, inicialmente se añadió con el fin de eliminar la turbidez. Posteriormente, al descubrirse la característica común con las proteínas del gluten, se ha utilizado para degradar las proteínas responsables de la enfermedad celiaca (1).

Se han conseguido cervezas con un contenido de gluten menor de 20 ppm utilizando únicamente la AN-PEP como método de reducción de gluten (32). Los primeros ensayos se llevaron a cabo en 2012 incubando la enzima en diferentes tipos de cerveza durante 90h a 25°C, consiguiendo una reducción del contenido en gluten de un 78 – 90% con una concentración final en la cerveza de 3,1 mg/kg (31).

AN-PEP es activa a pH 2 – 8 y su actividad es óptima a pH 4 – 5 (32), es estable a temperaturas menores o iguales a 50°C y a concentraciones de etanol de hasta 9,1% (v/v) lo que le hace ideal para incorporarse al proceso de elaboración de cerveza sin tener que variar ninguna característica en las diferentes etapas (31). Además, las cervezas obtenidas tras el tratamiento con AN-PEP poseen un sabor, aroma, textura y estabilidad de la espuma comparables con la cerveza tradicional y su claridad es mayor (30).

Sin embargo, un inconveniente de este método es la posibilidad de una aceptación insuficiente por parte del consumidor si se obligase por ley a indicar la presencia y procedencia de esta enzima. Además, existe la posibilidad de que el tratamiento con esta enzima no sea siempre totalmente efectivo como se demostró en un estudio en 2017 en el que algunos pacientes celíacos desarrollaron una respuesta humoral frente a una cerveza tratada con la AN-PEP. Sin embargo, aun no hay evidencia suficiente para poder afirmar esto (31).

Debido a las numerosas ventajas y los escasos inconvenientes que presentan, la hidrólisis enzimática mediante AN-PEP y la adición de un extracto de malta enriquecido en peptidasas, son los dos métodos más empleados por la industria cervecera para la obtención de la cerveza sin gluten (32).

Transglutaminasa microbiana (mTG) de *Streptomyces monovarensis*

Otra opción para eliminar el gluten de la cerveza es el tratamiento enzimático con mTG (31). Con este tratamiento realmente no va a haber una degradación del gluten sino una modificación (32). Como explicamos en la introducción, la transglutaminasa tisular humana en el intestino actúa principalmente deamidando los péptidos del gluten haciéndolos más inmunógenos. Mientras, la mTG de *Streptomyces monobarensis* tiene más actividad transamidasa que deamidasa, lo que le permite unirse al gluten por un enlace lisina metil éster y formar una molécula más voluminosa que hace que los péptidos del gluten pierdan la capacidad de unirse al HLA-DQ2/8 (32).

Hay estudios que muestran que es posible obtener cervezas de malta con un contenido en gluten por debajo 20ppm siempre y cuando se acompañe esta mTG de un paso previo de clarificación, puesto que su especificidad por el gluten es menor que en el caso de la AN-PEP. En ese estudio se añadieron 231 g /hL de mTG reduciéndose el gluten en un 96% hasta 5mg/kg en la cerveza final (31).

El principal inconveniente de este método es que existe la posibilidad de deamidación de los péptidos del gluten en lugar de transamidación, lo que produciría péptidos más inmunógenos,

que sería lo opuesto a lo que estamos buscando. Además, igual que en el caso de la AN-PEP la aceptación por parte del consumidor podría no ser buena en el caso de que fuese obligación legal declarar el uso de la enzima y su origen (31).

4.2.4. Cavitación hidrodinámica

Un método desarrollado más recientemente es la cavitación hidrodinámica para eliminar el gluten de la cerveza. Este es un método por el que se inducen cambios físicos y químicos en un líquido haciéndolo pasar por un orificio a gran velocidad, lo que disminuye su presión en este punto por debajo de la tensión de sus vapores, cambiando el estado físico de líquido a vapor. Se forman burbujas de vapor en el seno del líquido y cuando estas burbujas son arrastradas hacia zonas de mayor presión colapsan, revirtiendo al estado líquido súbitamente (5).

Es un método utilizado en diferentes industrias con distintos fines y en el caso concreto de la industria cervecera puede ser utilizado para obtener cerveza sin gluten. No se sabe exactamente el mecanismo concreto por el que se consigue, aunque se cree que puede deberse a que los altos valores de presión y temperatura alcanzados súbitamente en el momento del colapso de la burbuja de vapor destruye los residuos de prolina, ya que al ser una molécula hidrofóbica tiende a colocarse en la interfase líquido vapor o incluso dentro de la burbuja. Esto a su vez hace que las levaduras sean capaces de asimilar más fácilmente estos residuos durante la fermentación, dando finalmente una cerveza sin gluten (33).

En los estudios realizados utilizando este método se ha visto que la mejor etapa de la fabricación para someter la cerveza a un proceso de cavitación hidrodinámica es el macerado. De este modo, en algunos estudios se consiguieron cervezas con un contenido de menos de 20 ppm de gluten y con sabor, aroma y textura comparables a las cervezas tradicionales demostrando que las mejores condiciones para conseguir cerveza sin gluten mediante un proceso de cavitación hidrodinámica son en un reactor de tipo Venturi, con un número de cavitación entre 0,3 y 0,4 y a temperatura de 60 - 70 C °. No fue necesario modificar ninguno de los parámetros durante la elaboración de cerveza ni añadir ninguna otra sustancia para disminuir el contenido de gluten (33).

Además, la cavitación hidrodinámica tiene otras ventajas en la elaboración de cerveza ya que ha demostrado una mayor retención de compuestos bioactivos responsables de algunos de los beneficios de la cerveza en la salud ya mencionados como el xantohumol, también, es capaz de eliminar microorganismos evitando otros procesos de desinfección, permite una mayor extracción del almidón, reduce el tiempo de procesado porque sustituye algunas etapas de elaboración y finalmente consigue ahorrar energía en comparación con el proceso tradicional (5,33).

4.3. Cerveza sin gluten a partir de azúcares fermentables

Otra opción para fabricar cerveza sin gluten es utilizar materias primas que no sean cereales ni derivados de ellos. Se han elaborado cervezas a partir de jarabe de azúcares fermentables añadiendo otros componentes que le hagan conseguir características organolépticas lo más parecidas posibles a la cerveza tradicional. Para ello, se añaden extractos de levaduras como fuente de aminoácidos, lúpulo para conseguir el sabor y aroma característicos, caramelo para conseguir el color dorado de la cerveza y guisantes o soja como fuente de proteína (1).

En otros ensayos, se han utilizado jarabe de maltosa de sorgo o arroz hidrolizado enzimáticamente disuelto en agua, además de añadirse una sustancia nutritiva para la

levadura, un coagulante de proteínas y lúpulo, formando una solución acuosa que será fermentada tras adición de una levadura para producir cerveza sin gluten (1).

También se ha intentado obtener cerveza sin gluten creando una fase líquida que facilite el proceso de elaboración, que está formada por agua y dos fuentes de azúcares distintos como miel y melaza (1).

Los principales inconvenientes de este método, como ocurría con las cervezas elaboradas a partir de cereales sin gluten, son las diferentes características organolépticas obtenidas en la cerveza final, además de que la industria cervecera deberá modificar todo el proceso de fabricación de cerveza incluyendo equipos, materiales, etc, lo que en general no les será rentable (30).

5. CONCLUSIONES

Es posible obtener cerveza sin gluten a partir de materias primas que no contengan gluten como son algunos cereales (arroz, mijo, sorgo o teff), pseudocereales (quinoa o trigo sarraceno) o jarabes de azúcares fermentables. Las cervezas obtenidas tienen propiedades organolépticas que difieren de las de la cerveza de cebada de malta, lo que llevará, generalmente, a un rechazo por parte del consumidor. Además, en estos casos es necesario modificar algunos parámetros del proceso de elaboración de la cerveza o la maquinaria empleada, lo que puede no resultar rentable a las industrias cerveceras. Sin embargo, la incorporación de algunos de esos cereales como adjuntos en la fabricación de cerveza puede ser muy interesante para aquellos consumidores que busquen cervezas con nuevos aromas y sabores.

Por la ausencia de las desventajas mencionadas, el método más utilizado en la fabricación de cerveza sin gluten es la eliminación del gluten del cereal de partida. La eliminación del gluten mediante precipitación por sustancias como gel de sílica o los taninos no es suficiente para conseguir una cerveza sin gluten. Esto mismo ocurre cuando se utilizan enzimas endógenas del cereal o mTG para degradar enzimáticamente el gluten. Además, en el caso de la adición de mTG existe la posibilidad de que se generen péptidos inmunógenos por una reacción de deamidación, lo que sería perjudicial para las personas con EC, AT o SGNC. Sin embargo, es posible obtener cerveza sin gluten cruzando variedades de cebada o mediante técnicas de ingeniería genética, aunque no se utiliza a nivel industrial porque requieren mucho tiempo y hay posibilidad de mutaciones secundarias.

Son la hidrólisis enzimática por la AN-PEP o por las endoproteasas de un extracto concentrado de malta los métodos que permiten obtener cervezas con menos de 20 ppm de contenido en gluten, con características organolépticas comparables a la cerveza tradicional y sin modificar las condiciones del proceso de elaboración. Por ello, son los dos métodos más utilizados a nivel industrial para la fabricación de cerveza sin gluten. Finalmente, la técnica de cavitación hidrodinámica, de aparición reciente en el mercado, está ganando importancia en el sector cervecero ya que se ha demostrado que es posible obtener cervezas sin gluten con las mismas ventajas que poseen las dos técnicas anteriores pero además requiere un menor consumo energético durante el proceso de elaboración de la cerveza y disminuye la degradación de compuestos bioactivos como el xantohumulol.

6. BIBLIOGRAFÍA

1. Hager AS, Taylor JP, Waters DM, Arendt EK. Gluten free beer - A review. Trends Food Sci Technol [Internet]. 2014;36(1):44–54. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2014.01.001>
2. Cabanillas B. Gluten-related disorders: Celiac disease, wheat allergy, and nonceliac gluten sensitivity. Crit Rev Food Sci Nutr [Internet]. 2019;1–16. Available from: <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1651689>
3. CODEX ALIMENTARIUS. Norma relativa a los alimentos para regímenes especiales destinados a personas intolerantes al gluten. CODEX STAN 118 - 1979. 2015;
4. FACE | Federación de Asociaciones de Celíacos de España [Internet]. [cited 2020 Apr 3]. Available from: <https://celiacos.org/>
5. Panda D, Saharan VK, Manickam S. Controlled hydrodynamic cavitation: A review of recent advances and perspectives for greener processing. Processes. 2020;8(2).
6. España C de. Informe Socioeconómico del sector de la cerveza en España 2018. 2018;52.
7. de Cangas R. Dieta Mediterránea, de la teoría a la práctica (SENC). 2019;
8. Nova E. Effects of moderate beer consumption on health. Nutr Hosp [Internet]. 2018;35:41–4. Available from: <http://dx.doi.org/10.20960/nh.2286>
9. Ingredientes - FICYE [Internet]. [cited 2020 Mar 19]. Available from: <https://ficye.es/ingredientes/>
10. Osorio-Paz I, Brunauer R, Alavez S. Beer and its non-alcoholic compounds in health and disease. Crit Rev Food Sci Nutr [Internet]. 2019;0(0):1–14. Available from: <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1696278>
11. Rodhouse L, Carbonero F. Overview of craft brewing specificities and potentially associated microbiota. Crit Rev Food Sci Nutr [Internet]. 2019;59(3):462–73. Available from: <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1378616>
12. Humia BV, Santos KS, Barbosa AM, Sawata M, Mendonça M da C, Padilha FF. Beer molecules and its sensory and biological properties: A review. Molecules. 2019;24(8).
13. Zhuang S, Shetty R, Hansen M, Fromberg A, Hansen PB, Hobley TJ. Brewing with 100 % unmalted grains: barley, wheat, oat and rye. Eur Food Res Technol. 2017;243(3):447–54.
14. Sendra, José M.; Cabonel J V. Evaluación de las propiedades nutritivas , funcionales y sanitarias de la cerveza , en comparación con otras bebidas. Cerveza y Salud. 1999;65.
15. Quesada-Molina M, Muñoz-Garach A, Tinahones FJ, Moreno-Indias I. A new perspective on the health benefits of moderate beer consumption: Involvement of the gut microbiota. Metabolites. 2019;9(11).
16. Ortega Anta RM, Serra Majem L. Relación entre el consumo moderado de cerveza, calidad nutricional de la dieta y tipo de hábitos alimentarios. 2014;104. Available from: http://www.cervezaysalud.es/wp-content/uploads/2012/07/CICS-estudio-21-OK_bj.pdf
17. de Gaetano G, Costanzo S, Di Castelnuovo A, Badimon L, Bejko D, Alkerwi A, et al. Effects of moderate beer consumption on health and disease: A consensus document. Nutr Metab Cardiovasc Dis. 2016;26(6):443–67.
18. Moreno-indias I. Beneficios de los polifenoles en la microbiota. Nutr Hosp. 2017;34:41–4.
19. Alzheimer CEAFA [Internet]. [cited 2020 Apr 5]. Available from:

- <https://www.ceafa.es/es>
20. Czaja-Bulsa G. Non coeliac gluten sensitivity - A new disease with gluten intolerance. *Clin Nutr*. 2015;34(2):189–94.
 21. Home | Food and Agriculture Organization of the United Nations [Internet]. [cited 2020 Apr 7]. Available from: <http://www.fao.org/home/en/>
 22. Mayer H, Ceccaroni D, Marconi O, Sileoni V, Perretti G, Fantozzi P. Development of an all rice malt beer: A gluten free alternative. *LWT - Food Sci Technol* [Internet]. 2016;67:67–73. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2015.11.037>
 23. Zweytick G, Berghofer E. *Gluten-Free Food Science and Technology*. 2009. 181–200 p.
 24. DiCYT [Internet]. [cited 2020 Apr 7]. Available from: <https://www.dicyt.com/>
 25. Boffill-rod ríguez Y, Gallardo-aguilar I, Química DDI, Química-farmacia F. Ventajas de la producción de cerveza a partir de malta de sorgo . Revisi n bibliogr fica. *Tecnol Química*. 2014;34(3):324–34.
 26. Zarnkow M, Faltermaier A, Back W, Gastl M, Arendt EK. Evaluation of different yeast strains on the quality of beer produced from malted proso millet (*Panicum miliaceum* L.). *Eur Food Res Technol*. 2010;231(2):287–95.
 27. Di Ghionno L, Sileoni V, Marconi O, De Francesco G, Perretti G. Comparative study on quality attributes of gluten-free beer from malted and unmalted teff [*Eragrostis tef* (zucc.) trotter]. *LWT - Food Sci Technol* [Internet]. 2017;84:746–52. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2017.06.044>
 28. De zelak M, Zarnkow M, Becker T, Ko ir IJ. Processing of bottom-fermented gluten-free beer-like beverages based on buckwheat and quinoa malt with chemical and sensory characterization. *J Inst Brew*. 2014;120(4):360–70.
 29. Kordialik-Bogacka E, Bogdan P, Pielech-Przybylska K, Micha owska D. Suitability of unmalted quinoa for beer production. *J Sci Food Agric*. 2018;98(13):5027–36.
 30. Watson HG, Vanderputten D, Van Landschoot A, Decloedt AI. Applicability of different brewhouse technologies and gluten-minimization treatments for the production of gluten-free (barley) malt beers: Pilot- to industrial-scale. *J Food Eng* [Internet]. 2019;245:33–42. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.09.015>
 31. Kerpes R, Fischer S, Becker T. The production of gluten-free beer: Degradation of hordeins during malting and brewing and the application of modern process technology focusing on endogenous malt peptidases. *Trends Food Sci Technol* [Internet]. 2017;67:129–38. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2017.07.004>
 32. Scherf KA, Wieser H, Koehler P. Novel approaches for enzymatic gluten degradation to create high-quality gluten-free products. *Food Res Int* [Internet]. 2018;110:62–72. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2016.11.021>
 33. Albanese L, Ciriminna R, Meneguzzo F, Pagliaro M. Gluten reduction in beer by hydrodynamic cavitation assisted brewing of barley malts. *LWT - Food Sci Technol* [Internet]. 2017;82:342–53. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2017.04.060>