

Effectiveness of ultrasonic and high pressure homogenization in food suspensions: a systematic review

Carlos Aguilar-Tello, Bach.¹, Andy Noriega-Gonzales, Bach.¹, Haniel Solis-Muñoz, Mg.² Marlon Walter Valderrama Puscan, Mg.³, Grant Ilich Llaque Fernandez, Mg.³ and Flor Alicia Calvanapón Alva Dra.

¹Escuela de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Privada del Norte (UPN), Trujillo, Perú,
carlosaguilartello@gmail.com, noriegagonzalesandy@gmail.com

² Departamento de Humanidades, Universidad Privada del Norte, Perú, haniel.solis@upn.pe

³ Departamento de Humanidades, Universidad Privada del Norte, Perú, marlon.valderrama@upn.pe

³ Departamento de Humanidades, Universidad Privada del Norte, Perú, grant.llaque@upn.pe

³ Departamento de Humanidades, Universidad Privada del Norte, Perú, flor.calvanapon@upn.pe

Abstract– Currently, the trend of a healthy, tasty and natural diet has increased due to the focus on the relationship between food and health, which is why the food industry seeks to cause a potential impact on public health by providing greater nutritional value. This research was carried out in order to identify which method is more effective to prepare a healthy, safe food with high nutritional value. This systematic review was followed by following the PRISMA statement practice guideline for systematic reviews. The search was carried out in the databases: Science-Direct, and the Google Scholar platform. For this, the keywords (ultrasound homogenization, high pressure homogenization, food suspensions, fruit nectars) were considered during the years 2017 - 2020. The result was that high pressure homogenization is more effective in prolonging life useful of food suspensions, as well as to reduce the total microbial load.

Keywords-- turbidity, ultrasound, particle size, cloud value, food suspensions.

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LEIRD2022.1.1.29>

ISBN: 978-628-95207-3-6 ISSN: 2414-6390

Effectiveness of ultrasonic and high pressure homogenization in food suspensions: a systematic review

Efectividad De La Homogeneización A Alta Presión Y Ultrasónica En Suspensiones Alimentarias: Una Revisión Sistemática

Carlos Aguilar-Tello, Bach.¹, Andy Noriega-Gonzales, Bach.¹, Haniel Solis-Muñoz, Mg.² Marlon Walter Valderrama Puscan, Mg.³, Grant Ilich Llaque Fernandez, Mg.³ and Flor Alicia Calvanapón Alva Dra.

¹Escuela de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Privada del Norte (UPN), Trujillo, Perú, carlosaguilartello@gmail.com, noriegagonzalesandy@gmail.com

²Departamento de Humanidades, Universidad Privada del Norte, Perú, haniel.solis@upn.pe

³Departamento de Humanidades, Universidad Privada del Norte, Perú, marlon.valderrama@upn.pe

³Departamento de Humanidades, Universidad Privada del Norte, Perú, grant.llaque@upn.pe

³Departamento de Humanidades, Universidad Privada del Norte, Perú, flor.calvanapon@upn.pe

Resumen– En la actualidad, la tendencia de una alimentación saludable, sabrosa y natural se ha incrementado debido al enfoque en las relaciones entre alimentación y salud por eso la industria de alimentos busca causar un impacto potencial en la salud pública aportando un mayor valor nutricional. Esta investigación se realizó con el fin de identificar que método es más efectivo para elaborar un alimento saludable, seguro y con alto valor nutricional. Esta revisión sistemática se desarrolló siguiendo la guía de práctica de la declaración PRISMA para revisiones sistemática. Se realizó la búsqueda en las bases de datos: Science-Direct, y la plataforma de Google Académico. Para ello, se considerando las palabras claves (homogenización por ultrasonido, homogenización por altas presiones, suspensiones alimentarias, néctares de frutas), durante los años 2017 – 2020. Se obtuvo como resultado que la homogeneización a alta presión es más efectiva para alargar la vida útil de las suspensiones alimentarias, así como también para reducir la carga microbiana total.

Palabras clave-- turbidez, ultrasonido, tamaño de partícula, valor nube, suspensiones alimentarias.

Abstract– Currently, the trend of a healthy, tasty and natural diet has increased due to the focus on the relationship between food and health, which is why the food industry seeks to cause a potential impact on public health by providing greater nutritional value. This research was carried out in order to identify which method is more effective to prepare a healthy, safe food with high nutritional value. This systematic review was followed by following the PRISMA statement practice guideline for systematic reviews. The search was carried out in the databases: Science-Direct, and the Google Scholar platform. For this, the keywords (ultrasound homogenization, high pressure homogenization, food suspensions, fruit nectars) were considered during the years 2017 - 2020. The result was that high pressure homogenization is more effective in prolonging life useful of food suspensions, as well as to reduce the total microbial load.

Keywords-- turbidity, ultrasound, particle size, cloud value, food suspensions

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la tendencia de una alimentación saludable, sabrosa y natural se ha incrementado debido al enfoque en las relaciones entre alimentación y salud. Esto se debe a que el consumismo nos ha llevado a las malas prácticas de alimentación optando por elegir dietas con bajos contenidos nutricionales y comidas chatarras, causando enfermedades crónicas debido al alto consumo de alimentos procesados [1]. Por esta razón, la industria de alimentos busca causar un impacto potencial en la salud pública aportando un mayor valor nutricional en la población innovando en el desarrollo de productos alimenticios mínimamente procesados [2]; por ello, esta industria ofrece como alternativa los jugos de frutas frescas que tienen una alta demanda en el mercado.

Esta tendencia busca alargar la vida útil de los jugos de frutas, sin perjudicar la calidad nutricional, aplicando estas tecnologías emergentes como la homogeneización a alta presión (HPH) y la homogeneización ultrasónica [3]. La homogeneización a alta presión es muy utilizada en la fabricación de bebidas azucaradas debido al procesamiento mínimo no térmico en el que se basa. Esta técnica permite mejorar las propiedades bioactivas de los jugos de frutas y sus características organolépticas. El principio de este método de homogeneización está basado en transportar un fluido a través de una válvula de espacio estrecho aumentando la velocidad del líquido o fluido lo cual genera un descenso de presión a la presión atmosférica produciendo un elevado esfuerzo de cizalla, incremento de turbulencia y cavitación [4]. Por lo tanto, se genera una reducción del tamaño de partícula ocasionando ruptura y deformación celular. Esta técnica de procesamiento no térmico es ampliamente utilizada para diferentes procesos, como

en la evaluación de los efectos de la aplicación de homogeneización a alta presión en jugo de naranja logrando identificar que se reduce el tamaño de partícula en cinco veces; además mejoró la bioaccesibilidad de los epoxis carotenoides, mejoró la turbidez del jugo con la homogeneización [5]. En otra investigación se aplicó homogeneización a alta presión en el jugo de zanahoria turbio identificando que el tratamiento a 600 MPa se obtiene una menor degradación de carotenoides, se obtuvo una mayor inactivación de las enzimas peroxidasa y polifenol oxidasa y se redujo significativamente la carga microbiana en relación a la presión aplicada [6]. Por otra parte en la evaluación de inactivación enzimática y microbiológica, color y propiedades sensoriales post procesamiento en jugo de fresa, se obtuvo como resultados la mejora de la vida útil de la bebida de fresa otorgándole un tiempo de 49 días cuando estas fueron procesadas a 500 o 600 MPa, no hubo cambios significativos en el contenido de antocianinas y vitamina C por lo que no se observaron cambios de color después del procesamiento [7]. Asimismo, en la evaluación de la funcionalidad del jugo de zanahoria así como su estabilidad microbiana y organoléptica, se logró que a 150MPa prolongó la vida útil del producto de 3 a 7 días almacenados a temperaturas de 10 a 4 °C; además, otorgó una mayor estabilidad en los valores de color y pH [8].

Por otro lado, la homogeneización ultrasónica en su aplicación a jugos de frutas, tiene un mínimo impacto en las propiedades fisicoquímicas y nutricionales, ya que procesa los líquidos a menor temperatura [9]. Además, su poder de reducción de microorganismos de deterioro, así como su capacidad de alargar la vida útil del jugo ha generado gran interés en los especialistas de dicha área [10]. Por esta razón, la homogeneización ultrasónica es aplicada en distintos procesos, como en la investigación del impacto de latermo sonicación en jugo de espinaca señalo que la aplicación de este método en los parámetros de 600 W, 30Khz, 60 ± 1 °C durante 20 minutos, brinda un papel sinérgico en la carga microbiana, ya que reduce significativamente la presencia de microorganismos patógenos; además, inactivó la polifenol oxidasa y la peroxidasa, brindó una mayor reducción de actividades enzimáticas y mejoró la estabilidad de la suspensión [11]. De igual manera, en la evaluación de la aplicación de ondas ultrasónicas en el jugo de tomate mejoras en la estabilidad, valor nutricional y seguridad microbiana, debido a los diferentes campos de estrés inducidos por la cavitación a las que fueron sometidas las partículas del jugo de tomate [12]. Asimismo, al evaluar la aplicación de esta tecnología en bebida de suero de leche enriquecida con inulina a diferentes potencias ultrasónicas identificando que a una potencia de 600 W se obtiene una mejor estabilidad evitando la separación de las fases gracias a que la cavitación acústica redujo los tamaños de partícula, la desnaturalización de proteínas del suero y gelificación de polisacáridos [13]. Por otra parte, al evaluar la aplicación de ondas ultrasónicas en los cambios de color y contenido de antocianinas al vino de arándanos se pudo observar que esta tecnología mejora las características de color y no afecta la cantidad de antocianina presente en él, por lo que se este método promueve el envejecimiento del vino de arándanos [14].

Por lo tanto, el objetivo de esta revisión sistemática es dar a conocer parámetros la efectividad de ambos métodos en jugos

de frutas.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Esta revisión sistemática de la literatura científica sobre tecnologías emergentes se desarrolló siguiendo la guía de práctica de la declaración PRISMA para revisiones sistemáticas [15].

Las preguntas de investigación que se consideró para este estudio de revisión fueron: ¿Cuáles son las variables que promueven la estabilidad en los jugos de frutas? ¿Qué tecnología de homogeneización tiene mayor reducción sobre la carga microbiana? ¿Qué tecnología permite alargar mayor tiempo la vida útil? ¿Qué tecnología mantiene en mayor proporción las propiedades nutricionales de las suspensiones alimentarias?

A. Criterios de inclusión y exclusion

En esta revisión sistemática los criterios de inclusión fueron: artículos a texto completo; en la lengua inglesa, portuguesa o castellana; que analizan la relación entre la efectividad de homogeneización por ultrasonido y homogeneización a alta presión y tecnologías emergentes. Los criterios de exclusión fueron: trabajos de revisión teórica y práctica, trabajos de revisión sistemática, trabajos experimentales o cuasi experimentales, pueden estar relacionados con el tema de estudio.

B. Estrategia de búsqueda y selección de estudio

En un primer paso, para clasificar los estudios relevantes para este análisis, la búsqueda de literatura se realizó en las bases de datos: Science-Direct y la plataforma de Google Académico. Para ello, se consideró las palabras claves (homogeneización por ultrasonido, homogeneización por altas presiones, suspensiones alimentarias, néctares de frutas), considerando las siguientes restricciones: Año (2017 – 2022).

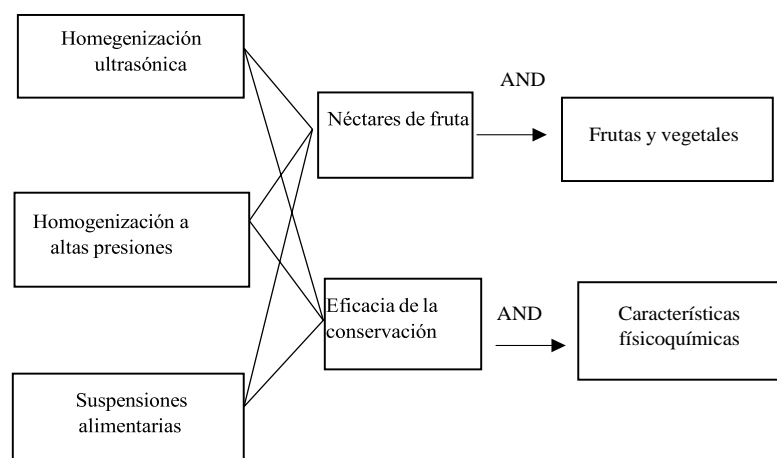


Fig. 1 Combinación de operadores lógicos palabras clave utilizadas en la búsqueda de artículos

La Fig. 1 muestra el procedimiento seguido, el cuál fue: realizar la búsqueda en las bases de datos en función de los términos de búsqueda; lectura del título y resumen para localiza a aquellos que inicialmente cumplieran con los criterios de exclusión; posteriormente, se leyeron a texto completo y se excluyeron a los que no cumplieran con los requisitos de inclusión. Posteriormente se seleccionaron los documentos que cuenten con las propiedades requeridas en la investigación (olor, turbidez, pH, tamaño de partícula, propiedades de la fase sérica, oxidación de lípidos, etc.) obteniendo un total de 200 documentos

Finalmente, los datos de los artículos seleccionados tomando en cuenta características como: color, turbidez, pH, tamaño de partícula, propiedades de la fase sérica, oxidación de lípidos, etc. facilitando de esta manera la simplificación y procesamiento de datos; posteriormente, los datos fueron presentados en una plantilla previamente diseñada donde se puede evidenciar la diferencia de ambos métodos y realizar una medición de la efectividad de estos.

III. RESULTADOS

Después de realizar la revisión sistemática mediante la metodología PRISMA, en la que se tomó en cuenta criterios de exclusión como el tiempo, bases de datos, palabras clave, y estructura IMRD. De esta manera, se obtuvo un total de 20 estudios que cumplen con todos los criterios antes mencionados y se detallan a continuación en la Tabla I.

Tabla I
CANTIDAD DE ARTÍCULOS POR BASE DE DATOS

Base de datos	Cantidad de publicaciones por bases	Quartil	%
Science-Direct	19	1	96.36%
Google Scholar	3	2	13.64%
	22		100%

TABLA II.
PARÁMETROS DE PROCESAMIENTO DE HOMOGENEIZACIÓN A ALTA PRESIÓN Y ULTRASÓNICA

Producto	HPH				US			
	Temperatura	Presión	Tiempo	Artículo	Temperatura	Frecuencia o Potencia	Tiempo	Artículos
Jugo de Naranja	68 °C	150 MPa	15 segundos	[5]	38 °C	20 kHz	15, 45, 75, 105, y 150 s	[29]
Jugo de Manzana Turbio	4 °C	20, 40 y 60 MPa	15 segundos	[2]	50, 60 y 70 °C	525, 975 y 1125 W	5 - 12 minutos	[16]
Jugo de Tomate	-	200, 300, 400 y 500 Bar	-	[32]	10 °C	25 kHz y 500 W	30 minutos	[12]
Jugo de Mandarina	-	20 y 100 MPa	15 minutos	[26]	25 y 55 °C	25 kHz y 700 W	10 - 60 minutos	[10]
Jugo de Zanahoria	35 °C	150 MPa	30 segundos	[22]	25 y 60 °C	40 kHz y 110 W	5 y 6 minutos	[30]
Jugo de Mango	20, 40 y 60 °C	40, 70, 100, 130, 160 y 190 MPa	15 segundos	[25]	25, 45, 65 y 95 °C	250 W	10 minutos	[28]

En la Fig. 2. se muestra que para el criterio de búsqueda por tiempo se consideró desde el año 2017 al 2022. Donde, en el 2019 se registró la mayor cantidad de publicaciones con 6 publicaciones, seguido del 2017 y 2021 con 5 publicaciones, luego los años 2022, 2020 y 2018 con 1, 4 y 1 publicación, respectivamente

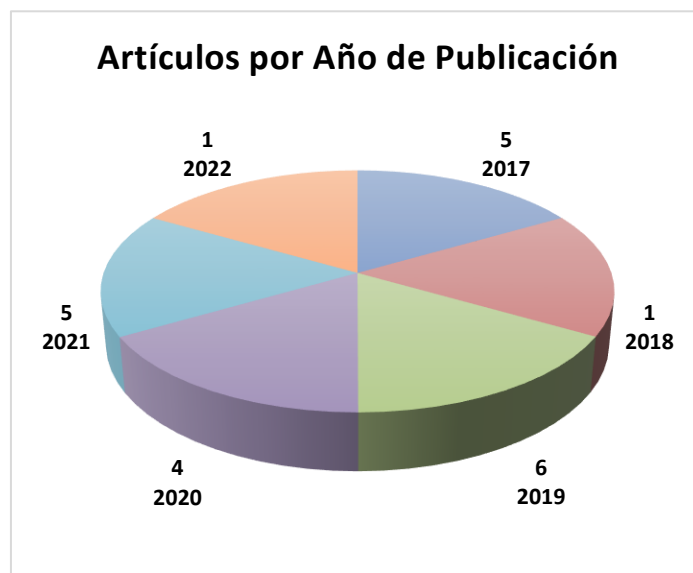


Fig. 2. Cantidad de publicaciones por año

En la Tabla II se detallan los parámetros de temperatura, presión y tiempo de procesamiento para los jugos de frutas de naranja, jugo de manzana turbio, jugo de tomate, jugo de mandarina, jugo de zanahoria y jugo de mango para las tecnologías de homogeneización de alta presión (HPH) y ultrasonido (US)

TABLA III.
CUADRO COMPARATIVO DE RESULTADOS HOMOGENEIZACION A ALTA PRESIÓN Y ULTRASÓNICA

Producto	Tecnología de homogeneización			
	HPH	Artículo	US	Artículo
Jugo de Naranja	<ul style="list-style-type: none"> - Reduce significativa del tamaño de partícula. - Aumenta el oscurecimiento del jugo. - Disminuye significativamente el contenido de carotenoides totales. - No redujo el ácido ascórbico. 	[5]	<ul style="list-style-type: none"> - Mejoró la estabilidad cinética del jugo de naranja. - Preserva el contenido de ácido ascórbico (vitamina C). - Afectó linealmente el comportamiento del flujo y los parámetros reológicos de las muestras de jugo de naranja. 	[29]
Jugo de Manzana turbio	<ul style="list-style-type: none"> - Reduce concentración de vitamina C. - Aumento de viscosidad aparente constante durante 8 días de almacenamiento refrigerado inducido por el pure de kiwi. - Reducción del diámetro de partículas suspendidas (200 um, 160 um, 140 um a 20 MPa, 40 MPa y 60 MPa). - Aumentó significativamente el deterioro del color (oscurecimiento) del jugo de manzana durante el almacenamiento. - No genera cambios en el sabor de los jugos. 	[2]	<ul style="list-style-type: none"> - Mejoró las propiedades sensoriales y mejoró el contenido pectina soluble en agua (WSP). - Redujo el tamaño de partícula. - Reducción de la carga microbiana. - Incremento del color oscuro del jugo. - Aumento significativo en el contenido de fenoles totales. 	[16]
Jugo de Tomate	<ul style="list-style-type: none"> - Los valores L* y b* aumentaron significativamente con HPH. - HPH causa la degradación de los carotenoides. - HPH disminuyó el tamaño de partículas. - El contenido de licopeno todo trans disminuyó significativamente con el aumento de HPH. 	[32]	<ul style="list-style-type: none"> - Aumento de la estabilidad de la nube y el contenido fenólico total. - Aumento del ácido ascórbico. - Aumento gradual muy leve en la luminosidad del jugo, así como una disminución gradual en el enrojecimiento y el amarilleo del jugo. - Aumento de la bioaccesibilidad de los carotenoides. - Incremento de su capacidad antioxidante. - Reducción de carga microbiana. 	[12]
Jugo de Mandarina	<ul style="list-style-type: none"> - Reducción del contenido de flavonoides (Hesperidina). - La vitamina C no se vio afectada por el tratamiento con trehalosa y presión. - La pulpa suspendida aumentó con la adición de HPH. - Se ha demostrado que la aplicación de HPH a los jugos de mandarina aumenta la estabilidad de la suspensión. - Mejora la disponibilidad de compuestos bioactivos con actividad antioxidante. 	[26]	<ul style="list-style-type: none"> - No existen cambios significativos en el contenido de ácido ascórbico (AA). - Aumento del contenido de componentes bioactivos. 	[10]
Jugo de Zanahoria	<ul style="list-style-type: none"> - Después de 5 pasadas se redujo de 7,32 log CFU/mL, levaduras: 4,89 log CFU/mL y mohos 1,38 log a 2,47 log CFU/mL, 3,71 log CFU/mL y 1,08 log CFU/mL, respectivamente. - Aumenta la actividad de la PPO y POD. - Disminución significativa de la turbidez. - Reducción de la viscosidad dinámica aparente - Aumento del contenido de carotenoides 	[22]	<ul style="list-style-type: none"> - Reducción microbiana por cavitación acústica. - No genera cambios significativos en el color. - Mejora de las características sensoriales. - Incremento de compuestos bioactivos. 	[30]
Jugo de Mango	<ul style="list-style-type: none"> - Preserva el pH y TSS del jugo de mango. - HPH resultó en pérdida de luminosidad y aumento de la intensidad del color rojo en este estudio. - Disminuyó significativamente el diámetro de partícula del jugo de mango. - Reducción de la viscosidad aparente con el aumento de la velocidad de corte. 	[25]	<ul style="list-style-type: none"> - TS a alta temperatura redujo significativamente las actividades enzimáticas de PPO, POD y PME. - Disminución de ácido ascórbico y contenido fenólico por incremento de temperatura durante la sonicación. 	[28]

En la tabla III, se presentan los principales efectos de las tecnologías de homogeneización HPH y US en jugos de frutas y vegetales.

Tabla IV.
VARIABLES QUE PROMUEVEN LA ESTABILIDAD.

Artículos	Variables que promueven la estabilidad		
	Tamaño de gota o partícula	Turbidez	Viscosidad
[18], [20], [23],[11]	x	x	x
[21],[27], [31], [9]	x	x	
[24],[33]	x		x

En la Tabla IV se muestran los artículos que comparten la misma variable de estudio que promueven la estabilidad de las suspensiones alimentarias, tales como: turbidez, tamaño de gota o partícula, viscosidad)

IV. DISCUSIONES

Para la comparación de los efectos de ambos métodos de homogeneización fue necesario apoyarse de artículos publicados en bases confiables. De esta manera, Science-Direct fue la base de datos de la cual se extrajo la mayor cantidad de artículos con un 96.34%, seguido de Google Scholar que representa al 13.36% de los artículos seleccionados para la realización de esta revisión sistemática. Además, se tomó en cuenta los cuartiles a los que pertenecen cada artículo, por lo que se obtuvo que, de los 22 artículos para la comparación de ambos métodos de homogeneización, 19 pertenecen al cuartil 1 y los otros 3 restantes al cuartil 2.

En la figura 2 se muestra la cantidad de publicaciones relacionadas al tema por año de publicación, donde podemos observar el año 2019 que representa al 27% del total. Además, se logra identificar que en los últimos se está incrementando el número de investigaciones. Por lo que, nos indica que las industrias alimentarias están en busca de métodos de homogeneización que permitan mejorar la calidad de sus productos, así como también brindar un alimento que cumplan con todos los lineamientos de seguridad alimentaria.

Por otro lado, en la tabla IV, se puede observar algunas de las variables que permiten obtener mayor estabilidad en suspensiones alimentarias. Por esta razón, las aplicaciones de homogeneización no térmica, como HPH y ultrasonido, se suelen utilizar en emulsiones o suspensiones alimentarias con la finalidad de mejorar la estabilidad del producto, alargar la vida útil, reducir la carga microbiana y/o mantener las propiedades nutricionales de estas. Sin embargo, los beneficios de la aplicación, ya sea homogeneización por altas presiones o ultrasónica, no solo depende del tiempo de exposición del producto a estas tecnologías sino también de la matriz alimentaria o materia prima de la cual proviene la suspensión o emulsión [18].

Esto se ve evidenciado en la aplicación de alta presión en jugo de manzana turbio en donde la homogeneización a alta presión brinda mayor estabilidad al jugo, debido a la reducción del tamaño de partícula y a un incremento de la viscosidad inducido por el puré de Kiwi [2]. Sin embargo, al aplicar ultrasonido no solo reduce las poblaciones microbianas y mejora las propiedades sensoriales del jugo; sino que, también brinda mejores propiedades nutricionales en comparación de la tecnología a alta presión, que degrada significativamente algunos carotenoides responsables de la coloración del jugo de manzana [16]. Además, el US permite mejorar la actividad de la eliminación de radicales libres por acción de la cavitación acústica generada durante el tratamiento. Por su parte, en el estudio de la aplicación de homogeneización por ultrasonido y alta presión jugo de tomate, ambas tecnologías brindaron mayor estabilidad del jugo, debido a la reducción del tamaño de partícula y a un incremento de la viscosidad [12] [18]; sin embargo, hubo diferencias significativas con respecto a la cuantificación de carotenoides, ya que el contenido de licopeno disminuyó significativamente con el incremento de presión, caso contrario, ocurre con la aplicación de ultrasonido que permite la liberación del licopeno en las células debido a las fuerzas mecánicas ejercidas para romper las células sin un incremento de presión. Asimismo, se puede evidenciar diferencias significativas en la capacidad antioxidante de los jugos luego de ser homogeneizadas por estas tecnologías, observando que la HPH brinda mayor capacidad antioxidante en comparación a la aplicación de US. Caso contrario, ocurre en la aplicación de ultrasonido al jugo de zanahoria [30], donde la termosonicación mejoró la capacidad antioxidante del jugo e incrementó la estabilidad, debido a un aumento de viscosidad y disminución de partícula. De la misma manera, con la aplicación de HPH se obtuvo mejor estabilidad de suspensión, debido a un incremento de la viscosidad y disminución de tamaño de partícula, otorgando mejores características organolépticas al jugo de zanahoria [22]. Además, le otorga una mayor vida útil al jugo de zanahoria; sin embargo, no se encontraron diferencias significativas con respecto a la capacidad antioxidante de la muestra control.

Por otra parte, la aplicación de homogeneización a alta presión en los jugos de naranja y mandarina [5] [26] los cuales contienen un pH bajo muestran una reducción en la concentración de los carotenoides y flavonoides, respectivamente, ocasionando una reducción significativa de nutrientes en estas suspensiones alimentarias. Sin embargo, mediante la homogeneización ultrasónica de los jugos de naranja y mandarina [29] [10] se pudo conocer que esta tecnología no altera el contenido de ácido ascórbico presente en los jugos y que incrementa el contenido de componentes bioactivos.

II. CONCLUSIONES

Esta revisión sistemática se elaboró con la finalidad de dar a conocer la efectividad de las tecnologías emergentes homogeneización a alta presión y ultrasonido jugos de frutas por lo que se logró identificar que la homogeneización a altas presiones brinda mayor estabilidad física, mayor tiempo de vida útil y mejores características fisicoquímicas y organolépticas. Además, esta tecnología no necesita ser combinada con

tratamientos térmicos como la ultrasónica, por lo que se convierte en un proceso más fácil de implementar para las industrias. Sin embargo, la aplicación de ultrasonido permite obtener bebidas funcionales porque las altas presiones inactiva la POD (peroxidasa) que es la responsable de la degradación de los pigmentos orgánicos presentes en las bebidas; también se concluyó que, El mayor porcentaje de los trabajos encontrados tanto como homogeneización a alta presión y ultrasonido fueron realizados en China, debido a la alta tecnología que tiene este país, finalmente este trabajo demuestra que la aplicación de tecnologías combinadas es efectiva para la reducción microbiana e incremento del valor nutricional de las suspensiones alimentarias.

REFERENCIAS

- [1] Arias Lamos, Daniela, Laura Natalia Montaña Díaz, María Alejandra Velasco Sánchez, Jader Martínez Girón, Daniela Arias Lamos, Laura Natalia Montaña Díaz, María Alejandra Velasco Sánchez, and Jader Martínez Girón. 2018. "Alimentos Funcionales: Avances de Aplicación En Agroindustria." *Tecnura* 22(57):55–68. doi: 10.14483/22487638.12178.
- [2] Yi, Junjie, Biniam Kebede, Kristiani Doi, Tara Grauwet, Ann Van Loey, and Marc Hendrickx. 2018. "Minimizing Quality Changes of Cloudy Apple Juice: The Use of Kiwifruit Puree and High Pressure Homogenization." *Food Chemistry* 249:202–12. doi: 10.1016/J.FOODCHEM.2017.12.088.
- [3] Oliveira, Ana Flávia A., Josiana M. Mar, Samara F. Santos, Joel L. da Silva Júnior, Ariane M. Kluckowski, Amr M. Bakry, Jaqueline de Araújo Bezerra, Rita de Cássia Saraiva Nunomura, Edgar A. Sanches, and Pedro H. Campelo. 2018. "Non-Thermal Combined Treatments in the Processing of Açai (*Euterpe Oleracea*) Juice." *Food Chemistry* 265:57–63. doi: 10.1016/J.FOODCHEM.2018.05.081.
- [4] Saricaoglu, Furkan T., Ilyas Atalar, Volkan A. Yilmaz, Halil I. Odabas, and Osman Gul. 2019. "Application of Multi Pass High Pressure Homogenization to Improve Stability, Physical and Bioactive Properties of Rosehip (*Rosa Canina* L.) Nectar." *Food Chemistry* 282:67–75. doi: 10.1016/J.FOODCHEM.2019.01.002.
- [5] Stinco, Carla M., Enrique Sentandreu, Paula Mapelli-Brahm, José L. Navarro, Isabel M. Vicario, and Antonio J. Meléndez-Martínez. 2020. "Influence of High Pressure Homogenization and Pasteurization on the in Vitro Bioaccessibility of Carotenoids and Flavonoids in Orange Juice." *Food Chemistry* 331:127259. doi: 10.1016/J.FOODCHEM.2020.127259.
- [6] Stinco, Carla M., Justyna Szczepańska, Krystian Marszałek, Carlos A. Pinto, Rita S. Inácio, Paula Mapelli-Brahm, Francisco J. Barba, Jose M. Lorenzo, Jorge A. Saraiva, and Antonio J. Meléndez-Martínez. 2019. "Effect of High-Pressure Processing on Carotenoids Profile, Colour, Microbial and Enzymatic Stability of Cloudy Carrot Juice." *Food Chemistry* 299:125112. doi: 10.1016/J.FOODCHEM.2019.125112.
- [7] Aaby, Kjersti, Ingunn Haugland Grimsbo, Maria Befring Hovda, and Tone Mari Rode. 2018. "Effect of High Pressure and Thermal Processing on Shelf Life and Quality of Strawberry Purée and Juice." *Food Chemistry* 260:115–23. doi: 10.1016/J.FOODCHEM.2018.03.100.
- [8] Gottardi, Davide, Lorenzo Siroli, Giacomo Braschi, Samantha Rossi, Federico Ferioli, Lucia Vannini, Francesca Patrignani, and Rosalba Lanciotti. 2021. "High-Pressure Homogenization and Biocontrol Agent as Innovative Approaches Increase Shelf Life and Functionality of Carrot Juice." *Foods* 10(12). doi: 10.3390/foods10122998.
- [9] Campoli, Stephanie Suarez, Meliza Lindsay Rojas, Jose Eduardo Pedrosa Gomes do Amaral, Solange Guidolin Canniatti-Brazaca, and Pedro Esteves Duarte Augusto. 2018. "Ultrasound Processing of Guava Juice: Effect on Structure, Physical Properties and Lycopene in Vitro Accessibility." *Food Chemistry* 268:594–601. doi: 10.1016/J.FOODCHEM.2018.06.127.
- [10] Aguilar, Karla, Alfonso Garvín, Albert Ibarz, and Pedro E. D. Augusto. 2017. "Ascorbic Acid Stability in Fruit Juices during Thermosonication." *Ultrasonics Sonochemistry* 37:375–81. doi: 10.1016/J.ULTSONCH.2017.01.029.
- [11] Manzoor, Muhammad Faisal, Bin Xu, Sipper Khan, Rizwan Shukat, Nazir Ahmad, Muhammad Imran, Abdur Rehman, Emad Karrar, Rana Muhammad Aadil, and Sameh A. Korma. 2021. "Impact of High-Intensity Thermosonication Treatment on Spinach Juice: Bioactive Compounds, Rheological, Microbial, and Enzymatic Activities." *Ultrasonics Sonochemistry* 78:105740. doi: 10.1016/J.ULTSONCH.2021.105740.
- [12] Gao, Ruiping, Fayin Ye, Yulin Wang, Zhiqiang Lu, Maoyi Yuan, and Guohua Zhao. 2019. "The Spatial-Temporal Working Pattern of Cold Ultrasound Treatment in Improving the Sensory, Nutritional and Safe Quality of Unpasteurized Raw Tomato Juice." *Ultrasonics Sonochemistry* 56:240–53. doi: 10.1016/J.ULTSONCH.2019.04.013.
- [13] Guimarães, Jonas T., Eric Keven Silva, Verônica O. Alvarenga, Ana Letícia R. Costa, Rosiane L. Cunha, Anderson S. Sant'Ana, Monica Q. Freitas, M. Angela A. Meireles, and Adriano G. Cruz. 2018. "Physicochemical Changes and Microbial Inactivation after High-Intensity Ultrasound Processing of Prebiotic Whey Beverage Applying Different Ultrasonic Power Levels." *Ultrasonics Sonochemistry* 44:251–60. doi: 10.1016/J.ULTSONCH.2018.02.012.
- [14] Li, Xusheng, Lei Zhang, Ziyao Peng, Yaqi Zhao, Kaiyun Wu, Nan Zhou, Yin Yan, Hosahalli S. Ramaswamy, Jianxia Sun, and Weibin Bai. 2020. "The Impact of Ultrasonic Treatment on Blueberry Wine Anthocyanin Color and Its In-Vitro Anti-Oxidant Capacity." *Food Chemistry* 333:127455. doi: 10.1016/J.FOODCHEM.2020.127455.
- [15] Yepes-Núñez, Juan José, Gerard Urrútia, Marta Romero-García, and Sergio Alonso-Fernández. 2021. "Declaración PRISMA 2020: Una Guía Actualizada Para La Publicación de Revisiones Sistemáticas." *Revista Española de*

- Cardiología 74(9):790–99. doi: 10.1016/J.RECESP.2021.06.016.
- [16] Shen, Yusi, Danshi Zhu, Pushun Xi, Tian Cai, Xuehui Cao, He Liu, and Jianrong Li. 2021. “Effects of Temperature-Controlled Ultrasound Treatment on Sensory Properties, Physical Characteristics and Treatment on Sensory Properties, Physical Characteristics and Antioxidant Activity of Cloudy Apple Juice.” *LWT* 142:111030. doi: 10.1016/J.LWT.2021.111030.
- [17] Aadil, Rana Muhammad, Xin An Zeng, Da Wen Sun, Man Sheng Wang, Zhi Wei Liu, and Zhi Hong Zhang. 2015. “Combined Effects of Sonication and Pulsed Electric Field on Selected Quality Parameters of Grapefruit Juice.” *LWT - Food Science and Technology* 62(1):890–93. doi: 10.1016/J.LWT.2014.10.025.
- [18] Kubo, Mirian Tiaki Kaneiwa, Pedro E. D. Augusto, and Marcelo Cristianini. 2013. “Effect of High Pressure Homogenization (HPH) on the Physical Stability of Tomato Juice.” *Food Research International* 51(1):170–79. doi: 10.1016/J.FOODRES.2012.12.004.
- [19] Liu, Jianing, Jinfeng Bi, Xuan Liu, Dazhi Liu, Ruud Verkerk, Matthijs Dekker, Jian Lyu, and Xinye Wu. 2022. “Modelling and Optimization of High-Pressure Homogenization of Not-from-Concentrate Juice: Achieving Better Juice Quality Using Sustainable Production.” *Food Chemistry* 370:131058. doi: 10.1016/J.FOODCHEM.2021.131058.
- [20] Silva, Vanessa Martins, Ana Carla Kawazoe Sato, Geraldo Barbosa, Gustavo Dacanal, Héctor José Ciro-Velásquez, and Rosiane Lopes Cunha. 2010. “The Effect of Homogenisation on the Stability of Pineapple Pulp.” *International Journal of Food Science and Technology* 45(10):2127–33. doi: 10.1111/J.1365-2621.2010.02386.X.
- [21] Castro, Alejandra, Galya Céspedes, Sergio Carballo, Björn Bergenstahl, and Eva Tornberg. 2013. “Dietary Fiber, Fructooligosaccharides, and Physicochemical Properties of Homogenized Aqueous Suspensions of Yacon (*Smallanthus Sonchifolius*).” *Food Research International* 50(1):392–400. doi: 10.1016/J.FOODRES.2012.10.048.
- [22] Szczepańska, Justyna, Sylwia Skapska, Marzena Połaska, and Krystian Marszałek. 2022. “High Pressure Homogenization with a Cooling Circulating System: The Effect on Physicochemical and Rheological Properties, Enzymes, and Carotenoid Profile of Carrot Juice.” *Food Chemistry* 370. doi: 10.1016/j.foodchem.2021.131023.
- [23] Wellala, Chandi Kanchana Deepali, Jinfeng Bi, Xuan Liu, Xinye Wu, Jian Lyu, Jianing Liu, Dazhi Liu, and Chongting Guo. 2022. “Effect of High Pressure Homogenization on Water-Soluble Pectin Characteristics and Bioaccessibility of Carotenoids in Mixed Juice.” *Food Chemistry* 371:131073. doi: 10.1016/J.FOODCHEM.2021.131073.
- [24] Abliz, Arzigül, Jinfang Liu, Like Mao, Fang Yuan, and Yanxiang Gao. 2021. “Effect of Dynamic High Pressure Microfluidization Treatment on Physical Stability, Microstructure and Carotenoids Release of Sea Buckthorn Juice.” *LWT* 135:110277. doi: 10.1016/J.LWT.2020.110277.
- [25] Zhou, Linyan, Yunjing Guan, Jinfeng Bi, Xuan Liu, Jianyong Yi, Qinqin Chen, Xinye Wu, and Mo Zhou. 2017. “Change of the Rheological Properties of Mango Juice by High Pressure Homogenization.” *LWT Food Science and Technology* 82:121–30. doi: 10.1016/J.LWT.2017.04.038.
- [26] Betoret, E., C. Mannozi, N. Dellarosa, L. Laghi, P. Rocculi, and M. Dalla Rosa. 2017. “Metabolomic Studies after High Pressure Homogenization Processed Low Pulp Mandarin Juice with Trehalose Addition. Functional and Technological Properties.” *Journal of Food Engineering* 200:22–28. doi: 10.1016/J.JFOODENG.2016.12.011.
- [27] Patrignani, Francesca, Lorenzo Siroli, Giacomo Braschi, and Rosalba Lanciotti. 2020. “Combined Use of Natural Antimicrobial Based Nanoemulsions and Ultra High Pressure Homogenization to Increase Safety and Shelf-Life of Apple Juice.” *Food Control* 111:107051. doi: 10.1016/J.FOODCONT.2019.107051.
- [28] Dars, Abdul Ghani, Kai Hu, Qiudou Liu, Aqleem Abbas, Bijun Xie, and Zhida Sun. 2019. “Effect of Thermo-Sonication and Ultra-High Pressure on the Quality and Phenolic Profile of Mango Juice.” *Foods* 8(8). doi: 10.3390/FOODS8080298.
- [29] Gomes, Andresa, Ana Letícia Rodrigues Costa, Pâmela Dias Rodrigues, Ruann Janser Soares de Castro, and Eric Keven Silva. 2022. “Sonoprocessing of Freshly Squeezed Orange Juice: Ascorbic Acid Content, Pectin Methylesterase Activity, Rheological Properties and Cloud Stability.” *Food Control* 131:108391. doi: 10.1016/J.FOODCONT.2021.108391.
- [30] Adiamo, Oladipupo Q., Kashif Ghafoor, Fahad Al-Juhaimi, Isam A. Mohamed Ahmed, and Elfadil E. Babiker. 2017. “Effects of Thermosonication and Orange By-Products Extracts on Quality Attributes of Carrot (*Daucus Carota*) Juice during Storage.” *International Journal of Food Science & Technology* 52(9):2115–25. doi: 10.1111/IJFS.13490.
- [31] Oladunjoye, Adebola O., Folasade O. Adeboyejo, Titilola A. Okekunbi, and Olaide R. Aderibigbe. 2021. “Effect of Thermosonication on Quality Attributes of Hog Plum (*Spondias Mombin* L.) Juice.” *Ultrasonics Sonochemistry* 70:105316. doi: 10.1016/J.ULTSONCH.2020.105316.
- [32] Zhang, Wei, Yin Yu, Fan Xie, Xinzhe Gu, Jinhong Wu, and Zhengwu Wang. 2019. “High Pressure Homogenization versus Ultrasound Treatment of Tomato Juice: Effects on Stability and in Vitro Bioaccessibility of Carotenoids.” *LWT* 116:108597. doi: 10.1016/J.LWT.2019.108597.
- [33] Wu, Yingmei, Longquan Xu, Xiaoyi Liu, K. M. Faridu. Hasan, Haoxin Li, Shaoqin Zhou, Qinghai Zhang, and Yan Zhou. 2021. “Effect of Thermosonication Treatment on Blueberry Juice Quality: Total Phenolics, Flavonoids, Anthocyanin, and Antioxidant Activity.” *LWT* 150:112021. doi: 10.1016/J.LWT.2021.112021.