



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

EFFECTO DE LA PASTEURIZACIÓN POR CALENTAMIENTO ÓHMICO EN LAS CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS DE CERVEZA

Orlando Bernal Chía

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias Agrarias
Bogotá D.C., Colombia
2022

EFFECTO DE LA PASTEURIZACIÓN POR CALENTAMIENTO ÓHMICO EN LAS CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS DE CERVEZA

Orlando Bernal Chía

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:
Magister en ciencia y tecnología de los alimentos

Director:

Ph.D .Luis Felipe Gutiérrez Álvarez

Línea de Investigación:

Procesamiento de alimentos

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de ciencias agrarias, Instituto de ciencia y tecnología de los alimentos (ICTA)

Bogotá, Colombia

2022

A mi familia

Por la paciencia, por la compañía, a mi mamá que es la que siempre me ilumina y alegra, a mi abuelita Ángela y mi abuelito Antonio que siempre estuvieron pendientes del proceso, a mi papá y mi hermana y mi sobrino que son mi impulso.

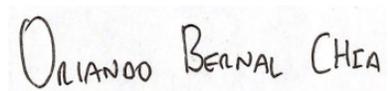
Declaración de obra original

Yo declaro lo siguiente:

He leído el Acuerdo 035 de 2003 del Consejo Académico de la Universidad Nacional. «Reglamento sobre propiedad intelectual» y la Normatividad Nacional relacionada al respeto de los derechos de autor. Esta disertación representa mi trabajo original, excepto donde he reconocido las ideas, las palabras, o materiales de otros autores.

Cuando se han presentado ideas o palabras de otros autores en esta disertación, he realizado su respectivo reconocimiento aplicando correctamente los esquemas de citas y referencias bibliográficas en el estilo requerido.

Por último, he sometido esta disertación a la herramienta de integridad académica, definida por la universidad.



ORLANDO BERNAL CHÍA

Nombre

Fecha 15/08/2022

Resumen

EFFECTO DE LA PASTEURIZACIÓN POR CALENTAMIENTO ÓHMICO EN LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS DE CERVEZA

En este documento se presenta el efecto del calentamiento óhmico en cerveza como método de preservación. La cerveza fue sometida a dos tratamientos independientes, el primero sin enfriamiento (T1) y el segundo con enfriamiento (T2), estos tratamientos se compararon con pasteurización convencional. Para ambos tratamientos se evaluaron las propiedades microbiológicas y fisicoquímicas de la cerveza, al igual que el análisis de superficie de los electrodos del calentador óhmico. El tratamiento T1 afectó significativamente el color, el contenido de hierro, cobre y plomo ($P < 0.05$), respecto a los parámetros de acidez, pH, cenizas y zinc no se evidenció efecto significativo en los dos tratamientos ($P > 0.05$). Para ambos tratamientos se logró una disminución microbiológica significativa de 2 unidades logarítmicas para *Candida albicans* y de 1.5 unidades logarítmicas para *Lactobacillus acidophilus*. El análisis SEM realizado a los electrodos permitió evidenciar corrosión después de los tratamientos, corrosión confirmada con el análisis composicional (EDX). La vida útil de cerveza sin carbonatación fue de 20 días debido a cambio en el color de la cerveza, los parámetros de acidez y carga microbiológica fue estable durante 20 días.

Palabras claves: Calentamiento óhmico, electrodos, vida útil, estabilidad microbiológica cerveza, metales en cerveza.

Abstract

EFFECT OF OHMIC HEATING PASTEURIZATION ON PHYSICOCHEMICAL AND MICROBIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF BEER.

This paper presents the effect of ohmic heating on beer as a preservation method. Beer was subjected to two independent treatments, the first without cooling (T1) and the second with cooling (T2), these treatments were compared with conventional pasteurization. For both treatments, the microbiological and physicochemical properties of the beer were evaluated, as well as the surface analysis of the ohmic heater electrodes. The T1 treatment significantly affected the color, iron, copper and lead content ($P < 0.05$); with respect to the parameters of acidity, pH, ash and zinc, there was no significant effect in the two treatments ($P > 0.05$). For both treatments a significant microbiological decrease of 2 log units for *Candida Albicans* and 1.5 log units for *Lactobacillus Acidophilus* was achieved. SEM analysis of the electrodes revealed corrosion after the treatments, corrosion confirmed by compositional analysis (EDX). The shelf life of beer without carbonation was 20 days due to a change in the color of the beer; the acidity and microbiological load parameters were stable for 20 days.

Keywords: ohmic heating, electrodes, shelf life, microbiological stability beer, metals in beer

Contenido

	Pág.
Resumen	VII
Lista de figuras	XI
Lista de tablas	XII
Lista de Símbolos y abreviaturas	XIII
Introducción	15
1. Marco teórico	18
1.1 Cerveza.....	18
1.2 Materias primas en la elaboración de cerveza..	19
1.2.1 Lupulo (<i>humulus lupulos</i>).....	19
1.2.2 Malta.....	19
1.2.3 Levadura.....	21
1.3 Elaboración de cerveza.....	21
1.3.1 Malteado.....	22
1.3.2 Maceración	22
1.3.3 Procesamiento de mosto, adición de lupulo y hervido...23	
1.3.4 Fermentación.....	23
1.3.5 Pasteurización	24
1.4 Tecnologías no termicas para el tratamiento de alimentos24	
1.5 Calentamiento óhmico.....	26
1.6 Principios basicos del calentamiento óhmico....26	
1.6.1 El circuito electrico.....	27
1.6.2 Conductividad electrica.....	28
1.7 Mecanismo de la letalidad microbiolo.....	31
1.7.1 Efectos de los campos eléctricos sobre las membranas biológicas32	
2. Hipótesis y objetivos	36
2.1 Hipótesis	36
2.2 Objetivo general	36
2.3 Objetivos específicos	36
3. Effect of ohmic heating pasteurization on physicochemical and microbiological characteristics of beer	37

3.1	Resumen	37
3.2	Abstract	38
3.3	Introduction	39
3.4	Material and methods	41
3.4.1	Materials.....	41
3.4.2	Methods	42
3.4.2.1	Physicochemical characteristics of beer..	42
3.4.2.2	Microbiological characteristics of beer.....	43
3.4.2.3	Microbiological inoculation of beer	43
3.4.2.4	Electrode analysis.....	44
3.4.2.5	Statistical analysis.....	44
3.5	Results and discussion	44
3.5.1	Ohmic heater design	44
3.5.2	Heat treatment.....	46
3.5.3	Microbiological characteristics	47
3.5.4	Physicochemical characteristics	48
3.5.4.1	Acidity	48
3.5.4.2	pH.....	49
3.5.4.3	Ash	50
3.5.4.4	Color	51
3.5.4.5	Metals	53
3.5.4.6	SEM analysis	54
3.5.4.7	Shelf life evaluation.....	56
3.6	Conclusions	59
4.	Conclusiones y recomendaciones	60
4.1	Conclusiones generales.....	60
4.2	Recomendaciones	61
5.	Contribuciones.....	62
	Bibliografía	63

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1-1: Descripción esquemática de la formación de poros hidrofílicos en la membrana celular, adaptado de (Toepfl et al., 2014).....	34
Figura 3-1: Ohmic heater, with connection to a heating cell equipped with a cooling jacket.....	42
Figura 3-2: Ohmic heater with connection to a heating cell.....	45
Figura 3-3: The complete experimental setup of ohmic heater	45
Figura 3-4: Temperature variation for treatments T1 and T2 applying a field strength of 22 V.cm ⁻¹	46
Figura 3-5: Logarithmic reduction of <i>Candida Albicans</i> and <i>Lactobacillus Acidophilus</i> for treatments T1 and T2 Applying a force field of 22 V.cm ⁻¹	47
Figura 3-6: Variation of titratable acidity in beer for treatments T1 and T2 Applying a force field of 22 V.cm ⁻¹	49
Figura 3-7: pH value in beer for treatments T1 and T2 Applying a force field of 22 V.cm ⁻¹	50
Figura 3-8: Ash content in beer for treatments T1 and T2 Applying a force field of 22 V.cm ⁻¹	51
Figura 3-9: Color (EBC) in beer for treatments T1 and T2 Applying a force field of 22 V.cm ⁻¹	52
Figura 3-10: Metals in beer for treatments T1 and T2 Applying a force field of 22 V.cm ⁻¹	53
Figura 3-11: Two SEM images and composition of electrode surface before treatments for ohmic heating of beer.....	55
Figura 3-12: SEM images and composition of electrode surface after treatments for ohmic heating of beer.....	56
Figura 3-13: Microbiological count of <i>Candida Albicans</i> and <i>Lactobacillus Acidophilus</i> for treatments T1 and T2 in the shelf life.....	57
Figura 3-14: Variation of color (EBC) for treatments T1 and T2 in the shelf life.....	58

Lista de tablas

Pág.

Tabla 1-1: Principales tipos de cerveza y estilos..... 18

Lista de Símbolos y abreviaturas

Símbolos con letras latinas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
UP	Unidades de pasteurización	N.A	Numeral 1.3.5
V	Voltaje	V	Unidad de tensión eléctrica
I	Amperaje	I	Unidad de corriente eléctrica
R	Resistencia eléctrica	R o Ω	Unidad de resistencia
σ	Conductividad eléctrica	S/m	Numeral 1.6.2
$^{\circ}\text{C}$	Temperatura	$^{\circ}\text{C}$	Grados Celsius

Introducción

¿Cómo afecta la pasteurización la calidad de la cerveza? ¿Cuáles son los retos tecnológicos de ensayar otra tecnología?

La cerveza es definida según la ley alemana de cerveza pura como la bebida alcohólica fermentada hecha de malta y cereales malteados, agua, lúpulo y levadura.

La elaboración de cerveza incluye procesos comunes como lo son el malteado, macerado, procesamiento del mosto, fermentación y acondicionamiento de la cerveza y obtención de producto terminado (Harrison, 2009). Una vez finalizado el proceso cervecero, existen estrategias que permiten disminuir e inhibir la contaminación microbiana: la pasteurización es una de ellas o la adición de agentes preservantes (Hill, 2009).

El método que tiene prevalencia en la conservación de la cerveza es la pasteurización térmica, esta operación brinda un alto grado de estabilidad microbiológica, pero causa degradación de las propiedades sensoriales, y otros atributos de calidad, debido a los extensos tiempos de exposición al calor (Walkling-Ribeiro et al., 2011).

Actualmente las industrias cerveceras aplican la pasteurización térmica en sistema de túnel como tratamiento para brindar inocuidad al producto (usualmente 120 a 300 Unidades de Pasteurización). Durante la pasteurización térmica es preferible aplicar la menor relación temperatura/tiempo, para evitar los posibles cambios organolépticos. El incremento en las preferencias de productos con mejor calidad nutricional y sensorial ha llevado a buscar nuevos métodos de preservación. La combinación en los parámetros de

tiempo-temperatura en la pasteurización de cervezas tiene un mayor impacto en la calidad del producto afectando principalmente las características originales de la cerveza en términos de flavour, color, amargor, y sensibilidad de las proteínas (Bhuvaneswari & Anandharamakrishnan, 2014), además el tratamiento térmico genera efectos en la reducción de la solubilidad del dióxido de carbono, que es un gas disuelto generado en la fermentación primaria y que brinda inhibición en el crecimiento de patógenos en la cerveza (Buzrul, 2007)(Menz et al., 2009)

Microorganismos típicos en el deterioro de la cerveza son *Saccharomyces cerevisiae*, *Lactobacillus plantarum* y *Bacillus subtilis*, microorganismos que pueden afectar la turbidez, flavour del producto, incremento de la acidez, generación de olores atípicos, que terminan finalmente afectando la filtrabilidad de la cerveza. Debido a su capacidad de formar esporas, *B subtilis* es más resistente a la pasteurización convencional, este microorganismo toma importancia debido a que se considera patógeno (Walkling-Ribeiro et al., 2011).

Adicional a esto existen pocos estudios para la preservación de cerveza por tratamiento no térmico en los que se destaca las altas presiones hidrostáticas, la radiación ultravioleta, y los campos eléctricos pulsados (Walkling-Ribeiro et al., 2011), pero no existen estudios que permitan establecer las condiciones de preservación por calentamiento óhmico.

Los procesos convencionales como control microbiológico son ampliamente usados debido a su capacidad de brindar inocuidad en los alimentos, significando sacrificios en término de cambios indeseables en el flavour y composición de nutrientes. Los alimentos procesados convencionalmente pueden ser de calidad inferior respecto a productos frescos en términos de nutrientes (por ejemplo vitaminas) y otros compuestos bioactivos promotores de la salud (como lo son antioxidantes naturales y ácidos grasos esenciales)(Boye & Arcand, 2012)

El calentamiento óhmico es un avance en el procesamiento “térmico” de los alimentos en donde el material sirve como resistencia eléctrica, y el que a su vez es calentado debido

al paso de electricidad a través de este, la energía eléctrica es rápidamente disipada dando como resultado un calentamiento rápido y uniforme (Ramaswamy & Sastry, 2015), por otra parte este proceso genera un calentamiento tipo volumétrico, esto ayuda a que el producto tenga mejores atributos, ya que no está condicionado por los procesos de conducción y convección del calentamiento normal, adicional a esto se puede considerar como una tecnología verde, debido a que no genera emisiones en su punto de uso, emplea para su efecto solamente corriente eléctrica (Ramaswamy & Sastry, 2015). Respecto a la comparación de la vida útil los productos tratados mediante calentamiento óhmico son similares a los productos envasados asépticamente y esterilizados (Ramaswamy & Sastry, 2015).

El calentamiento óhmico se considera una tecnología emergente, el principio de conservación es por electroporación, causado por el paso de corriente eléctrica, por lo tanto busca asegurar la inocuidad de los alimentos, manteniendo sus propiedades nutricionales, inactivando o destruyendo microorganismos patógenos, preservar los componentes termolábiles como los son vitaminas y antioxidantes, inactivando enzimas que causan degradaciones en los alimentos como lo pueden ser lipasas y proteasas, y manteniendo el perfil sensorial del alimento.

1. Marco teórico

1.1 Cerveza

La cerveza es definida por la ley alemana como la bebida alcohólica fermentada, hecha de cereales malteados, agua, lúpulo y levaduras. La cerveza se constituye por lo tanto en un producto variable de país en país, ya que aunque en la mayoría de regiones se pueden respetar los ingredientes tradicionales, también es posible incorporar productos propios, por ejemplo el uso de diferentes enzimas, agentes antiespumantes, o simplemente el empleo de cereales como lo son el maíz, arroz, trigo, con el fin de contribuir a los sabores de la cerveza y reducir a la vez costos de procesamiento (Harrison, 2009), la variedad de cervezas (Tabla 1) que se pueden obtener también logra diferenciar entre sabores, colores, aromas, cuerpo y por lo tanto también diferenciar en una clasificación y estilos.

Tabla 1. Principales tipos de cervezas y estilos

Tipo	Estilo
Ale	Cerveza belga de trigo Cerveza alemana de cebada Cerveza de trigo oscuro Cerveza negra dulce Cerveza negra seca Cerveza pálida suave, cerveza pálida oscura, belga pálida,
Larger	Cerveza pilsener, dourtmender, larga fuerte, cerveza americana, licor de malta, cerveza viena, cerveza roja, cerveza fuerte oscura.
Especial	Cervezas con frutas, cerveza con miel, cervezas especiadas, cervezas ahumadas, cervezas duras.

Fuente. Tomado y adaptado de (Nothhaft, 2003).

1.2 Materias primas en la elaboración de cerveza.

1.2.1 Lúpulo (*humulus lupulos*)

Es una hierba en la que principalmente se usa su semilla y su flor, es una planta de color amarillo verdoso, de estróbilos ovoides, de olor aromático, de sabor amargo, y el aceite en las semillas está en un rango entre 1-3%. La función de este tipo de hierba en las bebidas alcohólicas se reconoce por brindar un flavor característico, fácil de reconocer (sabor y aroma), estas características asociadas al flavor y bouquet de las bebidas alcohólicas, son atribuidas principalmente a los aceites esenciales que la componen, al igual que algunas sustancias fijas no volátiles propias de la planta (Stankovic, 2003).

1.2.2 Malta

La malta es un producto natural obtenido en la germinación de granos. Para su obtención, existen tres pasos fundamentales en el malteado que son humectado, germinación. Este proceso puede ser alterado por los diferentes tipos de malta. La malta de cebada es la malta más común, y es más usada en la elaboración de cerveza, aunque la cebada malteada, también puede ser empleada en otro tipo de industrias alimentarias. El proceso de malteado en el proceso cervecero, se emplea principalmente para servir de fuente de azúcares fermentables, también para ser fuente de enzimas, y también para ser fuente de flavor y color. El proceso de germinación de la cebada permite el crecimiento del embrión del grano bajo condiciones controladas, permitiendo a la semilla el desarrollo de enzimas que degraden y modifiquen la estructura del endospermo. La cantidad de material soluble a menudo se refiere al extracto y además es un parámetro importante de calidad para metro que a su vez permite predecir, la cantidad de aromas y cuerpo que la malta puede llegar a brindar a la cerveza (M J Edney and M S Izydorczyk, 2003).

El proceso cervecero podría decirse que es quien demanda la mayor cantidad de malta como ingrediente principal, la malta es la mayor fuente de azúcares fermentables

convertidos en alcohol por acción de las levaduras. La malta suministra no solamente es fuente de azúcares, sino que también es fuente de almidón y enzimas (por ejemplo α -amilasa, β -amilasa y una cantidad limitada de dextrinasa) complejo enzimático que sirve para degradar los azúcares fermentables (como lo son glucosa, maltosa y maltotriosa). Las levaduras no pueden producir estas enzimas, es por ello que las enzimas de la malta juegan un papel importante en el proceso cervecero ya que estas enzimas van a permitir hidrolizar no solamente el almidón de la malta, sino también el almidón de los cereales adjuntos.

La malta suple otros requerimientos nutricionales para el crecimiento de la levadura, la levadura requiere para el crecimiento una fuente de nitrógeno, ya que ella tiene el sistema enzimático necesario para la degradación de las proteínas de la malta para obtener productos asimilables. Por otra parte las proteínas de la cebada necesarias para ser degradadas durante el malteado y la elaboración cervecera, generan como producto aminoácidos y péptidos listos para ser usados por la levadura. Otro parámetro importante en el crecimiento de la levadura es la fuente de vitaminas, la malta debe suplir las necesidades de vitaminas incluyendo biotina *myo*-inositol, ácido pantoténico, vitamina E, ácido fólico, ácido nicotínico y tiamina. La calidad de la malta aporta componentes que afectan la calidad de la cerveza, el "mouth feel" o cuerpo de la cerveza es una característica importante característica que es dependiente de de una gran cantidad de dextrinas presentes en la cerveza, las dextrinas son pequeños fragmentos de almidón que no han sido degradados a azúcares fermentables (M J Edney and M S Izydorczyk, 2003).

Otras propiedades importantes en el malteado de productos es la dependencia de los constituyentes de la malta. La malta suministra unas proteínas específicas, conocidas como Z-proteínas, estas sirven para generar espumas estables en el producto final de cerveza. Agentes reductores tales como los productos de Maillard, captadores de oxígeno, al igual que compuestos que estabilizan el flavor en la cerveza desarrollados durante el malteado, son vitales para el desarrollo de aroma, gusto y color de la cerveza.

Algunos constituyentes en la malta generan efectos indeseables en el procesamiento de la cerveza, ciertas proteínas y polifenoles pueden causar daños en el producto final, el incremento en los niveles de polisacáridos no provenientes de almidón, como por ejemplo β -glucanos, pueden generar problemas en la filtración de la cerveza y alteraciones en el producto final. Otros constituyentes de la malta como dimetil sulfuros son algunas veces considerados como agentes de “off-flavors”. Muchos de estos problemas pueden ser solucionados controlando las condiciones de malteado (M J Edney and M S Izydorczyk, 2003).

1.2.3 Levadura

La especie de *Saccharomyces* es la levadura más común comercialmente hablando y es además una especie poliploide. La reproducción es por forma vegetativa en la que la reproducción se da por la formación de un asca que contiene de 1 a 4 esporas. Los miembros de este género fermentan los azúcares de manera vigorosa, estas especies, pueden generar altos rendimientos en la obtención de etanol, es por ello que son empleadas comercialmente. Este género hace parte de un diverso grupo, algunas características para el crecimiento de la especie se *S cerevisiae* incluye un a_w mínimo de 0,9 y una temperatura en rangos específicos para el crecimiento de 0 -7 , 20 – 30 y 40 °C respectivamente , y un mínimo y óptimo pH de crecimiento de 2.0 – 2.4 y 4.0 – 5.0 respectivamente (Harrison, 2009).

1.3 Elaboración de cerveza

La conversión de cereales a cerveza se realiza por un proceso directo, los cereales usados en la producción de cerveza no contiene suficiente cantidad de azúcares fermentables. Estos cereales deben primero modificar sus propiedades durante el

proceso de malteado y maceración, para aumentar el rendimiento en la conversión de carbohidratos por parte de las levaduras para dar alcohol etílico y dióxido de carbono (Harrison, 2009). Los procesos de la cerveza involucran varios pasos primordiales como lo son:

1.3.1 Malteado

El principal objetivo del malteado es producir una fuente de enzimas que degraden el almidón, proteínas y otros componentes de los granos. Los subsecuentes cambios enzimáticos suministran azúcares fermentables de almidón, y sustancias necesarias para favorecer el crecimiento de la levadura (ejemplo aminoácidos y ácidos grasos) de los otros sustratos. La malta es quien contribuye al color final y características del cuerpo de la cerveza final. Para producir cebada malteada, los granos de cebada son primero humedecidos a una temperatura entre 10 – 15°C y adicional un proceso de aireado para luego ser germinado a 15 – 20°C por 3 – 7 días. Durante este tiempo el contenido de humedad incrementa a aproximadamente 45%. Luego la cebada germinada y los granos son removidos, dejando un medio rico con α -amilasa, β -amilasa, proteasas, y su respectivo sustrato (Harrison, 2009) .

1.3.2 Maceración

Durante el paso de la maceración, ms de los carbohidratos no solubles, materiales infermentables y proteínas son hidrolizados en materiales fermentables solubles por la presencia de enzimas en la malta. Para lograr esto los gramos de malta son mezclados con agua formando una pasta. Para mejorar la acción de la α -amilasa durante el periodo inicial de maceración, la temperatura de la mezcla es mantenida entre 40- 50°C, después de cierto tiempo la temperatura es aumentada de 65 – 70°C con el fin de mejorar la actividad de la β -amilasa, al pasar algunas horas finalmente se aumenta la temperatura a 75°C con el fin de inactivar las enzimas. Mientras las amilasas son activas, ellas degradan el almidón presente en el grano, las dextrinas son producidas por la acción de

la α -amilasa, la β -amilasa separa los disacáridos maltosa. De la porción de amilosa en el almidón. Los productos que resultan de la acción de las dos amilasas son conocidos como dextrinas que a su vez son sometidas a cambios enzimáticos. Los enlaces cruzados de la porción de amilopectina en el almidón son rotas por enzimas desligantes, también amiloglucosidasas remueven residuos únicos de glucosa de las dextrinas (Harrison, 2009).

1.3.3 *Procesamiento de mosto, adición de lúpulo y hervido*

Después que el mosto es transferido a un tanque de calentamiento, llamado calentador de infusión, el lúpulo es adicionado al mosto antes que la mezcla sea llevada a ebullición. La ebullición del mosto tiene principalmente las siguientes funciones: 1. Eliminar los microorganismos que sobrevivieron al proceso de macerado, 2. Inactivar enzimas remanentes del macerado, 3. Permitir la extracción de aceites esenciales del lúpulo, 4. Precipitar las sustancias responsables del enturbiamiento 5. Mejorar el desarrollo del color, 6. Sustancias volátiles indeseables son removidas, 7. Evaporar agua y concentrar el mosto. Este proceso se realiza en un tiempo aproximado entre 1-2 horas (Harrison, 2009).

1.3.4 *Fermentación*

Este es el principal punto en el proceso, el mosto es inoculado con levaduras cerveceras. Durante la fermentación, la levadura produce alcohol, dióxido de carbono y algunos constituyentes adicionales del flavour. El cuarto de fermentación debe permitir mantener la limpieza evitando la contaminación del producto, y debe guardar temperatura y humedad constante para permitir el crecimiento adecuado de la levadura. Los tipos de levadura van a variar dependiendo del tipo de cerveza, levaduras como *Saccharomyces pastorianus* y *Saccharomyces cerevisiae*. Las condiciones ambientales en el proceso de fermentación están establecidos en un rango de temperatura de 6. 15°C y toma un tiempo aproximado de 2- 7 días, durante la fermentación la levadura tiende a flocular, y se debe

recuperar para procesos posteriores, el proceso de fermentación es un proceso exotérmico, por lo tanto el diseño del tanque cervecero debe permitir el control de la temperatura (Harrison, 2009).

1.3.5 Pasteurización

La pasteurización se consigue convencionalmente mediante el intercambio de calor, por lo que calor se transfiere por conducción desde el vapor o el agua caliente al producto. El intercambio de calor es más o menos eficiente dependiendo del diseño del pasteurizador y de las opciones tecnológicas (Achir et, al. 2015).

Un método ampliamente aplicado y eficaz para la prolongación de la vida útil de las bebidas en envases es el tratamiento térmico en plantas de pasteurización de túnel. En un pasteurizador de túnel, el calor que es necesario para reducir la viabilidad de los organismos contaminantes se aplica enjuagando o rociando los envases con agua (Horn et, al. 1997).

Actualmente, el tratamiento térmico de la cerveza se realiza de la cerveza se realiza mediante la pasteurización flash (primero se pasteuriza y luego se envasa asépticamente) o por pasteurización en túnel (primero se llena el contenedor (botellas o latas) y luego se pasteuriza a través de pasteurizadores de túnel) o por lotes pasteurización por lotes (Bhuvaneshwari & Anandharamakrishnan, 2014).

El efecto de la pasteurización se expresa en términos de Unidades de Pasteurización (UP). 1 UP se define como el efecto conseguido mediante un minuto de calentamiento a 60 °C (Horn et, al. 1997).

1.4 Tecnologías no térmicas para el tratamiento de alimentos

La pasteurización ha sido redefinida recientemente por el Departamento de Agricultura de EE.UU. como cualquier proceso, tratamiento o combinación que se aplica a los alimentos para reducir los microorganismo(s) más resistente(s) de importancia para la salud pública a un nivel que no es probable que represente un riesgo en condiciones normales de distribución y almacenamiento (Silva et, al. 2014).

Las tecnologías pueden agruparse en dos grandes grupos: procesos físicos (campo eléctrico pulsado, calentamiento óhmico, tratamiento de alta presión, radiación ultravioleta, luz pulsada, ultrasonidos y radiación ionizante) y procesos químicos (tratamiento con ozono y plasma frío) (Chacha et, al. 2021).

El procesamiento no térmico de alimentos se refiere simplemente a los métodos en los que los productos alimenticios reciben un tratamiento que permite inactivación microbiológica sin la aplicación directa de calor. Tales tecnologías, combinadas en gran medida con la tecnología de barrera para sustituir a las convencionales de procesamiento térmico de alimentos, se consideran cada vez más como métodos de procesamiento de alimentos. Estas tecnologías novedosas han incluido los campos eléctricos pulsados (PEF), calentamiento óhmico (OH) el procesamiento a alta presión (HPP), el tratamiento con ozono, la luz pulsada, el plasma no térmico/plasma frío (NTP) y la tecnología de ultrasonidos (Chacha et, al. 2021).

El mecanismo de acción de las tecnologías no térmicas que se revisaron aparece impulsado por una amplia gama de fuentes de energía, por ejemplo, campos eléctricos, radiación, luz y la presión hidrostática (Chacha et, al. 2021). El diseño de equipos de aplicación a gran escala, la formulación de normas y reglamentos que regulen la seguridad de los alimentos que se procesan, la ampliación de los mecanismos del proceso mecanismos de cada técnica, así como la conciencia a través de la educación de los consumidores, son algunos de los aspectos esenciales de estas tecnologías no térmicas que dificultan su adopción a escala industrial (Chacha et, al. 2021).

Respecto al calentamiento óhmico no se encontró información respecto al uso como método de tratamiento de pasteurización en cerveza.

1.5 Calentamiento óhmico

El proceso de calentamiento convencional consiste esencialmente en los mecanismos de conducción, convección y radiación ya sea en operaciones de estado estacionario y no estacionario. La resistencia interna por conducción da como resultado tratamientos heterogéneos y notables pérdidas de calidad de productos. Para superar estos problemas, algunas tecnologías emergentes utilizan energía eléctrica directamente en el alimento procesado (Icier, 2012), proceso conocido como calentamiento óhmico.

El calentamiento óhmico, es definido como un proceso en donde la corriente eléctrica pasa a través de un material con el fin de calentarlo. En el calentamiento óhmico no es necesario la transferencia de calor, por medio de interfaces solido-liquido, o por un mecanismo de inmersión, ya que la distribución de calor, se da directamente a través del alimento (Knirsch et al., 2010).

El calentamiento óhmico (de sus siglas en ingles OH-Ohmic heating) es también conocido como calentamiento de resistencia eléctrica, calentamiento de electroconductividad, calentamiento Joule o simplemente e electrocalentamiento. Se basa en la generación de calor en materiales alimentarios (como resultado de la resistencia eléctrica) por aplicación de una corriente (Boye & Arcand, 2012).

La cantidad de calor generada es relacionada directamente con la corriente inducida por el gradiente de voltaje y la conductividad eléctrica. El calentamiento óhmico es diferente de otros métodos de calentamiento debido a la presencia de electrodos en contacto con los alimentos, la frecuencia y la forma de la onda (Osaili, 2012).

1.6 Principios básicos del calentamiento óhmico

Cuando el material a ser tratado con calentamiento óhmico contiene suficiente cantidad de agua y electrolitos, que permiten el paso de la corriente eléctrica, se puede desarrollar el calentamiento óhmico, proceso que involucra la transformación interna de energía (de eléctrica a térmica), y no solamente como una transferencia de energía térmica (Knirsch et al., 2010).

1.6.1 El circuito eléctrico

Voltaje, corriente y resistencia son las componentes primarios de todos los circuitos eléctricos. El voltaje es la fuerza conductora eléctrica y puede ser suministrada de una variedad de recursos como lo puede ser una corriente alterna (AC) suministrada por una red eléctrica, una batería o un generador, esta fuerza motriz causa un flujo de corriente eléctrica medida en amperios y la composición física del circuito (cables etc.) contribuyen a la resistencia que se opone a el flujo y es medida en Ohms. En el calentamiento óhmico, esta resistencia es suministrada por el material alimentario en el que está pasando determinada cantidad de corriente. Para la mayoría de sistemas que involucran el flujo, hay una relación fundamental de los estados, en el que la fuerza motriz es igual al producto de la velocidad de flujo, multiplicada por la resistencia, para sistemas eléctricos, esta relación es conocida como la ley de Ohm y se encuentra resumida en la siguiente ecuación:

$$V = I \times R$$

Donde V es el voltaje (Voltios), I es el amperaje (amperios) y R es la resistencia (Ohms, Ω). También es interesante notar que en un calentamiento convencional del alimento existe una ley similar donde la fuerza conductora es la transferencia de calor (diferencia de temperatura) la que es igual al producto de la velocidad de flujo de la energía térmica, multiplicada por la resistencia al flujo de calor (J. G. Lyng & McKenna, 2011).

La resistencia del material alimentario al paso de la corriente eléctrica causa generación de calor dentro del alimento, en pocas palabras, la energía eléctrica es convertida a energía de calor. La distribución de voltaje dentro del calentador óhmico puede ser relacionada según la ecuación de Maxwell's, o por la combinación de la ley de ohm y la ecuación de continuidad para la corriente eléctrica (Icier, 2012)

$$\nabla (\sigma \nabla V) + \frac{\partial \rho c}{\partial t} = 0$$

Y para el estado estacionario

$$\nabla (\sigma \nabla V) = 0$$

Donde σ es la conductividad eléctrica del material alimentario (S/m), V es la diferencia de potencial eléctrico (V), ρc es la densidad de corriente (A/m³) y t es el tiempo en segundos (s).

Una vez la distribución del voltaje está disponible para la generación de calor, es calculado. Para un proceso de voltaje constante la velocidad de generación de calor volumétrico (W/m³)

$$u = |\nabla V|^2 \sigma$$

La transferencia de calor que ocurre durante el procesamiento óhmico de un alimento líquido como única fase es descrito por la ecuación de conducción de calor en estado estacionario con una generación interna de calor (Icier, 2012)

1.6.2 Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica (σ) es una medida de lo bien que un material se acomoda al movimiento de una carga eléctrica. Esto es la proporción de la densidad de corriente y la

fuerza de un campo eléctrico. En el SI se expresa como Siemens por metro (S/m), para algunos materiales la conductividad eléctrica puede ser calculada con la siguiente ecuación.

$$\sigma = \frac{L}{A} \times \frac{I}{V}$$

Donde L representa la distancia entre los dos electrodos, A es el área de la sección transversal del material que se está calentando en la celda óhmica (m²), I es la corriente que está pasando a través del material (A), V voltaje que atraviesa el material (V)

La conductividad eléctrica de algunas muestras no es constante y depende de la temperatura del material (normalmente la relación de temperatura y conductividad se da en forma lineal) y esta incrementa con la temperatura del material, la constante depende de la conductividad del material en relación con los diferentes campos eléctricos (Sakr & Liu, 2014).

Otros autores como (Hosain Darvishi, Mohammad Hadi Khostaghaza, 2013) estudiaron la importancia de la conductividad eléctrica en el calentamiento óhmico de un producto líquido y establecieron que la temperatura lograda en un tratamiento depende de la temperatura, el gradiente de voltaje aplicado, la frecuencia y la concentración de electrolitos. Ellos también encontraron que la dependencia de la temperatura, de la conductividad eléctrica en productos líquidos, sigue una relación no solamente lineal, sino también cuadrática, dependiendo siempre de las características del producto analizado (Hosain Darvishi, Mohammad Hadi Khostaghaza, 2013).

Otras definiciones encontradas respecto a la conductividad eléctrica la definen como la medida de que tan bien una sustancia transmite una carga eléctrica, expresada en Siemens por centímetro (S/cm). La conductividad eléctrica (σ) es la proporción en medio de la densidad de corriente y un campo eléctrico intenso, o simplemente lo opuesto a resistividad. Este es el parámetro más importante asociado con calentamiento óhmico,

donde la eficiencia del calentamiento óhmico es dependiente de la conductividad natural del material procesado y por lo tanto el conocimiento de la conductividad de los materiales y de los componentes esenciales en el diseño de un proceso de calentamiento óptimo (A.M. Assiry, M.H. Gaily, M. Alsamee, 2010).

Es importante tener en cuenta la conductividad eléctrica ya que es el principal parámetro en la velocidad de calentamiento y en los tratamientos de calentamiento óhmico. La conductividad es la medida por la cantidad de electricidad transferida por unidad de área, por unidad de potencial de gradiente, y por unidad de tiempo. Esta es definida por electrolitos, sólidos isotrópicos y líquidos. Materiales biológicos son uno de las más amplias clases de conductores de calor, típicamente la conductividad eléctrica de una solución es la suma de la contribución de iones individuales y la equivalencia molar (A.M. Assiry, M.H. Gaily, M. Alsamee, 2010). La conductividad eléctrica de productos alimenticios usualmente incrementa con el contenido de agua, temperatura, gradiente de voltaje y frecuencia. Esta variación es el resultado del incremento en la movilidad iónica y la elevación de la temperatura, y a su vez es función de la concentración de iones individuales representados por el coeficiente de difusión. Para varios productos alimenticios, varios autores encontraron una relación lineal entre la temperatura y la conductividad eléctrica. La excepción a esta regla son los productos alimenticios con constituyentes celulares (como lo son vegetales, frutas y carne) y productos deshidratados en solución, aunque muchos tejidos animales y vegetales contienen menos agua e iones que otros (Pandurangi & Balasubramaniam, 2005).

Por otra parte la membrana celular es un aislante eléctrico, al flujo de corriente es confinado principalmente por el fluido intracelular, el apantallamiento que causa la alta concentración de iones de contenido intracelular y extracelular que se presta para facilitar la alta conductividad eléctrica se da a través de microtubulos. La pared celular es relativamente rígida pero altamente permeable a solutos y a medidas de agua de conductividad de soluciones iónicas. Tres rangos de conductividades eléctricas para

productos alimenticios son definidos de la siguiente manera (Pandurangi & Balasubramaniam, 2005).

$\sigma > 0.05$ S/m: Implica buena conductividad ejemplos claros lo son condimentos, huevos, yogurt, postres lácteos, jugos de fruta, vino, gelatina, hidrocoloides, etc.

$0.005 < \sigma < 0.05$ S/m: Baja conductividad requiere alta fuerza en el campo eléctrico, margarina, mermeladas polvos alimenticios etc.

$\sigma < 0.005$ S/m: Pobre conductividad, requiere alta fuerza en el potencial eléctrico. Y a menudo dificulta el proceso de calentamiento óhmico, alimentos congelados, espumas, grasas, concentrados de azúcar etc. (Pandurangi & Balasubramaniam, 2005).

1.7 Mecanismo de la letalidad microbiológica

El objetivo de la pasteurización y esterilización es básicamente la muerte de microorganismos por medio del calentamiento. En el año 2000, estudios pudieron demostrar que los valores de mortalidad D y z y la energía de activación de valores cinéticos, son similares entre pasteurización normal y óhmica, con algunas excepciones para constantes de velocidad que pueden ser propias para los campos eléctricos. El efecto de la inactivación depende de la fuerza del campo eléctrico aplicado, el tiempo de tratamiento, la especie microbiológica y el tipo de producto. La fuerza del campo eléctrico, los tratamientos por largos tiempos da como resultado reducción en la carga de patógenos. Durante el calentamiento óhmico, la letalidad microbiológica puede ser explicada por un efecto térmico letal y adicional a esto un efecto no térmico causado por la corriente eléctrica. La principal razón para los efectos adicionales al tratamiento óhmico pueden ser por la baja frecuencia (Usualmente 50 – 60Hz) que permiten formar poros en las paredes de las células, fenómeno conocido como electroporación (Pandurangi & Balasubramaniam, 2005).

1.7.1 Efectos de los campos eléctricos sobre las membranas biológicas.

Una célula biológica (animal, vegetal o microbiana) que es sometida a un campo eléctrico de suficiente fuerza, sufre una permeabilización de la membrana. Cuando el tratamiento es moderado, ocurre un rompimiento local y reversible en la membrana, este fenómeno es conocido como electroporación, y ha sido usado a lo largo de los años para inducir a la penetración de fragmentos de ADN en las células, o para facilitar la fusión de dos células. La electroporación puede ser también usada para mejorar la extracción de constituyentes intracelulares.

Los mecanismos de ruptura de la bicapa de fosfolípidos y membranas biológicas expuestas a campos eléctricos son ahora mejor entendidos. El espesor de las membranas celulares es relativamente constante de un organismo a otro (aproximadamente 7 – 10nm).

Un modelo electromecánico considera la membrana como un capacitor con una baja constante dieléctrica ($\epsilon' \sim 2$). Cargas libres de símbolo opuesto están presentes sobre la superficie de las membranas (internas y externas) pero no dentro de la bicapa de fosfolípidos. El potencial inicial transmembranal V_m es definido por la diferencia en medio del potencial intra y extracelular, la exposición a un campo eléctrico causa una acumulación de cargas sobre la superficie y por lo tanto un incremento en el potencial transmembranal V_m . La atracción que sucede entre las cargas opuestas induce simultáneamente al adelgazamiento de la membrana, y por lo tanto se asume que la célula presentara una simetría esférica en términos de estructura y distribución de carga (Barsotti & Cheftel, 1999).

El adelgazamiento de la membrana tiende a ser más notable debido a la atracción electrostática entre los dos lados de la membrana. En un momento y lugar determinado, de la membrana, la electrocompresión sustituye a la resistencia elástica de la membrana. Generando un rompimiento local de la membrana dando como resultado la formación de

poros, fenómeno que se lleva a cabo para un valor dado del campo eléctrico aplicado. El potencial transmembrana alcanza un valor crítico, valor que es denominado de ruptura (o degradación) y se encuentra representado como potencial (V_R), y para la mayoría de las membranas celulares el valor de V_R estaría cerca de 0,7 - 1,1 V (Barsotti & Cheftel, 1999).

El valor del potencial de ruptura V_R , depende de la temperatura, a bajas temperaturas, un campo eléctrico superior es necesario para inducir la ruptura de la membrana. Esta sinergia campo eléctrico-temperatura es esencial para lograr que las membranas se vuelvan más fluidas y su resistencia mecánica (modulo elástico) disminuya (Barsotti & Cheftel, 1999).

El valor de V_R también puede depender de las fuerzas de compresión mecánica causadas por fuerzas hidrostática o diferencias de presión osmótica a través de la membrana. Algunos modelos para el rompimiento dieléctrico de membranas toman características de la membrana tales como la tensión de superficie, y la viscosidad. Algunos investigadores sugieren que el campo eléctrico agranda defectos iniciales en la membrana, convirtiéndolos en poros irreversibles (Barsotti & Cheftel, 1999).

Según (Barsotti & Cheftel, 1999), la entrada progresiva de energía eléctrica conduce a la formación de poros hidrofóbicos reversibles, y luego a la formación de poros hidrofílicos estables, el anterior resultado da un reordenamiento de los fosfolípidos de membrana, posiblemente debido a un aumento de la temperatura. Respecto al tamaño, los poros hidrofóbicos predominan por debajo de un radio de poro de 0,3 - 0,5 nm, por encima de este tamaño de poro, la inversión de poro es mejor energéticamente, y da lugar a la formación de poros hidrofílicos, con un radio de 0,6 - 1,0 nm (Barsotti & Cheftel, 1999).

Una vez formado el poro hidrofílico se mejora significativamente la permeabilidad de la membrana a los iones y por lo tanto da como resultado una ruptura dieléctrica (fig. 1-1). Desde un punto de vista bioquímico, parece que la formación de poros se da por reordenación de los fosfolípidos de membrana ya que estos requieren un alto potencial

transmembranal, mientras que la apertura de proteína de membrana de canales tiene lugar en un menor potencial (aproximadamente 50 mV) (Barsotti & Cheftel, 1999).

Cuando el proceso de electroporación es finalizado da como consecuencia la permeabilidad de la membrana, y por lo tanto se mejora la difusión de material en toda la membrana mediante un proceso denominado electro-ósmosis, este proceso parece tener tanto un efecto directo e indirecto sobre la pared celular, y materiales intracelulares, en estudios in vitro se logró demostrar que luego de someter una célula a un campo eléctrico se exudaba contenido celular a el medio de cultivo.

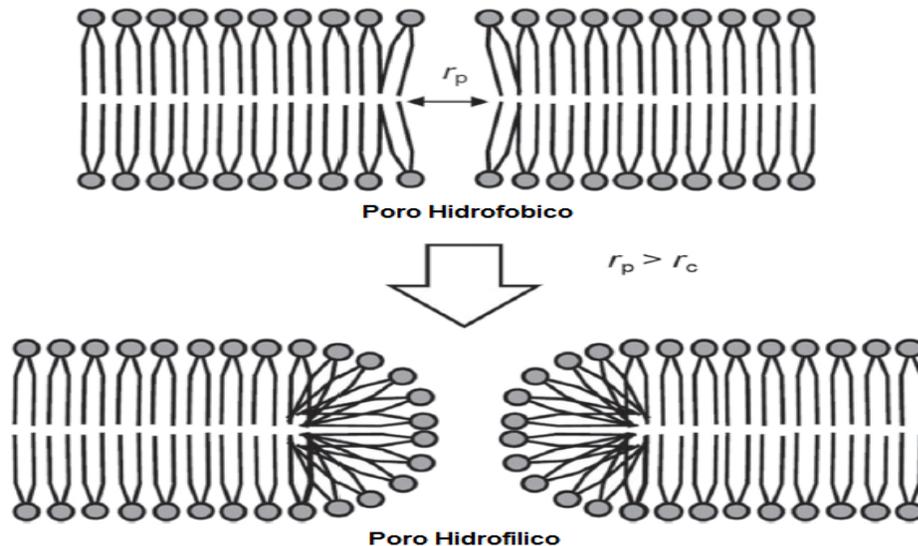


Figura 1-1. Descripción esquemática de la formación de poros hidrofílicos en la membrana celular, Adaptado de (Toepfl et al., 2014)

Los exudados parecían estar compuestos de aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos, coenzimas, y materiales afines. Casos específicos del uso de calentamiento óhmico sobre levadura pudieron demostrar que, por debajo 50° C, se detectaron concentraciones similares de material exudado en el sobrenadante, sin embargo, a temperaturas superiores a 50° C, la concentración de materiales exudados de los grupos de levaduras climatizadas tratadas mediante calentamiento óhmico eran más altos que los de los grupos convencionales ($p < 0.01$) y que la tasa de proteína exudaba por

aumento de temperatura de la unidad se encontró que era significativamente mayor ($p < 0,01$) con calentamiento óhmico que con calentamiento convencional. Los autores plantearon la hipótesis que la tasa de exudación superior no sólo depende en la tasa de destrucción de las células de levadura, pero también del tipo de método de calentamiento (J. Lyng & Mckenna, 2007)..

La influencia del campo eléctrico dentro del calentamiento óhmico podría haber aumentado la tasa de electroporación, lo que conduce a un exceso de la exudación y la muerte celular. Fue También observado que la cantidad de proteína exudada aumentó significativamente a medida que el campo eléctrico se incrementó de 10 a 20 V/cm. El análisis espectroscópico ha demostrado que para calentamiento óhmico a 20 V/cm y leído en una absorbancia de 260 nm típicamente atribuye a los ácidos nucleicos fue 2 veces ($p < 0,01$) y la proteína total contenido era 3 veces mayor ($p < 0,01$) en comparación con que al 15 V/cm (Knirsch et al., 2010). La hipótesis de que la inactivación de los microorganismos puede resultar del efecto de un bactericida formado indirectamente como producto de electrólisis es reportado en literatura adicional donde sugiere que el calentamiento óhmico inactiva a los microorganismos principalmente a través de efectos mecánicos (descrito como electroporación) y químicos. Los efectos químicos del calentamiento óhmico implican la formación de especies reactivas de oxígeno, hidrógeno, hidroxilo, radicales hidroperóxido e iones metálicos, que se forman para causar la muerte bacteriana (J. Lyng & Mckenna, 2007).

2. Hipótesis y objetivos

2.1 Hipótesis

La pasteurización de cerveza mediante calentamiento óhmico inactivará bacterias y levaduras, preservando las propiedades físicoquímicas de la cerveza, manteniendo características similares respecto al proceso de pasteurización convencional.

2.2 Objetivo general

Evaluar el efecto de la pasteurización por calentamiento óhmico en las características, físicoquímicas y microbiológicas de cerveza.

2.3 Objetivos específicos

- Construir un calentador óhmico a escala laboratorio que permita realizar los ensayos microbiológicos y físicoquímicos por lotes de pasteurización mediante tratamiento óhmico de cerveza.
- Evaluar la eficacia del calentador óhmico construido a escala de laboratorio para la inactivación microbiana de cerveza.
- Determinar las características físicoquímicas y microbiológicas de la cerveza tratada por calentamiento óhmico durante almacenamiento.

3. Effect of ohmic heating pasteurization on physicochemical and microbiological characteristics of beer.

*Orlando Bernal Chía, Luis-Felipe Gutiérrez**

En este capítulo escrito en forma de artículo científico se describen los resultados Obtenidos, en relación a los efectos de la pasteurización por calentamiento óhmico, en dos tratamientos diferentes en las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de cerveza. El artículo fue sometido a la revista Journal of the institute of brewing (Impact factor: 1.759).

3.1 Resumen

En este documento se presenta el efecto del calentamiento óhmico en cerveza como método de preservación. La cerveza fue sometida a dos tratamientos independientes, el primero sin enfriamiento (T1) y el segundo con enfriamiento (T2), estos tratamientos se compararon con pasteurización convencional. Para ambos tratamientos se evaluaron las propiedades microbiológicas y fisicoquímicas de la cerveza, al igual que el análisis de superficie de los electrodos del calentador óhmico. El tratamiento T1 afectó significativamente el color, el contenido de hierro, cobre y plomo ($P < 0.05$), respecto a los parámetros de acidez, pH, cenizas y zinc no se evidenció efecto significativo en los dos tratamientos ($P > 0.05$). Para ambos tratamientos se logró una disminución microbiológica significativa de 2 unidades logarítmicas para *Candida albicans* y de 1.5 unidades logarítmicas para *Lactobacillus acidophilus*. El análisis SEM realizado a los electrodos permitió

evidenciar corrosión después de los tratamientos, corrosión confirmada con el análisis composicional (EDX). La vida útil de cerveza sin carbonatación fue de 20 días debido a cambio en el color de la cerveza, los parámetros de acidez y carga microbiológica fue estable durante 20 días.

Palabras claves:

Calentamiento óhmico, electrodos, vida útil, estabilidad microbiológica cerveza, metales en cerveza.

3.2 Abstract

This paper presents the effect of ohmic heating on beer as a preservation method. Beer was subjected to two independent treatments, the first without cooling (T1) and the second with cooling (T2), these treatments were compared with conventional pasteurization. For both treatments, the microbiological and physicochemical properties of the beer were evaluated, as well as the surface analysis of the ohmic heater electrodes. The T1 treatment significantly affected the color, iron, copper and lead content ($P < 0.05$); with respect to the parameters of acidity, pH, ash and zinc, there was no significant effect in the two treatments ($P > 0.05$). For both treatments a significant microbiological decrease of 2 log units for *Candida Albicans* and 1.5 log units for *Lactobacillus Acidophilus* was achieved. SEM analysis of the electrodes revealed corrosion after the treatments, corrosion confirmed by compositional analysis (EDX). The shelf life of beer without carbonation was 20 days due to a change in the color of the beer; the acidity and microbiological load parameters were stable for 20 days.

Keywords: ohmic heating, electrodes, shelf life, microbiological stability beer, metals in beer

3.3 Introduction

How does pasteurization affect the quality of beer and what are the technological challenges of trying another technology?

Beer is defined according to the German pure beer law as a fermented alcoholic beverage made from malted malt and malted cereals, water, hops and yeast.

Brewing includes common processes such as malting, mashing, wort processing, fermenting and conditioning the beer and obtaining the finished product (Harrison, 2009). Once the brewing process has been completed, there are strategies to reduce and inhibit microbial contamination: pasteurization is one of them, or the addition of preservatives (Hill, 2009).

The method that is prevalent in beer preservation is thermal pasteurization, which provides a high degree of microbiological stability, but causes degradation of sensory properties and other quality attributes due to the long exposure times to heat (Walkling-Ribeiro et al., 2011).

Currently, breweries apply thermal pasteurization in tunnel system as a treatment to provide product safety (usually 120 to 300 Pasteurization Units). During thermal pasteurization, it is preferable to apply the lowest temperature/time ratio to avoid possible organoleptic changes. Increasing preferences for products with better nutritional and sensory quality have led to the search for new preservation methods.

The combination in time-temperature parameters in pasteurization of beers has a greater impact on the quality of the product mainly affecting the original characteristics of the beer in terms of flavour, color, bitterness, and protein sensitivity (Bhuvaneshwari & Anandharamakrishnan, 2014), furthermore, heat treatment generates effects in reducing the solubility of carbon dioxide, which is a

dissolved gas generated in primary fermentation and provides inhibition in the growth of pathogens in beer (Buzrul, 2007)(Menz et al. , 2009)

Typical microorganisms in beer spoilage are *Saccharomyces cerevisiae*, *Lactobacillus plantarum* and *Bacillus subtilis*, microorganisms that can affect turbidity, product flavor, increased acidity, generation of atypical odors, which ultimately affect the filterability of beer. Due to its ability to form spores, *B subtilis* is more resistant to conventional pasteurization, this microorganism is important because it is considered pathogenic (Walkling-Ribeiro et al., 2011).

In addition to this, there are few studies for the preservation of beer by non-thermal treatment in which high hydrostatic pressures, ultraviolet radiation, and pulsed electric fields stand out (Walkling-Ribeiro et al., 2011), but there are no studies that allow establishing the conditions for preservation by ohmic heating.

Conventional processes as microbiological control are widely used because of their ability to provide food safety, but they make sacrifices in terms of undesirable changes in flavour and nutrient composition. Conventionally processed foods can be inferior to fresh products in terms of nutrients (e.g. vitamins) and other health-promoting bioactive compounds (e.g. natural antioxidants and essential fatty acids) (Boye & Arcand, 2012).

Ohmic heating is a breakthrough in "thermal" food processing where the material serves as an electrical resistance, which in turn is heated due to the passage of electricity through it, the electrical energy is quickly dissipated resulting in rapid and uniform heating (Ramaswamy & Sastry, 2015), On the other hand, this process generates a volumetric type heating, this helps the product to have better attributes, since it is not conditioned by the conduction and convection processes of normal heating, in addition to this it can be considered as a green technology, because it does not generate emissions at its point of use, it uses only electric current for its effect (Ramaswamy & Sastry, 2015). Regarding shelf life comparison products

treated by ohmic heating are similar to aseptically packaged and sterilized products (Ramaswamy & Sastry, 2015).

Ohmic heating is considered an emerging technology, the principle of preservation is by electroporation, caused by the passage of electric current, therefore it seeks to ensure food safety, maintaining its nutritional properties, inactivating or destroying pathogenic microorganisms, preserving thermolabile components such as vitamins and antioxidants, inactivating enzymes that cause food degradation such as lipases and proteases, and maintaining the shelf life of food products (Ramaswamy & Sastry, 2015).

3.4 Material and methods

3.4.1 Materials

Lager-type beer, with an alcohol by volume of 4.8% v/v, 4.5 g CO₂/kg, conductivity of 0.106 S/m, *Candida albicans* ATCC® 10231TM, *Lactobacillus acidophilus* ATCC® 4356TM

Ohmic heater (figure 3-1) with connection to 110 V source, frequency of 50 Hz, equipped with a 600 mL heating cell provided with a cooling jacket. The cell electrodes are 316 stainless steel, the diameter of the electrodes is 6.5 cm.

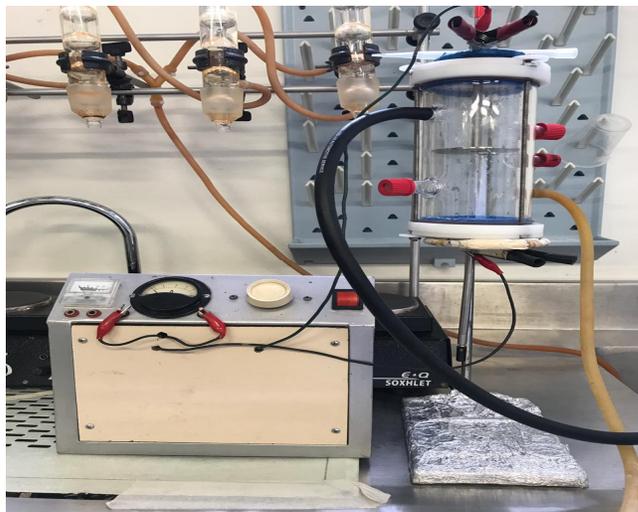


Figure 3-1. Ohmic heater, with connection to a heating cell equipped with a cooling jacket. Source the author

3.4.2 Methods

3.4.2.1 Physicochemical characteristics of beer

The acidity in beer, pH in beer, metal as Fe, Cr, Cu, Zn, color and ash were determined using the following official methods: AOAC 950.07 Ed 21:2019, AOAC 945.10 Ed 21:2019, AOAC 987.03 Ed 21:2019, AOAC 976.08 Ed 21:2019 and AOAC 920.54 Ed 21:2019 respectively

For the quantification of metals in beer, a Thermo Scientific ICE 3000 series atomic absorption spectrophotometer was used, equipped with Fe hollow cathode lamps (15mA, Thermo scientific NC 9423 390 30261 brand, wavelength 248.3 nm, air/acetylene flame), Cr (12mA, brand Thermo scientific NC 9423 390 30241, wavelength 357.9nm, flame nitrous oxide/acetylene), Cu (5mA, brand Thermo scientific NC 9423 390 30291, wavelength 324.8nm, flame air/acetylene), Zn (10mA, Thermo scientific brand NC 9423 390 30301, wavelength 213.9 nm,

air/acetylene flame) and software SOLAAR Data Station ver. 11.02, Thermo Fisher Scientific Inc., 1996-2009.

3.4.2.2 Microbiological characteristics of beer

Two microorganisms will be used in order to evaluate the behavior against the treatments to be carried out in conventional pasteurization and ohmic pasteurization of beer, for which they were inoculated and selective growth was allowed in culture medium as shown below.:

Candida albicans (ATCC® 10231™). The yeast was cultured in Oxytetracycline Glucose Yeast extract agar consisting of 0.5% (w/v) yeast extract, 2.0% (w/v) glucose, 1.2% (w/v) agar. *C. albicans* (ISO 21527-2:2008).

Lactobacillus acidophilus (ATCC® 4356™). The bacteria was cultured in Plate Count Agar consisting of 0.5% (w/v) triptone, 0.1% (w/v) dextrose, 0,25% (w/v) yeast extract, 1.2% (w/v) agar. *L. acidophilus* (NTC 5034:2002).

3.4.2.3 Microbiological inoculation of beer

After the growth time for the yeast and the bacteria, beer was inoculated directly, taking colonies from the culture media and dissolving them in beer.

For *candida albicans* (ATCC® 10231™), a volume of 500 mL of appropriately diluted beer samples containing the yeast was spread onto duplicate agar plates and colonies were counted after 2 d of incubation at 28 °C, which was suitable condition for the growing of cells.

Lactobacillus acidophilus (ATCC® 4356™). At the same volume of 500 mL (previously inoculate with *candida albicans*) of appropriately diluted beer samples containing the bacteria was spread onto duplicate agar plates and colonies were

counted after 2 d of incubation at 35 °C, which was suitable condition for the growing of cells.

3.4.2.4 Electrode analysis

For the surface analysis of electrodes, an SEM scanning electron microscope equipped with an X-ray dispersion spectrometer EDS (Team TESCAN VEGA 3, Bruker brand) was used.

3.4.2.5 Statistical analysis

Data were analyzed using Minitab (v. 13.30, State College, PA). One way analysis of variance was used to determine whether there was a difference in effect of ohmic heating versus the conventional pasteurization. Where differences were detected, two-sample t-test was performed to determine which particular means were significantly different.

3.5 Results and discussion

3.5.1 Ohmic heater design

The ohmic heating equipment mainly consisting of an ohmic heating chamber, a variable power supply, a voltammeter, amperemeter, a stand and a manual regulation control panel (figure 3-2).

Ohmic heating chamber was a glass cilinder tank with two electrodes, which are fixed closely along the length of the tank, and a cooler system around of the chamber. The chamber was provided with a sealed side release to facilitate filling and emptying of the chamber.

The material used as an electrode inside the ohmic heating chamber was stainless steel 316 It should be of food grade and non-corrosive.



Figure 3-2. Ohmic heater with connection to a heating cell. Source the author

Schematic representation of the ohmic heating equipment (figure 3-3), the electrical parts are differentiated and it is homologated with the one suggested by Assiri in 2010.

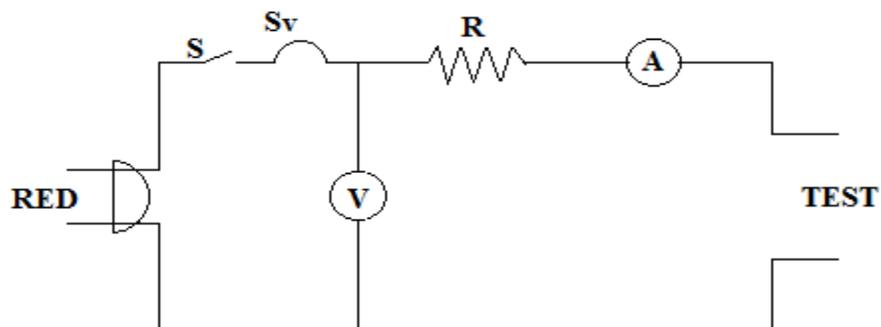


Figure 3-3. The complete experimental setup of ohmic heater. Source the author

Conventions:

Mains: 110V power socket.

S: Switch.

Sv: Variable switch (Limits voltage).

R: Current limiting resistor.

V: Voltammeter.

A: Amperemeter.

Test: Test points.

3.5.2 Heat Treatment

To carry out the microbial inactivation, three different treatments were carried out. The first treatment consisted of conventional pasteurization (60°C for 30 minutes), this treatment was necessary as a control, to contrast the other treatments in terms of lethality and metal migration. Treatment 1 (T1) was carried out, which consisted of applying ohmic heating without cooling, applying a field force of 22 V. cm⁻¹ (figure 3-4), A second treatment (T2) was carried out where the same field force was applied but with a System of warm-up. For both cases the total follow-up time was 6 minutes.

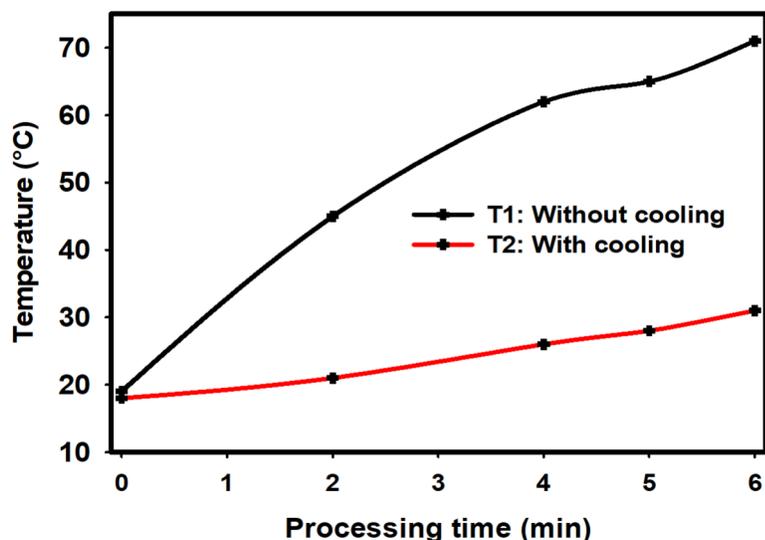


Figure 3-4. Temperature variation for treatments T1 and T2 applying a field strength of 22 V. cm⁻¹

3.5.3 Microbiological characteristics

Three independent beers inoculated with *candida albicans* and *lactobacillus acidophilus* were given the previously described ohmic treatments. In the microbiological determination, every minute a portion of 1 mL was taken for dilution and subsequent seeding in a deep plate, then it was incubated under the growth conditions for bacteria (2 days at 35°C) and for yeast (2 days at 28°C).

Candida Albicans yeast had a reduction of 2.0 log units for the T1 treatment (30500 CFU/g decreased to 350 CFU/g) and 1.2 log units for the T2 treatment (30000 CFU/g decreased to 1950 CFU/g) and 3.5 log units for the control treatment of 30 Pasteurization Units (29000 CFU/g decreased to 10 CFU/g).

The bacteria *Lactobacillus Acidophilus* had a reduction of 1,5 log units for treatment T1 (30500 CFU/g decreased to 1250 CFU/g) and 1,0 log units for treatment T2 (29500 CFU/g decreased to 5000 CFU/g) and 3.5 log units for the control treatment (30500 CFU/g decreased to 10 CFU/g) of 30 Units of pasteurization.

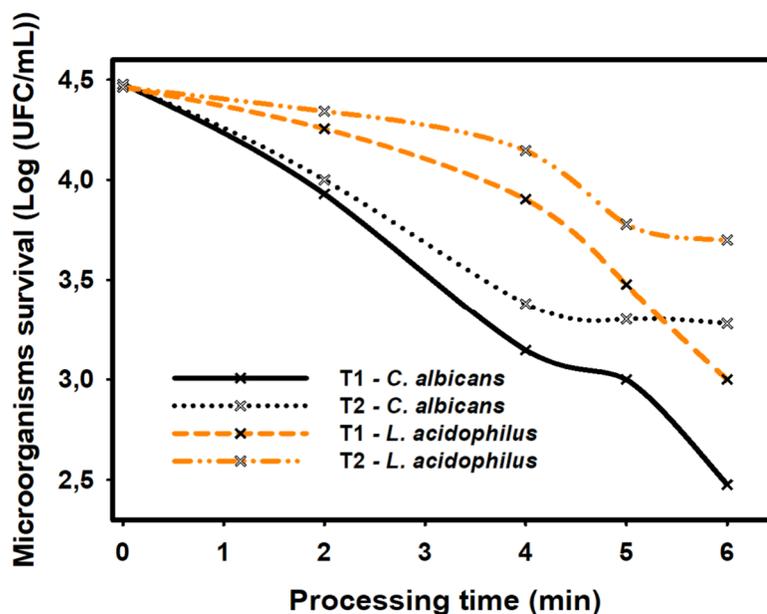


Figure 3-5. Logarithmic reduction of *Candida Albicans* and *Lactobacillus Acidophilus* for treatments T1 and T2 applying a force field of 22 V. cm⁻¹

Ohmic heating was effective in inactivating vegetative cells of *Lactobacillus acidophilus* and *Candida Albicans* in beer as treated (T1) compared to conduction heating at 60 °C for 30 min, producing a 95.8% and 98.9% reduction, respectively.

Compared to control samples, there was a significant reduction in the total viable yeast and bacterial populations of the OH-treated beer samples ($P < 0.05$), this difference was due to the uniform internal heating induced by ohmic heating.

Although the main effect for inactivation of microorganisms by ohmic heating is heat itself, additional non-thermal effects of electroporation have been reported in which electrical charges can accumulate and form pores through microbial cells (Cho et al., 2016)

3.5.4 Physicochemical characteristics

3.5.4.1 Acidity

The organic acids in beer are fermentation end products of both bacteria and yeasts. These organic acids affect pH and flavor. The most common organic acids are lactic, tartaric, malic, acetic, citric and succinic acid, the latter together with lactic acid being the highest concentration.(Anderson et al., 2019).

For treatment (T1) the acidity expressed as lactic acid decreased from 0.198 g/100mL to 0.159 g/100mL, in treatment (T2) a decrease from 0.159 g/100mL to 0.144 g/100mL was obtained. For T1 and T2 there were no significant differences during the different treatments or ohmic pasteurization ($p > 0.05$), nor was there a significant difference with respect to conventional pasteurization for the final treatment time.

The acidity values of these two treatments were lower compared with the conventional pasteurization (figure 3-6). These findings are in agreement with the results of Norouzi et al. (2021) who reported that the changes in juice (How similar product) acidity percentage did not vary significantly by either ohmic (under atmospheric pressure) or conventional heating methods.

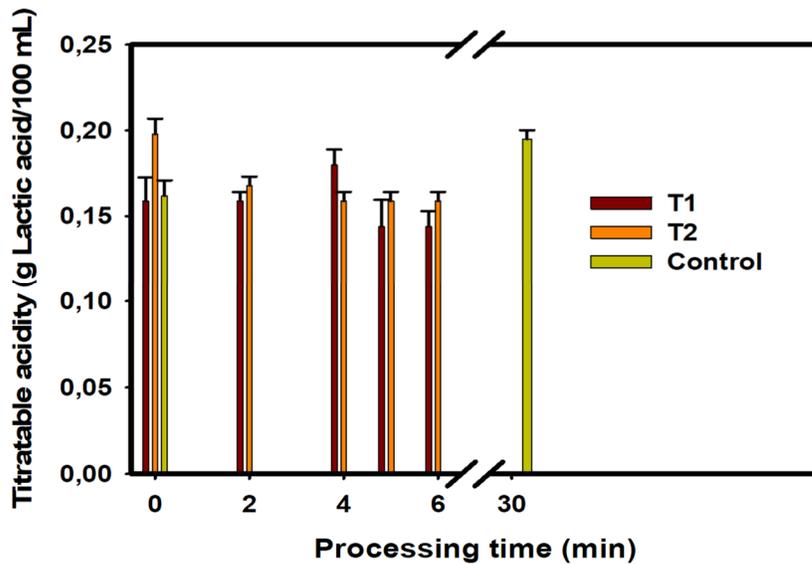


Figure 3-6. Variation of titratable acidity in beer for treatments T1 and T2 applying a field strength of 22 V. cm^{-1}

3.5.4.2 pH

From a sensory standpoint, if the pH of fresh beer decreases below 4.0, sharp, acid, bitter, and drying effects increase rapidly in intensity, with a markedly enhanced metallic after-palate for pH values below 3.7. On the other hand, above 4.0, palate effects relate to increased mouth-coating, with higher scores for biscuity and toasted characters, and even soapy and caustic notes if the pH rises above 4.4 (Guyot-Declerck et al., 2005)

For treatments (T1) and (T2), it is evident that the pH was stable and that there were no significant differences ($P>0.05$) (figure 3-7). These values are highly correlated with the acidity since the values were similar during the 6 minutes of ohmic heating, and the acidity did not change significantly either, This behavior indicates that the treatment time in the ohmic heater did not allow reactions such as hydrolysis to occur to a greater extent, allowing a stable pH.

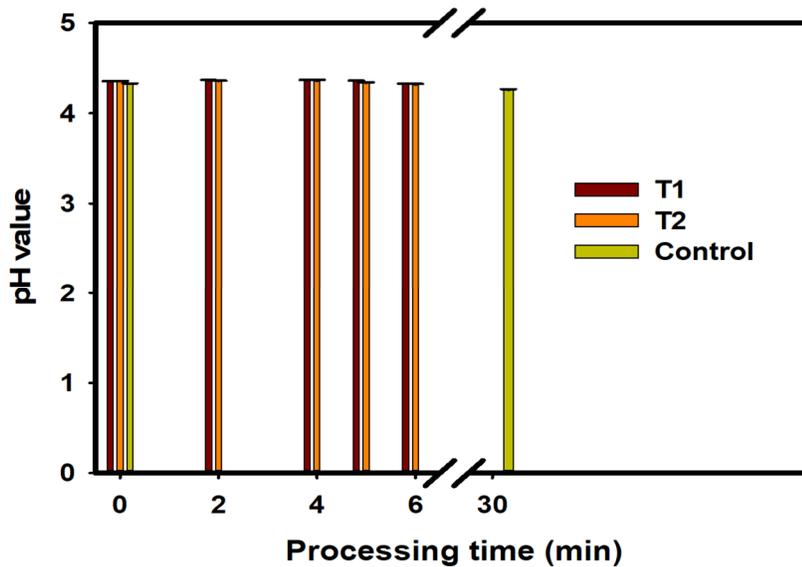


Figure 3-7. pH value in beer for treatments T1 and T2 applying a field strength of 22 V. cm^{-1}

3.5.4.3 Ash

The ash amount is important in ohmic heating method due to the presence of ionic constituents to transmit electric current. The ash content ranged from 0.095 to 0.132 g/100g. These results are within the range found by (Alcázar et al., 2002), who found the total ash values ranging from 0.061–0.158%.

Figure 3-8 shows the ash content in beer produced by the ohmic heating with two different treatments and also the conventional heating. In comparison with

treatments T1 and T2, significant changes in ash content were observed ($p < 0.05$) for times 4, 5 and 6.

The final ash content of the beer treated by conventional pasteurization was $0,0934 \pm 0,002$ g/100g compared to the ohmic heating without cooler samples which amounted to $0,1323 \pm 0,007$ g/100g and ohmic heating with cooler samples which amounted to $0,1075 \pm 0,002$ g/100g

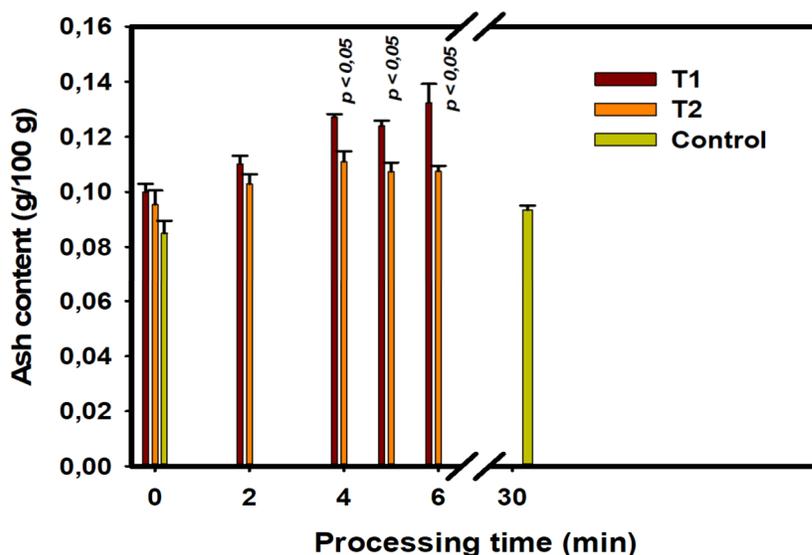


Figure 3-8. Ash content in beer for treatments T1 and T2 applying a field strength of $22 \text{ V} \cdot \text{cm}^{-1}$

3.5.4.4 Color

The Maillard reaction is principally driven by time and temperature and modulated to a lesser extent by moisture. In the range of $60\text{--}100^\circ \text{C}$, an increase of 1°C can increase the rate of the Maillard reaction by more than 10%. Increasing heat exposure to higher temperatures promotes the production of more advanced Maillard reaction products because of their higher energy of activation thus resulting in greater color formation (Shellhammer, 2009).

For treatments (T1) the color expressed as EBS had no significant variations with respect to (T2) (figure 3-9). The average color for T1 was 4.30 color units and for T2 was 3.27 color units. For T1 and T2 there are not significant differences during the different ohmic pasteurization ($p>0,05$)

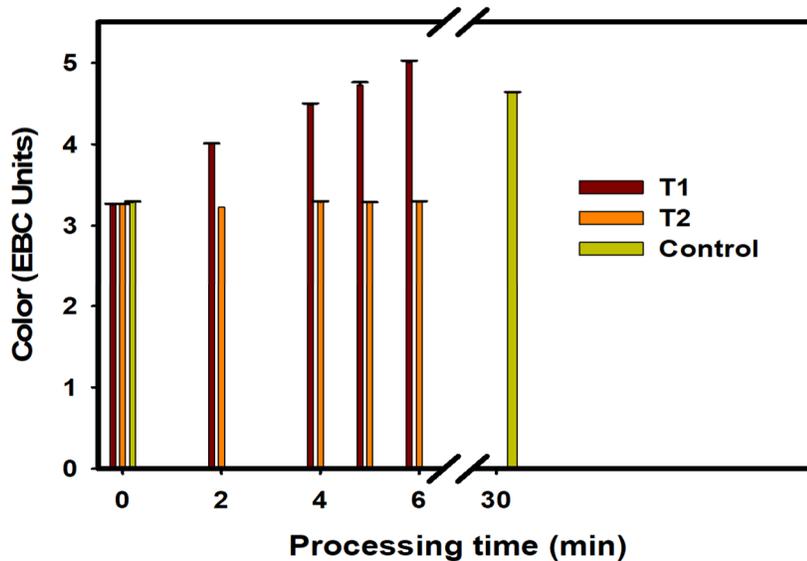


Figure 3-9. Color (EBC) in beer for treatments T1 and T2 applying a field strength of 22 V. cm^{-1}

For treatments T1 and T2 in the ohmic pasteurization of beer, there were no significant variations between them ($p>0.05$). With respect to conventional pasteurization, there was no significant change in the color for treatment 2 compared to the conventional pasteurization control ($p>0.05$); as for treatment 1, although the color change is significant during the same treatment ($p<0.05$), an upward behavior is observed. These changes in the color of the beer may be due to collateral effects caused during ohmic pasteurization caused by electrochemical reactions such as electrolysis of the water and corrosion of the electrodes, as well as the production of compounds with high pigmentation due to the increase in temperature (Aguilar et al 2017).

3.5.4.5 Metals in beer

Major, minor and trace metals are important in the fermentation processes since they supply the appropriate growth environment for yeasts and have the influence on their metabolism due to the co-factoring of different enzymes (Pohl 2008).

The major metals of beer are calcium, potassium, sodium and magnesium. At level of minor and trace metals in beer are aluminum, chromium (up to 0.02 mg/l), copper (0.008– 0.8 mg/l), iron (0.02–1.6 mg/l), and zinc (0.001–1.5 mg/l) (Pohl 2008).

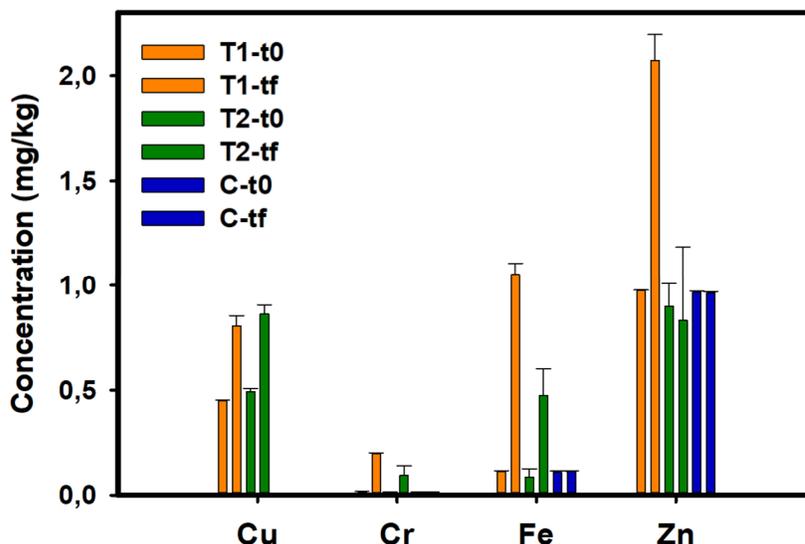


Figure 3-10. Metals in beer for treatments T1 and T2 applying a field strength of 22 V. cm⁻¹

Migration of the electrode materials into the ohmic heating (OH)-treated beer samples were summarized in figure 3-10. Compared with the control samples (conventional pasteurization), there was a significant increase in Fe, Cr, Zn, and Cu concentrations in the treated across ohmic heating beer with cooler system (T2) ($P < 0.05$). The electrode material used for the OH treatment of the beer samples was stainless steel 316. This electrode material released significant amount of Fe, Cr,

Zn, and Mn into a highly carbonated beverage by OH treatment (Evrendilek et al, 2004).

The presence of the transition metals like copper and iron in their non-complexed forms is a real concern since these metals affect the conditioning and aging of beer by catalyzing the reactions in which the reactive oxygen species are formed (Evrendilek et al, 2004).

3.5.4.6 SEM analysis

Stainless steel is an alloy of iron and chromium containing at least 11% chromium. The designated grade 316 belongs to the austenitic family of stainless steels, and contains chromium (17%), nickel (10%) and molybdenum (2%) as the main alloying elements [15]. In the food industry, stainless steels are widely used as food contact surfaces. (Samaranayake et al, 2005).

The electrodes used in the ohmic heating cell were composed of iron (85%) and chromium (15%), no traces of any other metal were evidenced nor was there any presence of oxides on the surface (Figure 3-11), in the images obtained there is evidence of cracks in the electrode that correspond to wear but not to corrosion effects.

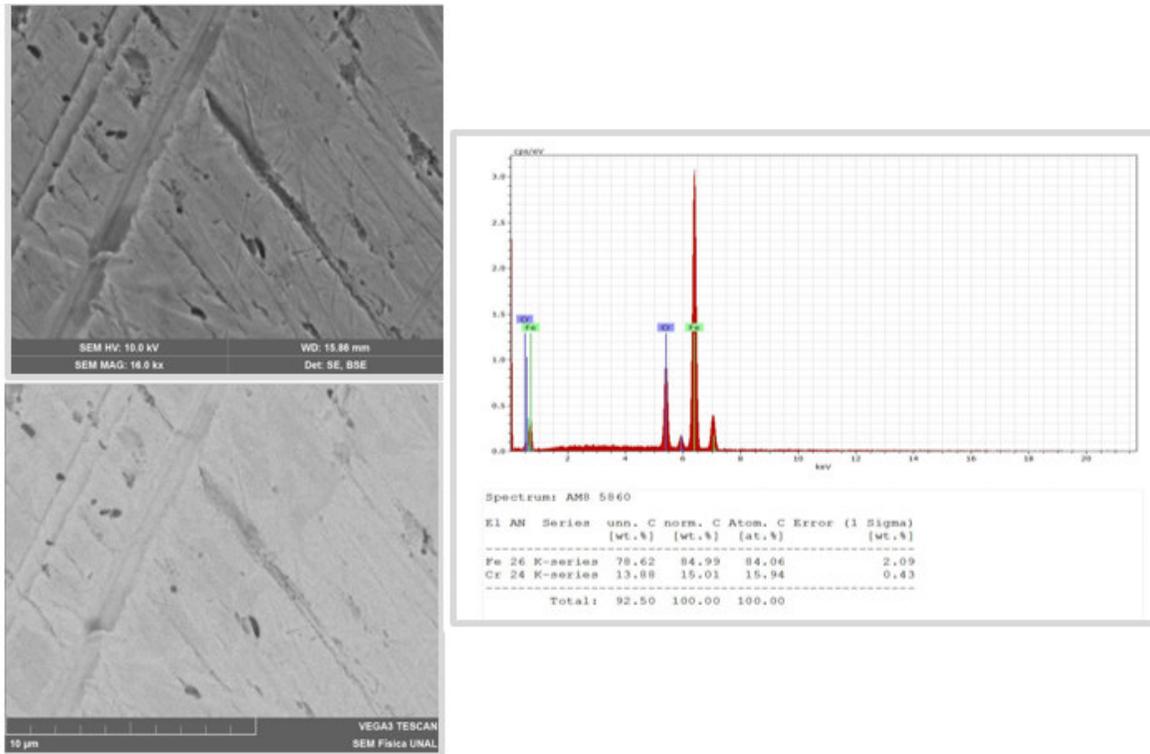


Figure 3-11. Two SEM images and compositional of electrode surface before treatments for ohmic heating of beer.

The electrodes were analyzed by SEM/EDS after ohmic treatments to evaluate changes in the microscopic structure of the themselves. The stainless steel electrodes showed pronounced corrosion rates (figure 3-12), which favored the creation of small holes in the metal which in turn were evident on the electrodes by coloration change on the surface. The driving force of pitting corrosion is the depassivation of a small area, which becomes anodic, while an unknown, but potentially large area becomes cathodic, resulting in highly localized galvanic corrosion. The corrosion penetrates into the metal mass, with limited diffusion of ions. (Wang et al, 2015).

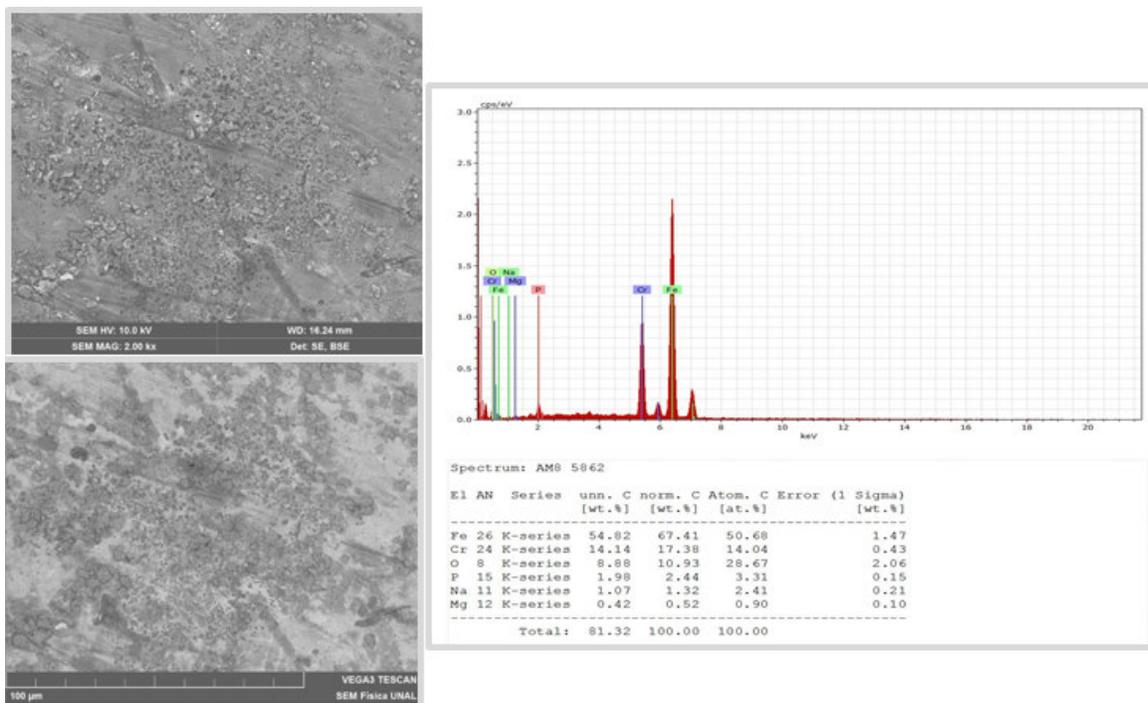


Figure 3-12. SEM images and compositional of electrode surface after treatments for ohmic heating of beer.

3.5.4.7 Shelf life evaluation

The shelf life of thermally pasteurized beer may end due to a number of reasons, of which was chose

- Microbial load,
- Changes of acidity and pH
- Changes in the sensory profile (Color).

For the shelf life evaluation, 1000ml of two independent beers was inoculated with *candida albicans* and *lactobacillus acidophilus*. The beers were pasteurized taking into account the times used in the T1 and T2 treatments, and three batches were prepared in order to have a sufficient quantity (200ml) for the analysis of acidity, pH, color, fungi and bacteria. The beer was stored in sterile and airtight bottles, no

carbonation process was used, the storage temperature was 4°C +/- 2 °C and the relative humidity was 68% +/- 3% Hr.

The microbiological count of yeasts (*candida albicans*) and bacteria (*lactobacillus acidophilus*) remained stable during the shelf-life study and no significant differences were found between treatments (P>0.05) (figure 3-13). These values are within the specifications of the normative reference for beer (NTC 3854 Alcoholic beverages, beer) where limits of maximum 100 CFU/ml of yeasts and maximum 20 CFU/100ml of bacteria are established.

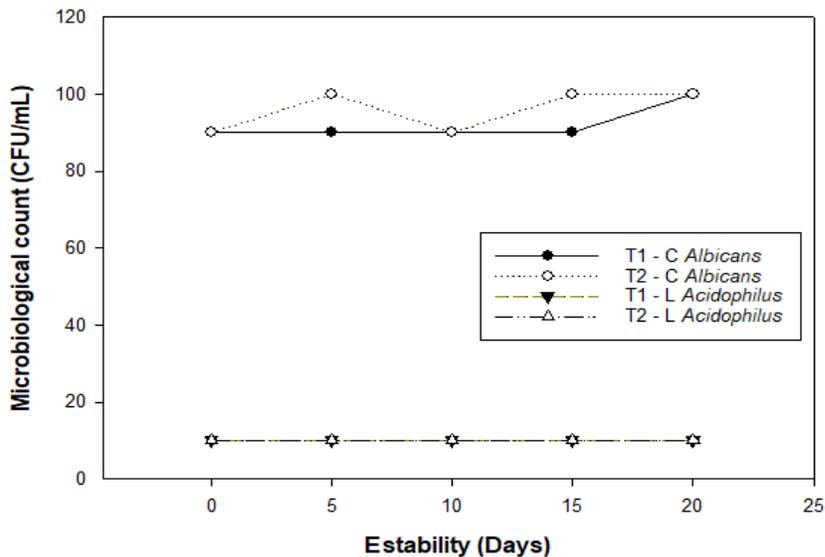


Figure 3-13. Microbiological count of *Candida Albicans* and *Lactobacillus Acidophilus* for treatments T1 and T2 in the shelf life

The microbiological count of yeasts (*candida albicans*) and bacteria (*lactobacillus acidophilus*) remained stable during the shelf-life study and no significant differences were found between treatments (P>0.05). These values are within the specifications of the normative reference for beer (NTC 3854 Alcoholic beverages, beer) where limits of maximum 100 CFU/ml of yeasts and maximum 20 CFU/100ml of bacteria are established.

Color

Color analysis of the ohmic heating-treated beer samples revealed that migration of electrode materials from the electrodes into the treated samples impacted on the color of the samples (figure 3-14).

For the color of beer pasteurized by ohmic heating and subjected to treatments T1 and T2, an increase in color values was observed on the 20th day of storage; treatment T1 gave higher color values for the beer than treatment T2.

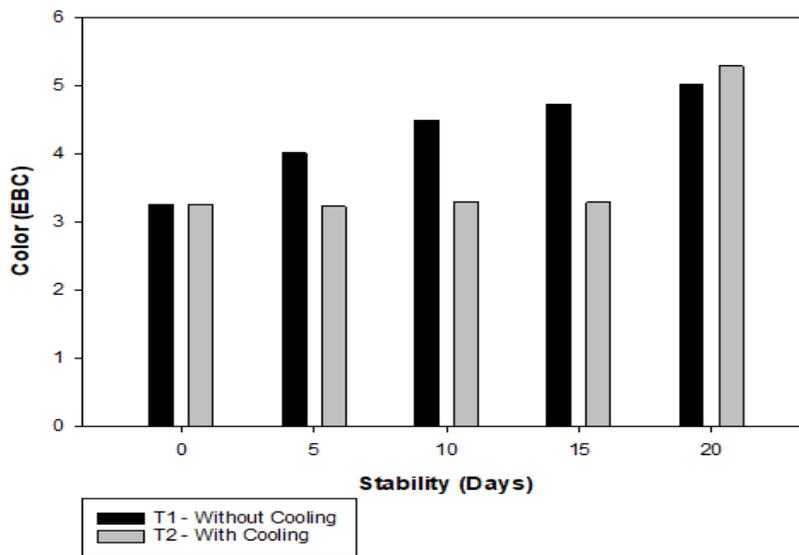


Figure 3-14. Variation of Color (EBC) for treatments T1 and T2 in the shelf life

At the beginning of shelf-life stability, color values in EBC units were similar for the two ohmic heating treatments. For treatment T1, a gradual increase in color was evident; this color change was only noticeable on day 20 for treatment T2. The increase in color was evidenced by the presence of an uncharacteristic oxidized color and an increase in color of EBC units. This value was contrasted with day 1 of storage in which a difference of 2 EBC color units was obtained for both treatments. The color change was determinant in the end of shelf life..

Stainless steel electrodes are commonly used for processing liquid food products by ohmic heating, so iron ions could be present in products processed by this technology. The Fenton reaction (Gad et al, 2015), explains the catalytic role of iron ions in the production of reactive oxygen species, OH^\bullet hydroxyl radicals and $\text{O}_2^{\bullet-}$ superoxide anions that accelerate beer aging (Gad et al, 2015).

Acidity in beer

Food acidity indicates the presence of organic and inorganic acids. The amount of acidity determines the beer flavor, color, stability, and level of quality (Norouzi et al, 2015). The means comparison results showed no significant differences ($P>0.05$) in the treatment T1 and T2 in terms of acidity.

3.6 Conclusions

Ohmic heating was demonstrated to be effective in inactivating two selected spoilage bacteria and yeasts in beer, even at temperatures as lower as 30°C.

Release of the electrode metal components was observed during applied OH treatment. Stainless steel material produces significant migration of Cu, Fe, Zn, and Cr, into the OH-treated beer samples, which may affect their flavor and mouth feel.

Further studies are needed to minimize the electrode materials' migration into the beer being treated.

4. Conclusiones y recomendaciones

4.1 Conclusiones generales

Teniendo en cuenta la comparación de la pasteurización óhmica de la cerveza vs la pasteurización convencional, se evaluaron dos diferentes tratamientos, un tratamiento T1 que empleaba refrigeración y un tratamiento T2 que no empleaba refrigeración en la celda óhmica. Se analizó el efecto de estos tratamientos manteniendo una fuerza de campo eléctrico de 22 V.cm^{-1} en los parámetros físicoquímicos de acidez, pH, contenido de cenizas, color (EBC), metales como hierro, cromo, plomo, cobre, zinc y también los efectos de los tratamientos T1 y T2 en la carga microbiológica de la cerveza previamente inoculada con *Lactobacillus acidophilus* y *Candida albicans*.

Se construyó un calentador óhmico equipado principalmente de una fuente de poder para conectar a 120 V, un voltímetro que permitió modular voltaje entre 30 a 120V, un amperímetro capaz de asegurar 1 a 3 Amperios, un controlador manual de voltaje y dos pinzas de prueba para conectar el sistema a una cámara (celda) de calentamiento óhmico. La cámara de tratamiento óhmico se elaboró en vidrio, este sistema contaba con chaqueta de enfriamiento y adicional un punto de toma de muestra para facilitar la toma de muestra puntual en diferentes tiempos sin necesidad de abrir totalmente el sistema y así evitar contaminación e intermitencia del tratamiento. Los electrodos empleados fueron elaborados de acero inoxidable en diseño circular y de 3 mm de grosor.

Cerveza contaminada de manera intencional con *Candida albicans* y *Lactobacillus acidophilus* fue tratada en el calentador óhmico mediante tratamientos T1 y T2. Para la levadura *Candida albicans* se logró una reducción de 2 unidades logarítmicas mediante tratamiento T1 y de 1.2 unidades logarítmicas para el tratamiento T2. El control de 30 unidades de pasteurización la reducción control fue

de 3.5 unidades logarítmicas. Para la bacteria *Lactobacillus Acidophilus* se logró una reducción de 1.5 unidades logarítmicas para el tratamiento T1 y 1.0 unidades logarítmicas para el tratamiento T2. En cuanto al control la reducción fue de 3.5 unidades logarítmicas. Por lo tanto el tratamiento T1 de calentamiento óhmico fue efectivo en la inactivación microbiológica debido al efecto térmico y electroporación simultánea.

Para evaluar la vida útil de la cerveza se contamina con una carga microbiana menor la cerveza. Una vez la cerveza fue contaminada se procedió a tratar por 6 minutos mediante tratamiento T1 y T2 y posteriormente se almacena a 4°C durante un periodo de 20 días, no se empleó proceso de carbonatación. La cerveza tuvo una vida útil de 20 días, se evidenció estabilidad microbiológica, estabilidad en el parámetro de acidez, sin embargo el parámetro que determinó el fin de la vida útil fue el color debido a la presencia de colores no característicos similares a un color oxidado no propio de cerveza.

4.2 Recomendaciones

Para posteriores trabajos se sugiere emplear otros electrodos más estables a la corrosión con el fin de asegurar o controlar la migración de constituyentes de los electrodos a la cerveza y así poder evitar cambios en el color y sabor de cerveza.

Se recomienda realizar estudio de vida útil incluyendo carbonatación de la cerveza con el fin de asegurar la totalidad de procesos de elaboración de cerveza y así garantizar estabilidad del producto terminado.

Es de importancia evaluar el calentamiento óhmico en matriz alimentaria como jugos, néctar, salmueras, derivados lácteos y evaluar parámetros microbiológicos, físicoquímicos, sensoriales y nutricionales, partiendo de una fuerza de campo eléctrico de 22 V.cm⁻¹

5. Contribuciones

Presentación oral:

Green Food Tech 2018 From 2nd October to 3rd October, 2018 Quebec City Convention Centre, Quebec Use of ohmic heating as a green technology for the pasteurization of beer. Ponente: Luis-Felipe Gutierrez, professor, Universidad Nacional de Colombia. Autor: Orlando Bernal Chía (Tesis de maestría)

Artículo científico:

Effect of ohmic heating pasteurization on physicochemical and microbiological characteristics of beer. Autores: Orlando Bernal Chia, Luis-Felipe Gutiérrez. Sometido a la revista Journal of the Institute of Brewing (Impactfactor: 1.759). Submission Your MS ID is JIB.20221420.

6. Bibliografía

- Aguilar-Machado D, Morales-Oyervides L, Contreras-Esquivel JC, Aguilar C, Méndez-Zavala A, Raso J, et al. Effect of ohmic heating processing conditions on color stability of fungal pigments. *Food Sci Technol Int.* 2017;23(4):338–48.
- A.M. Assiry, M.H. Gaily, M. Alsamee, A. S. (2010). *2010 - Electrical conductivity of seawater during ohmic heating* (pp. 9–17).
- Alcázar, A., Pablos, F., Martín, M. J., & González, A. G. (2002). Multivariate characterisation of beers according to their mineral content. *Talanta*, 57(1), 45–52. [https://doi.org/10.1016/S0039-9140\(01\)00670-1](https://doi.org/10.1016/S0039-9140(01)00670-1)
- Anderson, H. E., Santos, I. C., Hildenbrand, Z. L., & Schug, K. A. (2019). A review of the analytical methods used for beer ingredient and finished product analysis and quality control. *Analytica Chimica Acta*, 1085, 1–20. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2019.07.061>
- Achir N, Dhuique-Mayer C, Hadjal T, Madani K, Pain JP, Dornier M. Pasteurization of citrus juices with ohmic heating to preserve the carotenoid profile. *Innov Food Sci Emerg Technol* [Internet]. 2016;33:397–404. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2015.11.002>
- Barsotti, L., & Cheftel, J. C. (1999). Food processing by pulsed electric fields. II. Biological aspects. In *Food Reviews International* (Vol. 15, Issue 2). <https://doi.org/10.1080/87559129909541186>
- Bhuvanewari, E., & Anandharamakrishnan, C. (2014). Heat transfer analysis of pasteurization of bottled beer in a tunnel pasteurizer using computational fluid dynamics. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 23, 156–163. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2014.03.004>

- Boye, J., & Arcand, Y. (2012). *Green Technologies in Food Production and Processing (Google eBook)*. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-1587-9>
- Buzrul, S. (2007). A suitable model of microbial survival curves for beer pasteurization. *LWT - Food Science and Technology*, 40(8), 1330–1336. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2006.10.005>
- Chacha JS, Zhang L, Ofoedu CE, Suleiman RA, Dotto JM, Roobab U, et al. Revisiting non-thermal food processing and preservation methods—action mechanisms, pros and cons: A technological update (2016–2021). *Foods*. 2021;10(6).
- Cho W II, Yi JY, Chung MS. Pasteurization of fermented red pepper paste by ohmic heating. *Innov Food Sci Emerg Technol [Internet]*. 2016;34:180–6. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2016.01.015>
- Evrendilek GA, Li S, Dantzer WR, Zhang QH. Pulsed electric field processing of beer: Microbial, sensory, and quality analyses. *J Food Sci*. 2004;69(8).
- Gad A, Jayaram SH. Processing of carbonated beer by pulsed electric fields. *IEEE Trans Ind Appl*. 2015;51(6):4759–65.
- Guyot-Declerck, C., Fran, N., Ritter, C., Govaerts, B., & Collin, S. (2005). Influence of pH and ageing on beer organoleptic properties. A sensory analysis based on AEDA data. *Food Quality and Preference*, 16(2), 157–162. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2004.04.007>
- Harrison, M. a. (2009). Beer / Brewing. *Applied Microbiology: Agro/Food | Beer/Brewing*, 23–33. <https://doi.org/10.1016/B978-012373944-5.00117-6>
- Hill, A. E. (2009). Microbiological stability of beer. In *Beer*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-669201-3.00005-1>
- Horn CS, Franke M, Blakemore FB, Stannek W. Modelling and simulation of pasteurization and staling effects during tunnel pasteurization of bottled beer. *Food Bioprod Process Trans Inst Chem Eng Part C*. 1997;75(1):23–33.
- Hosain Darvishi, Mohammad Hadi Khostaghaza, N. G. (2013). 2013 - *Ohmic heating of pomegranate juice electrical conductivity and pH change* (pp. 101–

- 108).
- Icier, F. (2012). Novel Thermal and Non-Thermal Technologies for Fluid Foods. In *Novel Thermal and Non-Thermal Technologies for Fluid Foods*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-381470-8.00003-7>
- Knirsch, M. C., Alves dos Santos, C., Martins de Oliveira Soares Vicente, A. A., & Vessoni Penna, T. C. (2010). Ohmic heating - a review. *Trends in Food Science and Technology*, 21, 436–441. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2010.06.003>
- Lyng, J. G., & McKenna, B. M. (2011). Ohmic Heating of Foods. *Alternatives to Conventional Food Processing*, 10, 307–340.
- Lyng, J., & McKenna, B. M. (2007). 18 Ohmic Pasteurization of Meat and Meat Products. *Life Sciences*, 553–577.
- M J Edney and M S Izydorczyk. (2003). Malt Types and Products. *Malt Types and Products Chemistry of Malting*, 3671–3677.
- Menz, G., Aldred, P., & Vriesekoop, F. (2009). Pathogens in Beer. *School of Science and Engineering*, 403–413.
- Norouzi S, Fadavi A, Darvishi H. The ohmic and conventional heating methods in concentration of sour cherry juice: Quality and engineering factors. *J Food Eng* [Internet]. 2021;291(July 2020):110242. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110242>
- Nothaft, a. (2003). Beers - Microbreweries. *BEERS/Microbreweries*, 21(1), 448–451. <https://doi.org/10.1080/08873630309478266>
- Osaili, T. M. (2012). Developments in the Thermal Processing of Food. *Progress in Food Preservation*, 211–230. <https://doi.org/10.1002/9781119962045.ch10>
- Pandurangi, S., & Balasubramaniam, V. (2005). Emerging Technologies for Food Processing. In *Emerging Technologies for Food Processing* (Second Edi). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-012676757-5/50004-9>
- Pohl P. Metals in beer [Internet]. *Beer in Health and Disease Prevention*. Elsevier

- Inc.; 2008. 349–358 p. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-373891-2.00033-X>
- Ramaswamy, R., & Sastry, S. K. (2015). Ohmic Heating of Foods Fact Sheet for Food Processors. *Agricultural Administration*, 4–6.
- Sakr, M., & Liu, S. (2014). A comprehensive review on applications of ohmic heating (OH). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 262–269. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.061>
- Samaranayake CP, Sastry SK. Electrode and pH effects on electrochemical reactions during ohmic heating. *J Electroanal Chem*. 2005;577(1):125–35.
- Stankovic, V. B. V. and M. Z. (2003). Herbs Used in Alcoholic Drinks . *HERBS/Herbs Used in Alcoholic Drinks*, 3098–3107. <https://doi.org/10.1016/b0-12-227055-x/00595-2>
- Silva FVM, Gibbs PA, Nuñez H, Almonacid S, Simpson R. Thermal Processes: Pasteurization. *Encycl Food Microbiol Second Ed*. 2014;3:577–95.
- Toepfl, S., Siemer, C., Saldaña-Navarro, G., & Heinz, V. (2014). Overview of Pulsed Electric Fields Processing for Food. *Emerging Technologies for Food Processing*, 93–114. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-411479-1.00006-1>
- Yang N, Huang K, Lyu C, Wang J. Pulsed electric field technology in the manufacturing processes of wine, beer, and rice wine: A review. *Food Control* [Internet]. 2016;61:28–38. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.09.022>
- Walkling-Ribeiro, M., Rodríguez-González, O., Jayaram, S. H., & Griffiths, M. W. (2011). Processing temperature, alcohol and carbonation levels and their impact on pulsed electric fields (PEF) mitigation of selected characteristic microorganisms in beer. *Food Research International*, 44, 2524–2533. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.01.046>
- Wang R, Farid MM. Corrosion and health aspects in ohmic cooking of beef meat patties. *J Food Eng* [Internet]. 2015;146:17–22. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.08.011>