UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROTECNOLÓGICAS

BEBIDAS FUNCIONALES DE JUGO DE MANZANA (*Malus domestica)* CON FRAMBUESA (*Rubus idaeus L.)* EMPLEANDO TECNOLOGÍAS TÉRMICAS Y NO TÉRMICAS

TESIS

QUE PRESENTA

AZTRID ELENA ESTRADA BELTRÁN

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DOCTOR EN CIENCIAS HORTOFRUTÍCOLAS

CHIHUAHUA, CHIH., JUNIO DE 2021

TÍTULO DE LA TESIS:

BEBIDAS FUNCIONALES DE JUGO DE MANZANA (*Malus domestica)* CON FRAMBUESA (*Rubus idaeus L.)* EMPLEANDO TECNOLOGÍAS TÉRMICAS Y NO TÉRMICAS

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

SISTEMAS DE PRODUCCIÓN HORTOFRUTÍCOLA

DISCIPLINA

BIOTECNOLOGÍA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROTECNOLÓGICAS

Los que suscriben, certifican que han leído y recomiendan a la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas la aceptación de la tesis de Doctorado titulada: **BEBIDAS FUNCIONALES DE JUGO MANZANA (*Malus domestica*) CON FRAMBUESA (*Rubus idaeus L.*) EMPLEANDO TECNOLOGÍAS TÉRMICAS Y NO TÉRMICAS**

Realizada por: **AZTRID ELENA ESTRADA BELTRÁN**
Como cumplimiento parcial de los requerimientos para obtener el grado de **DOCTOR EN CIENCIAS**

Ratifican que las firmas son verdaderas:

Dr. Damian Aaron Porras Flores
Director
Facultad de Ciencias Agrotecnológicas

Dra. Nora Aideé Salas Salazar
Directora de Tesis

Dr. Armando Quintero Ramos
Co-Director

M.C Ramón Saúl Luján Aguirre
Secretario de Investigación y Posgrado
Facultad de Ciencias Agrotecnológicas

Ph.D. Ana Cecilia González Franco
Asesor

Dr. Rafael Ángel Parra Quezada
Asesor

30-Junio-2021
Fecha

Ph.D. Loreto Robles Hernández
Asesor

Dra. Mayra Cristina Soto Caballero
Asesor

Cd. Universitaria, s/n Campus 1
Chihuahua, Chih., México C. P. 31310
Tel. y Fax (614) 4391844 y 4391845
www.faciatec.uach.mx

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROTECNOLÓGICAS

Those who subscribe, certify that they have read and recommend to the Departament of Agrotechnological Sciences the acceptance of the thesis entitled: **FUNCTIONAL DRINKS OF APPLE JUICE (*Malus domestica*) WITH RASPBERRY (*Rubus idaeus L.*) USING THERMAL AND NON-THERMAL TECHNOLOGIES**

Submitted by: **AZTRID ELENA ESTRADA BELTRÁN**
In partial fulfillment of the requirements for the degree of **DOCTOR OF SCIENCE**

Ratify that signatures are true:

Dr. Damian Aaron Porras Flores
Departament chair

Dra. Nora Aideé Salas Salazar
Major profesor

Dr. Armando Quintero Ramos
Co-director of Thesis

M.C Ramón Saúl Luján Aguirre
Chairman of Research and Graduate Studies

Ph.D. Ana Cecilia González Franco
Advisor

Dr. Rafael Angel Parra Quezada
Advisor

30 - Junio - 2021
Date

Ph.D. Loreto Robles Hernández
Advisor

Dra. Mayra Cristina Soto Caballero
Advisor

Cd. Universitaria, s/n Campus 1
Chihuahua, Chih., México C. P. 31310
Tel. y Fax (614) 4391844 y 4391845
www.faciatec.uach.mx

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROTECNOLÓGICAS

Los que suscriben, miembros del **Cuerpo Académico POSCOSECHA Y TECNOLOGÍA AGROALIMENTARIA,** han fungido como parte integral en la asesoría de **AZTRID ELENA ESTRADA BELTRÁN** durante el desarrollo y conclusión del trabajo de Investigación: **BEBIDAS FUNCIONALES DE JUGO MANZANA (*Malus domestica*) CON FRAMBUESA (*Rubus idaeus L.*) EMPLEANDO TECNOLOGÍAS TÉRMICAS Y NO TÉRMICAS**

Dra. Nora Aideé Salas Salazar
Integrante

Dra. Mayra Cristina Soto Caballero
Integrante

30-Junio-2021
Fecha

Cd. Universitaria
Chihuahua, Chih., México C. P. 31310
Tel. y Fax (614) 4391844 y 4391845
www.faciatec.uach.mx

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROTECNOLÓGICAS

Los que suscriben, miembros del **Cuerpo Académico UACH-CA-114 MICROBIOLOGÍA APLICADA Y PARASITOLOGÍA EN HORTICULTURA,** han fungido como parte integral en la asesoría de **AZTRID ELENA ESTRADA BELTRÁN** durante el desarrollo y conclusión del trabajo de Investigación: **BEBIDAS FUNCIONALES DE JUGO MANZANA (*Malus domestica*) CON FRAMBUESA (*Rubus idaeus L.*) EMPLEANDO TECNOLOGÍAS TÉRMICAS Y NO TÉRMICAS**

Ph.D. Ana Cecilia González Franco
Responsable

Ph.D. Loreto Robles Hernández
Integrante

30 - Junio - 2021
Fecha

Cd. Universitaria
Chihuahua, Chih., México C. P. 31310
Tel. y Fax (614) 4391844 y 4391845
www.faciatec.uach.mx

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROTECNOLÓGICAS

Él que suscribe, miembro del **Cuerpo Académico UACH-CA-17 HORTOFRUTICULTURA,** han fungido como parte integral en la asesoría de **AZTRID ELENA ESTRADA BELTRÁN** durante el desarrollo y conclusión del trabajo de Investigación: **BEBIDAS FUNCIONALES DE JUGO MANZANA (*Malus domestica*) CON FRAMBUESA (*Rubus idaeus L.*) EMPLEANDO TECNOLOGÍAS TÉRMICAS Y NO TÉRMICAS**

30-Junio-2021
Fecha

Dr. Rafael Ángel Parra Quezada
Integrante

Cd. Universitaria s/n Campus 1
Chihuahua, Chih., México C.P. 31310
Tel. y Fax (614) 4391844 y 4391845
www.faciatec.uach.mx

AGRADECIMIENTOS

En primera instancia quiero agradecer a la Universidad Autónoma de Chihuahua y sobre todo a la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas por permitirme ser parte de este posgrado y ser parte de mi formación profesional. Así mismo Al consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo económico brindado para la realización de mis estudios de posgrado.

A mi directora de tesis la Dra. Nora Salas por la oportunidad de desarrollar esta investigación bajo su tutela. Por su apoyo, por brindarme sus conocimientos, dándome siempre la confianza y seguridad para lograr nuestros objetivos. Valoro enormemente cada una de sus enseñanzas y su amistad.

A mis asesores, Dr. Armando Quintero, Ph.D. Ana Cecilia González, Ph.D. Loreto Robles, Dr. Rafael Parra**,** Dr. Jorge Jiménez y la Dra. Mayra por sus aportaciones, apoyo en todo momento, paciencia y su tiempo para lograr que este proyecto de la mejor manera.

A mis compañeros de posgrado, por la bonita amistad que hemos formado. A Abram por toda su ayuda en la parte microbiológica por esas horas de la madrugada en laboratorio, gracias por no dejarme sola. Eres un gran ser humano.

A Caro, Yani y Neder que estuvieron brindándome su ayuda en diversas actividades, gracias por su apoyo incondicional y por su amistad.

Agradezco con todo cariño a todas las personas que me brindaron su ayuda y contribuyeron de alguna forma en la realización de este proyecto. ¡Gracias!

Finalmente agradezco a Dios, por darme la fortaleza y fe, ser luz en mi camino para enfrentar las más duras adversidades. Siempre bondadoso, siempre fiel.

DEDICATORIA

A mi amado hijo Saúl Esteban eres mi fortaleza, motivación e inspiración para seguir adelante cada día.

A mis padres por sus consejos, su apoyo y su cariño incondicional. Mis triunfos y victorias siempre serán por y para ustedes, los amo.

A mis hermanos, familia y amigos que compartieron conmigo este camino.

ÍNDICE GENERAL

	Página
AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIA	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE CUADROS	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	v
RESUMEN	vi
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVO GENERAL	2
CAPÍTULO I: IMPACTO DEL PROCESAMIENTO UV-C EN LA CALIDAD FISICOQUÍMICA, MICROBIOLÓGICA Y SENSORIAL EN JUGOS DE FRUTAS: REVISIÓN	3
RESUMEN	3
ABSTRACT	4
INTRODUCCIÓN	5
DESARROLLO DEL TEMA	7
CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS	19
LITERATURA CITADA	20
CAPITULO II: EFECTO DE FERTILIZANTES CONVENCIONALES Y ORGÁNICOS SOBRE COMPUESTOS VOLÁTILES EN FRAMBUESA	41
RESUMEN	41
ABSTRACT	42
INTRODUCCIÓN	43
MATERIALES Y MÉTODOS	46
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	49
CONCLUSIONES	53
LITERATURA CITADA	54
CAPITULO III: EFECTO DE LA RADIACIÓN UV-CASISTIDO CON TÉRMICO MODERADO SOBRE PARÁMETROS DE CALDAD Y VIDA DE ANAQUEL DE BEBIDA DE JUGO DE MANZANA *(MALUS DOMESTICA)* CON FRAMBUESA *(RUBUS IDAEUS L.)*	57
RESUMEN	57
ABSTRACT	59
INTRODUCCIÓN	60
MATERIALES Y MÉTODOS	62
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	67
CONCLUSIONES	79
LITERATURA CITADA	80

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro número	Titulo	Página
1	Efecto del procesamiento UV-C y UV-C asistido con térmico moderado sobre propiedades fisicoquímicas en jugos de frutas	9
2	Efecto del procesamiento UV-C y UV-C asistido con térmico moderado sobre seguridad microbiológica en jugos de frutas	13
3	Efecto del procesamiento UV-C y UV-C asistido con térmico moderado sobre seguridad química en jugos de frutas	16
4	Efecto del procesamiento UV-C y UV-C asistido con térmico moderado sobre calidad sensorial en jugos de frutas	18
5	Condiciones climáticas	45
6	Características químicas y físicas de vermicomposta, lixiviado de vermicomposta y fertilización comercial	47
7	Abonos orgánicos aplicados por temporada de producción	48
8	Fertilizantes químicos aplicados por temporada de producción	48
9	Concentraciones relativas de compuestos volátiles en frambuesa (*Rubus Idaeus L*) bajo fertilización orgánica y convencional	50
10	Efecto del procesamiento sobre las propiedades fisicoquímicas en bebida de manzana (*Malus domestica*) con frambuesa (*Rubus Idaeus L)* en almacenamiento	68
11	Efecto del procesamiento sobre el color en bebida de manzana (*Malus domestica*) con frambuesa *Rubus Idaeus L)* en almacenamiento	70
12	Relación entre el valor de ΔE^* y evaluación sensorial	70
13	Efecto del procesamiento sobre el contenido de compuestos bioactivos en bebida de manzana (*Malus domestica*) con frambuesa *Rubus Idaeus L)* en almacenamiento	72
14	Efecto del procesamiento sobre parámetros microbiológicos en bebida de manzana (*Malus domestica*) con frambuesa *Rubus Idaeus L)* en almacenamiento	74
15	Efecto del procesamiento sobre compuestos volátiles en bebida de manzana (*Malus domestica*) con frambuesa *Rubus Idaeus L)* en	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura número	Titulo	Página
1	Compuestos volátiles en frutos de frambuesa (Rubus Idaleus L) según clase química	52
2	Compuestos volátiles en bebida (*Malus domestica*) con frambuesa *Rubus Idaeus L)* según clase química	75
3	Abundancia de compuestos volátiles en bebida de(*Malus domestica*) con frambuesa *Rubus Idaeus L)*	78

RESUMEN

Chihuahua es el principal productor de manzana (*Malus domestica Borkh*) en la República Mexicana, contribuyendo con el 84% de la producción nacional (SIAP, 2020). Así mismo en el estado está creciendo el cultivo de frutillas dentro de ellas se encuentra la frambuesa (*Rubus idaeus L.)*. contribuyendo con el 0.8% de la producción nacional contado con 20.00 Ha de superficie sembrada (SIAP, 2014). El cultivo de frambuesa roja puede ser una alternativa viable para diversificar la hortofruticultura en Chihuahua (Frias-Moreno *et al.,* 2019).

El consumo de la frambuesa ha aumentado por sus propiedades nutricionales, su alto contenido antioxidantes y su característico sabor (Junqueira-Goncalvez, *et al.,* 2016; Aprea *et al.,* 2015). El sabor de la frambuesa es derivado de los compuestos volátiles principalmente al grupo funcional de las cetonas (Aprea *et al.,* 2015). La formación de los compuestos volátiles puede es influenciada por el ciclo del cultivo y sistema de fertilización (orgánico y convencional) (Estrada-Beltrán *et al.,* 2020).

Los beneficios para la salud incluyen la prevención de ciertos tipos de cáncer, enfermedades cardiovasculares, enfermedades neurodegenerativas asociadas con el daño oxidante (Teng, *et al.,* 2017). Sin embargo son frutas con alto metabolismo que las hace muy perecederas, perjudicando su almacenamiento y vida útil (Adegboyegay Cuellen, 2012). Por lo que es la transformación es una alternativa para aprovechar este fruto durante más tiempo. Entre los principales subproductos de esta frutilla se encuentran jugos, pulpas y mermeladas.

La vida moderna actual, promueve la búsqueda de alimentos que cubran las necesidades y aporten beneficios a la salud. El consumidor está más consiente del impacto de la alimentación en la prevención de enfermedades. Esta tendencia ha conducido a la industria de jugos y bebidas a innovar en procesos y productos, desarrollando nuevos alimentos con ingredientes con gran aporte nutricional (Zegler, 2018).

Los jugos de frutas son, una elección popular entre los consumidores, son naturales y desempeñan un papel importante en la dieta humana. Las mezclas de jugos mejoran el aroma, sabor y contenido nutrimental (Bhardwaj y Pandey, 2011). Además de promover el consumo de frutas de alto costo y baja abundancia, dando la oportunidad al consumidor de explorar nuevos sabores.

Sin embargo, la naturaleza perecedera de los jugos de frutas plantea importantes desafíos asociados a la producción y conservación. La pasteurización es el método tradicional para lograr la seguridad microbiana y vida de anaquel. No obstante, puede producir cambios bioquímicos y nutricionales no deseados en los alimentos (Keyser *et al.,* 2008; Shahbaz *et al.,* 2018). Por lo tanto, la aplicación de métodos de pasteurización no convencionales podría a portar una mejora significativa a jugos de frutas y vegetales procesados (Lopes *et al.,* 2016). Entre los métodos no convencionales, la radiación con luz ultravioleta (UV) se considera una alternativa a la pasteurización.

En esta revisión se evaluó el efecto de la radiación UV-C con tratamiento térmico moderado en sobre las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas en una bebida de manzana *(Malus domestica)* con frambuesa *(Rubus idaeus L)* en almacenamiento.

PALABRAS CLAVE: UV-C, jugos, calidad, frambuesa, manzana

ABSTRACT

Chihuahua is the main producer of apple (Malus domestica Borkh) in the Mexican Republic, contributing with 84% of the national production (SIAP, 2020). Also, in the state the cultivation of strawberries is growing, within them is the raspberry (Rubus idaeus L.). contributing with 0.8% of the national production counted with 20.00 Ha of planted area (SIAP, 2014). The cultivation of red raspberries can be a viable alternative to horticultural crops in Chihuahua (Frias-Moreno et al., 2019).

The consumption of raspberry has increased due to its nutritional properties, its high antioxidant content and its characteristic flavor (Junqueira-Goncalvez, et al., 2016; Aprea et al., 2015). The flavor of raspberry is attributed to volatile compounds mainly to the functional group of ketones (Aprea et al., 2015). The formation of volatile compounds can be influenced by the crop cycle and fertilization system (organic and conventional) (Estrada-Beltrán et al., 2020).

The health benefits include the prevention of certain types of cancer, cardiovascular diseases, neurodegenerative diseases associated with oxidative damage (Teng, et al., 2017). However, they are fruits with a high metabolism that makes them very perishable, damaging their storage. and useful life (Adegboyega and Cuellen, 2012). For what it is the transformation is an alternative to take advantage of this fruit for a longer time. Among the main by-products of this strawberry are juices, pulps and jams.

Today's modern life promotes the search for food that meets needs and provides health benefits. The consumer is more aware of the impact of diet on disease prevention. This trend has led the juice and beverage industry to innovate in processes and products, developing new foods with ingredients with great nutritional contribution (Zegler, 2018).

Fruit juices are a popular choice among consumers, they are natural, and they play an important role in the human diet. Juice mixes improve aroma, flavor and nutritional content (Bhardwaj and Pandey, 2011). In addition to promoting the

consumption of high-cost, low-abundance fruits, giving the consumer the opportunity to explore new flavors.

However, the perishable nature of fruit juices poses significant challenges associated with production and preservation. Pasteurization is the traditional method of achieving microbial safety and shelf life. However, it can produce unwanted biochemical and nutritional changes in food (Keyser et al., 2008; Shahbaz et al., 2018). Therefore, the application of unconventional pasteurization methods could bring a significant improvement to processed fruit and vegetable juices (Lopes et al., 2016). Among the unconventional methods, ultraviolet (UV) light radiation is considered an alternative to pasteurization.

In this review, the effect of UV-C radiation with moderate heat treatment on the physicochemical and microbiological properties of an apple drink (Malus domestica) with raspberry (Rubus idaeus L) in storage was evaluated.

KEY WORDS: UV-C, juices, quality, raspberry, apple

INTRODUCCIÓN GENERAL

La conservación de alimentos incluye todas las acciones realizadas para mantener las propiedades deseadas por mayor tiempo y garantizar ausencia de microorganismos. Los tratamientos térmicos se utilizan para extender la vida útil de los jugos inactivando microorganismos y enzimas. Sin embargo, el procesamiento con calor induce cambios indeseables como la alteración del color, cambios en propiedades sensoriales y la pérdida de nutrientes (Adekunte *et al.,* 2010; Gómez-López *et al.,* 2010; Gao y Rupasinghe, 2012).

La demanda de los consumidores hacia jugos de frutas más saludables ha aumentado en las últimas décadas principalmente debido a la presencia de antioxidantes, vitaminas y minerales (Amakura *et al.,*2000).

La creciente demanda ha estimulado el desarrollo de métodos de procesamiento no térmico, como campos eléctricos pulsados, procesamiento de alta presión, ultrasonido, ozonación, procesamiento por membranas, dióxido de carbono en fase densa, calefacción óhmica e irradiación, con potencial para controlar microorganismos patógenos y enzimas de deterioro (Kyriakos *et al.,* 2017; Fuhua *et al.,* 2017).

Estas tecnologías son utilizadas en el procesamiento de jugo y muestran gran potencial para evitar la pérdida de compuestos bioactivos entre ellos los polifenoles, debido a las condiciones de tratamiento suaves (Knorr *et al.,* 2011; Babova *et al.,* 2016; Bursać Kovačević *et al.,* 2016; Cravero *et al.,* 2016; Leong *et al.,* 2016; Li *et al.,* 2016; Martynenko y Chen, 2016; Moreno *et al.,* 2016; Serre *et al.,* 2016).

Estudios recientes han demostrado que, entre las tecnologías no térmicas, la irradiación UV-C, puede ser una alternativa rentable para productos sensibles al calor como jugos de frutas y bebidas (Donahue *et al.,* 2004; Unluturk *et al.,* 2008; Gayán *et al.,* 2011).

OBJETIVO GENERAL

Evaluar la efectividad de la irradiación UV-C, proceso térmico y la combinación de ambos tratamientos, para extender la vida útil de una bebida de frambuesa con manzana con respecto a parámetros de fisicoquímicos, microbiológicos y atributos sensoriales durante el almacenamiento.

Objetivos específicos

- Recopilar, analizar y resumir informacion sobre el uso de la irradiacion UV-C en el procesamiento en la producción de jugos y bebidas de frutas.

- Evaluar el efecto de la fertilizacion convencional y orgánica en frambuesa sobre compuestos volátiles.

- Evaluar el efecto del procesamiento de pasteurización térmica y no térmica en bebida de frambuesa con manzana.

CAPÍTULO I: IMPACTO DEL PROCESAMIENTO UV-C EN CALIDAD FISICOQUÍMICA, MICROBIOLÓGICA Y SENSORIAL DE JUGOS DE FRUTAS : REVISIÓN

RESUMEN

Actualmente, la demanda del consumidor por alimentos mínimamente procesados y con alto contenido de compuestos bioactivos ha aumentado. Estos compuestos son originados en frutas y verduras. Posen beneficios en la prevención enfermedades del corazón, neurodegenerativas, cáncer y diabetes. Comúnmente se consumen por medio de jugos. El procesamiento influye en la calidad nutricional y sensorial. La concentración de compuestos bioactivos varía dependiendo de las condiciones del procesamiento, materia prima y almacenamiento. El procesamiento térmico es ampliamente utilizado para preservar los alimentos, sin embargo puede afectar las propiedades organolépticas, nutricionales y fisicoquímicas, lo que ha estimulado el desarrollo de tecnologías emergentes siendo una alternativa al procesamiento de jugos de frutas y vegetales. Entre estas tecnologías la irradiación ultravioleta de onda corta (UV-C), es una de las más prometedoras, es rentable debido a su bajo costo y eficiente, eficaz para inactivar un gama de microorganismos. Sin embargo, debido a ciertas limitaciones que posee la tecnología UV-C, la aplicación a menudo se combina con otras técnicas de procesamiento para lograr los máximos beneficios en la reducción y retención microbiana de la calidad del jugo. La combinación de la luz ultravioleta con temperaturas suaves permite lograr la inactivación requerida para un producto seguro con dosis más bajas de UV que los necesarios para los tratamientos UV solos. En esta revisión se recopila información referente al efecto del porcesamiento ultravioleta y la combianción de tecnologías en la calidad microbiologica, nutricional y sensorial en comparación con el tratamiento térmico.

PALABRAS CLAVE: Procesamiento, jugos de frutas, UV-C, calidad, compuestos bioactivos

ABSTRACT

Currently, consumer demand for minimally processed foods high in bioactive compounds has increased. These compounds are originated in fruits and vegetables. Various researches have studied the benefits of these compounds in the prevention of heart diseases, neurodegenerative diseases, cancer and diabetes. An easy way to consume them is through fruit juices alone or in combination. Processing influences nutritional and sensory quality. The concentration of bioactive compounds varies depending on the conditions of processing, raw material and storage. Thermal processing is widely used to preserve food; however, it can affect the organoleptic, nutritional and physicochemical properties, which has stimulated the development of emerging technologies, being an alternative to the processing of fruit and vegetable juices. Among these technologies, short wave ultraviolet irradiation (UV-C) is one of the most promising, it is profitable due to its low cost and efficient, effective in inactivating a range of microorganisms. However, due to certain limitations of UV-C technology, the application is often combined with other processing techniques to achieve maximum benefits in microbial reduction and retention of juice quality. The combination of ultraviolet light with mild temperatures enables the inactivation required for a safe product to be achieved with lower doses of UV than is necessary for UV treatments alone. In this review, information is collected regarding the effect of ultraviolet processing and the combination of technologies on microbiological, nutritional and sensory quality compared to heat treatment.

KEYWORD: Processing, fruit juices, UV-C, quality, bioactive compounds

INTRODUCCIÓN

Las técnicas de procesamiento y conservación de alimentos están en constante desarrollo, para cumplir con las demandas modernas de los consumidores de alimentos mínimamente procesados, con atributos de calidad mejorados, más seguros y más saludables (Devlieghere *et al.,* 2004; Huang, 2004). La industria alimentaria busca tecnologías más eficientes energéticamente y sostenibles ya sea mediante el uso de energías renovables o la utilización de la energía de una manera más eficiente. Mediante la modificación de procesos existentes o introducción de nuevos procesos (Aganovic, 2017).

La globalización moderna ha cambiado los hábitos alimentarios de la población; la reducción del tiempo empleado en la preparación de alimentos, ha incrementado la ingesta de alimentos listos para consumir (Dembitsky *et al.,* 2011). Como es el caso de jugos de frutas, que además de estar listos para el consumo, aportan antioxidantes, vitaminas y minerales (Ryan y Prescott, 2010; Wootton-Beard *et al.,* 2011). Esto se convierte en el principal desafío de la industria de jugos, el poder preservar los nutrientes de la materia prima y hacerlo atractivo desde el punto de vista sensorial (Zulueta *et al.,* 2010); debido a que, el procesamiento influye en interacción entre los compuestos alimentarios, lo que da como resultado cambios en la calidad, color y sabor, además de modificar la funcionalidad y biodisponibilidad de ciertos compuestos (Rodríguez-Roque *et al.,* 2016). Tradicionalmente se utilizan tratamientos témicos para extender la vida útil de los jugos, inactivando microorganismos y enzimas. Sin embargo, el procesamiento con calor induce cambios indeseables como la alteración del color, cambios en propiedades sensoriales y la pérdida de nutrientes (Adekunte *et al.,* 2010; Gómez-López *et al.,* 2010; Gao y Rupasinghe, 2012).

Esta creciente demanda de jugos de frutas ha estimulado el desarrollo de tecnologías de procesamiento no térmico, que modifican mínimamente las propiedades sensoriales, nutricionales y funcionales de jugos y bebidas de frutas y verduras (Bevilacqua *et al.,* 2018). Además, no sólo se utilizan para obtener alimentos de alta calidad con características similares al producto fresco, sino

también para proporcionar alimentos con funcionalidades mejoradas (Rawson *et al.,* 2011). Las tecnologías no térmicas poseen un potencial para inactivar la descomposición y los microorganismos patógenos (Noci *et al.,* 2008). La luz ultravioleta de onda corta (UV-C) es una de las tecnologías no térmicas más prometedoras debido a su bajo costo y energéticamente eficiente (Carrillo *et al.,* 2017). El uso de la radiación UV-C es aprobado porLa Administración de Drogas y Alimentos de los Estados Unidos (USFDA) y el Departamento de Estados Unidos of Agriculture (USDA) quién han concluído que el uso de luz UV-C a 253,7 nm para el procesamiento de alimentos es seguro y además ha aprobado su uso como tratamiento alternativo para reducir patógenos y otros microorganismos, esta dependencia emitió el código 21CFR179.41, que aprobó el uso de luz UV-C en el producción, procesamiento y manipulación de alimentos (USFDA, 2020).

Sin embargo, presenta limitaciones en la inactivación de hongos y levaduras, involucradas en el deterioro de los jugos. Son menos susceptibles a los rayos UV-C que las bacterias, debido a su morfología (Santhirasegaram *et al.,* 2015). Una alternativa para minimizar esta limitación, es el uso de métodos combinados que consisten en aplicar una combinación de factores de estrés simultáneamente, el efecto sinérgico permite la producción de productos alimenticios con alta seguridad microbiológica (Gouma *et al.,* 2015).

El objetivo de esta revisión es compilar y analizar la información actual referente alefecto del procesamiento irradiación UV-C y la combinación de tecnologías UV-C asistido con calor moderado en parámetros de calidad nutriconal, microbiologica y sensorial comparándolo con el tratamiento térmico convencional.

Preferencia del consumidor en jugos y bebidas de frutas

Los jugos de frutas son parte de una dieta balanceada, que ofrecen una reducción del riesgo de diferentes tipos de enfermedades (Bhardwaj *et al.,* 2014). Los beneficios para la salud se le atribuyen a la amplia gama de compuestos bioactivos contenidos en estas bebidas, como son vitaminas, compuestos fenólicos, flavonoides, carotenoides, ácido ascórbico, entre otros, todos ellos con alto poder antioxidante (Aguilera *et al.,* 2016; Del Caro *et al.,* 2004 ; Klimczak *et*

al., 2007; Shashirekha *et al.,* 2015). Los jugos obtenidos al combinar distintas frutas proporcionan mejor aroma y sabor, así como enriquecimiento en compuestos bioactivos, nutrientes y apariencia (Bhardwaj y Pandey 2011; Rodríguez-Roque, 2014).

Para la elaboración de jugos de fruta existen diferentes procesamientos, tradicionalmente la pasteurización térmica es el método más común para reducir el crecimiento microbiano y prolonga la vida útil larga y estable para jugos de frutas (Adekunte *et al.,* 2010; Gao y Rupasinghe,2012; Može Bornšek *et al.,* 2015; Rodríguez *et al.,* 2016).Sin embargo, este tratamiento puede causar cambios bioquímicos, nutritivos y sensoriales indeseables en el producto final debido a la ionización, hidrolisis y reacciones de oxidación de los componentes de los jugos (Garde-Cerdán *et al.,* 2007; Ortega-Rivas y Salmerón, 2014; Ignat *et al.,* 2011; Paniwnyk, 2017). Este proceso es la principal causa de la pérdida de compuestos bioactivos (D'Archivio *et al.,* 2010; Rawson *et al.,* 2011).

Por su parte, las tecnologías no térmicas son una alternativa a los tratamientos térmicos con el fin de obtener productos que mantengan sus atributos nutricionales y sensoriales. Entre las tecnologías se encuentran la irradiación (Zhang *et al.,* 2011; Kyriakos *et al.,* 2017; Fuhua *et al.,* 2017). La luz ultravioleta de onda corta (UV-C) es un procesamiento mínimo en alimentos, muestra una pérdida reducida de nutrientes y menos cambios en las propiedades físicas y químicas (Quintero-Ramos *et al.,* 2004). Es eficaz en la inactivación de microorganismos de descomposición y patógenos, conservando las características de frescura en los alimentos (Koutchma, 2008; Noci *et al.,* 2008). Varios estudios han destacado los beneficios de la irradiación ultravioleta con respecto a la retención de nutrientes y estabilidad de almacenamiento en diferentes jugos de frutas (Shah *et al.,* 2016).

Su modo de acción es inhibir la replicación del ADN, luz ultravioleta absorbida provoca la rotura de algunos enlaces y la formación de dímeros de pirimidina, que son enlaces entre pares adyacentes de timina o citosina pirimidinas en la misma cadena de ADN o ARN. Los fotones UV-C son absorbido por las bases nitrogenadas del ADN microbiano provocando la formación de fotoproductos

reticulantes que inhiben la transcripción y la replicación, y eventualmente conducen a la muerte celular (Keyser *et al.,* 2008; Koutchma *et al.,* 2009; López-Malo *et al.,* 2005).

La tecnología UV-C posee múltiples ventajas, sin embargo, la efectividad de la radiación UV-C depende de factores como la composición del jugo, contenido de sólidos solubles y color (Koutchma *et al.,* 2016). Su aplicación en la industria es limitada, la baja penetración de la radiación en jugos con alto coeficiente de absorción y la turbidez lo hace insuficiente para garantizar la calidad microbiológica reglamentaria por la Administración de Drogas y Alimentos de los Estados Unidos (FDA) para pasteurizar jugos de frutas (USFDA, 2020). La eficiencia del tratamiento UV-C en los jugos depende del coeficiente de absorción y de la transmitancia UV a través del jugo. Características en alimentos líquidos, como la turbidez, el tamaño de partícula, la viscosidad, los sólidos solubles totales, los sólidos en suspensión, juegan un papel importante en establecer la cantidad de luz UV-C que se absorberá (Falguera *et.,* 2011).

Influencia del procesamiento en la calidad nutricional en jugos de frutas

El procesamiento puede provocar interacciones entre los compuestos alimentarios, lo que resulta en alteraciones en la calidad, así como modificar la funcionalidad y biodisponibilidad de compuestos de importancia por su actividad biológica (Barbosa-Cánovas *et al.,* 2005). El empleo del procesamiento UV-C implican reacciones fotoquímicas:

1) Reacciones directas: la absorción de un fotón de luz por una molécula puede producir una reacción en una sustancia química y cambiar su estado.

2) Reacciones fotosensibilizantes: principalmente la fotooxidación (Shah *et al.,* 2016).

En las reacciones directas, el alcance de la reacción química depende del rendimiento cuántico y fluidez de la fotoincidencia. La luz UV-C a 257,3 nm tiene una energía radiante de 112,8 kcal / Einstein, por lo tanto, es teóricamente posible afectar los enlaces O – H, C – C, C – H, C – N, H - N y S – S, presentes en los

componentes de los jugos si la luz UV-C se absorbe (Koutchma *et al.,*2009). Por su parte en la reacción fotosensibilizante, la fotooxidación normalmente se excita desde el estado fundamental a un singlete de corta duración. Este estado excitado experimenta la conversión a un estado triplete de larga duración que media el proceso (Gomez-Lopez *et al.,* 2012).

El efecto de la calidad en los jugos, se mide en: caracteristicas físicas y químicas y cualidades organoléopticas. En la tabla 1 se aprecian los efectos de la irradiación UV-C y combinación UV-C más térmico moderado en calidad fisicoquímica en jugos de frutas tratados.

Cuadro 1. Efecto del procesamiento UV-C y UV-C asistido térmico moderado sobre las propiedades fisicoqíimicas en jugos de frutas.

Variedad de jugo	Condiciones de procesamiento	Efecto	Referencia
Jugo de tomate	Dosis UV-C 2.16 J/m^2	Sin cambios significativos en contenido total de sólidos solubles Se observaron aumento significativo en pH, acidez titulable Aumento en L * a medida que aumenta la dosis de UV-C. Así mismo aumento DE Se observó aumento significativo en contenido total de fenoles, DPPH Se observó una disminución significativa en contenido de licopeno, ácido ascórbico	Bhat, 2016
Jugo de zanahoria	Dosis UV-C 1137.5 mJ/cm^2 65 ° C/ 30 min	Sin cambios significativos en el color Sin cambios significativos en pH, sólidos solubles y acidez titulable Sin cambios significativas en viscosidad, densidad óptica, densidad y turbidez	Riganakos, 2017
Jugo de manzana	Dosis UV-C 0 a 240 mJ/cm^2	Se observó reducción significativa en ácido clorogénico, floridzina y epicatequina. Se observó un aumento en la concentración de catequinas con aumento de la exposición a UV-C Sin cambios significativos en el contenido total de fenoles y DPPH Sin cambios significativos en azúcares	Islam, 2016a
	Dosis UV-C 0, 20, 40, 80, 120 y 150 mJ/cm^2	Se observó reducción significativa en ácido clorogénico y epicatequina. Sin cambios significativos en las concentraciones de floridzina y catequina Se observó una reducción significativa de las vitaminas identificadas Se determinó que todas las vitaminas B6 eran sensibles a los rayos UV	Islam, 2016b
Jugo de uva	Dosis UV-C 39,6 J / L 52.4 °C / 6.31 min	El ácido ascórbico, fenoles totales y capacidad antioxidante disminuyó significativamente durante el tratamiento combinado Sin cambios significativos en el contenido de sólidos solubles, acidez titulable y pH El parámetro L *aumento significativamente	La cava, 2019
Jugo de sandía	Dosis UV-C 0 a 120 mJ/cm^2	Se observó una disminución significativa de ácido ascórbico	Pendyala, 2020

jugo de aloe vera-pitaya	Dosis UV-C 16.5, 27.7 y 40 mJ/cm^2	Se observó que los tratamientos de pH y UV-C afectaron significativamente los parámetros de color L*, a*y b* Se observó un aumento en L* con UV-C y a* disminuyó significativamente con UV-C El pH 3.5 tuvo un efecto significativo sobre el b* El contenido de betalaínas se vio afectado por el procesamiento de UV-C y pH El contenido fenólico no se vio afectado por la irradiación UV-C La dosis de UV-C y el pH afectaron significativamente la actividad antioxidante total Se observó un aumento el contenido de azúcares totales y el contenido de sacarosa cuando la dosis UV-C aumentaba El contenido de aloína A no se vio afectado notablemente por el pH ni Irradiación UV-C	Meléndez-Pizarro,2020
Agua de arándano	Dosis UV-C 30 y 120 mJ/cm^2	No se observaron diferencias significativas en parámetros L*, a* y b* a la dosis de 30 mJ/cm^2 Se observó una diferencia significativa en en parámetros L*, a* y b*a la alta dosis de 120 mJ/cm^2	Gopisetty, 2019
	Dosis UV-C 15- 240 mJ/cm^2	Se observó una disminución significativa en contenido de ácido ascórbico una fluencia de 60 mJ/cm^2 La concentración de Cy3Ar no se vio afectada por el tratamiento de irradiación con UV-C en ninguno de los niveles probados. La concentración de Cy3Ga, Pe3Ar y Pe3Ga no tuvieron diferencias significativas hasta la fluencia de UV-C de 120 mJ/cm^2 La concentración de cianidin-3-galactósido (Cy3Ga), peonidin-3-arabinósido (Pe3Ar) y peonidina- El 3-galactósido (Pe3Ga) Se redujo a una dosis de UV-C de 240 mJ/cm^2	Gopisetty, 2018

DE diferencial de color

DPPH Abreviatura de compuesto 2,2-difenil-1-picrylhydrazyl para medición de actividad antioxidante.

El efecto de la radiación UV-C en las popiedades fisicoquímicas como color, pH, sólidos solubles y acidez titulable, depende principalmente de la composición química de los jugos, la cual tiene un impacto tanto en las propiedades de absorción y la eficacia del procesamiento UV (Koutchma *et al.,* 2016). El procesamiento UV-C no afectó significativamente el pH, contenido de sólidos solubles y acidez titulable en jugo de uva (La Cava *et al.,* 2019) jugo de tomate (Bhat, 2016), jugo de zanahoria (Riganakos *et al.,* 2017).

El color es uno de los atributos más importantes de los alimentos y bebidas, es lo primero que los consumidores observan y puede influir en su elección (Nachay, 2009). El procesamiento UV-C no afectó significativamente el color en jugo de uva jugo de zanahoria (Riganakos *et al.,* 2017). Asimismo el tratamiento UV-C provocó cambio en el color, principalmente en el valor L* jugo de uva (La Cava *et*

al., 2019), jugo de tomate (Bhat, 2016) y en jugo de aloe vera-pitaya se observó un aumento en parámetro L* y disminuyó el parámetro a* significativamente.

En parámetros fisicoquímicos de compuestos bioactivos como polifenoles, actividad antioxidante y vitaminas. En el procesamiento UV-C pueden degradarse con la exposición de luz. El contenido de vitamina C es de gran importancia en jugos de frutas. Posse una alta absorbancia de luz UV-C (Fan y Geveke, 2007; Koutchma *et al.,* 2016).

El efecto de la radiación UV-C en agua de arándano a una dosis de 60 mJ/cm^2 hubo una reducción de aproximadamente un 20% en la concentración de ácido ascórbico (Gopisetty *et al.,* 2018), en jugo de sandía a unas dosis de 20, 40, 80 y 120 mJ cm-2, el contenido de ácido ascórbico se redujo en un 3%, 7%, 17% y 30%, respectivamente (Pendyala *et al.,* 2020). En jugo de tomate se observó una disminución significativa en contenido de licopeno y ácido ascórbico (Bhat, 2016). Factores como oxígeno atmosférico, la exposición a la luz, peróxidos de hidrógeno, la temperatura de almacenamiento, el tipo de procesamiento y materiales de envasado utilizados y las enzimas presentes (ascorbato oxidasa y peroxidasa) influyen en la degradación en el almacenamiento (Ayhan *et al.,* 2001; Davey *et al.,* 2000).

El efecto del tratamiento combiando UV-C y térmico moderado en el contenido de ácido ascórbico presentó una reducción significativa (La Cava y Sgroppo, 2019). Este comportamiento se debe principalmente a que esta molécula absorbe los rayos UV generando radicales libres a través de una amplia variedad de reacciones fotoquímicas (Tikekar *et al.,* 2011).

En actividad antioxidante y contenido fenólico total, el procesamiento UV-C no indujó ningún cambio significativo en jugo de aloe vera-pitaya (Meléndez-Pizarro, 2020), en comparación con el jugo tratado térmicamente en jugo de manzana (Islam *et al.,* 2016), Se observó la una disminución significativa en el contenido fenólico en jugo de uva (La Cava y Sgroppo, 2019). Contrariamente en jugo de tomate se observó aumento significativo en contenido total de fenoles, y actividad antioxidante (Bhat, 2016).

El efecto del tratamiento combiando UV-C asistido con térmico moderado en el contenido de polifenoles totales, tuvo una disminución en jugo mezcla de Aloe vera-pitaya (Meléndez-Pizarro *et al.,*2020) y jugo de uva (La Cava *et al.,* 2019). El efecto perjudicial del calor sobre el contenido fenólico de jugos de frutas es conocido (Igual *et al.,* 2010).

Impacto del procesamiento en la seguridad y vida de anaquel de jugos de frutas

Factores como la composición general del producto, el contenido de sólidos y el color de los jugos tienen un impacto importante en el coeficiente de absorción y la transmitancia UV a través del jugo. Lo cual influye en la eficacia de inactivación en el procesamiento UV-C (Koutchma, 2009; Guerrero-Beltrán y Barbosa-Cánovas, 2006). Los sólidos en suspensión, permiten que los microorganismos continúen sobreviviendo a pesar de la exposición continua a altas cantidades de energía de luz ultravioleta (Keyser *et al.,* 2008; Koutchma, 2009). La turbidez del jugo está determinada por el contenido de sólidos en suspensión, lo cual contribuye en atributos de viscosidad (Müller *et al.,* 2011). Así mismo, el equipo de procesamiento influye en la transmitancia de la luz UV-C, el suministro de dosis, la transferencia de impulso y en consecuencia, en la inactivación microbiana (Aguilar, 2015).

La luz UV-C posee una amplia acción antimicrobiana, es eficaz en la inactivación de virus, bacterias vegetativas, esporas bacterianas, levaduras, hongos y parásitos (Shah *et al.,* 2016). La capacidad de la UV-C para inhibir la replicación de las bacterias se debe a la dimerización de sus bases en la cadena de ADN (Mukhopadhyay y Ramaswamy, 2012). La mayoría de las veces, la dimerización ocurre con timinas, pero también se pueden formar dímeros de citosina y heterodímeros de timina-citosina. Esta alteración en la estructura del ADN hace que sea incapaz de replicarse cuando la célula sufre mitosis (Jagger, 1967). En la tabla 2 se aprecian los efectos de la irradiación UV-C y combinación UV-C más

térmico moderado en seguridad microbiológica de jugos de frutas tratados Variando los parámetros de proceso en la calidad de los jugos de frutas.

Cuadro 2. Efecto del procesamiento UV-C y UV-C asistido con térmico moderado sobre seguridad microbiológica en jugos de frutas

Variedad de jugo	Microflora	Condiciones de procesamiento	Reducciones Log	Referencia
Jugo de pomelo	*S. typhimurium*	Dosis UV-C 15.45, 18.18 y 27.63 mJ/cm^2	5.23-9.10	Shah, 2015
Jugo de limón y melón	*E-coli K12*	0.44–2.86 J/mL	0.06-6	Kaya, 2015
Jugo de manzana	*E. coli ATCC 25922*	14 mJ /cm^2	5	Usaga, 2015
Jugo de uva	*S.cerevisiae*	138 mJ/cm^2 9 min	5	Kaya, 2015
	Levaduras	280 mJ/cm^2 24 min	3	
	bacterias acidolácticas	280 mJ/cm^2 24 min	4.3	
	recuento aeróbico en placa	39,6 J / L	6	La cava, 2019
	mohos y levaduras		6	
	S.cerevisiae	10,3 mW/cm^2	1	Gutiérrez, 2019
		11,1 mW/cm^2	2	
Jugo de uva (blanco)	*E-coli K12*	0.90 mL/s	5.2	Unluturk, 2015
Jugo de sandía	*E. coli O157: H7 ATCC 700728*	12 mJ/cm^2	5.3	Pendyala, 2020
	Bacillus cereus ATCC 14579	10, 30, 50 y 60 mJ/cm^2	1.6,3.3,4,8 y 6.1	
Jugo de mango	recuento aeróbico en placa	3,525 J/m^2 60 min	18-45%	Santhirasegaram, 2015
	coliformes	3,525 J/m^2 30 min	0	
	mohos y levaduras	3,525 J/m^2 15 min	10-32%	
Agua de arándano	*E. coli ATCC 25922*	6 a 21 mJ/cm^2	5	Gopisetty, 2018
	S. typhimurium	5 a 20 mJ/cm^2	5	
	E-coli O157:H7 ATCC 700728	3- 12 mJ/cm^2	5	Gopisetty, 2019
	Salmonella Muenchen ATCC BAA-1674	4 -16 mJ/cm^2	2	
Jugo de verjuice	S. cerevisiae	0,37 J/cm^2 + 48.3 C	3	Kaya, 2019
		0.25 J/cm^2 + 51.3 C	0	
Jugo de Zanahoria	bacterias mesófilas	227.5 mJ/cm^2	4	Riganakos, 2017
	bacterias psicrotróficas		4	
	bacterias acidolácticas		0	
	enterobacterias		1	
	mohos y levaduras		0	
Jugo de tomate	recuento aeróbico en placa	2.16 J/m^2 15,30,60 min	5.55, 5.37, 5.34	Bhat, 2016
	mohos y levaduras		5, 4.97,4.96	

El criterio definido por la FDA para el tratamiento de pasteurización en jugos de frutas es una reducción de cinco ciclos logarítmicos en el número del microorganismo en cuestión (Koutchma, 2008). En general, la eficiencia del procesamiento UV-C en la inactivación de patógenos de importancia pública como *Salmonella typhimurium* y *E-coli O157:H7,* es suficiente para garantizar la calidad microbiológica reglamentaria por la Administración de Drogas y Alimentos de los Estados Unidos (FDA) para pasteurizar jugos de frutas (USFDA, 2020). Sin embargo la inactivacion de microorganismos de deterioro, de importancia economica para la industria juguera como *Saccharomyces cerevisiae, Alicyclobacillus acidoterrestris,* no garantiza la calidad microbiológica reglamentaria (FDA) en jugos de frutas.

La limitación en la inactivación de hongos y levaduras, se debe a que son menos susceptibles a los rayos UV-C que las bacterias (Santhirasegaram, 2015), esto podría deberse a diferencias en el grosor de la pared celular y el tamaño del microorganismo, lo que influye en el paso de la luz UV-C. Otro factor de importancia es el contenido de bases pirimidina menores en la hebra de ADN en levaduras y mohos contribuyen a una menor probabilidad de la formación de enlaces cruzados, lo que implica mayor resistencia a los rayos UV-C. Estos factores limitan el procesamiento de la radiación UV-C para la conservación de alimentos con vida útil larga (Gouma et al., 2015).

Algunos tratamientos combinados tienen el potencial de reducir significativamente una variedad de patógenos, esporas, levaduras y mohos. El tratamiento combinado UV asistido con térmico moderado extendió la vida útil de jugos (Gayan *et al.,* 2013; Gouma *et al.,* 2015). El efecto de la aplicación de calor suave mejoró la eficacia de la radiación UV-C en la inactivación de microorganismos de descomposición en jugo de uva (La Cava y Sgroppo, 2019), jugo de manzana (Gouma *et al.,* 2015) y jugo de verjuice (Kaya *et al.,* 2019). El efecto letal sinérgico del proceso combinado, se basa primero, en la reducción de la capacidad celular para reparar el daño del ADN producido por el proceso térmico y segundo, la interacción de sub-letales lesiones inducidas por cada uno de los agentes en combinación (Gayán *et al.,* 2015; Petin *et al.,* 1997).

De igual forma la seguridad química es de suma importancia, compuestos aromaticos tóxicos comofurano y 5-HMF(5-hidroxi-metilfurfuraldehído) se han encontrado presentes en jugos de frutas El furano es un compuesto aromático volátil tóxico en alimentos. Se ha clasificado como un posible producto químico carcinogénico para humanos (Grupo 2B) (IARC, 1995) y por el Programa Nacional de Toxicología (NTP, 2011) es hepatotóxico y genera cáncer en ratas y ratones (NTP, 1993) Por su parte la toxicidad del 5-HMF no es alta, pero en el cuerpo humano, se puede transformarse en 5-sulfoximetilfurfural (5-SMF) (Abraham *et al.,* 2011; Glatt y Sommer, 2006). La 5-SMF tiene propiedades mutagénicas, carcinogénicas, neurotóxicas y hepatotóxicas (Abraham *et al.,* 2011; Bakhiya *et al.,* 2009; Monien *et al*., 2009).

El procesamiento influye en la formación de Furano y 5-HMF (Blue *et.,* 2010; Fan X , 2005a). El procesamiento térmico es la causa más probable en alimentos comerciales (Wegener y López-Sanchez, 2010). Se han detectado en una gran variedad de alimentos procesados por radiación UV-C (EFSA, 2010; FDA, 2004; Lachenmeier *et al.,* 2012; Morales, 2009; Waizenegger *et al.,* 2012). El furano se forma a partir de carbohidratos, ácido ascórbico, ácidos grasos y una mezcla de los tres. La fructosa presente en jugos de frutas es la principal causa (Perez y Yaylayan, 2004; Fan X , 2005b). En la tabla 3 se aprecian los efectos de la irradiación UV-C y combinación UV-C asistido con térmico moderado en seguridad química de jugos de frutas tratados.

Cuadro 3. Efecto del procesamiento UV-C y UV-C asistido con térmico moderado sobre seguridad química en jugos de frutas

Variedad de jugo	Condiciones de procesamiento	Efecto	Referencia
Jugo de pomelo	Dosis UV-C 15.45, 18.18 y 27.63 mJ/cm2	La formación de furanos dependió de la dosis de UV-C (0.66–2.4 ppb / mL) es inversamente proporcional al contenido de azúcar presente en el jugo. Disminuyó en el almacenamiento	Shan et al., 2015

El efecto de la radiación UV-C en la formación de furano se ha evaluado en diferentes muestras de jugo de frutas. En jugo de manzana comercial a una dosis de 8.8 J /cm^2 originó 14 ppb / mL de furano, a una tasa de producción de 11 ppb

por J /cm^2 (Fan y Geveke, 2007). En sidra de manzana a una dosis de 5,94 mJ / cm^2 se observó una producción de furano de 1648 ppb / ml (Bule *et al.,* 2010).

La formación de furano está altamente asociada con las propiedades fisicoquímicas del jugo de fruta, donde la fructosa resultó ser la causa principal (Fan y Geveke, 2007; Blue *et al.,* 2010). En el procesamiento parametros como la temperatura del reactor UV-C es una de las principales causas de formación de furano (Shan *et al.,* 2015).

Impacto del procesamiento en calidad sensorial en jugos de frutas

El método de producción y la tecnología de procesamiento tiene un impacto en las expectativas del consumidor y la calidad del producto. Los productos elaborados de forma tradicional generalmente inducen un gusto más alto que los productos industriales (AIJN, 2015; Monteleone y Bertuccioli, 2006). La calidad sensorial de los zumos de frutas juega un papel importante en la satisfacción del consumidor (Shah *et al.,* 2016).

El sabor y el color son importantes para la calidad del jugo de frutas. El color puede influir en la aceptabilidad. La compleja interacción de color y aceptabilidad de alimentos cambia a medida que la gente envejece (Philipsen, 1995). Así mismo el aroma y el sabor son los principales atributos sensoriales para atraer a los consumidores (Pendyala, 2020). La mayoría de los estudios informaron que los jugos tratados con UV-C no eran significativamente diferentes de los jugos frescos, pero sí diferente de los jugos tratados térmicamente en términos de aroma, sabor, color. En la tabla 4 se observa el efecto de la radiación UV-C, térmico y cambiando en jugos de frutas.

Se evaluó el efecto del procesamiento UV-C en los compuestos volátiles, responsables de la formación del aroma caracteristico de las frutas y el sabor. En jugo de sandia dependiendo de la naturaleza química de los compuestos identificados, se encontraron diferencias significativas entre el control y muestra tratada con UV-C, así mismo diferencias entre las dosis empleadas (Pendyala, 2020). En jugo de zanahoria las características sensoriales se mejoraron en

muestras tratadas con UV-C, sin embrago el color presentó efectos adversos por la degradación enzimática de los carotenoides (Alklint, 2004). Sin afectar la preferencia de los panelistas.

El procesamiento UV-C exhibió la menor variación en las puntuaciones hedónicas, en comparación con el control (Santhirasegaram, 2015). En el tratamiento combinado de UV-C y térmico moderado en jugo de uva no se observaron cambios significativos en sólidos solubles y acidez, los cuales contribuyen al sabor, sin embargo si presentó diferencias significativas en parámetros de color (La Cava *et al.,* 2019).

Cuadro 4. Efecto del procesamiento UV-C y UV-C asistido con térmico moderado sobre calidad sensorial en jugos de frutas

Variedad de jugo	Condiciones de procesamiento	Efecto	Referencia
Jugo de sandía	Dosis UV-C 40 mJ/cm2	Sin diferencias significativas entre el contenido de aldehído de jugo fresco y jugo con UV-C. El contenido de alcohol se redujo significativamente en muestras tratadas. Sin diferencias significativas entre el contenido de cetonas de jugo fresco y jugo con UV-C	Pendyala,2020
Jugo de zanahoria	Dosis UV-C 1137.5 mJ/cm2	La evaluación sensorial mostró que los jugos de zanahoria tratados con UV-C mejores características sensoriales, en comparación con los tratados térmicamente. El sabor se mejoró en muestras UV-C, mientras que en el color se produjeron efectos adversos al tener un color obscuro por la degradación de los carotenoides. Sin afectar la preferencia de los panelistas	Riganakos,2017
Jugo de mango	Dosis UV-C 3,525 J/m2 por 15, 30 y 60 min	La evaluación sensorial verificó que el jugo no tratado térmicamente fue más preferido que el jugo tratado térmicamente.	Santhirasegaram, 2015
Agua de arandano	Dosis UV-C 30 y 120 mJ/cm2	Sin diferencia significativa entre las 2 dosis probadas. El tratamiento con UV-C de30 mJ/cm2 fue bien aceptado por los panelistas.	Gopisetty, 2019
Jugo de uva	Dosis UV-C 39,6 J / L Térmico 52.4 ºC /6.31 min	Sin cambios significativos en sólidos solubles y acidez. Diferencias significativas parámetros de color L *, a * y b *.	La cava, 2019

CONCLUSIONES Y PRESPECTIVAS

La creciente demanda de jugos de frutas y bebidas funcionales por parte de los consumidores consientes de los problemas de salud ha permitido, el crecimiento de tecnologías no térmicas y del mejoramiento en los procesos de producción. Los jugos de frutas tratados con UV-C poseen potencial y demanda en la industria de los jugos. Los jugos tratados con UV-C en comparación con los jugos tratados térmicamente, poseen mejores sabor y perfil de color, así como contenido compuestos bioactivos, similar al del jugo fresco.

El crecimiento de hongos y levaduras es una limitación que presenta está tecnología, la combinación de UV-C con tratamientos térmicos suave o otras tecnologías no térmicas es una alternativa para la calidad y seguridad de los jugos de frutas. Algunas combinaciones de tecnolgías tienen el potencial de reducir significativamente esta limitante.

El tratamiento combinado de UV-C asistido con calor suave inhibió crecimiento microbiano debido a un efecto de inactivación sinérgico, que extendió el período de almacenamiento del jugo refrigerado, sin cambios en las propiedades fisicoquímicas. Este proceso puede ser utilizado para minimizar la perdida de calidad sensorial asegurando la calidad microbiológica.

El procesamiento debe tener un enfoque inteligente para no afectar la calidad del producto, factores como el tratamiento, la intensidad, la duración y el orden de los tratamientos combinados afectarían los resultados finales.

LITERATURA CITADA

Abraham, K., Gürtler, R., Berg, K., Heinemeyer, G., Lampen, A., y Appel, K. E. (2011). Toxicology and risk assessment of 5-hydroxymethylfurfural in food. *Mol. Nutr Food Res*, 55:667-678. https://doi.org/10.1002/mnfr.201000564

Adekunte, A. T. Tiwari, B. K., Cullen, P. J., Scannell, A. G. M., y O'donnell, C. P. (2010). Effect of sonication on colour, ascorbic acid and yest inactivation in tomato juice. *Food Chemistry*, 122(3):500-507. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.01.026

Aganovic, K. S. Smetana, S., Grauwet, T., Toepfl, S., Mathys, A., Van Loey, A., y Heinz, V. (2017). Pilot scale thermal and alternative pasteurization of tomato and watermelon juice: An energy comparison and life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, 141:514-525. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.015

Aguilar, K. G., Garvin, A., Azuara, E., y Ibarz, A. (2015). Modelling of 5-hydroxymethylfurfural photo-degradation by UV irradiation. Ifluence of temperature and pH. *Food Research Interational*, 71:165-173. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.02.019

Aguilera, Y., Martin-Cabrejas, M. A., y De Mejia, E. G. (2016). Phenolic compounds in fruits and beverages consumed as part of the mediterranean diet: their role in prevention of chronic diseases. Phytochesmistry Reviews, 15(3):405-423. http:// doi.org/10.1007/s11101-015-9443-z

AIJN, 2. (11 de enero de 2015). *AIJN Association of the Industries of Juices and Nectars from Fruits and Vegetables of the European Union. (2015).* Obtenido de AIJN Association of the Industries of Juices and Nectars from Fruits and Vegetables of the European Union. (2015). www.aijn.org

Alklint, C., Wadsö, L., y Sjöholm, I. (2004). Effects of modified atmosphere on shelf-life of carrot juice. *Food Control*, 15(2), 131–137. https://doi.org/10.1016/S0956-7135(03)00024-0

Antonio-Gutiérrez, O., López-Díaz, A., Palou, E., López-Malo, A., y Ramírez-Corona, N. (2019). Characterization and effectiveness of short-wave ultraviolet irradiation reactors operating in continuous recirculation mode to

inactivate *Saccharomyces cerevisiae* in grape juice. *Journal of Food Engineering*, 241:88-96.
https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.08.011

Ayhan Z., Yeom, H. W., Zhang, Q. H., y Min, D. B. (2001). Flavor, color, and vitamin C retention of pulsed electric field processed orange juice in different packaging materials. *J. Agric Food Chem*, 49(2):669-74.
https://doi.org/10.1021/jf000984b

Bakhiya, N., Monien, B., Frank, H., Seidel, A., y Glatt, H.(2009). Renal organic anion transporters OAT1 and OAT3 mediate the cellular accumulation of 5-sulfooxymethylfurfural, a reactive, nephrotoxic metabolite of the Maillard product 5-hydroxymethylfurfural. *Biochem Pharmacol*, 78(4):414-419.
https://doi.org/10.1016/j.bcp.2009.04.017

Barba, F. J., Esteve, M. J., y Frígola, A. (2014). Bioactive components from leaf vegetable products. In *Studies in natural products chemistry.*41:321-346). Elsevier
https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63294-4.00011-5

Barbosa-Cánovas, G. V., Tapia, M. S., y Cano, M. P. (2005). *Novel Food Processing Technologies.*CRC press. Boca Raton, Florida

Baysal, A. H., Molva, C., y Unluturk, S. (2013). UV-C light inactivation and modeling kinetics of *Alicyclobacillus acidoterrestris* spores in white grape and apple juices. *International journal of food microbiology*, 166(3), 494-498.
https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2013.08.015

Belitz, H. D., y Grosch, W. (2004). *Food Chemistry.* New York, NY, USA: Springer-Verlag:pp. 231, 232, 506.

Bevilacqua, A., Petruzzi, L., Perricone, M., Speranza, B., Campaniello, D., Sinigaglia, M., y Corbo, M. R. (2018). Nonthermal technologies for fruit and vegetable juices and beverages: overview and advances. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food*, 17(1):2-62.
https://doi.org/10.1111/1541-4337.12299

Bhardwaj, R. L., y Pandey, S. (2012). Juice blends-a way of utilization and spices: a review. Crit. Rev. *Food Sci Nutr.*51(6) 563-570.
https://doi.org/10.1080/10408391003710654

Bhardwaj, R., Nandal, U., Pal, A., y Jain, S. (2014). Bioactive compounds and medicinal properties of fruit juices. *Fruits*, 69:391-412.
http:// doi: 10.1051/fruits/2014027

Bhat, R. (2016). Impact of ultraviolet radiation treatments on the quality of freshly prepared tomato (*Solanum lycopersicum*) juice. *Food chemistry*, 213:635-640.
https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.06.096

Bhat, R. A. (2011). Quality attributes of starfruit (*Averrhoa carambola L*.) juice treated with ultraviolet radiation. *Food Chemistry*, 127(2), 641-644.
https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.01.042

Blue, M. D. (2010). Furan formation during UV-treatment of fruit juices. *Food Chemistry*, 122(4):937-942.
https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.03.116

Bondonno, N. P., Bondonno, C. P., Ward, N. C., Hodgson, J. M., y Croft, K. D. (2017). The cardiovascular health benefits of apples: Whole fruit vs. isolated compounds. *Trends in Food Science & Technology*, 69:243-256.
https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.04.012

Bornšek, Š. M., Polak, T., Skrt, M., Demšar, L., Ulrih, N. P., y Abram, V. (2015). Effects of industrial and home-made spread processing on bilberry phenolics. *Food Chemistry*, 173:61-69.
https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.10.005

Bule, M., Desai, K., Parisi, B., Parulekar, S., Slade, P., y Singhai, R. (2010). Furan formation during UV-C treatment of fruit juices. *Food Chem*, 122:937-942.
https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.03.116

Burleigh, A. B. (2013). Consumption of sweetened, dried cranberries may reduce urinary tract infection incidence in susceptible women a modified observational study. *Nutrition Journal* , 12.
http://doi:10.1186/1476-2891-12-139

Caminiti, I., Palgan, I., Muñoz, A., Noci, F., Whyte, P., Morgan, D., y Lyng, J. (2012). The effect of ultraviolet light on microbial inactivation and quality attributes of apple juice. *Food Bioprocess Technol*, 5:680-686.
http://doi: 10.1007/s11947-010-0365-x

Carbonell-Capella, J. B., Barba, F. J., Esteve, M. J., y Frígola, A. (2014). Qualiy parameters, bioactives compounds and their correlation with antoxidant

capacity of commercial fruit-basesd baby foods. *Food Science and technology International*, 20(7):479-487.
https://doi.org/10.1177/1082013213492523

Carrillo, M. G., Ferrario, M., y Guerrero, S. (2017). Study of the inactivation of some microorganisms in turbit carrot-orange juice blend processed by ultraviolet light assisted by mild heat treatment. *Journal of food engineering*, 212:213-225.
https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.06.005

Caswell, H. (2009). The role of fruit juice in the diet: an overview. *Nutr. Bull.*, 34 (3): 273-288.
https://doi.org/10.1111/j.1467-3010.2009.01760.x

Chia, S., Rosnah, S., Noranizan, M., y Wan Ramli, W. (2012). The effect of storage on the quality attributes of ultraviolet-irradiated and thermally pasteurized pineapple juice. *Int. Food Res. J.*, 19:1001-1010.

D'Archivio, M. F., Filesi, C., Varì, R., Scazzocchio, B., y Masella, R. (2010). Bioavailability of the polyphenols: status and controversies . *International Journal of Molecular Sciences* , 11:1321-1342.
https://doi.org/10.3390/ijms11041321

Davey M.W., Montagu, M. V., Inze, D., Sanmartin, M., Kanellis, A., Smirnoff, N., y Fletcher, J. (2000). Plant L-ascorbic: chemistry, function, metabolism, bioavailable and effects of processing. *J. Sci. Food Agric*, 80(7):825-60.

De Carvalho, J. M., Maia, G. A., De Figueiredo, R. W., De Brito, E. S., y Rodrigues, S. (2007). Development of a blended non-alcoholic beverage composed of coconut water and cashew apple juce containing caffeine. *J.Food Qual*, 30: 664-681.
https://doi.org/10.1111/j.1745-4557.2007.00149.x

Del Caro, A. P., Piga, A., Vacca, V., y Agabbio, M. (2004). Changes of flavonoids, vitamin C and antioxidant capacity in minimally processed citus segments and juices during storage. *Food Chemistry*, 84(1):99-105.
https://doi.org/10.1016/S0308-8146(03)00180-8

Dembitsky, V. M., Poovarodom, S., Leontowicz, H., Leontowicz, M., Vearasilp, S., Trakhtenberg, S., y Gorinstein, S. (2011). The multiple nutrition properties of some exotic fruits: Biological activity and active metabolites. *Food Research International*, 44(7):1671-1701.

https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.03.003

Devlieghere, F., Vermeiren, L., y Debevere, J. (2004). New preservation technologies: Possibilities and limitations. *International Dairy Journal*, 14:273-285.
https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2003.07.002

Drossard, C., Frohling, B., Bolzenius, K., Dietrich, H., Kunz, C., y Kersting, M. (2012). Liking of anthocyanin-rich juices by children and adolescents. *Appetite*, 58:623-628.
https://doi.org/10.1016/j.appet.2012.01.002

EFSA, European Food Safety Authority. (2010). Update of results on the monitoring of furan levels in food. *EFSA Journal*, 8(7):1702-1720.
https://doi.org/10.2903/j.efsa.2010.1702

Falguera, V., Pagán, J., y Ibarz, A. (2011). Effect of UV-C irradiation on enzymatic activities and physicochemical properties of apple juices from different varieties. *LWT Food Sci. Tech*, 44:115-119.
https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.05.028

Fan, X. (2005). Formation of furan from carbohydrates and ascorbic acid following exposure to ionizing radiation and thermal processing. *J. Agric. Food Chem*, 53(20):7826-7831.
https://doi.org/10.1021/jf051135x

Fan, X. (2005). Impact of ionising radiation and thermal treatments on furan levels in fruit juice. *Journal of Food Science*, 70(7):409-414.
https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.tb11468.x

Fan, X., & Geveke, D. (2007). Furan formation in sugar solution and apple cider upon ultraviolet treatment. *J. Agric. Food Chem*, 55:7816-7821.
https://doi.org/10.1021/jf071366z

FDA, U. F. (21 de Junio de 2020). *Food and Drug Administration (2004). Determination of furan in foods*. Obtenido de http:// www.fda.gov/Food/FoodborneIllnessContaminants/ ChemicalContaminants/ucm078400.htm

Feng, M., Ghafoor, K., Seo, B., Yang, K., y Park, J. (2013). Effects of ultraviolet-C treatment in Teflon coil on microbial populations and physic-chemical characteristics of watermelon juice. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol*, 9:133-139.

https://doi.org/10.1016/j.ifset.2013.05.005

Fredericks, I. N., Du Toit, M., y Krügel, M. (2011). Efficacy of ultraviolet radiation as an alternative technology to inactivate microorganisms in grape juices and wines. *Food Microbiology*, *28*(3), 510-517. https://doi.org/10.1016/j.fm.2010.10.018

Gabriel, A. A. (2012). Inactivation of *Escherichia coli O157: H7* and spoilage yeasts in germicidal UV-C-irradiated and heat-treated clear apple juice. . *Food Control,*, 25(2), 425-432. https://doi.org/10.1016/j.fm.2010.10.018

Garde-Cerdán, T., Arias-Gil, M., Marsellés-Fontanet, A. R., Ancín-Azpilicueta, C., y Martín-Belloso, O. (2007). Effects of thermal and non-thermal processing treatments on fatty acids and free amino acids of grape juice. *Food Control*, 18(5):473-479. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2005.12.004

Gayan, E., Mañas, P., Álvarez, I., y Condón, S. (2013). Mechanism of the synergistic inactivation of *Escherichia coli* by UV-C light at . *Applied and Environmental Microbiology*, 79(14):4465-4437. https://doi.org/10.1128/AEM.00623-13

Gayan, E., Serrano, M. J., Monfort, S., Álvarez, I., y Condón, S. (2012). Combining ultraviolet light and mild temperatures for the inactivation of *Escherichia coli* in orange juice. *Journal of Food Engineering*, 113(4):598-605. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.07.018

Gayán, E., Serrano, M. J., Pagán, R., Álvarez, I., y Condón, S. (2015). Environmental and biological factors influencing the UV-C resistance of *Listeria monocytogenes*. *Food Microbial*, 46:246-253. https://doi.org/10.1016/j.fm.2014.08.011

Gayan, E., Serrano, M. J., Álvarez, I., y Condón, S. (2016). Modeling optimal process conditions for UV-heat inactivation of foodborne pathogens in liquid foods. *Food Microbiology*, 60:13-20. https://doi.org/10.1016/j.fm.2016.06.011

Gayan, E., Torres, J. A., Ávarez, I., y Condón, S. (2014). Selection of process conditions by risk assessment for apple juice pasteurization by UV-heat treatments at moderate temperatures. *Journal of Food Protection*, 77(2):207-215.

https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-13-255

Gayan, E., Monfort, S., Alavarez, I., y Condon, S. (2011). UV-C inactivation of *Escherischia coli* at different temperatures. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, 12, 531–541. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2011.07.008

Geveke, D. J., y Torres, D. (2012). Pasteurization of grapefruit juice using a centrifugal ultraviolet light irradiator. *Journal of food engineering,* 111(2), 241-246. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.02.026

Giampieri, F., Forbes-Hernandez, T. Y., Gasparrini, M., Alvarez-Suarez, J. M., Afrin, S., Bompadre, S., y Battino, M. (2015). Strawberry as a health promoter: An evidence based review. *Food & Function*, 6(5):1386-1398. http:// doi: 10.1039/c5fo00147a

Glatt, H. y Sommer, Y.(2006). Health risks of 5-hydroxymethylfurfural (HMF) and related compounds. En *Acrylamide hazard compoud heat-treat foods* (pp 328-357). England: CRC Press.

Goh, S., Noranizan, M., Leong, C., Sew, C., y Sobhi, B. (2012). Effect of thermal and ultraviolet treatments on the stability of antioxidant compounds in single strength pineapple juice refrigerated storage. *Int. Food Res. J.*, 19:1131-1136.

Gómez, P. L., García-Loredo, A., Salvatori, D. M., Guerrero, S., y Alzamora, S. M. (2011). Viscoelasticity, texture and ultrastructure of cut apple as affected by sequential anti-browning and ultraviolet-C light treatments. *Journal of food engineering,* , 107(2):214-225. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.05.046

Gómez-López, V. M., Orsolani, L., Martínez-Yépez, A., y Tapia, M. S. (2010). Microbiology and sensory quality of sonicated calcium-added orange juice. *LWL-Food Science and technolgy*, 43,(5): 808-813 . https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.01.008

Gomez-Lopez, V., Koutchma, T., y Linden, K. (2012). *Ultraviolet and pulsed light processing of fluid foods. In Novel Thermal and Non- Thermal Technologies for Fluid Foods.* San Diego, CA, USA: Academic Press pp 185-223.

Gopisetty, V. V. S., Patras, A., Kilonzo-Nthenge, A., Yannam, S., Bansode, R. R., Sasges, M., y Xiao, H. (2018). Impact of UV-C irradiation on the quality,

safety and cytotoxicity of cranberry-flavored water using a novel continuous flow UV system. *LWT*, 95:230-239.
https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.04.042

Gopisetty, V. V. S., Patras, A., Pendyala, B., Kilonzo-Nthenge, A., Ravi, R., Pokharel, B., y Sasges, M. (2019). UV C irradiation as an alternative treatment technique: Study of its effect on microbial inactivation, cytotoxicity, and sensory properties in cranberry-flavored water. *Innovative Food Science & Emerging Technologies,* , 52, 66-74.
https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.11.002

Gouma, M., Gayán, E., Raso, J., Condón, S., y Álvarez, I. (2015). Inactivation of spoilage yeasts in apple juice by UV–C light and in apple juice by UV-C light and in combination with mild heat. *Innovative Food Science & Emerging technologies* , 32:146-155.
https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.09.008

Grobelna, A., Kalisz, S., y Kieliszek, M. (2019). The effect of the addition of blue honeysuckle berry juice to apple juice on the selected quality characteristics, anthocyanin stability, and antioxidant properties. *Biomolecues*, 9(11)744.
https://doi.org/10.3390/biom9110744

Guerrero-Beltrán, J., y Barbosa-Cánovas, G. (2006). Inactivation of *Saccharomyces cerevisiae* and polyphenoloxidase in mango nectar treated with UV light. *J. Food Prot.*, 69:362-368.
https://doi.org/10.4315/0362-028X-69.2.362

Guevara, M., Tapia, M. S., y Gómez-López, V. M. (2012). Microbial inactivation and quality of guava and passion fruit nectars treated by UV-C light. *Food and Bioprocess Technology,*, 5(2), 803-807.
https:// doi.org/ 10.1007/s11947-011-0537-3

Huang, S. (2004). Global trade patterns in fruits and vegetables. *USDA-ERS Agriculture and Trade Report No. WSR-04-06*.

IARC. (1995). Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Dry Cleaning, Some Chlorinated Solvents and Other Industrial Chemicals. *International Agency for Research on Cancer* (pág. 63). Lyon, France: IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans.

Ignat, I., Volf, I., y Popa, V. (2011). A critical review of methods for characterisation of polyphenolic compounds in fruits and vegetables. *Food Chem*, 126:1821-1835.
https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.12.026

Igual, M. G. M. E., García-Martínez, E., Camacho, M. M., y Martínez-Navarrete, N. (2010). Effect of thermal thermal treatment and storage on the stability of organic acids and the functional value of grapefruit juice. *Food Chemistry*, 118(2): 291-299.
https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.04.118

Islam, M. S., Patras, A., Pokharel, B., Vergne, M. J., Sasges, M., Begum, A., y Xiao, H. (2016). Effect of UV irradiation on the nutritional quality and cytotoxicity of apple juice. *Journal of Agricultural and food chemistry*, 64(41), 7812-7822.
https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b02491

Islam, M. S., Patras, A., Pokharel, B., Wu, Y., Vergne, M. J., Shade, L., y Sasges, M. (2016). UV-C irradiation as an alternative desinfection technique: Study of its effect on polyphenols and antioxidant activity of apple juice. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 34:344-351.
https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.02.009

Jagger, J. (1967). *Introduction to Research in UV-C Photobiology .* NJ, USA, : Prentice Hall, Inc: Englewood Cliffs, .

Jan, A. y Masih, E. D. (2012). Development and quality evaluation of pineapple juice. *Int.J. Sci. Res. Publ,*, 2(8): 2250-3153.

Jennings, A., Welch, A. A., Spector, T., Macgregor, A., y Cassidy, A.(2014). Intakes of anthocyaninis and flavones are associated with biomarkers of insulin resistance and inflammation in women . *the Journal of Nutrition*, 144(2):202-208.
https://doi.org/10.3945/jn.113.184358

Jimenez-Garcia, S., Guevara-Gonzalez, R. G., Miranda-Lopez, R., Feregrino-Perez, A. A., Torres-Pacheco, I., y Vazquez-Cruz, M. A. (2013). Functional properties and quality characteristics of bioactive compounds in berries:Biochemistry, biotechnology, and genomics. *Food Research International*, 54(1):1195-1207.
https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.11.004

Jingfei, G., y HP Vasantha, R. (2012). Nutritional, physicochemical and microbial quality of ultrasound-treated apple-carrot juice blends. *Food and Nutrition Sciences* , 3:212-218.
http:// doi:10.4236/fns.2012.32031

Johnson, S. y H Arjmandi, B. (2013). Evidence for anti-cancer properties of blueberries. *A mini-review. Anti-Cancer Agents in Medicinal Chemistry*, 13(8):1142-1138.

Junqueira-Goncalvez, M. P., Alarcón, E., y Niranjan, K. (2016). The efficacy of potassium sorbate-coated packaging to control postharvest gray mold in raspebberries, blackberries and bluebierries. *Postharvest Biology and technology*, 111:205-208.
https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.09.014

Jurkiewicz, B. A. y Buettner, G. R. (1994). Ultraviolet light-induced free radical formation in skin: an electron paramagnetic resonance study. *Photochemistry and photobiology*, 59(1):1-4.
https://doi.org/10.1111/j.1751-1097.1994.tb04993.x

Kaya, Z. y Unluturk, S. (2019). Pasteurization of verjuice by UV-C irradiation and mild heat treatment. *Journal of Food Process Engineering*, 42(5):13131.
https://doi.org/10.1111/jfpe.13131

Kaya, Z., y Unluturk, S. (2015). Processing of clear and turbid grape juice by a continuous flow UV-C system. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, 33:282-288.
https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.12.006

Kaya, Z., Semanur, Y., y Unluturk, S. (2015). Effect of UV-C-C irradiation and heat treatment on the shelf life of a lemon-melon juice blend; multivarate statical approach. *Innov. Food. Sci. Emerg. Technol.*, 29:230-239.
https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.03.005

Keyser, M., Műller, I. A., Cilliers, F. P., Nel, W., y Gouws, P. A. (2008). Ultraviolet radiation as a non-thermal treatment for the inactivation of microorganisms in fruit juice. *Innovative Food Sciene & Technologies*, 9(3):348-354.
https://doi.org/10.1016/j.ifset.2007.09.002

Klimczak, I., Malecka, M., Szlachta, M., Gliszczyńska-Świglo, A. (2007). Effect of storage on the content of polyphenols, vitamin C and the antioxidant activity

of orange juices. *Journal of Food Composition and Analysis*, 20(3-4):313-322.
https://doi.org/10.1016/j.jfca.2006.02.012

Koutchma T. (2009). *Ultraviolet light in food technology: principles and applications. .* Boca Raton, Fla: CRS Press.

Koutchma, T. (2008). UV light for processing foods. *IUVA News* , 10(4):24-29.

Koutchma, T., Keller, S., Chirtel, S., y Parisi, B. (2004). Ultraviolet disinfection of juice products in laminar and turbulent flow reactors. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol* , 5(2):179-189.
https://doi.org/10.1016/j.ifset.2004.01.004

Koutchma, T., Popović, V., Ros-Polski, V., y Popielarz, A. (2016). Effects of ultraviolet light and high pressure procesing on quality and health-related constituents of fresh juice products. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(5):844-867.
https://doi.org/10.1111/1541-4337.12214

La Cava, E. L. M . y Sgroppo, S. C. (2019). Combined effect of UV-C light and mild heat on microbial quality and antioxidant capacity of grapefruit juice by flow continuous reactor. *Food and Bioprocess Technology*, 12(4):645-653.
https://doi.org/10.1016/j.fbp.2011.11.006.

Lachenmeier, D. W., Maser, E., Kuballa, T., Reusch, H., Kersting, M., y Alexy, U. (2012). Detailed exposure assessment of dietary furan for infants consuming commercially jarred complementary food based on data from the DONALD study. *Maternal & Child Nutrition*, 8:390-403.
http: doi:10.1111/j.1740-8709.2010.00288.x

Li, F., Chen, G., Zhang, B., y Fu, X. (2017). Current applications and new opportunities for the thermal and non-thermal processing technologies to generate berry product or extracts with high nutraceutical contents. *Food Research International*, 100:19-30.
https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.08.035

López M. A., Palou, E., Barbosa, C. G., Tapia, M. S., y Cano, M. (2005). *Ultraviolet light and food preservation.* Madrid: CRC Press, 405-421.

Mansor, A., Shamsudin, R., Mohd Adzahan, N., y Hamidon, M. (2014). Efficacy of ultraviolet radiation as a non-thermal treatment for the inactivation of

Samonella typhimurium TISTR in pineapple fruit juice. *Agric.Sci.Proced.*, 2:173-180.
https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2014.11.025

Meisel, H. (2001). Bioactive peptides from milk proteins: A perspective for consumers and producers. *Dairy Technol*, 56:83-91.

Meléndez-Pizarro, C. O., Calva-Quintana, A., Espinoza-Hicks, J. C., Sánchez-Madrigal, M. Á., y Quintero-Ramos, A. (2020). Continuous Flow UV-C-Irradiation Effects on the Physicochemical Properties of Ale vera Gel and Pitaya (*Stenocereus spp*) Blend . *Foods* , 9(8):1068.
https://doi.org/10.3390/foods9081068

Minervini, F., Algaron, F., Rizzello, C., Fox, P., y Monet Vand Gobbetti, M. (2003). Angiotensin I-converting enzyme inhibitory and antibacterial peptides from *Lactobacillus helveticus* PR4 proteinase hydrolyzed caseins of mil from six species. *Appl. Environ. Microbial*, 69:5297-5305.
https://doi.org/10.1128/AEM.69.9.5297-5305.2003

Mintel, 2. (2009). *the fruit juice market: an appealing squeeze*. Obtenido de http://www.marketresearchworld.net/index.php?option5com_content&task5view&id5484&Itemid548.

Mintel, 2. (2015). *Juice market review: a squeeze on the market*. Obtenido de http://www.mintel.com/blog/drink-market-news/juice-market-review-a-squeeze-on-the-market

Monien, B. H., Frank, H., Seidel, A., y Glatt, H. (2009). Conversion of the common food constituent 5-hydroxymethylfurfural into a mutagenic and carcinogenic sulfuric acid ester in the mouse in vivo. *Chem Res Toxicol*, 22:1123-1128.
https://doi.org/10.1021/tx9000623

Monteleone, E. y Bertuccioli, M. (2006). The first European conference on sensory science of food and beverages "a sense of identify". *Food Quality and Preference*, 17:1-2.
http:// doi.org/10.1016j.foodqual.2005.03.001

Morales, F. J. (2009). Hydroxymethylfurfural (HMF) and related compounds. En F. Morales, *Process-induced food toxicants* (págs. 135-174). New York, NY: John Wiley & Sons, Inc: In R. H. Stadler & D.R. Lineback.

Morales-De La Peña, M., Salvia-Trujillo, L., Rojas-Graü, M. A., y Martín-Belloso, O. (2010). Isoflavone profile of a high instensity pulsed electric field or

thermally treated fruit juice-soymilk beverage stored under refrigeration. *Innovative Food Science and Emerging technologies*, 11(4):604-610. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2010.08.005

Mukhopadhyay, S., y Ramaswamy, R. (2012). Application of emerging technologies to control *Salmonella* in foods: A review. *Food Res. Int*, 45:666-677. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.05.016

Müller, A., Noack, L., Greiner, R., Stahl, M. R., y Posten, C. (2014). Effect of UV-C and UV-B treatment on polyphenol oxidase activity and shelf life of apple and grape juices. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* , 26, 498-504. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2014.05.014

Müller, A., Stahl, M., Graef, V., Franz, C., y Huch, M. (2011). UV-C treatment of juices to inactivate microorganisms using dean vortex technology. *J. Food Eng*, 107:268-275. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.05.026

Müller, L., Gnoyke, S., Popken, A. M., y Böhm, V. (2010). Antioxidant capacity and related parameters of different fruit formulations. *LWT- Food Science and Technology*, 43(6):992-999. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.02.004

Nachay, K. (2009). A new color palette emerges. *Food Technology5*, 50-62. ISSN : 0015-6639

Nile, S. H. y Park, S. W. (2014). Edible berries: Bioactive components and their effect on human health. *Nutrition*, 30(2):134-144. https://doi.org/10.1016/j.nut.2013.04.007

Noci, F., Riener, J., Walkling, M., Cronin, D., Morgan, D., y Lying, J. (2008). Ultraviolet irradiation and pulsed electri fields (PEF) in a hurdle for the preservation of fresh apple juice. *J. Food Eng*, 85:141-146. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.07.011

NTP. (1993). Toxicology and Carcinogenesis Studies of Furan (CAS No 10-00-9) in F344 Rats and B6C3F1 Mice (Gavage Studies). *National Toxicology Program Technical Report Series*, 402. PMID: 12621516

Ochoa-Velasco, C., y Guerrero-Beltrán, J. (2013). Ultraviolet-C light effect on pitaya (*Stenocereus griseus*) juice. *J. Food Res*, 1-60:70. http:// doi:10.5539/jfr.v1n2p60

Odriozola-Serrano, I, Aguiló-Aguayo, I., Soliva-Fortuny, R., Gimeno-Añó, V., y Martín-Belloso, O. (2008). Lycopene, vitamin C, antioxidant capacity of tomato juice as affected by high-intensity pulsed electric fields critical parameters. *J. Agric Food Chem*, 55(22):9036-42. https://doi.org/10.1021/jf0709101

Orlowska, M., Koutchma, T., Kostrzynska, M., Tang, J., y Defelice, C. (2014). Evaluation of mixing flow conditions to inactivate *Escherichia coli* in opaque liquids using pilot-scale Taylor–Couette UV unit. *Journal of Food Engineering,* , 120, 100-109. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.07.020

Ortega-Rivas, E. y Salmerón-Ochoa, I. (2014). Nonthermal food preservation alternatives and their effects on taste and flavor compounds of beverages. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 54(2):190-207. https://doi.org/10.1080/10408398.2011.579362

Pala, C., y Toklucu, A. (2011). Effect of UV-C on anthocyanin content and other quality parameters of pomegranate juice. *J. Food Comp. Anal*, 24:790-795. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2011.01.003

Pala, C., y Toklucu, A. (2013). Microbial, physicochemical and sensory properties of UV-C processed orange juice and its microbial stability during refrigerated storage. *LWT Food Sci. Technol.* , 50:426-431. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.09.001

Palgan, I., Caminiti, I. M., Muñoz, A., Noci, F., Whyte, P., Morgan, D. J., y Lyng, J. G. (2011). Combined effect of selected non-thermal technologies on *Escherichia coli* and Pichia fermentans inactivation in an apple and cranberry juice blend and on produt shelf life. *International Journal of Food Microbiology*, 151(1):1-6. https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2011.07.019

Paniwnyk, L. (2017). Applications of ultrasound in processing of liquid foods: A review. *Ultrason. Sonochem.*, 38:749-806. https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.12.025

Peluso, I., Villano, D., Roberts, S., Cesqui, E., Raguzzini, A., Borges, G., y Serafini, M. (2014). Consumption of mixed fruit-juice drink and vitamin C reduces postprandial stress induced by high fat meal in healthy overweight subjects. *Curr. Pharm. Des*, 20:1020-1024.

Pendyala, B. Patras, A., Ravi, R., Gopisetty, V. V. S., y Sasges, M. (2020). Evaluation of UV-C Irradiation Treatments on Microbial Safety, Ascorbic Acid and Volatile Aromatics Content of Watermelon Beverage. *Food and Bioprocess Technology* , 13(1):101-111.
https://doi.org/10.1007/s11947-019-02363-2

Perricone, M. Bevilacqua, A., Altieri, C., Sinigaglia, M., y Corbo, M. R. (2015). Challenges for the production of probiotic fruit juices. *Beverages*, 1(2):95-103
https://doi.org/10.3390/beverages1020095

Perez Locas, C., y Yaylayan, V. A. (2004). Origin and mechanistic pathways of formation of the parentfuran A food toxicant. *J. Agric. Food Chem*, 52:6830-6836.
https://doi.org/10.1021/jf0490403

Petin, V. G., Zhurakovskaya, G. P., y Komarova, L. N (1997). Fluence rate as a determinant of synergistic interaction under simultaneous action of UV light and mild heat in *Saccharomyces cerevisiae*. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 38(2):123-128.
https://doi.org/10.1016/S1011-1344(96)07449-0

Philipsen, D. H., Clydesdale, F. M., Griffin, R. W., y Stern, P. (1995). Consumer age affects response to sensory characteristics of a cherry flavored beverage. *Journal of Food Science*, 60:364-368.
https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1995.tb05674.x

Prado, F., Parada, J., Pandey, A., y Soccol, C. (2008). Trends in non-dairy probiotic beverages. *Food. Res. Int*, 41:111-123.
https://doi.org/10.1016/j.foodres.2007.10.010

Quintero-Ramos, A., Churey, J. J., Hartman, P., Barnard, J., y Worobo, R. W. (2004). Modeling of *Escherichia coli* inactivation by UV irradiation at diferent pH values in apple cider. *J. Food Prot*, 67(6):1153-1156.
https://doi.org/10.4315/0362-028X-67.6.1153

Rajauria, G. y Tiwari, B. K. (2017). *Fruit juices: Extraction, composition, quality and analysis.* Academic Press.

Rawson, A., Patras, A., Tiwari, B. K., Noci, F., Koutchma, T., y Brunton, N. (2011). Effect of thermal and non-thermal processing technologies on the bioactive content of exotic fruits and their products: review of recent advances. *Food Research International*, 44:1875-1887. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.02.053

Riganakos, K. A., Karabagias, I. K., Gertzou, I., y Stahl, M. (2017). Comparison of UV-C and thermal treatments for the preservation of carrot juice. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 42:165-172. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.06.015

Rodríguez, K., Ah-Hen, K. S., Vega-Gálvez, A., Vásquez, V., Quispe-Fuentes, I., Rojas, P., y Lemus-Mondaca, R. (2016). Changes in bioactive components and antioxidant capacity of maqui , Aristotelia chilensis (Mol) Stuntz, berries during drying. *Food Science and Technology*, 65:537-542. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.08.050

Rodríguez-Roque, M. J. (2014). In vitro bioaccessibility of healthrelated compounds from beverages based on fruit juice, milk or soymilk:Influence of food matrix and processing. University of Lleida.

Rodríguez-Roque, M. J., de Ancos, B., Sánchez-Vega, R., Sánchez-Moreno, C., Cano, M. P., Elez-Martínez, P., y Martín-Belloso, O. (2016). Food matrix and processing influence on carotenoid bioaccessibility and lipophilic antioxidant activity of fruit juice-based beverages. *Food & function* , 7(1):380-389. http:// doi.org/10.1039/C5FO01060H

Rodriguez-Roque, M. J., Rojas-Grau, M., Elez-Martinez, P., y Martin-Belloso, O. (2014). In vitro bioaccessibility of health-related compounds as affected by the formulation of fruit juice- and milk- based beverages. *Food Res. Int*, 62:771-778. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.04.037

Ryan, L. y Prescott, S. L. (2010). Stability of the antioxidant capacity of twenty-five commercially available fruit juices subjected to an in vitro digestion. *International Journal of Food Science and Technology*, 45-1191:1197. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02254.x

Santhirasegaram, V., Razali, Z., George, D. S., y Somasundram, C. (2015). Comparison of UV-C treatment and thermal pasteurization on quality of Chokanan mango (*Mangifera indica L.*) juice. *Food and Bioproducts Processing*, 94:313-321. https://doi.org/10.1016/j.fbp.2014.03.011

Seiji, M., y Iwashita, S. (1965). Enzyme inactivation by ultraviolet light and protective effect of melanin. *J. Biochem.*, 57:457-459. ISSN:1756-2651

Sew, C. C., Ghazali, H. M., Martín-Belloso, O., y Noranizan, M. A. (2014). Effects of combining ultraviolet and mild heat treatments on enzymatic activities and phenolic contents in pineapple juice. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 26:511-516. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2014.05.008

Schrenk, D. (2009). Apple juice and intestinal health. *Mol Nutr Food Res*, 53(10):1209.

Shah, N. N. A. K., Shamsudin, R., Rahman, R. A., y Adzahan, N. M. (2016). Fruit juice production using ultraviolet pasteurization: A review. *Beverages*, 2(3),22 https://doi.org/10.3390/beverages2030022

Shah, N., Rahman, R., Shamsudin, R., y Adzahan, N. (2015). Furan development in Dean Vortex UV-CC treated pummelo (*Citrus Grandis L. Osbeck*) fruit juice. *In Proceedings of In Proceedings of the the International Conference on Sustainable Agriculture for Food, Energy and Industry in Regional and Global Context* , (pp 25-27). Serdang, Malaysia.

Shamsudin, R. Ling, C. S., Adzahan, N. M., y Daud, W. R. W. (2013). Rheological properties of ultraviolet-irradiated and thermally pasteurized Yankee pineapple juice. *Journal of Food Engineering*, 116(2), 548-553. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.12.031

Shamsudin, R., Noranizan, M., Yap, P., y Mansor, A. (2014). Effect of repetitive ultraviolet irradiation on the physico-chemical properties and microbial stability of pineapple juice. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol*, 10:166-171. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2014.02.005

Shashirekha, M. N., Mallikarjuna, S. E., y Rajarathnam, S. (2015). Status of bioactive compounds in foods, wih focus on fruits and vegetables. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* , 55(10):1324-1339. https://doi.org/10.1080/10408398.2012.692736

Snyder, F., y Ni, L. (2017). Chinese apples and the emerging world food trade order: Food safety, international trade, and regulatory collaboration between China and the European Union. Chin. *J. Comp. Law (CJCL)*, 5:253-307. https://doi.org/10.1093/cjcl/cxx014

Spikes, J. (1981). *Photodegradation of foods and beverages. In Photochemical and Photobiological Reviews.* New York, NY, USA: Plenum Press pp 39-81.

Starek, M., Guja, A., Dabrowska, M., y Krzek, J. (2015). Assay of carotene in dietary supplements and fruit juices by TLC-densitometry. *Food Anal. Methods*, 8:1347-1355. http://doi:10.1007/s12161-014-0019-0

Tikekar, R. V., Anantheswaran, R. C., Elias, R. J., y LaBorde, L. F. (2011). Ultraviolet-induced oxidation of ascorbic acid in a model juice system: identification of degradation products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(15):8244-8248. https://doi.org/10.1021/jf201000x

Transparency Market Research Report, 2. (02 de 09 de 2020). *Juice market global industry analysis, size, share, growth, trends and forecast 2015-2021*. Obtenido de http://www.transparencymarketresearch.com/juice-market.html

Union, A. A. (24 de 11 de 2015). Obtenido de www.aijn.org.

Unluturk, S., y Atilgan, M. (2015). Microbial safety and shelf life of UV-C treated squeezed white grape juice. *J. Food Sci*, 80: 1831-1841. https://doi.org/10.1111/1750-3841.12952

USFDA, (01 de Octubre de 2020). *US Food and Drug Administration (USFDA).* . Obtenido de http://www.ars.usda.gov/main/site_main.htm?modecode=12-35-45-00

Van Boekel, M., Fogliano, V., Pellegrini, N., Stanton, C., Scholz, G., Lalljie, S., y Eisenbrand, G. (2010). A review on the benefical aspects of food processing. *Molecular Nutrition & Food Research*, 54(9):1215-1247. https://doi.org/10.1002/mnfr.200900608

Waizenegger, J., Winkler, G., Kuballa, T., Ruge, W., Kersting, M., Alexy, U., y Lachenmeier, D. W. (2012). Analysis and risk assessment of furan in coffee products targeted to adolescents. *Food Additives and Contaminants: Part A, Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment*, 29:19-28. https://doi.org/10.1080/19440049.2011.617012

Wegener, J., y Lopez-Sanchez, P. (2010). Furan levels in fruit and vegetables juices, nutrition drinks and bakery products. *Ana. Chim. Acta*, 672:55-60. https://doi.org/10.1016/j.aca.2010.04.042

Wootton-Beard, P. C., Moran, A., y Ryan, L. (2011). Stability of the antioxidant capacity and total polyphenol content of 23 commercially available vegetable juices before and after in vitro digestion as measured by FRIAP, DPPH, ABS and Folin-Ciocalteu methods. *Food Research International*, 44:217-224. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.10.033

Yin, F., Zhu, Y., Koutchma, T., y Gong, J. (2015). Inactivation and potential reactivation of pathogenic *Escherichia coli O157: H7* in apple juice following ultraviolet light exposure at three monochromatic wavelengths. *Food microbiology* , 46, 329-335. https://doi.org/10.1016/j.fm.2014.08.015

Zhang, H. Q., Barbosa-Cánovas, G. V., Balasubramaniam, V. B., Dunne, C. P., Farkas, D. F., y Yuan, J. T. (2011). Nonthermal Processing Technologies for Food.

Zulueta, A. Esteve, M. J., y Frígola, A. (2010). Ascorbic acid in orange juice-milk beverage treated by high intensity pulsed electric fields and its stability during storange. *Innovative Food Science & Emerging tecnologies*, 11(1):84-90. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2009.07.007

CAPÍTULO II: EFECTO DE FERTILIZANTES CONVENCIONALES Y ORGÁNICOS SOBRE COMPUESTOS VOLÁTILES EN FRAMBUESA

RESUMEN

Las frambuesas se consumen ampliamente; el sabor de estos está determinado por la interacción entre los azúcares, ácidos orgánicos y un conjunto de compuestos volátiles. Mientras tanto, la agricultura orgánica se ha desarrollado rápidamente como una alternativa al sistema convencional, y ha sido impulsada por la demanda de alimentos libres de pesticidas que trae mayores beneficios para la salud humana. Sin embargo, este sistema puede alterar la calidad integral de la fruta, incluido el aroma, que ha sido poco estudiado. Por tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la aplicación de fertilizantes orgánicos y convencionales, en presencia de compuestos volátiles sintetizados en el cv. Frambuesa 'Heritage', durante dos ciclos de cultivo. El perfil cualitativo de compuestos volátiles se analizó por cromatografía de gases masa, obteniendo como resultado que los tratamientos de fertilización afectaron significativamente la emisión de compuestos volátiles en el grupo funcional más abundante (norisoprenoides C13) 48.5, 25.8% y 56.9 y 29.1% en convencional y orgánico, en 2017 y 2018, respectivamente ($p \leq 0,05$). El ciclo del cultivo afectó a la concentración de aldehídos (11.2 y 30.6% en orgánicos, en 2017 y 2018), respectivamente ($p \leq 0,05$). El Impacto en compuestos como α-ionona (13,92 9,08% y 25,34 9,17% en convencionales y orgánicos en 2017 y 2018, respectivamente) y β-ionona (24.93, 14.10% y 22.66, 15,94% en convencional y orgánico en 2017 y 2018, respectivamente), presentaron mayor abundancia en fertilización convencional ($p \leq 0.05$). Al presentarse cambios en los compuestos volátiles, se recomienda estudiar si el consumidor percibe estos cambios.

PALABRAS CLAVES: agrícola, calidad, *Rubus idaeus L*., estación, sabor

ABSTRACT

Raspberries are widely consumed; the taste of these is determined by the interaction between sugars, organic acids and a set of volatile compounds. Meanwhile, organic agriculture has developed rapidly as an alternative to conventional system, and has been driven by the demand for pesticide-free food that brings greater benefits to human health. However, this system can alter the integral quality of the fruit, including the aroma, which has been little studied. Therefore, the objective of this study was to evaluate the effect of the application of organic and conventional fertilizers, in the presence of volatile compounds synthesized in the cv. 'Heritage' raspberry, during two crop cycles. The qualitative profile of volatile compounds was analysed by mass gas chromatography, obtaining as a result that fertilization treatments significantly affected the emission of volatile compounds in the most abundant functional group (C13 norisoprenoids) 48.5 vs. 25.8% and 56.9 vs. 29.1% in conventional and organic, in 2017 and 2018, respectively ($p \leq 0.05$). The crop cycle affected the concentration of aldehydes (11.2 vs. 30.6% in organic, in 2017 and 2018, respectively ($p \leq 0.05$). Impact compounds such as α-ionone (13.92, 9.08% and 25.34, 9.17% in conventional and organic in 2017 and 2018, respectively) and β-ionone (24.93, 14.10% and 22.66, 15.94% in conventional and organic in 2017 and 2018, respectively), presented greater abundance in conventional fertilization ($p \leq 0.05$). Since there were changes in the volatile compounds, it is recommended to study whether the consumer perceives these changes.

KEY WORDS: agricultural; quality; Rubus idaeus L.; season; taste

INTRODUCCIÓN

La frambuesa (*Rubus idaeus L*.) es un cultivo perenne, miembro de la familia de las rosáceas que produce una fruta roja con un sabor agridulce (Aprea *et al.,* 2015). La producción de frambuesa en México para 2018 superó las 130.000 toneladas. Los principales estados productores son Jalisco (71%), Baja California (10%), Michoacán (18%) (SIAP, 2018). Las variedades de frambuesa más importantes en México son 'Autumn Bliss', 'Summit' y 'Heritage', de origen estadounidense (Guzman *et al.,* 2004). Las frambuesas se consumen mucho por sus beneficios para la salud humana; ya que contienen una amplia variedad de fitoquímicos que ayudan a prevenir enfermedades crónicas (Rao y Snyder, 2010), aunque también son apreciados por su característico sabor. El sabor de la frambuesa está determinado por la interacción entre azúcares, ácidos orgánicos y un conjunto de aproximadamente 300 compuestos volátiles (Aprea *et al.,* 2015). Los compuestos volátiles participan en el desarrollo del aroma, el consumidor suele utilizarlos como un indicador de calidad, madurez y frescura. Asimismo, las carencias de aroma o aromas desagradables son indicadores de deterioro, descomposición, falta de madurez y en general, mala calidad (Forney, 2001).

Los compuestos volátiles reportados en frambuesas incluyen ésteres, aldehídos, alcoholes, cetonas, monoterpenos, norisoprenoides C-13 (Aprea *et al.,* 2009; Aprea *et al.,* 2015). Destacando los compuestos: α- y β-iononas, α-ionol, β-damascenona, linalol, geraniol, (Z) -3-hexenol, alcohol bencílico, acetoína, cetona de frambuesa, ácido acético y ácido hexanoico (Larsen *et al.,* 1991). La síntesis de estos compuestos se ve afectada por varios factores, incluyendo la composición genética de la fruta, su madurez y las condiciones ambientales durante su cultivo, manipulación en la cosecha y almacenamiento (Forney, 2001).

En frambuesa, como en otros cultivos, existen dos alternativas de producción: convencional y orgánica, la primera garantiza un alto rendimiento y calidad, pero requiere un uso extensivo de fertilizantes químicos, que son importantes, pero crean problemas ambientales; por lo tanto, ha habido un resurgimiento del interés

en las prácticas agrícolas que son ecológicas y sostenibles, como la producción orgánica (Esitken *et al.,* 2005).

La agricultura se ha desarrollado rápidamente como una alternativa al sistema convencional, y ha sido impulsada por la demanda para alimentos libres de pesticidas que brinden mayores beneficios para la salud humana (Gomiero, 2017). Aunado a lo anterior, los sistemas de agricultura orgánica han demostrado ser capaces de producir alimentos con altos estándares de calidad (Lairon, 2010) y mayor contenido de fitoquímicos (Frías *et al.,* 2019). Se ha demostrado que el tipo de la fertilización utilizada tiene un impacto en los componentes nutricionales de las frutas, siendo estos mayores en las frutas fertilizadas con fertilizantes orgánicos (Benbrook, 2009).

Sin embargo, hasta la fecha, se ha dado poca o ninguna importancia al impacto de la fertilización sobre la concentración de compuestos volátiles en frutos, específicamente en frutos de frambuesa. En un estudio realizado sobre los efectos de la aplicación de diferentes fertilizantes, orgánicos y convencionales, se investigaron los compuestos volátiles de las manzanas "Golden Delicious" y se descubrió que el tipo de fertilización afectó significativamente el nivel de compuestos relacionados con el sabor, aunque pocas de estas respuestas fueron consistentes durante los dos años de cosecha en los que se realizó el estudio. Incluso cuando los tratamientos resultaron en marcadas diferencias en el nivel de nitrógeno mineral en el suelo, esto se reflejó en un impacto limitado en el sabor relacionado con compuestos en la fruta, siendo el efecto más fuerte un cambio del 45% en el nivel de aldehídos C6 (Raffo *et al.,* 2014).

A pesar de la importancia económica y nutricional de la frambuesa, existe información limitada previamente publicado relacionado con el efecto de los fertilizantes convencionales y orgánicos sobre los compuestos volátiles presentes en esta fruta. Por tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la aplicación de fertilización orgánica y convencional sobre las emisiones de compuestos volátiles en frambuesa cv 'Hertiage', durante dos ciclos agronómicos consecutivos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material biológico

El trabajo se realizó en la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua, campus Cuauhtémoc, ubicado a 28 ° 24´45.1¨ N, 106 ° 52´54.9¨ W ya 2060 metros sobre el nivel del mar. El clima es templado con temperaturas mínimas de -16 ° C en invierno y temperaturas máximas en verano de 38 ° C, con una precipitación anual de 499,3 mm (cuadro 5). El suelo es de textura franco-arcillosa. La plantación de frambuesa se estableció con la variedad "Heritage", productora de otoño, en febrero de 2015 a raíz desnuda.

Cuadro 5. Condiciones climáticas

Meses	*2017*				*2018*			
	Min	*Max*	*Pres*	*Rad. Solar*	*Min*	*Max*	*Pres*	*Rad. Solar*
	(°C)	*(°C)*	*(mm)*	kw/m2	*(°C)*	*(°C)*	*(mm)*	kw/m2
Enero	-0.9	17.0	2.5	0.16	-2.6	16.7	0.0	0.17
Febrero	0.3	19.8	0.4	0.20	2.9	18.2	3.6	0.17
Marzo	4.0	23.1	0.6	0.25	3.5	22.1	1.7	0.24
Abril	6.3	25.6	1.9	0.31	6.8	25.1	0.4	0.31
Mayo	7.7	27.4	4.5	0.35	8.8	28.9	5.9	0.33
Junio	12.5	31.0	11.1	0.32	13.6	30.4	20.5	0.30
Julio	13.6	25.6	288.0	0.23	13.8	27.3	125.9	0.26
Agosto	13.2	24.5	184.8	0.22	12.9	26.8	125.4	0.25
Septiembre	10.3	25.1	38.7	0.23	10.8	24.3	89.5	0.21
Octubre	7.5	24.6	7.0	0.21	7.4	21.1	57.2	0.17
Noviembre	4.5	24.3	0.0	0.16	0.0	18.51	3.90	0.17
Diciembre	2.3	20.3	0.0	0.12	-1.80	15.62	20.3	0.14
Total y promedios	6.78	24.01	44.96	0.24	7.1	23.58	40.9	0.23

Área experimental

El huerto experimental contó con 6 hileras de 20 metros lineales, con unidades experimentales (UE) de 4 m lineales, con una distancia entre hileras de 2 m y 1 m entre cada UE, con una densidad de 30 y 35 cañas por m lineal. La distribución de los tratamientos se realizó al azar, considerando dos tratamientos, uno de manejo

convencional y otro orgánico, asignando las unidades experimentales por manejo agronómico.

Manejo de cultivos

El manejo orgánico consistió en la aplicación de vermicomposta, lixiviación de vermicomposta y fertilizante orgánico comercial. Las propiedades fisicoquímicas del vermicomposta, la lixiviación del vermicomposta y los fertilizantes comerciales (cuadro 6). La composta se aplicó a una tasa de 15 t ha^{-1} durante los dos años de estudio (2017 y 2018). La lixiviación de vermicomposta se aplicó en el orden de una tasa de 24 m3 ha^{-1}. antes de aplicando la lixiviación de vermicomposta se bajó el pH de 8.2 a 7, con vinagre de manzana orgánico. Finalmente, también se aplicó fertilizante orgánico comercial 7,5 t ha^{-1} (cuadro 7). Las aplicaciones de fertilizantes comienzan en mayo en ambos ciclos de cultivo y continuó semanalmente hasta septiembre (16 y 9 aplicaciones, respectivamente).

En cultivos convencionales, se aplicaron fertilizantes comerciales (sintéticos) de nitrógeno, fósforo y potasio (NPK), los cuales se basaron en nitrato de amonio, triple 17 y sulfato de potasio. El nitrógeno inorgánico se aplicó a razón de 150 kg ha^{-1} de mayo a octubre para 2017 y 2018. La dosis de nitrógeno permaneció igual durante los dos años para promover el crecimiento reproductivo. Los fertilizantes inorgánicos de P también fueron agregado a razón de 40 kg ha^{-1} y 190 kg ha^{-1} de K, de acuerdo con la recomendación de Parra et al. (2008) (cuadro 8).

El sistema de riego fue por goteo con un gasto de 2 l h^{-1} por gotero. Con este sistema se regó tres veces por semana, con una duración de cinco horas. El control de malezas se realizó manualmente. Las condiciones climáticas a las que el cultivo de frambuesa estuvo expuesto en los dos años de estudio se muestra en la (cuadro 5).

Cosecha

La cosecha se realizó de forma manual, dos cosechas parciales por semana durante el ciclo productivo 2017, comenzando a mediados de junio. Para 2018, se

comenzó la primera semana de julio. Las frambuesas se cosecharon una vez que pudieron desprenderse del receptáculo y tuvieron un color rojo intenso (grado de maduración 3) (Peña *et al.,* 2006). Los frutos se seleccionaron al azar dentro de la unidad experimental y posteriormente se llevaron al laboratorio para su análisis.

Cuadro 6. Características químicas y físicas del vermicomposta, lixiviación del vermicomposta y fertilizante comercial

Parámetro	Vermicomposta	Lixiviado de vermicomposta	Fertilizante orgánico comercial
Ph	6	8.2	6.7
Materia orgánica (%)	85	40	45
Carbono orgánico total (%)	18.57	-	-
N total (%)	2.24	2.3	3
P total (%)	0.12	0.3	4
K total (%)	0.01	0.37	4
Ca total (%)	1.33	0.01	16
Mg total (%)	1.21	1	1.6

Cuadro 7. Abonos orgánicos aplicados por temporada de producción

Fertilizante orgánico	2017	2018
Vermicomposta	15 t ha^{-1}	15 t ha^{-1}
Lixiviado de lombricomposta	24 m^3 ha^{-1}	24 m^3 ha^{-1}
Fertilizante orgánico comercial	7.5 t ha^{-1}	7.5 t ha^{-1}

Cuadro 8. Fertilizantes químicos aplicados por temporada de producción

Fertilizante convencional	2017	2018
$(NH_4)_2$ HPO_4	315 kg ha^{-1}	284 kg ha^{-1}
K_2SO_4	40 kg ha^{-1}	40 kg ha^{-1}
$[(NH_4)_2$ SO_4	284 kg ha^{-1}	284 kg ha^{-1}

Preparación de la muestra

Quince frutos de frambuesa por tratamiento fueron macerados manualmente, en un mortero de porcelana, hasta una se obtuvo una mezcla homogénea. Se

tomaron 20 ml de jugo y se colocaron en viales de PTFE de 20 ml y se almacenaron a -80 ° C hasta el análisis.

Compuestos volátiles

La concentración de compuestos volátiles se determinó mediante cromatografía de gases acoplada a masa espectrometría, utilizando la técnica de microextracción en fase sólida (SPME). El jugo se descongeló en un termo baño (Felisa), se tomó una alícuota de 2 ml de jugo descongelado, se colocó en viales de 4 ml con 0,65 g de cloruro de sodio y se mantuvo en agitación mientras que la fibra SPME (65 µm, PDMS-DVB, Agilent EE. UU.) se expuso al espacio del cabezal de la muestra, durante 60 min, a temperatura ambiente. La fibra se desorbió en el puerto de inyección durante 5 min a 200 ° C dentro del GC-MS (Agilent), equipado con una columna DB-WAX (60 m × 0,25 mm, 0,25 µm, Agilent EE. UU.). Las condiciones cromatográficas fueron las siguientes: temperatura del inyector de 200 ° C, temperatura inicial del horno de 33 ° C sostenido durante 5 min, aumentando a 50 ° C a 2 ° C min^{-1}, aumentando la temperatura nuevamente a 250 ° C a una velocidad de 5° C min^{-1}, manteniéndolo durante 6,5 min. Se utilizó helio como gas portador con una velocidad lineal de 30 cm s-1. Espectros de masas se obtuvieron por ionización electrónica a 70 eV. Las temperaturas de la línea de transferencia y la trampa de iones fueron 250 y 180 ° C, respectivamente. La identificación de compuestos volátiles se realizó comparando la masa espectros obtenidos de las muestras frente a los informados en la biblioteca NIST MS 2014. Todos los valores representan el promedio de muestreados triplicados. Los resultados se expresaron en concentración relativa como la proporción del área del pico base del compuesto al área total de todos los compuestos.

Procedimientos estadísticos

Se utilizó un análisis completamente aleatorizado, con un arreglo factorial, donde el factor A fue año de evaluación (2017 y 2018) y el factor B los sistemas de fertilización (orgánicos y convencionales). Se tomaron 3 repeticiones de tratamientos de fertilización cada año. Los datos fueron analizados por el análisis de varianza (ANOVA de una vía) y comparación múltiple de medias de Tukey (p

≤0.05) se realizó con el programa estadístico Minitab versión 16 (Statistical Software, EE. UU.).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Compuestos volátiles

Compuestos volátiles identificados en frutos de frambuesa cultivados con manejo convencional y orgánico durante dos años de estudio se muestran en el cuadro 5. Siete alcoholes, cinco norisoprenoides C13, cinco monoterpenos, Se identificaron tres aldehídos, tres cetonas, tres ácidos y dos ésteres. Se observó que las determinaciones de la mayoría de los compuestos volátiles en frambuesas fueron influenciadas por la fertilización y / o variación.

Cuadro 9. Concentraciones relativas de compuestos volátiles en frambuesa (*Rubus idaeus L.*)

TR (min)	Compuesto	2017		2018	
		Manejo Convencional	Manejo Orgánico	Manejo Convencional	Manejo Orgánico
7.81	Ethyl Acetate	2.24 ± 0.13 aA	11.93 ± 5.76 aA	1.64 ± 0.19 aA	5.48 ± 0.10 bB
10.05	Ethanol	1.70 ± 1.07 aA	2.05 ± 0.18 aA	1.16 ± 0.35 aA	4.58 ± 0.82 bB
15.18	α-Pinene	3.28 ± 0.80 aA	4.11 ± 0.31 aA	1.15 ± 0.36 aA	n.d.
17.83	Hexanal	2.49 ± 1.25 aA	0.78 ± 0.24 aA	2.67 ± 0.30 aA	11.99 ± 1.25 bB
20.44	3-Hexenal	2.59 ± 1.31 aA	8.06 ± 2.28 aA	3.54 ± 1.48 aA	7.14 ± 1.75 bB
21.84	α-Phellandrene	2.00 ± 0.71 aA	2.68 ± 0.29 aA	1.34 ± 0.16 aA	n.d.
22.41	2- Heptanone	3.61 ± 1.68 aA	7.22 ± 0.09 aA	1.30 ± 0.91 aA	1.83 ± 0.22 aA
23.27	(E)-2-Hexenal	1.19 ± 0.58 aA	2.60 ± 0.02 aA	0.69 ± 0.02 aA	11.83 ± 0.13 bB
23.55	β-Phellandrene	1.47 ± 0.60 aA	n.d.	0.68 ± 0.02 aA	n.d.
25.73	Acetoin	2.98 ± 0.90 aA	1.90 ± 0.20 aA	n.d.	0.26 ± 0.01
26.4	3 hexenyl acetate	2.74 ± 1.05 aA	1.84 ± 0.26 aA	0.86 ± 0.14 aA	0.30 ± 0.04 bB
27.41	2-Heptanol	6.96 ± 1.69 aA	6.01 ± 0.36 aA	2.41 ± 0.32 aA	2.34 ± 0.13 aA
28.42	1- Hexanol	n.d.	n.d.	1.43 ± 0.12 aA	0.53 ± 0.05 bB
28.73	3- Hexen- 1- ol	2.62 ± 0.64 aA	n.d.	2.60 ± 0.05 aA	1.08 ± 0.22 bB
29.35	3- Hexen- 1- ol, (Z)	n.d.	3.79 ± 0.21 aA	n.d.	n.d.
30.68	Acetic acid	2.55 ± 1.60 aA	n.d.	n.d.	n.d.
31.54	6-Methyl-5-hepten-2- o	4.17 ± 2.45 aA	2.18 ± 1.80 aA	1.69 ± 0.55 aA	0.31 ± 0.05 aA
33.73	Linalool	1.68 ± 0.72 aA	2.09 ± 0.58 aA	0.60 ± 0.07 aA	0.51 ± 0.31 aA
36.62	Acetophenone	1.83 ± 0.13 aA	1.84 ± 0.59 aB	1.18 ± 0.18 aA	0.60 ± 0.06 bB
36.95	β-ionone	24.93 ± 1.34 aA	14.10 ± 0.41 bA	22.66 ± 3.21 aA	15.94 ± 1.01 aA
38.46	Dihydro-α-Ionone	1.53 ± 0.21 aA	0.70 ± 0.40 aA	1.04 ± 0.09 aA	0.51 ± 0.04 bB
39.8	Dihydro-β-ionone	3.09 ± 0.21 aA	n.d.	3.79 ± 0.73 aA	2.22 ± 0.11 aA
40.87	Hexanoic acid	n.d.	7.99 ± 4.27	2.82 ± 0.92 aA	n.d.
40.96	α-Ionone	13.92 ± 3.11 aA	9.08 ± 1.91 aA	25.34 ± 1.36 aA	9.17 ± 0.11 bA
41.3	Propanoic acid	n.d.	n.d.	1.54 ± 0.03 aA	1.52 ± 0.37 aA
41.45	Benzyl alcohol	2.41 ± 0.59 aA	1.58 ± 0.33 aA	1.56 ± 0.25 aA	0.35 ± 0.07 bB
41.92	α-Ionol	2.63 ± 0.53 aA	1.73 ± 0.52 aA	4.25 ± 1.19 aA	1.61 ± 0.04 aA
42.07	(E)-β-ionone	5.38 ± 3.83 aA	5.75 ± 1.76 aA	12.05 ± 4.98 aA	9.89 ± 0.43 aA

Identificación por comparación de espectros de masas, tiempos de retención y espectros de masas de la biblioteca de espectros de masas del NIST y basado en reglas de fragmentación iónica en la masa espectrómetro.
La abundancia del compuesto identificado fue calculada dividido entre las abundancias totales de todos los compuestos ± desviación estándar.
N.d. no detectado.
Las medias dentro del mismo ciclo de cultivo seguidas de diferentes letras minúsculas son significativamente diferentes $p \leq 0.05$ (LS significa prueba).
Las medias dentro de los diferentes ciclos de cultivo seguidas de diferentes letras mayúsculas son significativamente diferentes $p \leq 0.05$ (LS prueba de medios).

Compuestos volátiles por grupo funcional

La figura 1 muestra la abundancia relativa por grupo funcional, siendo los norisoprenoides C13 el grupo más abundante durante los dos ciclos de cultivo y sistemas de fertilización. Estos compuestos son generados por degradación

oxidativa de los carotenoides (Hampel *et al.,* 2007) y se ha informado como el grupo más abundante en otras variedades (Aprea *et al.,* 2010; Morales *et al.,* 2014). A diferencia de otros autores que detectaron cetonas como el grupo más abundante (Kafkas *et al.,* 2019). Este grupo funcional fue afectado significativamente ($p \leq 0.05$) por el sistema de fertilización, presentando mayores porcentajes de abundancia relativa en frambuesa fertilizada convencionalmente, en ambos años de estudio. Como se puede observar en la cuadro 9, los porcentajes en el contenido de macronutrientes fueron mayores en fertilización convencional ($p \leq 0.05$); esto puede haber influido en estas diferencias presentadas por el C-13 norisopreoides relacionados con el sistema de fertilización. Por otro lado, otros grupos como aldehídos y ésteres fueron más abundantes solo en el segundo ciclo (2018) ($p \leq 0.05$), sabiendo que la fertilización fue constante en los dos ciclos de cultivo (cuadros 7 y 8) el cambio en estos dos grupos funcionales, más que al sistema de fertilización, podría atribuirse a la variación estacional, el ciclo 2017 el que tuvo mayores precipitaciones en los meses de Julio y agosto (cuadro 5). Las cetonas fueron influenciadas solo por el ciclo del cultivo que tiene un mayor porcentaje de abundancia en el primer ciclo de cultivo (2017) ($p \leq 0.05$). dos ciclos de cultivo (cuadro 9) el cambio en estos dos grupos funcionales, más que a la fertilización.

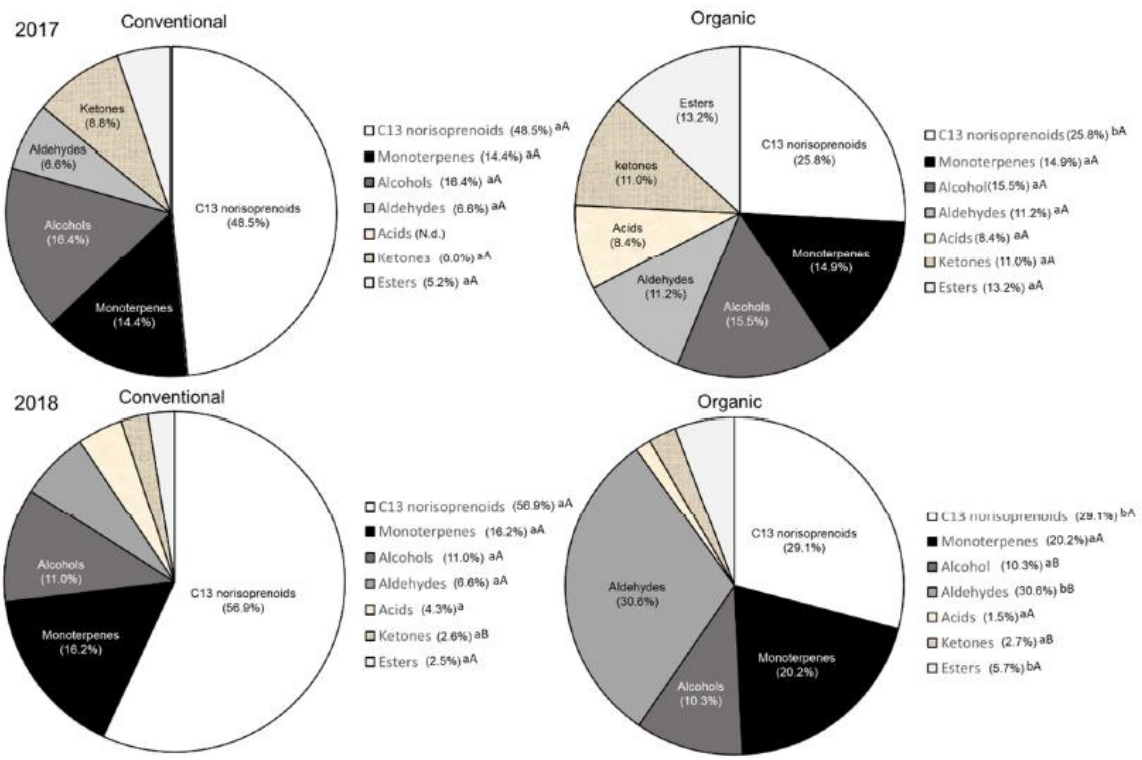

Figura 1. Compuestos volátiles en frutos de frambuesa (Rubus idaeus L.) según clase química. Las medias dentro del mismo ciclo de cultivo seguidas de diferentes letras minúsculas son significativamente diferentes $p \leq 0.05$ (prueba de medias LS).

Compuestos de impacto volátiles

Dentro del grupo norisoprenoide, la α- y la β-ionona se reconocen como compuestos de impacto en las frambuesas (Larsen *et al.,* 1991) ya que la α-ionona produce un olor afrutado, floral y de frambuesa, la β-ionona tiene un aroma aromático olor floral (Jaeger *et al.,* 2013; Aprea *et al.,* 2015). La β-ionona se considera uno de los más relevantes compuestos de aroma de frambuesas rojas (Larsen *et al.,* 1991; Klesk *et al.,* 2004). En este estudio, ambos compuestos se detectaron como los más abundantes (Kafkas *et al.,* 2019) reportando resultados similares con otras variedades de frambuesa (´Tulameen´, ´Kweli´ e ´Imara´). Aunque estos compuestos se vieron afectados significativamente por el sistema

de fertilización, presentando un mayor porcentaje de abundancia en manejo convencional, esta diferencia no fue consistencia por ciclos de cultivo, ya que la β-ionona fue más abundante en el ciclo 2017 y la α-ionona en el ciclo 2018 ($p \leq 0,05$). Otros de los compuestos identificados, el β-felandreno, característico del aroma de frambuesa, fue afectado significativamente por el tipo de fertilización ($p \leq 0.05$). Pertenece al grupo de los terpenos (Aprea *et al.,* 2015) y es responsable de los aromas florales y herbáceos (Boylston, 2010). Mientras tanto, acetoína, perteneciente al grupo de las cetonas, se vio afectado principalmente por el ciclo de cultivo ($p \leq 0.05$). Por otro lado, algunos compuestos que se considera tienen impacto en las frambuesas como el linalol, del grupo de los terpenos, que aporta esencia floral en frutos (El Hadi *et al.,* 2013) y α-ionol (C-13 norisoprenoide) que da aroma dulce a limón y té caliente (Larsen *et al.,* 1991; Robertson *et al.,* 1995), fueron no influenciados significativamente por los sistemas de fertilización o la variación estacional ($p \geq 0.05$) (cuadro 9).

CONCLUSIONES

El efecto del ciclo del cultivo, así como el sistema de fertilización (orgánico y convencional) en frambuesa cv 'Heritage', modificó el perfil cualitativo de compuestos volátiles relacionados con el sabor. La frambuesa cultivada bajo la fertilización convencional mostró una mayor abundancia de compuestos volátiles, especialmente del grupo C-13 norisoprenoide. Mientras que las cetonas tuvieron menos abundancia en el segundo ciclo de cultivo. Es aconsejable realizar estudios que establecen la relación del efecto de los nutrientes absorbidos por las plantas de origen orgánico y fertilizantes convencionales, así como investigar si los cambios que se producen modifican la percepción aromática de estas frutas por los consumidores.

LITERATURA CITADA

Aprea, E., Biasioli, F., Gasperi, F. (2015). Volatile compounds of raspberry fruit: from analytical methods to biological role and sensory impact. *Molecules* 20(2):2445-2474. https://doi.org/10.3390/molecules20022445

Aprea, E., Biasioli F, Carlin, S., Endrizzi, I., Gasperi, F. (2009). Investigation of volatile compounds in two raspberry cultivars by two headspace techniques: solid-phase microextraction/gas chromatography−mass spectrometry (SPME/GC− MS) and proton-transfer reaction-mass spectrometry (PTR-MS). *Journal of agricultural and food chemistry* 57(10):4011-4018. https://doi.org/10.1021/jf803998c

Aprea, E., Carlin, S., Giongo, L., Grisenti, M., Gasperi, F. (2010). Characterization of 14 raspberry cultivars by solid-phase microextraction and relationship with gray mold susceptibility. *Journal of agricultural and food chemistry* 58(2):1100-1105. https://doi.org/10.1021/jf902603f

Boylston, T. (2010). *Temperate fruit juice flavour in: Hui, Y.E. (Ed.), Handbook of Fruit and Vegetable Flavors.* John Wiley & Sons Inc., Hoboken, pp 451-562.

El Hadi, M., Zhang, F., Wu, F., Zhou, C., Tao, J. (2013). Advances in fruit aroma volatile research. *Molecules* 18(7):8200-8229. https://doi.org/10.3390/molecules18078200

Esitken, A., Ercisli, S., Karlidag, H., Sahin, F. (7-9 September 2005). Potential use of plantgrowth promoting rhizobacteria (PGPR) in organic apricot production. In:Proceedings of the International. *In: Proceedings of the International Scientific Conference of Environmentally Friendly Fruit Growing*, (págs. 90-97). Tartu-Estonia.

Forney, C. (2001). Horticultural and other factors affecting aroma volatile composition of small fruit. *HortTechnology* 11(4):529-538. https://doi.org/10.21273/HORTTECH.11.4.529

Frias-Moreno, M., Olivas-Orozco, G., Gonzalez-Aguilar, G., Benitez-Enriquez, Y., Paredes-Alonso, A., Jacobo-Cuellar, J., Parra-Quezada, R. (2019). Yield,

quality and phytochemicals of organic and conventional raspberry cultivated in Chihuahua, México. *NotulaeBotanicae Horto Agrobotanici Cluj-Napoca* 47(2):522-530.
https://doi.org/10.15835/nbha47211385

Gomiero, T. (2017). Food quality assessment in organic vs. conventional agricultural produce: findigs and issues. *Applied Soil Ecology*30 (40):1-15.
https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.10.014

Guzmán-Soria, E., García-Mata, R., Muratalla-Lúa, A., García-Delgado, G., Mora-Flores, J. (2004). Análisis de precios de la frambuesa roja (*Rubus idaeus L.*) producida en el Valle de Bravo, México. [Price analysis of the red raspberry (Rubus idaeus L.) produced in the Valle de Bravo, Mexico] *Revista Agrociencia* 38(5): 565-571.

Hampel, D., Swatski, A., Mosandl, A., Wust, M. (2007). Biosynthesis of monoterpenes and norisoprenoids in raspberry fruits (*Rubus idaeus L*.): the role of cytosolic mevalonate and plastidial methylerythritol phosphate pathway. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(22):9296-9304.
https://doi.org/10.1021/jf071311x

Jaeger, S., McRae, J., Bava, C., Beresford, M., Hunter, D., Ji, Y., Gamble, J (2013). Mendelian train for olfactory sensitivy affects odor experience and food selecction. *Current Biology.*23(16):1601-1605.
https://doi.org/10.1016/j.cub.2013.07.030

Klesk, K., Qian, M., Martin, R. (2004). Aroma extract dilution analysis of cv. Meeker (Rubus idaeus L) red raspberries from Oregon and Washington. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 52: 5155-5161.
https://doi.org/10.1021/jf0498721

Lairon, L. (2010). *A review.Agronomy for sustainable development*, *30*(1):33-41 Nutritional quality and safety of organic food.
http://doi.org/10.1007/978-94-007-0394-07

Larsen, M., Poll, L., Callesen, O., Lewis, M. (1991). Relations between the content of aroma compounds and the sensory evaluation of 10 raspberry varieties (Rubusidaeus L). *Acta Agriculture Scandinavica* 41(4):447-457.
https://doi.org/10.1080/00015129109439927

Morales, M., Callejón, R., Ubeda, C., Guerreiro, A., Gago, C., Miguel, M., Antunes M.(2014). Effect of storage time at low temperautes on the volatile compund

composition of Sevillana and Maravilla raspberries. *Postharvest biology and technology*, 96:128-134.
https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.05.013

Parra-Quezada, R. A, Ramírez-Legarreta, M. R., Jacobo-Cuellar, J. L., Arreola-Ávila, J. G. (2008). Fenología de la frambuesa roja Autumn Bliss en Guerrero, Chihuahua, México [Phenology of the red raspberry Autumn Bliss in Guerrero, Chihuahua, Mexico] *Revista Chapingo Serie Horticultura* 14(1): 91-96.
ISSN 1027-152X

Peña-Varela, G., Salinas-Moreno, Y., Ríos-Sánchez, R. (2006). Contenido de antocianinas totales y actividad antioxidante en frutos de frambuesa (Rubus idaeus L.) con diferente grado de maduración [Total anthocyanin content and antioxidant activity in raspberry fruits (Rubus idaeus L.) with different ripeness]. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 12(2):159-163.
ISSN 1027-154X

Rao, A., Snyder, D. (2010). Raspberries and Human Health: A Review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(7): 3871-3883.
https://doi.org/10.1021/jf903484g

Robertson, G., Griffiths, D., Woodford, J., Birch, A. (1995). Changes in the composition of volatiles released by the flowers and fruits of the red raspberry (Rubus idaeus) cultivar Glen Prosen. *Phytochemistry*, 38(5):1175-1179.
https://doi.org/10.1016/0031-9422(94)00782-O

Servicio de información agroalimentaria y pesquera (2018). Retrieved 2018 December 13 from https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/

CAPÍTULO III: EFECTO DE LA IRRADIACIÓN UV-C ASISTIDO CON TRATAMIENTO TÉRMICO MODERADO SOBRE PARÁMETROS DE CALIDAD Y VIDA DE ANAQUEL EN BEBIDA DE JUGO DE MANZANA (*MALUS DOMESTICA*) CON FRAMBUESA (*RUBUS IDALEUS L.*)

RESUMEN

Se evaluó la efectividad del procesamiento UV-C asistido con térmico moderado durante el almacenamiento en una bebida de manzana al 90% con frambuesa al 10%. Sometido a una dosis de 9.68 mJ/cm^2 UV-C y asistido con térmico moderado a 55 C. Se comparó con tratamiento térmico convencional y se utilizó muestra sin tratamiento como control. El ph disminuyó en todos los tratamientos consistente a la actividad metabólica de microorganismos durante el almacenamiento. La disminución de sólidos solubles durante el almacenamiento en muestras UP, UV-C es el resultado de la actividad microbiana que causa la fermentación del azúcar. El parámetro de color L* aumento y el parámetro a* disminuyó. Así mismo el diferencial de color presentó diferencias entre tratamientos. El contenido fenólico presentó un contenido variable en los tratamientos debido a que los compuestos bioactivos se degradan, oxidan o polimerizan rápidamente durante el procesamiento y almacenamiento. Jugo sin tratamiento presentó una disminución en todos los tratamientos evaluados. El TT mostró un comportamiento constante. Por su parte los tratamientos UV-C y CT presentaron mayor contenido con un incremento en el almacenamiento. En la calidad microbiológica la vida útil de la bebida de manzana con frambuesa es de 1 o 2 semanas. En contraste con las muestras irradiadas que alcanzaron 4 semanas una vida útil por debajo del límite de carga microbiana. En los tratamientos TT y CT no se presentó crecimiento para ninguno de los grupos microbianos estudiados en el lapso evaluado. El TT garantizó la seguridad y vida útil durante el almacenamiento de la bebida, lo cual se ha corroborado en varios estudios Por su parte el efecto combinatorio de tecnologías UV-C asistido con calor suave moderado demuestra la eficacia para inactivación de microorganismos patógenos y de deterioro presentes en jugos. En la calidad sensorial se evaluó el contenido de compuestos volátiles, se identificaron 18 compuestos volátiles en la bebida (aldehídos, alcoholes, ésteres, C13-

norisoprenoides, monoterpenos). Compuestos como α-ionol, α-ionona, β-ionona y Linalool son considerados de impacto en la frambuesa y acetato de 2-metilbutilo y acetato de hexilo en la manzana, estos contribuyen a un sabor agradable y tienen un impacto en el perfil de aroma del de la bebida.

PALABRAS CLAVE: irradiación UV-C, jugo, frambuesa, manzana, Calidad

ABSTRACT

The effectiveness of UV-C and Conventional Thermal and UV-C assisted with moderate thermal in a 90% apple drink with 10% raspberry was evaluated. Subjected to a dose of 9.68 mJ / cm2 UV-C and assisted with moderate heat at 55 C. Conventional heat treatment and raw samples were used as controls. The pH decreased in a general way in all treatments and in the untreated sample, consistent with the metabolic activity of microorganisms during storage. The decrease in soluble solids during storage in UP, UV-C samples is the result of microbial activity that causes sugar fermentation. The color parameter L * increased and the parameter a * decreased. Likewise, the color differential presented differences between treatments. The phenolic content of processed juice UV-C and TT showed an increase, while UP showed a tendency to decrease. For its part, the TC presented a decrease in the first days, by day 20 it had an increase. In microbiological safety The shelf life of apple raspberry drink is 1 or 2 weeks. In contrast to irradiated samples that reached 4 weeks a shelf life below the microbial load limit. In the TT and CT treatments, there was no growth for any of the microbial groups studied in the evaluated period. The TT guaranteed the safety and useful life during the storage of the drink, which has been corroborated in several studies.For its part, the combinatorial effect of UV-C technologies assisted with moderate mild heat demonstrates the effectiveness for the inactivation of pathogenic and spoilage microorganisms. present in juices. 18 volatile compounds were identified in the beverage (aldehydes, alcohols, esters, C13-norisoprenoids, monoterpenes). Compounds such as α-ionol, α-ionone, β-ionone and Linalool are considered impactful in raspberry and 2-methylbutyl acetate and hexyl acetate in apple, the variety of compounds contribute to a pleasant taste and have an impact on the aroma profile of the beverage.

KEY WORDS: UV-C irradiation, juice, raspberry, apple, Quality

INTRODUCCIÓN

La demanda de alimentos y bebidas funcionales con beneficios para la salud va en aumento (Ogundele *et al.,* 2016). Son preferidas por su contenido de compuestos bioactivos, vitaminas y minerales, lo cual contribuye a prevenir enfermedades degenerativas causado por el estrés oxidativo (Padayatty *et al.,* 2003; Ozen *et al.,* 2012).

Las bayas son características por su alto contenido de una amplia variedad de compuestos bioactivos como flavonoides, fenólicos, antocianinas, ácidos fenólicos, estilbenos y taninos, azúcares, aceites esenciales, carotenoides, vitaminas y minerales (Jimenez-Garcia *et al.,* 2013; Nile y Park, 2014; Szajdek y Boroska, 2008). Lo que las hace una valiosa materia prima para el desarrollo de bebidas funcionales (Miller y Shukitt-Hale, 2012; Tsuda, 2012; Visioni *et al.,* 2014).

Entre las bayas, el jugo de frambuesa roja (*Rubus idaeus*) posse gran popularidad por su contenido fenólico con capacidad antioxidante, principalmente antocianinas y elagitaninas (Weber *et al.,* 2011; Suh *et al.,* 2011; Mejia-Meza, 2010; Skrovankova *et al.,* 2015). Las frambuesas son muy apreciadas por su atractivo sabor (Aprea *et al.,* 2015; Yang *et al.,* 2015) y color (Weber y Larsen 2017). Por su parte el jugo de manzana (*Malus domestica*) es uno producto muy popular y ampliamente aceptado por los consumidores debido a sus características sensoriales y nutricionales (Snyder y Ni, 2017; Molva, 2015). Es una fuente de nutrientes, fibras dietéticas y compuestos bioactivos como los polifenoles (Poulsen *et al.,* 2011; Alongi, 2019; Pires, 2018). Es rico en pectina, que evita la separación de fases de los jugos (Oliveira *et al.,* 2019).

La combinación de dos o más de frutas, proporciona un mejor perfil nutracéutico y organoléptico (Oludemi y Akanbi, 2013; Bhardwaj y Pandey, 2011; Jan y Masih, 2012).Varios estudios han demostrado que la mezclas de jugo de manzana con otros frutales permite el desarrollo de bebidas. Mezclas de manzana-arándano rojo (Caminiti *et al.,* 2011), aronia, arándano azul, arándano rojo-manzana (Habanova *et al.,* 2019), mora madreselva azul-manzana (Grobelna *et al.,* 2019),

manzana- zanahoria (Kahraman *et al.,* 2017), manzana-col (Mok *et al.,* 2021), manzana-uva (Aadil, 2020), fresa-manzana-limón (Feng *et al.,* 2020).

En los procesos tradicionales para la elaboración de jugo, el procesamiento térmico es eficaz para inactivar a microorganismos y enzimas, por lo tanto, extiende la vida útil (Putnik *et al.,* 2019). Sin embargo, fitoquímicos como vitaminas, minerales y compuestos bioactivos son sensibles al calor, esta técnica de conservación inevitablemente produce un impacto negativo en los valores nutricionales y sensoriales del jugo (Bhat *et al.,* 2011a; Bhat *et al.,* 2011b; Bornšek *et al.,* 2015; Rodríguez *et al.,* 2016).

Por tanto, las tecnologías no térmicas son una opción para procesar de manera segura con un mínimo en compuestos bioactivos y calidad nutricional este tipo de productos (Babova *et al.,* 2016; Knorr *et al.,* 2011; Kovačević *et al.,* 2016; Leong *et al.,* 2016). La radiación ultravioleta de onda corta (UV-C) sola o en combinación con un tratamiento térmico moderado es una alternativa tecnológica atractiva para la conservación de alimentos (Shah *et al.,* 2016; Hernández-Hernández *et al.,* 2019; Bhattacharjee *et al.,* 2019). La tecnología UV-C posee múltiples ventajas, en comparación con otros métodos no térmicos como: ausencia de tóxicos residuos, bajo consumo de energía y bajos costos de operación (Lopez-Malo y Palou, 2005; Gayán *et al.,* 2014). La radiación UV-C daña los enlaces cruzados entre las bases de pirimidina de las cadenas de ADN en el rango de 250-260 nm, lo que conduce a la muerte celular (Choi y Nielsen, 2005; Sauceda-Gálvez *et al.,* 2020).

La eficiencia del tratamiento UV-C en los jugos depende del coeficiente de absorción y de la transmitancia UV a través del jugo. Características en alimentos líquidos como: la composición, turbidez, viscosidad, los sólidos solubles y el color, juegan un papel importante en establecer la cantidad de luz UV-C que se absorberá (Falguera *et al.,* 2011; Koutchma, 2009; Gopisetty *et al.,* 2018).

Los informes sobre la conservación del jugo de manzana y frambuesa por radiación UV-C de forma individual y en combinación con calor moderado, son escasos, Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue evaluar la efectividad de

procesamiento UV-C asistido con térmico moderado con respecto a parámetros fisicoquímicos y microbiológicos y su evolución en almacenamiento de esta mezcla. Comparándola con procesos térmicos tradicionales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materia prima

Para la elaboración de la bebida, la frambuesa (cv. Heritage) se cosechó durante el año 2018 en el municipio de Cuauhtémoc, Chihuahua, México, en el huerto experimental ubicado en la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, extensión Cuauhtémoc situado a 28°24´45.1¨ N, 106°52´54.9”W y a 2060 msnm. Las frambuesas se limpiaron para eliminar impurezas, se lavaron con agua del potable, se congelaron a -74 C hasta su procesamiento. Para la preparación del jugo, se descongeló la fruta y se procesó a jugo, el jugo se centrifugo a 3500rpm durante 5 min (Termo IEC modelo CL3-R, EE.UU). El jugo obtenido se congeló a una temperatura de -80°C hasta su utilización. El jugo de manzana (cv. Glory /Smothee, cosecha 2018/09/03), fue concedido por la empresa "La Norteñita" de Cuauhtémoc, Chihuahua, México.

Reactivo fenol de Folin-Ciocalteu, ácido gálico, catequina, ácido 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH) ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcroman-2-carboxílico (Trolox) se adquirieron de Sigma-Aldrich (St. Louis MO, EE. UU.). Para los análisis microbiológicos, se utilizaron agares de recuento en placa (PCA, Difco, Detroit, MI, EE. UU.), agar bilis rojo violeta (VRBA, Difco) y agar papa dextrosa (PDA, Difco).

Propiedades ópticas de la bebida

El jugo de manzana y frambuesa se caracterizaron en términos de pH, sólidos solubles totales (TSS) y propiedades ópticas. El pH se midió de acuerdo con el método AOAC 981.12 (AOAC, 1996) usando un potenciómetro digital (Hanna Instruments, modelo EDGE HI2020, RI, EE. UU.). Las propiedades ópticas de la mezcla se obtuvieron utilizando un espectrofotómetro UV-Vis. (Lambda 25, Perkin Elmer, Waltham, MA, EE.UU.). (Koutchma *et al.,* 2004). El coefciente de

absorción (α) a 254 nm y calculado a partir de la ecuación de la ley de Lambert-Beer. Se usaron cubetas de cuarzo fundido desmontables (FireflySci, Inc., NY, EE. UU.) Con longitudes de trayectoria de 0,1, 0,2, 0,5 y 1,0 mm. El coeficiente de absorción (base logarítmica 10), se expresa en cm-1 y se determinó utilizando la pendiente de la ecuación lineal y longitudes de recorrido de las cubetas. Usando el recíproco del coeficiente de absorción (1/α), la penetración La profundidad (λ) se obtuvo en cm. La turbidez se midió utilizando un instrumento micro-turbidímetro 100 (Micro 100 Hf, Scientific, Inc., Fort Myers, FL, EE. UU.). Los resultados se expresaron como turbidez nefelométrica Unidades (NTU). Los sólidos solubles se midieron usando un refractómetro (Abbe, American Optical Corporation, Nueva York, EE. UU.). Todas las mediciones se realizaron por triplicado y los resultados se informan como media ± desviación estándar (DE). El color se midió utilizando un colorímetro Konica Minolta CR-400/410 (Minolta Co., Osaka, Japón); el cual calibró con una placa de cerámica blanca. Los parámetros *L** (luminosidad), *a** (verde - rojo) y *b** (azul - amarillo). Los valores a* y b* se utilizaron para calcular el diferencial de color durante el almacenamiento utilizando la ecuación (1):

$$\Delta E = [(L^* - L_o)^2 + (a^* - a_o)^2 + (b^* - b_o)^2]^{1/2} \qquad (1)$$

Dónde; L_o, a_o y b_o son valores de color del jugo sin tratar (control muestra). Los resultados informados (L*, a* y b*) son los valores medios de seis determinaciones (n = 6) ± desviación estándar.

Procesamiento

La bebida de manzana-frambuesa se sometió a 37.85 L por hora, con un tiempo de residencia de 9.94 s, a una dosis de 9.68 mJ/cm^2 en una unidad UV comercial CiderSure 3500 de flujo continuo (FPE Inc., Macedonia, NY, EE. UU.). Todos los tratamientos se realizaron por duplicado a temperatura ambiente (20 C). La unidad se desinfectó con 200 ppm de solución de hipoclorito y se enjuagó con agua antes y después de cada tratamiento. Se irradió la bebida de manzana-frambuesa a 254 nm con ocho Lámparas de mercurio. La irradiancia se controló cada 50 ms mediante dos sensores UVX-25 (UVP, Inc., Upland, CA, EE. UU.). La

irradiancia real se obtuvo considerando la media de la irradiancia obtenida para cada sensor. Los tiempos de exposición se obtuvieron a partir del caudal de cada tratamiento. La dosis de UV-C fue calculado usando la ecuación (2) (Quintero-Ramos, *et al.,* 2004).

$$\text{UV dose (mJ/cm}^2\text{)} = \text{irradiacia} * \text{tiempo de exposición} \quad (2)$$

Dónde; irradiancia ($\mu W/cm^{-2}$) y tiempo de exposición (s)

El tratamiento térmico (TT) como control y se realizó por duplicado utilizando un pasteurizador tubular continuo (unidad UHT / HTST, Micro Thermics, Raleigh, NC, EE. UU.), cuyo tratamiento fue de 85 °C durante 6 segundos. Mientras que el tratamiento UV-C asistido con tratamiento térmico moderado (CT) establecido una dosis 9.68 mJ/cm^2 y una temperatura de55 °C por 30 segundos. Las muestras de todos los tratamientos fueron almacenadas en refrigeración a 4 °C. Los análisis mencionados a continuación se realizaron a los 0,5,10,15 y 20 días.

Métodos analíticos

Contenido total de polifenoles (TPC), actividad antioxidante total (TAA), flavonoides totales (TF), antocianinas (TA) se cuantificaron en muestras de mezcla de manzana-frambuesa mediante espectrofotometría métodos. Se utilizó un espectrofotómetro UV-Vis (Perkin Elmer Lambda 25, Waltham, MA, EE. UU.). TPC se determinó con el método de Folin-Ciocalteu (Singleton *et al.,* 1999). Se mezclaron 30 µL de muestra, 3 mL de agua desionizada y 200 µL de Folin Ciocalteu´s reactivo de fenol, después de 10 minutos a temperatura ambiente, se añadieron 600 µl de Na2CO3 al 20% y se mezcló. Se incubó en baño a 40 °C durante 20 min y luego se enfrió. Posteriormente, las muestras se leyeron a una absorbancia de 760 nm por triplicado utilizando ácido gálico como estándar. Los resultados se expresaron en miligramos de galoequivalentes de ácido por gramo de masa seca de mezcla (mg GAE / 100 g dm). TF se determinó con el método de (Julián-Loaeza *et al.,* 2011) 100 µL de muestra se mezcló con 2 mL de agua desionizada, 150 µL de NaNO2 (5% P/V) y se agitó en un vórtex durante 5 minutos. Luego, se añadieron 150 µL de AlCl3 (10% P/V), se agitó en un vórtex

durante 1 minuto y se añadió 1 mL de NaOH 1 M para agitar nuevamente durante 1 minuto. Las mediciones se realizaron a 510 nm y se compararon con una curva estándar de catequina, y el contenido de flavonoides se expresó como g de equivalentes de catequina por 100 g de base seca de la mezcla (g CE/100 g dm). TAA se determinó según el método de los radicales libres utilizando 2,2 difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH) (Brand-Williams *et al.,* 1995) La mezcla (100 µL y 3,9 ml de la solución de DPPH 100 M) se mezclaron y se dejaron reposar en la oscuridad durante 3 h. Luego se midió la absorbancia a 517 nm. Se obtuvo la curva de calibración utilizando Trolox como estándar y metanol como blanco. Las mediciones se realizaron por triplicado y los resultados se expresaron como equivalentes molares de Trolox por gramo de masa seca de mezcla (µmol TE / g dm). Todos los parámetros se midieron por triplicado y se informaron los valores medios con desviación estándar

Análisis microbiológico

Los análisis microbiológicos de todos los tratamientos se llevaron a cabo utilizando el método de placa de dilución-vertido en serie (APHA, 1992). Las muestras de jugo se recogieron asépticamente antes y después de los tratamientos con UV-C, TT y CT se analizaron inmediatamente. Alícuotas (1 mL) de diluciones apropiadas del inóculo se vertieron en placas de diferentes medios. Para microorganismos mesófilos aerobios totales (TAM), las muestras se vertieron en placas sobre PDA y se incubaron a 37 °C durante 24 h y a 4 °C durante 11 días para psicrófilos aerobios totales (TAP). Para coliformes totales (TC), se usó VRBA y las placas se incubaron a 37 °C durante 18 a 24 h. Para hongos y levaduras (YM) se sembraron en placa sobre PDA y se incubaron durante 5 días a 30 °C. Todos los análisis microbiológicos se realizaron por triplicado. Después de la incubación, se contaron las unidades formadoras de colonias (UFC) de placas con un rango en el conteo de colonias entre 25 y 250. El promedio de triplicado se expresó como log (base 10) UFC mL^{-1} ± desviación estándar. El límite de detección (DL) del análisis fue de 5 UFC mL^{-1}.

Compuestos volátiles

La concentración de compuestos volátiles en bebida de manzana-frambuesa de los tratamientos UP, UV-C, TT y CT se determinó por cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas, utilizando la técnica de microextracción en fase sólida (SPME). Se tomó una alícuota de 2 mL de jugo descongelado en un termobaño (Felisa), ésta fue colocada en viales de 4 mL con 0.65 g de cloruro de sodio y agitada mientras la fibra SPME (65 µm, PDMS-DVB, Agilent USA)fue expuesta al espacio de cabeza de la muestra, por 60 min, a temperatura ambiente. La fibra fue desabsorbida en el puerto de inyección por 5 min a 200 °C dentro del sistema de GC-MS (Agilent), equipado con una columnaDB-WAX (60m × 0.25mm, 0,25 µm, Agilent USA). Las condiciones cromatográficas fueron las siguientes: temperatura del inyector de 200 °C, temperatura inicial del horno de 33 °C sostenida durante 5 min, incrementando a 50 °C a razón de 2 °C/min, incrementando nuevamente la temperatura a 250 °C a razón de 5 °C/min, sosteniéndola durante 6.5 min. Se utilizó helio como gas acarreador con una velocidad lineal de 30 cm/s. Los espectros de masas se obtuvieron mediante ionización electrónica a 70 eV. Las temperaturas de la línea de transferencia y de la trampa de iones fueron 250 y 180 °C, respectivamente. La identificación de los compuestos volátiles se realizó por comparación de los espectros de masas obtenidos de las muestras contra los reportados en la biblioteca NIST MS 2014. Las concentraciones son expresadas en concentración relativa como la relación del área del pico base del compuesto al área total de todos los compuestos. Las muestras UP, UV-C, TT y CT se evaluaron en el día 0 del procesamiento.

Diseño experimental y análisis estadístico

Se utilizó un diseño factorial completamente aleatorizado para para determinar la influencia del tratamiento con un arreglo de parcelas dividías en el tiempo (0,5,10,15 y 20 días). Se realizó un análisis de varianza (ANOVA de una vía) y comparación múltiple de medias de Tukey ($p \leq 0.05$) se realizó con el programa estadístico Minitab versión 16 (Statistical Software, EE. UU.).

RESULTADOS

Propiedades ópticas de la bebida de manzana (*Malus domestica)* con frambuesa (*Rubus idaeus L.)*

La bebida de manzana-frambuesa tenía un pH de 3.57±0.05 y 11.08±0.024 °Brix de sólidos solubles. Las propiedades ópticas presentaban un coeficiente de absorción de 19.07 cm^{-1}, una profundidad de penetración de 0.053 cm y una turbidez de 39.93±0.38 NTU. El coeficiente de absorción corresponde a lo reportado para jugos de frutas (Koutchma *et al.,* 2007). Con respecto a las características de color, los parámetros L*, a* y b* fueron, 33.50±0.20, 7.15±0.02 y 5.06±0.76, respectivamente.

El pH es uno de las características de calidad importantes que describen la estabilidad de compuestos bioactivos en zumos de frutas (Sanchez-Moreno *et al.,* 2006). El efecto del procesamiento sobre el pH de la bebida de jugo de manzana con frambuesa durante el almacenamiento se muestra en la cuadro 1. En dónde se puede observar de manera general un descenso en este parámetro en todos los tipos de procesamiento evaluados (TT, CT y UV-C) a partir del día 5. El cambio de pH en muestras de jugo sin tratar (UP) fue más pronunciado en comparación con las muestras (UV-C, TT, CT). La disminución del pH puede ser atribuida al aumento de la acidez derivado de la actividad metabólica de microorganismos durante el almacenamiento (Unluturk *et al.,* 2015; Feng, 2013). La disminución en el total de sólidos solubles durante el almacenamiento en muestras UP, UV-C es el resultado de la actividad microbiana que causa la fermentación del azúcar (Chia *et al.,* 2012; Rosen y Gothard, 2010; Rivas *et al.,* 2006).

Cuadro 10. Efecto del procesamiento sobre las propiedades fisicoquimicas en bebida de jugo de manzana *(Malus domestica)* con frambuesa *(Rubus idaleus L)* en el almacenamiento.

Parámetro	Tratamiento	Almacenamiento (días)				
		0	5	10	15	20
Ph	TT	3.62 ± 0.01 a	3.57 ± 0.01 a	3.56 ± 0.01 a	3.56 ± 0.01 a	3.56 ± 0.01 a
	CT	3.60 ± 0.01 a	3.51 ± 0.01 b	3.50 ± 0.01 b	3.49 ± 0.01 b	3.49 ± 0.01 b
	UV-C	3.60 ± 0.01 a	3.54 ± 0.01 ab	3.49 ± 0.01 bc	3.49 ± 0.01 b	3.43 ± 0.01 c
	UP	3.57 ± 0.05 a	3.54 ± 0.01 ab	3.46 ± 0.01 c	3.43 ± 0.01 c	3.42 ± 0.01 c
SS	TT	11.15 ± 0.02 ab	11.15 ± 0.02 ab	10.93 ± 0.01 b	10.92 ± 0.02 a	10.25 ± 0.02 a
	CT	11.08 ± 0.02 b	11.08 ± 0.02 b	11.08 ± 0.02 ab	10.70 ± 0.33 a	9.73 ± 1.13 a
	UV-C	11.13 ± 0.05 a	11.27 ± 0.05 a	11.13 ± 0.01 a	10.95 ± 0.02 a	10.35 ± 0.12 a
	UP	11.08 ± 0.02 b	11.08 ± 0.02 b	10.18 ± 0.01 c	9.08 ± 0.02 b	9.08 ± 0.02 b

Parámetros fisicoquímicos pH, sólidos solubles

[UP] Sin proceso; [TT] Tratamiento térmico; [CT] Tratamiento combinado (UV-C+ MT); [UV-C] Tratamiento UV-C

[abc] Valores seguidos por la misma letra son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$)

El color es uno de los atributos más importantes en alimentos y bebidas. Es lo primero que los consumidores pueden observar, favorece en la elección de productos (Nachay, 2009). El comportamiento de la luminosidad en el almacenamiento, se observó un incremento en el valor L* en las todas las muestras procesadas, el jugo es más brillante y transparente debido al deterioro de compuestos de color contenidos inicialmente en el jugo. Comportamiento similar se observó en jugo de mango tras la exposición a UV-C y la pasteurización térmica (Santhirasegaram *et al.,* 2015). El efecto de procesamiento sobre el parámetro a* que corresponde a las tonalidades rojas (valor +a*) durante el almacenamiento se observaron descensos en todas las muestras procesadas. En muestras UP el descenso puede ser atribuido a la actividad enzimática y crecimiento de microorganismos que pueden causar una rápida oxidación de las antocianinas (Buckow et al, 2010; Sarkis, 2013).

En muestras UV-C los cambios se reportan que se deben a las reacciones de fotodegradación de acuerdo al tiempo de exposicion, generando cambios de color y pérdida de nutrientes (Caminiti *et al.,* 2011; Zhang *et al.,* 2011). Los tratamientos TT y CT mantuvieron un comportamiento fue constante. El efecto de procesamiento sobre el parámetro b* que corresponde a las tonalidades azules-amarillas durante el almacenamiento se observaron incrementos en todas las

muestras procesadas. Este parámetro se puede relacionar con la pérdida de color al inclinarse a valores positivos (valor + b*) debido a la reacción de los azucares reductores con los aminoácidos, actividad enzimática. El cambio de color fue evidente después del almacenamiento y las bebidas volvieron más claras, menos rojas y cambiando a tonalidades naranjas-amarillas. Este comportamiento se observó en jugo de manzana-arandano donde las mezclas eran menos rojas y azules con niveles crecientes de jugo de arándano El color azul se vio especialmente afectado como lo indica el aumento del valor b*. (Main, 2001).

Las diferencias en los parámetros de color (ΔE) pueden clasificarse de acuerdo a la tabla 11 Relaciones entre el valor de ΔE^*_{ab} y evaluación sensorial, las muestras UP fueron las que presentaron mayor diferencia "perceptible a apreciable" al pasar los días de almacenamiento. Las muestras UV-C presentaron cambios de color "levemente perceptibles" concuerda con jugos de sandía (Feng et al., 2013). Por su parte TT presentaron diferencia "percptible" mismo comportamiento en jugo de mango. (Santhirasegaram, 2015). Por su parte CT diferencia "percptible".

Cuadro 11. Efecto del procesamiento sobre el color de bebida de jugo de manzana *(Malus domestica)* con frambuesa *(Rubus idaleus L)* en el almacenamiento.

Parámetro	Tratamiento	Almacenamiento (días)				
		0	5	10	15	20
L*	UP	33.27 ± 0.05 a	33.07 ± 0.22 a	33.25 ± 0.46 a	33.41 ± 0.36 a	34.46 ± 0.16 a
	UV-C	32.44 ± 0.17 b	32.40 ± 0.19 a	32.34 ± 0.05 a	32.51 ± 0.17 a	33.43 ± 1.01 a
	TT	32.30 ± 0.12 b	32.32 ± 0.37 a	32.71 ± 0.28 a	32.91 ± 0.11 a	32.96 ± 0.16 a
	CT	32.24 ± 0.10 b	32.28 ± 0.19 a	32.29 ± 0.33 a	32.72 ± 0.51 a	32.98 ± 0.06 a
a*	UP	7.39 ± 0.01 a	7.40 ± 0.07 a	7.57 ± 0.02 a	6.75 ± 0.74 a	6.43 ± 0.27 a
	UV-C	7.58 ± 0.16 a	7.60 ± 0.05 a	7.55 ± 0.14 a	6.85 ± 0.27 a	6.54 ± 0.42 a
	TT	6.39 ± 0.06 b	6.39 ± 0.10 b	6.24 ± 0.19 b	6.22 ± 0.39 a	6.28 ± 0.02 a
	CT	6.58 ± 0.03 b	6.58 ± 0.10 b	6.51 ± 0.21 b	6.51 ± 0.02 a	6.53 ± 0.55 a
b*	UP	4.43 ± 0.00 a	4.43 ± 0.09 a	5.54 ± 0.02 a	5.55 ± 0.01 a	5.57 ± 0.01 a
	UV-C	4.51 ± 0.19 a	4.51 ± 0.05 a	4.66 ± 0.08 b	4.75 ± 0.561 b	4.81 ± 0.18 b
	TT	4.37 ± 0.01 a	4.37 ± 0.16 a	4.72 ± 0.04 b	4.87 ± 0.07 b	5.43 ± 0.01 a
	CT	4.69 ± 0.08 a	4.69 ± 0.09 a	4.74 ± 0.06 b	5.19 ± 0.04 b	5.25 ± 0.01 a
ΔE	UP	0 ± 0.00 c	0.38 ± 0.21 b	1.36 ± 0.02 a	1.68 ± 0.35 a	2.17 ± 0.07 a
	UV-C	0.85 ± 0.14 b	1.03 ± 0.20 ab	1.04 ± 0.01 a	1.27 ± 0.30 a	1.43 ± 0.51 a
	TT	1.54 ± 0.03 a	1.57 ± 0.32 a	1.59 ± 0.08 a	1.59 ± 0.35 a	1.84 ± 0.03 a
	CT	1.33 ± 0.09 a	1.41 ± 0.16 a	1.58 ± 0.37 a	1.61 ± 0.21 a	1.62 ± 0.39 a

Parámetros fisicoquímicos color escala Hunter L*, a* y b* y ΔE diferencial de color

[UP] Sin proceso; [TT] Tratamiento térmico; [CT] Tratamiento combinado (UV-C+ MT); [UV-C] Tratamiento UV-C

[abc] Valores seguidos por la misma letra son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$)

Cuadro 12. Relación entre el valor de ΔE^*_{ab} y evaluación sensorial

ΔE^*_{ab}	Grado sensorial
0-0.5	Poco
0.5-1.5	Leve
1.5-3.0	Perceptible
3.0-6.0	Apreciable
6.0-12.0	Mucho
> 12.0	Bastante

Métodos analíticos

Los compuestos fenólicos contribuyen a diversas bioactividades promotoras de la salud como antioxidante, anticancerígeno, antimutagénico, antimicrobiano, antiinflamatorio y neuroprotector (Burleigh *et al.,* 2013; Giampieri *et al.,* 2015; Jennings *et al.,* 2014; Johnson y Arjmandi, 2013; Nile y Park, 2014; Torronen et al., 2013). Así mismo favorecen a los atributos de sabor y color de las frutas y verduras (Kaur y Kappor, 2001). Se degradan, oxidan o polimerizan rápidamente durante el procesamiento y almacenamiento. Por lo tanto, el contenido fenólico total es un indicador de la calidad del jugo de frutas (Ghafoor y Choi, 2012). El efecto del procesamiento sobre la actividad antioxidante, polifenoles totales, flavonoides totales en el almacenamiento se muestra en el cuadro 12.

El efecto de la actividad antioxidante en bebidas procesadas UV-C, TT y CT mostró un incremento, el procesamiento UV-C se mantuvo por encima, las muestras sin procesar presentaron una tendencia a disminuir. Esta tendencia con un incremento en el almacenamiento se observó en muestras de piña procesadas con UV-C a una dosis 53.42 mJ/cm^2 durante 13 semanas de almacenamiento a 4 ^{o} C, conservaron una mayor cantidad de compuestos fenólicos con actividad antioxidante (Chia et al., 2012). El efecto del procesamiento en el contenido de polifenoles presentó similar comportamiento que actividad antioxidante. En muestras procesadas termicamente e irradiadas por UV el contenido de fenolicos se mantuvo estable en muestras de piña (Chia et al., 2012). El contenido de

flavonoides presenta un incremento en muestras UV-C que puede estar explicado en comportamiento de pH factor que influye en la estabilidad de los flavonoides (Srivastava y Gupta,2009), mientras que muestra UP presentaron una tendencia a disminuir. Mientras muestras procesadas por TT y CT tienden a mantener un contenido constante.

Cuadro 13. Efecto del procesamiento sobre el contenido de compuestos bioactivos bebida de jugo de manzana *(Malus domestica)* con frambuesa *(Rubus idaleus L)* en el almacenamiento

Parámetro	Tratamiento	Almacenamiento (días)				
		0	5	10	15	20
TAA (µmol eq Trolox g b.s.)	UP	69.13 ± 0.26 a	63.08 ± 0.10 a	58.22 ± 0.82 a	59.821 ± 1.12 a	55.6508 ± 0.56 a
	UV-C	48.81 ± 0.99 c	49.03 ± 0.99 b	52.13 ± 0.68 b	53.38 ± 0.89 a	53.79 ± 1.25 a
	TT	48.72 ± 0.81 c	51.71 ± 1.05 b	51.07 ± 0.62 b	53.42 ± 0.43 a	52.97 ± 0.12 a
	CT	54.12 ± 0.28 b	52.17 ± 0.79 b	50.86 ± 0.70 b	51.15 ± 0.37 a	52.31 ± 1.91 a
TP (mg eq EAG g b.s.)	UP	26.60 ± 0.96 a	27.88 ± 0.04 a	22.35 ± 0.04 b	24.33 ± 0.38 b	22.64 ± 0.58 a
	UV-C	22.35 ± 1.39 b	16.43 ± 0.08 b	17.07 ± 0.10 d	14.80 ± 0.01 d	18.01 ± 0.86 a
	TT	18.53 ± 0.12 c	17.57 ± 0.07 b	18.88 ± 0.55 c	17.33 ± 0.14 c	18.61 ± 0.08 b
	CT	26.73 ± 0.07 a	28.05 ± 0.71 a	26.07 ± 0.01 a	26.63 ± 0.41 a	24.22 ± 1.61 b
TF (g eq CAT g b.s.)	UP	167.23 ± 7.54 a	130.68 ± 4.98 a	128.27 ± 6.97 a	128.27 ± 3.68 a	98.39 ± 3.78 c
	UV-C	162.18 ± 0.02 a	115.37 ± 5.03 a	126.94 ± 9.85 a	126.94 ± 0.78 a	176.74 ± 0.03 a
	TT	137.52 ± 14.81 ab	122.64 ± 0.02 a	112.01 ± 1.24 a	112.01 ± 22.20 a	129.98 ± 2.17 b
	CT	125.65 ± 3.03 b	115.12 ± 5.03 a	92.04 ± 0.83 a	92.04 ± 1.87 a	108.39 ± 2.82 c

Parámetros químicos, Total Actividad antioxidante (TAA), Total de polifenoles (TP), Total de flavonoides (TF)
[UP] Sin proceso; [TT] Tratamiento térmico; [CT] Tratamiento combinado (UV-C+ MT); [UV-C] Tratamiento UV-C
[abc] Valores seguidos por la misma letra son significativamente diferentes $p \leq 0.05$

Análisis microbiológico

El efecto del procesamiento UV-C, CT y TT sobre la calidad microbiológica en bebida de manzana con frambuesa en almacenamiento (0,5,10,15 y 20 días) se muestra en la tabla 14. Las poblaciones de muestras sin tratar UP presentaron un rango de crecimiento 1.11-6.75, 2.89-6.95, 1.08-6.83 Log CFU 100 mL^{-1}, para TAM, TAP, Y y M respectivamente durante el periodo evaluado, no mostrando crecimiento de TC en ese lapso. La vida útil de la bebida de manzana con frambuesa es de 1 o 2 semanas. En contraste con las muestras irradiadas que alcanzaron 4 semanas una vida útil por debajo del límite de carga microbiana (6 log ufc / ml). Limite microbiano aceptable en jugos de frutas (Patrignani *et al.,* 2009). El tratamiento UV-C presentó crecimiento TAM, TAP, Y y M, puede ser atribuida a una carga alta inicial. Esto puede ser debido a la forma de obtención de los jugos, donde el jugo de frambuesa fue expuesto a mayor manipulación,

mientras el jugo de manzana fue obtenido de manera industrial. El recuento de TAM, TAP, Y y M aumentó lentamente a lo largo del tiempo de almacenamiento en refrigeración (5 ±1 °C), esto concuerda con lo reportado, para jugo de piña (Chia *et al.,* 2012),jugo de sandia (Feng *et al.,* 2013). Donde se observa que a mayor dosis de UV-C menor incremento de microorganismos en el almacenamiento comparado con la muestra sin tratamiento. La supervivencia de Y y M durante el almacenamiento es debido a su morfología y composición estructural. La resistencia de los microorganismos a los tratamientos UV-C está determinada en gran medida por su capacidad para reparar el daño del ADN causado por los rayos UV (López-Malo y Palou,2005). Por lo que se requiere dosis muy altas para su inactivación total.

La presencia de mohos causan el deterioro del jugo, afectan el sabor y da como resultado la producción de estructuras filamentosas y enzimas como amilasas, proteasas y pectinasas (Swanson, 1989). La supervivencia de este grupo microbiano es una limitación de la tecnología UV-C. Sin embargo, mediante el empleo del uso combinado de tecnologías, la irradiación UV-C asistida con calor suave (50°C) ha demostrado su eficiencia igual que la pasteurización térmica convencional. Estudios han evaluado el efecto sinérgico de los dos métodos de procesamiento para controlar la inactivación microbiana requerida para un producto estable con menor dosis UV y tiempos de tratamiento que los necesarios para tratamientos UV o calor solo en jugo de zanahoria y naranja adicionada con Yerba Mate (*Ilex paraguariensis*)(Ferrario *et al.,* 2018), jugo de manzana (Gouma *et al.,* 2015), jugo de verjus (Kaya y Unluturk, 2019).

En los tratamientos TT y CT no se presentó crecimiento para ninguno de los grupos microbianos estudiados (TAM, TAP, Y y M y TC) en el lapso evaluado. El TT garantizó la seguridad y vida útil durante el almacenamiento de la bebida, lo cual se ha corroborado en varios estudios (Elmnasser *et al.,* 2008). Por su parte el efecto combinatorio de tecnologías UV-C asistido con calor suave demuestra la eficacia para inactivación de microorganismos patógenos y de deterioro presentes en jugos. Concuerda con la inactivación de *Escherichia coli, Saccharomyces cerevisiae y Pseudomonas fluorescens* en jugo de naranja-zanahoria (Carrillo *et al.,* 2017).

Cuadro 14. Efecto del procesamiento sobre parámetros microbiológicos en bebida de jugo de manzana *(Malus domestica)* con frambuesa *(Rubus idaleus L)* en el almacenamiento

Días	Tratamiento	TAM[1]		TAP[2]		YM[3]		TC[4]
		Log CFU 100 mL^{-1}						
0	UP	1.12 ± 0.16	a	2.85 ± 0.21	a	1.00 ± 0.17	a	n.d.
	UV-C	n.d.	b	n.d.	b	n.d.	b	n.d.
	TT	n.d.	b	n.d.	b	n.d.	b	n.d.
	CT	n.d.	b	n.d.	b	n.d.	b	n.d.
5	UP	4.24 ± 0.14	a	4.91 ± 0.09	a	4.95 ± 0.01	a	n.d.
	UV-C	3.19 ± 0.02	b	3.63 ± 0.04	b	3.33 ± 0.01	b	n.d.
	TT	n.d.	c	n.d.	c	n.d.	c	n.d.
	CT	n.d.	c	n.d.	c	n.d.	c	n.d.
10	UP	5.11 ± 0.03	a	5.23 ± 0.01	a	5.27 ± 0.10	a	n.d.
	UV-C	3.21 ± 0.02	b	4.77 ± 0.01	b	3.87 ± 0.04	b	n.d.
	TT	n.d.	c	n.d.	c	n.d.	c	n.d.
	CT	n.d.	c	n.d.	c	n.d.	c	n.d.
15	UP	5.76 ± 0.03	a	6.44 ± 0.06	a	6.34 ± 0.11	a	n.d.
	UV-C	4.93 ± 0.03	b	4.88 ± 0.01	b	5.09 ± 0.07	b	n.d.
	TT	n.d.	c	n.d.	c	n.d.	c	n.d.
	CT	n.d.	c	n.d.	c	n.d.	c	n.d.
20	UP	6.00 ± 0.06	a	6.51 ± 0.05	a	7.10 ± 0.02	a	n.d.
	UV-C	5.02 ± 0.03	b	4.98 ± 0.06	b	5.18 ± 0.04	b	n.d.
	TT	n.d.	c	n.d.	c	n.d.	c	n.d.
	CT	n.d.	c	n.d.	c	n.d.	c	n.d.

[ND] No detectado; [1] Mesófilos aerobios totales; [2] Psicrófilos aerobios totales; [3] Hongos y Levaduras;
[UP] Sin proceso; [TT] Tratamiento térmico; [CT] Tratamiento combinado (UV-C+ MT); [UV-C] Tratamiento UV-C

Compuestos volátiles

El sabor está integrado por una combinación de gustos dulce y ácido; olor y aroma, estos últimos son determinados por la presencia de compuestos volátiles (Kays y Paul, 2004). Los olores de mezclas complejas son prácticamente imposibles describir, a menos que uno de los olores sea tan característico que prácticamente domina el olor o sabor de la composición (Ortega-Rivas y Salmerón-Ochoa, 2014).

Los compuestos volátiles identificados en jugo sin tratamiento (UP) y las muestras procesadas por UV-C, TT y CT se muestran en la tabla, fueron identificados 18 compuestos volátiles, según su naturaleza química, (aldehídos, alcoholes, ésteres, C13-norisoprenoides, monoterpenos). Como se observa en la figura 2. En el jugo se identificaron 4 compuestos α-ionol, α-ionona, β-ionona y Linalool considerados de impacto en la frambuesa (Paterson *et al.,* 2013). Tres C13-norisoprenoides α-ionol, α-ionona y, β-ionona son considerados compuestos típicos en frambuesas maduras. β-ionona es considerado uno de los componentes más relevantes en el aroma de la frambuesa roja (Morales, 2014).

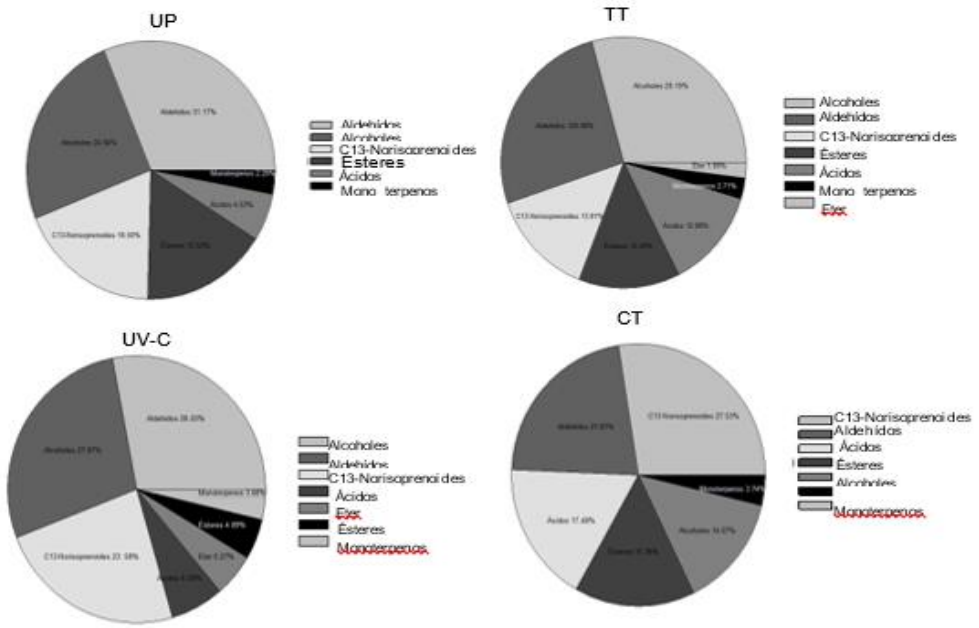

Figura 2. Compuestos volátiles en jugo de manzana y frambuesa según clase química.

[UP] Sin proceso; [TT] Tratamiento térmico; [CT] Tratamiento combinado (UV-C+ MT); [UV-C] Tratamiento UV-C

La α-ionona fue un importante compuesto aromático en frambuesa con descriptores de aroma a rosa, floral, dulce y olor a perfume, mientras que la β-ionona tiene un aroma floral, sabor a frambuesa (Klesk *et al.,* 2004). Por su parte compuestos derivados de los terpenos como α-terpineol se encuentran como aroma libre en jugo de frambuesa, estos contribuyen a un sabor agradable a

frutas o jugos y tienen un impacto en el perfil de aroma del jugo (Xu *et al.,* 2014). Compuestos monoterpenos como el Linalool es un aroma clave en la frambuesa (Aprea *et al.,* 2009; Larsen y Poll, 1990). Aldehídos y ésteres se han identificado como los principales volátiles en la manzana (Lopéz *et al.,* 1998). En el cuadro 15 se observan los compuestos identificados en la bebida.

Cuadro 15. Efecto del procesamiento UV-C y combinado (irradiación UV-C y tratamiento térmico moderado) sobre compuestos volátiles en bebida de jugo de manzana (*Malus domestica)* con frambuesa (*Rubus idaeus L.)*

Grupo Funcional	Compuesto Volátiles	Iones de diagnóstico (m = z)	Tiempo Retención (min)	UP	TT	UV-C	MT
Aldehídos	Hexanal	56(999) 44(889) 41(810) 57(668) 43(569)	18.17	17.16 ± 4.89	8.62 ± 3.18	8.59 ± 0.48	12.97 ± 3.93
	acetato de 2-metil-1-butilo	43(999) 70(289) 55(143) 41(128) 29(117)	18.69	6.58 ± 2.65	7.37 ± 0.99	10.83 ± 1.17	2.64 ± 0.73
	Nonanal	41(999) 57(997) 43(695) 29(692) 56(607)	29.85	n.d.	1.57 ± 0.28	3.84 ± 1.62	1.47 ± 0.02
Alcoholes	Hexanol	56(999) 43(831) 41(590) 55(569) 42(534)	28.50	8.26 ± 3.69	11.44 ± 0.24	10.29 ± 2.22	5.86 ± 1.74
	trans-2-metilciclopentanol	57(999) 41(490) 44(380) 82(330) 43(320)	29.97	7.52 ± 3.93	3.88 ± 2.05	4.03 ± 1.30	n.d.
	2-metil-6-hepten-1-ol	95(999) 41(566) 69(421) 45(362) 55(268)	31.72	2.50 ± 2.15	1.10 ± 0.52	n.d.	n.d.
	2-Etilhexanol	57(999) 41(454) 55(366) 43(287) 56(271)	32.47	n.d.	2.40 ± 1.29	4.59 ± 0.34	n.d.
	Dodecanol	55(999) 43(901) 69(858) 41(854) 56(770)	43.58	0.72 ± 1.02	1.24 ± 1.24	4.22 ± 1.19	5.16 ± 0.44
Monoterpenos	Linalool	71(999) 93(610) 41(571) 43(486) 69(486)	33.93	2.29 ± 1.24	1.43 ± 0.02	3.05 ± 0.71	1.38 ± 0.22
	α-terpineol	59(999) 93(580) 121(470) 136(430) 81(370)	37.82	n.d.	0.43 ± 0.43	n.d.	1.55 ± 0.55
Eter	Éter de geranilvinilo	69(999) 41(667) 68(265) 43(209) 67(147)	41.03	n.d.	1.37 ± 0.09	4.37 ± 0.79	n.d.
Norisoprenoides	α-Ionona	121(999) 93(770) 43(760) 136(620) 77(333)	41.46	4.63 ± 2.13	3.01 ± 0.42	7.21 ± 3.04	5.99 ± 0.89
	α-Ionol	95(999) 43(656) 138(400) 41(158) 96(135)	42.25	3.57 ± 0.71	2.81 ± 0.16	4.42 ± 0.40	5.21 ± 0.96
	β-Ionona	177(999) 43(408) 91(173) 135(153) 178(134)	43.35	5.89 ± 3.63	3.67 ± 0.27	7.94 ± 2.34	10.36 ± 1.77
Ácidos	Ácido propanoico, éster 2-metil-, 3-hidroxi-2,2,4-trimetilpentílico	71(999) 56(793) 89(722) 43(600) 41(221)	41.63	4.53 ± 2.23	8.85 ± 0.24	5.54 ± 0.06	13.69 ± 2.68
Ésteres	Diisobutirato de 2,2,4-trimetil-1,3-pentanodiol	71(999) 43(667) 56(199) 41(168) 83(131)	42.10	4.46 ± 0.63	7.79 ± 0.92	4.06 ± 0.25	9.08 ± 1.22
	nitrito de sec-butilo	43(999) 57(307) 41(200) 45(155) 44(107)	23.70	3.85 ± 1.16	1.38 ± 0.68	n.d.	1.60 ± 0.62
	Acetato de hexilo	43(999) 56(308) 55(180) 61(178) 42(161)	25.49	4.21 ± 0.93	n.d.	n.d.	1.35 ± 0.53

Identificación por comparación de espectros de masas, tiempos de retención y espectros de masas de la biblioteca espectral de masas del NIST y reglas de fragmentación de iones en el espectrómetro de masas.

Concentración relativa calculada con la abundancia del compuesto identificado dividida por la abundancia total de todos los compuestos. ± desviación estándar.

n.d., no detectado; ^{UP} Sin proceso; ^{TT} Tratamiento térmico; ^{CT} Tratamiento combinado (UV-C+ MT); $^{UV-C}$ Tratamiento UV-C

Se identificaron en el jugo compuestos de impacto en la manzana, como acetato de 2-metilbutilo y acetato de hexilo. Los cuales contribuyen en mayor proporción al aroma característico de la mayoría de las variedades de manzana (Fellman *et al.,* 2000). El efecto del procesamiento en el contenido de compuestos volátiles en las muestras procesadas, se puede observar que la muestra del tratamiento térmico TT presento el mayor número de compuestos identificados, algunos volátiles son formados por la reacción de Maillard Barren y Etiévant (1990). Por su parte en muestras UP, el procesamiento de congelación y almacenamiento de las muestras aumenta la sensibilidad sensorial en aroma de frambuesa cultivar Heritage (De Ancos *et al.,* 2000). Los tratamientos UV-C y CT presentaron el mismo número de compuestos identificados. Presentándose mayor abundancia de compuestos en las muestras irradiadas lo que se observó en muestras de jugo de sandía irradiado (Bhattacharjee, 2019).

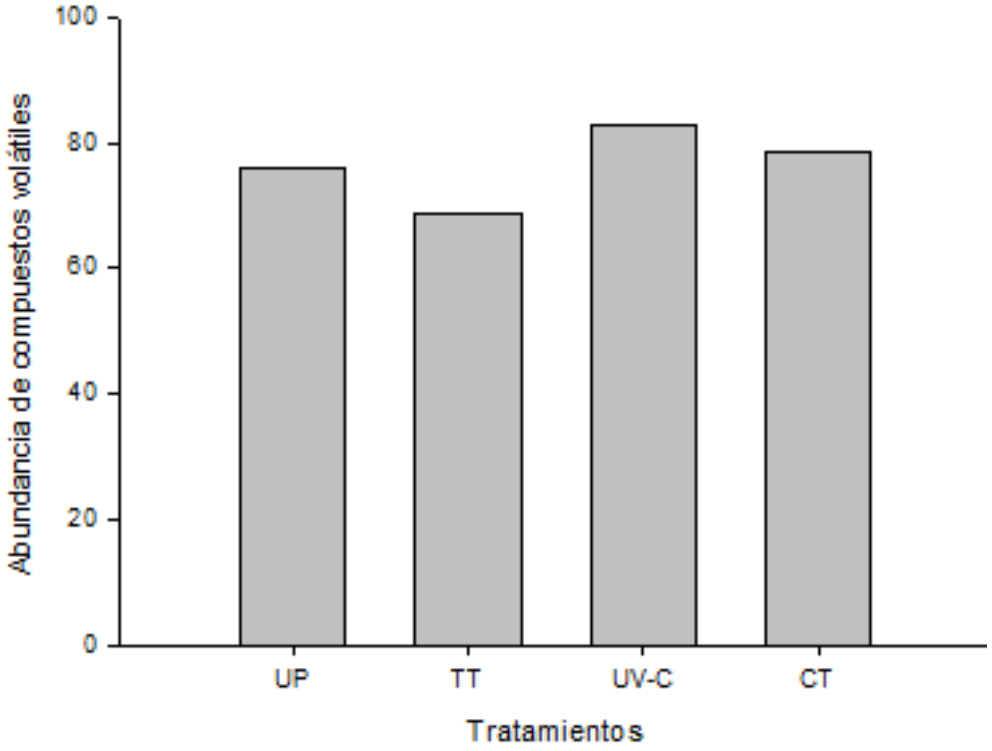

Figura 3. Abundancia de compuestos volátiles en jugo de manzana y frambuesa

[UP] Sin proceso; [TT] Tratamiento térmico; [CT] Tratamiento combinado (UV-C+ MT); [UV-C] Tratamiento UV-C

CONCLUSIONES

La combinación de frutas en bebidas, permite el mejoramiento sus componentes nutricionales y sensoriales. Produciendo un producto atractivo que permite el consumo de frutas de alto costo y escasa abundancia. La radiación ultravioleta es una alternativa UV-C a la pasteurización térmica para obtener productos seguros y estables en bebida de manzana con frambuesa en un periodo aceptable. Además, mantiene su contenido en fotoquímicos y en parámetros fisicoquímicos y sensoriales. A pesar de los beneficios de UV-C, es necesario una vida útil más prolongada. Por lo tanto, se requirió buscar alternativas en combinación a la radiación UV-C.

El tratamiento combinado de UV-C asistido con térmico moderado mostró la misma eficiencia que el tratamiento térmico sobre la inactivación de microrganismos patógenos y de deterioro en el periodo de tiempo evaluado (hasta 20 días). Además de mostrar una tendencia constante en los fitoquímicos que se evaluaron en comparación con las muestras sin tratar. La combinación de tecnologías es una alternativa para las limitaciones que presenta la radiación UV-C a tiempos prolongados de almacenamiento, representa una alternativa viable a los tratamientos térmicos convencionales para el desarrollo y conservación de una bebida de manzana con frambuesa.

LITERATURA CITADA

Aadil, R. M., Khalil, A. A., Rehman, A., Khalid, A., Inam-ur-Raheem, M., Karim, A., y Afraz, M. T. (2020). Assessing the impact of ultra-sonication and thermo-ultrasound on antoxidant indices and polyphenolic profile of apple-grape juice blend. *Journal of Food Precessing and Preservation*, 44(5):14406. https://doi.org/10.1111/jfpp.14406

Aguilo-Aguayol, I., Oms-Oliu, G., Soliva-Fortuny, R., y Martin-Belloso, O. (2009). Changes in quality attributes throughout storage of strawberry juice processsed by high-intensity pulsed electric fields or heat treatments. *Food Science and Technology*, 42:813-818. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2008.11.008

Alongi, M., Verardo, G., Gorassini, A., Lemos, M. A., Hungerford, G., Cortella, G., y Anese, M. (2019). Phenolic content and potential bioactivity of apple juice as affected by thermal and ultrasound pasteurization. *Food & Fonunct*, 10(11):7366-7377. https://doi.org/10.1039/C9FO01762C

AOAC. (1996). *AOAC (Association of Official Analytical Chemists).* Washington,USA: Official methods of analysis (16th ed).

Aprea, E., Biasioli, F., Carlin, S., Endrizzi, I., y Gasperi, F. (2009). Investigation of volatile compounds in two raspberry cultivars by two headspace techniques: solid-phase microextraction/gas chromatography- mass spectrometry (SPME/GC-MS) and proton-transfer reaction-mass spectry (PTR-MS). *J.Agric Food Chem*, 57:4011-8. https://doi.org/10.1021/jf803998c

Aprea, E,. Biasioli, F., y Gasperi, F. (2015). Volatile compounds of raspberry fruit: From analytical methods to biological role and sensory impact. *Molecules*, 20(2):2445-2474. https://doi.org/10.3390/molecules20022445

Babova, O,. Occhipinti, A., Capuzzo, A., y Maffei, M. E. (2016). Extraction of bulberry (*Vaccinium myrtillus*) antioxidants using supercictrical/subcritical CO2 and ethanol as co-solvent. *Journal of Supercritical Fluids*, 107:358-363. https://doi.org/10.1016/j.supflu.2015.09.029

Bhardwaj, R. L. y Pandey, S. (2011). Juice blends a way of utilization of under-utilized fruits, vegetables and spices: a review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 51(6):563-570. https://doi.org/10.1080/10408391003710654

Bhat, R,. Ameran, S. B., Voon, H. C., Karim, A. A., y Tze, L. M. (2011a). Quality attributes of starfruit (*Averrhoa carambola L*) juice treated with ultraviolet radiation. *Food Chemistry*, 127:641-644. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.01.042

Bhat, R,. Kamaruddin, N. S. B. C., Min-Tze, L., y Karim, A. A. (2011b). Sonication improves kasturi lime (*Citurs microcarpa*) juice quality. *Ultrasonics Sonochemistry*, 18:1295-1300. https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2011.04.002

Bhattacharjee, C,. Saxena, V. K., y Dutta, S. (2019). Novel thermal and non-thermal processing. *Trends in Food Science & Technology*, 93:234-243. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.09.015

Bornšek, Š. M., Polak, T., Skrt, M., Demšar, L., Ulrih, N. P., y Abram, V. (2015). Effects of industrial and home-made spread processing on bilberry phenolics. *Food chemistry*, 173:61-69. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.10.005

Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., y Berset, C. L. W. T. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food Sciende and Technology*, 28(1):25-30. https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5

Caminiti, I. M., Noci, F., Muñoz, A., Whyte, P., Morgan, D. J., Cronin, D. A., y Lyng, J. G. (2011). Impact of selected combinations of non-thermal processing technologies on the quality of an apple and cranberry juice blend. *Food Chemistry*, 124(4):1387-1392. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.07.096

Carrillo, M. G., Ferrario, M., y Guerrero, S. (2017). Study of the inactivation of some microorganisms in turbid carrot-orange juice blend processed by ultraviolet light assisted by mild heat treatment. *Journal of food engineering*, 212:213-225. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.06.005

Chia, S. L., Rosnah, S., Noranizan, M. A., & Ramli, W. W. (2012). The effect of storage on the quality attributes of ultraviolet-irradiated and thermally pasteurised pineapple juices. *Interntional Food Research Journal*, 19(3):1001.

Choi, L. H., y Nielsen, S. S. (2005). The effects of thermal and nonthermal processing methods on apple cider quality and consumer acceptability. *Journal of Food Quality*, 28(1):13-29. http://doi.org/10.1111/j.1745-4557.2005

De Ancos, B., Ibanez, E., Reglero, G., & Cano, M. P. (2000). Frozen storage effects on anthocyanins and volatile compunds of raspberry fruit. *Food Chen*, 48:873-879. https://doi.org/10.1021/jf990747c

Elmnasser, N., Dalgalarrondo, M., Orange, N., Bakhrouf, A., Haertlé, T., Federighi, M., y Chobert, J. M. (2008). Effect of pulsed-light treatment on milk proteins and lipids. *J.Agric. food Chem*, 56(6):1984-1991. https://doi.org/10.1021/jf0729964

Falguera, V., Pagán, J., y Ibarz, A. (2011). Effect of UV-C irradiation on enzymatic activities and physicochemical properties of apple juices from different varieties. *LWT Food Sci. Tech*, 44:115-119. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.05.028

Fellman, J. M. (2000). Factors that influence biosynthesis of biosyntesis of volatile flavor compounds in apple fruits. *HortSience* , 35:1026-1033.

Feng, M., Ghafoor, K., Seo, B., Yang, K., y Park, J. (2013). Effects of ultraviolet-C treatment in TeflonR- coli on microbial populations and physico-chemical characteristics of watermelon juice. *Innov Food Sci. Emerging Technol*, 19:133-139. https://doi.org/10.17113/ftb.54.04.16.4248

Feng, X., Zhou, Z., Wang, X., Bi, X., Ma, Y., y Xing, Y (2020). Comparison of high hydrostatic pressure, ultrasound and heat treatments on the quality of strawberry-apple-lemon juice blend. *Foods*, 9(2):218. https://doi.org/10.3390/foods9020218

Fang, Z., Zhang, M., Sun, Y., & Sun, J. (2006). How to improve bayberry (*Myrica rubra Sieb. et Zucc.*) juice color quality: effect of juice processing on

bayberry anthocyanins and polyphenolics. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *54*(1), 99-106.
https://doi.org/10.1021/jf051943o

Ferrario, M., Schenk, M., Carrillo, M. G., y Guerrero, S. (2018). Development and quality assesment of a turbid carrot-orange juice blend processed by UV-C light assisted by mild heat and addition of Yerba Mate (*Ilex paraguariensis*) extract. *Food Chemistry*, 269:567-576.
https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.06.149

Gayán, E., Condón, S., y Álvarez, I. (2014). Continuous-flow UV liquid food pasteurization: Engineering aspects. *Food Bioprocess Technol*, 7:2813-2827.
http://doi.org/10.1007/s11947-014-1267-0

Ghafoor, K. y Choi, Y. H. (2012). Polyphenoloxidase deactivation in juice from “Campbell Early" grapes by heating under vacuum pressure. *Journal of Food Process Engineering*, 35:391-402.
https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.2010.00596.x

Gopisetty, V., Patras, A., Kilonzo-Nthenge, A., Yannam, S., Bansode, R., Sasges, M., y Xiao, H. (2018). Impact of UV-C irradiation on the quality, safety and cytotoxicity of cranberry-flavored water using a novel continuos flow UV system . *LWT Food Sci. Technol*, 95:230-239.
https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.04.042

Gouma, M., Gayán, E., Raso, J., Condón, S., y Álvarez, I. (2015). Inactivation of spoilage yeasts in apple juice by UV-C light and in combination with mild heat. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 32:146-155.
https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.09.008

Grobelna, A., Kalisz, S., y Kieliszek, M. (2019). The effect of the addition of blue honeysuckle berry juice to apple juice on the selected quality characteristics, anthocyanin stability, and antioxidant properties. *Biomolecules*, 9(11):744.
https://doi.org/10.3390/biom9110744

Habanova, M., Saraiva, J. A., Holovicova, M., Moreira, S. A., Fidalgo, L. G., Haban, M., y Bronkowska, M. (2019). Effect of berries/apple mixed juice consumption on the positive modulation of human lipid profile. *Journal of Functional Foods*, 60:103417.

https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.103417

Health, A. (1992). *American Public Health Association. Compendium of methods for the microbiological.* Wasington, D.C.: APHA (3rd).

Hernández-Hernández, H. M., Moreno-Vilet, L., y Villanueva-Rodríguez, S. J. (2019). Current status of emerging food processing technologies in Latin America: Novel non-thermal processing. *Innovative Food Sience & Emerging Technologies*, 58:102233.
https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.102233

Jan, A. y Masih, E. D. (2012). Development and quality evaluation of pineapple juice blend with carrot and orage juice. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 2(8):1-8.
ISSN 2250-3153

Jimenez-Garcia, S. N., Guevara-Gonzalez, R. G., Miranda-Lopez, R., Feregrino-Perez, A. A., Torres-Pacheco, I., y Vazquez-Cruz, M. A. (2013). Functional properties and quality characteristics of bioactive compounds in berries: Biochemistry, biotechnology and genomics. *Food Research International*, 54(1):1195-1207.
https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.11.004

Julián-Loaeza, A. P., Santos-Sánchez, N. F., Valadez-Blanco, R., Sánchez-Guzmán, B. S., y Salas-Coronado, R. (2011). Chemical composition,color and antioxidant activity of three varieties of Annona diversifolia Safford fruits. *Industrial Crops and Products*, 34(2):1262-1268.
https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.06.012

Junqueira-Gonçalves, M. P., Alarcón, E., y Niranjan, K. (2016). The efficacy of potassium sorbate-coated packaging to control postharvest gray mold in raspberries, blackberries and blueberries. *Postharvest Biology and Technology*, 111:205-208.
https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.09.014

Kahraman, O., Lee, H., Zhang, W., y Feng, H. (2017). Manothermosonication (MTS) treatment of apple-carrot juice blend for inactivation of *Escherichia coli 0157:H7. Ultrasonics sonochemistry*, 38:820-828.
https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.11.024

Kaur, C., y Kapoor, H. C. (2001). Antioxidants in fruits and vegetables-the millenium's health. *International Journal of Food Service and Technology*, 36:703-725.
https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2001.00513.x

Kaya, Z. y Unluturk, S. (2019). Pasteurization of verjuice by UV-C irradiation and mild heat treatment. *Journal of Food Process Engineering*, 42(5):13131.
https://doi.org/10.1111/jfpe.13131

Kays SJ, P. R. (2004). *Postharvest Biology.* Exon Press Athens.

Klesk, K., Qian, M., y Martin, R. R. (2004). Aroma extract dilution analysis of cv. Meeker (*Rubus idaeus L.)* red raspberries from Oregon and Washington. *J. Agric. Food Chem*, 52:5155-5161.
https://doi.org/10.1021/jf0498721

Knorr, D., Froehling, A., Jaeger, H., Reineke, K., Schlueter, O., y Schoessler, K. (2011). Emerging technologies in food processing. *Anual Review of Food Science and Technology*, 2:203-235.
http://doi.org/10.1146/annurev.food.102308.124129

Koutchma, T. (2009). Advances in ultraviolet light technology for non-thermal processing of liquid foods. *Food Bioprocess Technol*, 2:138-155.
http://doi.org/10.1007/s11947-008-0178-3

Koutchma, T., Keller, S., Chirtel, S., y Parisi, B. (2004). Ultraviolet disinfection of juice products in laminar and turbulent flow reactors. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 5(2):179-189.
https://doi.org/10.1016/j.ifset.2004.01.004

Koutchma, T., Parisi, B., y Patazca, E. (2007). Validation of UV coiled tube reactor for fresh juices. *Journal of Environmental Engineering and Science*, 6(3):319-328.
https://doi.org/10.1139/s06-058

Kovačević, D., Kljusurić, J. G., Putnik, P., Vukušić, T., Herceg, Z., y Dragović-Uzelac, V. (2016). Stability of polyphenols in chockeberry juice treated with gas phase plasma. *Food Chemistry*, 212:323-331.
https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.05.192

Larsen M, y Poll, L. (1990). Odour threshold of some important aroma compounds in raspberries. *Z Lebensm Unters Forsch* , 191:129–31.

Leong, S. Y., Burritt, D. J., y Oey, I. (2016). Evaluation of the anthocyanin release and health-promoting properties of Pinot Noir grape juices after pulsed electric fields. *Food Chemistry*, 196:833-841.
https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.10.025

Lopéz, M. L., Lavilla, M. T., Riba, M., y Vendrell, M. (1998). Comparison of volatile compounds in two seasons in apples:Golden Delicious and Granny Smith. *J. Food Qual*, 21:155-166.
https://doi.org/10.1111/j.1745-4557.1998.tb00512.x

Lopez-Malo, A., y Palou, E. (2005). *Ultraviolet light and food preservation. In Novel Food Processing Technologies.* Boca Raton, Florida, USA: CRC press, Volume 4 pp 1357-1372.

Maskan, M. (2001). Kinetics of colour change of kiwifruits during hot air and microwave drying . *Journal of Food Engineering*, 48:169-175.
https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00154-0

Matthews, K. 2. (2006). *Microorganisms associated with fruits and vegetables. In: Matthews, K.R. (Ed.).* Washington DC,USA, p. 252: Microbiology of Fresh Produce. American Society for Microbiology Press.

Mejia-Meza, E. I., Yanez, J. A., Remsberg, C. M., Takemoto, J. K., Davies, N. M., Rasco, B., y Clary, C. (2010). Effect of dehydrationon raspberries: polyphenol and anthocyanin retention, antioxidant capacity and antiadipogenic activity. *J.Food Sci*, 75(1):5-12.
https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01383.x

Mok, J. H., Pyatkovskyy, T., Yousef, A., y Sastry, S. K. (2021). Effects of combination shear stress, moderate electric field (MEF) and nisin on kinetics and mechanisms of inactivation of *Escherichia coli K12* and *Listeria innocua* in fresh apple-kale blend juice. *Journal of Food Engineering*, 292:110262.
https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110262

Molva, C. y Baysal, A. H. (2015). Effects of pomegranate and pomegranate–apple blend juices on the growth characteristics of *Alicyclobacillus acidoterrestris DMS 3922* type strain vegetative cells and spores. *International Journal of food microbiology*, 200:52-56.
https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2015.01.019

Morales, M. L., Callejón, R. M., Ubeda, C., Guerreiro, A., Gago, C., Miguel, M. G., & Antunes, M. D. (2014). Effect of storage time at low temperature on the volatile compound composition of Sevillana and Maravilla raspberries. *Postharvest Biol. Technol*, 96:128-134. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.05.013

Nachay, K. (2009). A new color palette emerges. *Food Technology* , 50-62. ISSN:0015-6639

Nile, S. H. y Park, S. W. (2014). Edible berries: Bioactive components and their effect on human health. *Nutrition*, 30(2), 134–144. https://doi.org/10.1016/j.nut.2013.04.007

Ogundele, O. M., Awolu, O. O., Badejo, A. A., Nwachukwu, I. D., & Fagbemi, T. N. (2016). Development of functional beverages from blends of Hibiscus sabdariffa extract and selected fruit juices for optimal antioxidant properties. *Food science & nutrition*, 4(5):679-685. https://doi.org/10.1002/fsn3.331

Oliveira, B., Tosato, F., Folli, G., de Leite, J., Ventura, J., Endringer, D., y Romão, W. (2019). Controlling the quality of grape juice adulterated by apple juice using ESI(-)FT-ICR mass spectrometry . *Microchem J.* , 149:104033. https://doi.org/10.1016/j.microc.2019.104033

Oludemi, F. y Akanbi, C. T. (2013). Chemical, antioxidant and sensory properties of tomato-watermelon-pineapple blends, and changes in their total antioxidant capacity during storage. *International Journal of Food Science and Technology*, 48:1416-1425. https://doi.org/10.1111/ijfs.12104

Paterson, A., Kassim, A., McCallum, S., Woodhead, M., Smith, K., Zait, D., y Graham, J. (2013). Environmental and seasonal influences on red raspberry flavour volatiles and identification of quantitative trait loci (QTL) and candidate genes. *Theoretical and applied genetics*, 126(1):33-48. http://doi.org/10.1007/s00122-012-1957-9

Patrignani, F., Vannini, L., Kamdem, S. L. S., Lanciotti, R., y Guerzoni, M. E. (2009). Effect of high pressure homogenization on Sacchromiyces cerevisiae inactivation and physico-chemical features in apricot and carrot juices. *International Journal of Food Microbiology*, 136(1):26-31. https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2009.09.021

Pires, T. C., Dias, M. I., Barros, L., Alves, M. J., Oliveira, M. B. P., Santos-Buelga, C., y Ferreira, I. C. (2018). Antioxidant and antimicrobial properties of dried Portuguese apple variety (Malus domestica Borkh. cv Bravo de Esmolfe). *Food chemistry*, 240:701-706. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.08.010

Poulsen, M., Mortensen, A., Binderup, M. L., Langkilde, S., Markowski, J., y Dragsted, L. O. (2011). The effect of apple feeding on markers of colon carcinogenesis. *Nutrition and cancer*, 63(3):402-409. http:// doi.org/10.1080/01635581.2011.535961

Putnik, P., Kresoja, Ž., Bosiljkov, T., Jambrak, A. R., Barba, F. J., Lorenzo, J. M., y Kovačević, D. B. (2019). Comparing the effects of thermal and non-thermal technologies on pomegranate juice quality: A review. *Food chemistry*, 279:150-161. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.11.131

Quintero-Ramos, A., Churey, J., Hartman, P., Barnard, J., y Worobo, R. (2004). Modeling of *Escherichia coli* inactivation by UV irradiation at different pH values in apple cider. *J. Food Prot*, 67:1153-1156. https://doi.org/10.4315/0362-028X-67.6.1153

Rivas, A., Rodrigo, D., Martinez, A., Barbosa-Cánovas, G. V., y Rodrigo, M. (2006). Effect of PEF and heat pasteurization on the physical-chemical characteristics of blended orange and carrot juice. *Food Science and Technology*, 39:1163-1170. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2005.07.002

Rodríguez, K., Ah-Hen, K. S., Vega-Gálvez, A., Vásquez, V., Quispe-Fuentes, I., Rojas, P., y Lemus-Mondaca, R. (2016). Changes in bioactive components and antioxidant capacity of maqui, Aristotelia chilensis stuntz, berries during drying. *LW-Food Science and echnology*, 65:537-542. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.08.050

Rosen, J. (2010). Encyclopedia of physical science. *Encyclopedia of physical science.* (pág. Volume 1.). New York:: Infobase Publishing.

Sanchez-Moreno, C., Plaza, L., De ancos, B., y Cano, M. (2006). Nutritional characterization of commercial traditional pasteurized tomato juices:Carotenoids, vitamin C and radical scavenging capacity. *Food Chem*, 98:749-756.

https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.07.015

Santhirasegaram, V., Razali, Z., George, D. S., & Somasundram, C. (2015). Comparison of UV-C treatment and thermal pasteurization on quality of Chokanan mango (*Mangifera indica L.*) juice. *Food and Bioproducts Processing*, 94:313-321.
https://doi.org/10.1016/j.fbp.2014.03.011

Sauceda-Gálvez, J. N., Tió-Coma, M., Martinez-Garcia, M., Hernández-Herrero, M. M., Gervilla, R., y Roig-Sagués, A. X. (2020). Effect of single and combined UV-C and ultra-high pressure homogenisation treatments of *Alicyclobacillus acidoterrestris* spores in apple juice. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 60:102299.
https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102299

Shah, N. N., Shamsudin, R., Abdul Rahman, R., y Adzahan, N. M. (2016). Fruit juice production using ultraviolet pasteurization:A review. *Beverages*, 2(3).
https://doi.org/10.3390/beverages2030022

Shukitt-Hale, M. G. (2012). “Berry fruit enhances beneficial signaling in the brain,” . *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(23):5709-5715.
https://doi.org/10.1021/jf2036033

Singleton, V. L., Orthofer, R., y Lamuela-Raventós, R. M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. *Methods in enzymology*, 299:152-178.
https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1

Skrovankova, S., Sumczynski, D., Mlcek, J., Jurikova, T., y Sochor, J. (2015). Bioactive compounds and antioxidant activity in different types of berries. *International Journal of Molecular Sciences*, 16(10):24673-24706.
https://doi.org/10.3390/ijms161024673

Snyder, F., y Ni, L. (2017). Chinese apples and the emerging world food trade order: Food safety, international trade, and regulatory collaboration between China and the European Union. *Chin. J. Comp. Law (CJCL)*, 5:253-307.
https://doi.org/10.1093/cjcl/cxx014

Suh, J. H., Romain, C., González-Barrio, R., Cristol, J. P., Teissèdre, P. L., Crozier, A., & Rouanet, J. M. (2011). Raspberry juice consumption,

oxidative stress and reduction ofatherosclerosis risk factors in hypercholesteromic golden Syrian hamsters. *Food Funct*, 2(7):400-405.
http:// doi.org/10.1039/C1FO10047E

Swanson, K. (1989). *Microbiology and preservation.* New York:Van Nostrand Reinhold: In Downing, D.L. (Ed). Processed apple product, 343-363.

Szajdek, A. y Borowska, E. J. (2008). Bioactive compounds and health-promoting properties of berry fruits: A review. *Plant Foods for Human Nutrition*, 63(4), 147–156.
http:// doi.org/10.1007/s11130-008-0097-5.

Tsuda. T. (2012). "Dietary anthocyanin-rich plants: biochemical basis and recent progress in health benefits studies. *Molecular Nutrition & Food Research*, 56(1):159-170.
https://doi.org/10.1002/mnfr.201100526

Unluturk, S. y Atilgan, M. R. (2015). Microbial safety and shelf life of UV-C treated freshly squeezed white grape juice. *Journal of Food Science*, 80(8):1831-1841.
https://doi.org/10.1111/1750-3841.12952

Weber, C. y Hai Liu, R. (2011). Antioxidant capacityand anticancer properties of red raspberry. *N. Y. Fruit Quart.* , 9(3), 13–15.
http://doi.org/10.17660/ActaHortic.2002.585.73

Weber, F. y Larsen, L. R. (2017). Influence of fruit juice processing on anthocyanin stability. *Food Research International*, 100:354-365.
https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.06.033

Yang, Z. Y., Ren, J. N., Dong, M., Tai, Y. N., Yang, S. Z., Shao, J. H., y Fan, G. (2015). Changes in the Physiochemical Characteristics, Free and Bound Aroma Compounds in the Raspberry Juice during storage. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(6):2834-2843 .
https://doi.org/10.1111/jfpp.12534