



**Centro de Investigación en Alimentación y
Desarrollo, A. C.**

**CARACTERIZACIÓN DE MERMELADAS DE FRAMBUESA
CASERAS Y COMERCIALES, POR SUS COMPUESTOS
BIOACTIVOS Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE**

Por:

Josué Mejía Gutiérrez

TESIS APROBADA POR LA

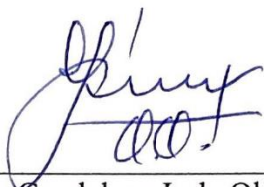
COORDINACIÓN DE FISIOLOGÍA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS DE LA ZONA
TEMPLADA

Como requisito parcial para obtener el grado de

MAESTRO EN CIENCIAS

APROBACIÓN

Los miembros del comité designado para la revisión de la tesis de Josué Mejía Gutiérrez,¹ la han encontrado satisfactoria y recomiendan que sea aceptada como requisito parcial para obtener¹ el grado de Maestro en Ciencias.



Dra. Guadalupe Isela Olivas Orozco
Directora de tesis



Dra. María Noemí Frías Moreno
Co-directora de tesis



M.C. Francisco Javier Molina Corral
Integrante del comité de tesis



Dr. David Roberto Sepúlveda Ahumada
Integrante del comité de tesis

DECLARACIÓN INSTITUCIONAL

La información generada en la tesis "Compuestos Volátiles, Compuestos Bioactivos y Capacidad Antioxidante en Mermeladas Comerciales y Caseras de Frambuesa" es propiedad intelectual del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD). Se permiten y agradecen las citas breves del material contenido en esta tesis sin permiso especial del autor Josué Mejía Gutiérrez, siempre y cuando se dé crédito correspondiente. Para la reproducción parcial o total de la tesis con fines académicos, se deberá contar con la autorización escrita de quien ocupe la titularidad de la Dirección General del CIAD.

La publicación en comunicaciones científicas o de divulgación popular de los datos contenidos en esta tesis, deberá dar los créditos al CIAD, previa autorización escrita del director(a) de tesis.



CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN
ALIMENTACIÓN Y DESARROLLO, A.C.
Coordinación de Programas Académicos

Dra. Graciela Gaire Juvera
Directora General

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi agradecimiento primeramente a Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCYT) ya que sin ellos no hubiera podido cursar la maestría y tener esta valiosa oportunidad de crecimiento y aprendizaje.

En segundo lugar, agradezco al Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD) por proveer el ambiente correcto para poder cultivar el conocimiento y fomentar a la formación de nuevo conocimiento.

Doy gracias a Dios por permitirme todo lo que ha pasado hasta ahora y poner a personas increíbles que me han ayudado durante mi estancia en la maestría.

Agradezco a mi directora de tesis la Dra. Isela Guadalupe Olivas Orozco por haber tenido la paciencia de ayudarme a poder completar esta etapa a pesar de las dificultades y por estar siempre ahí para motivarme y apoyarme.

Agradezco a la Co-directora de tesis Dra. María Noemí Frías Moreno por guiarme en el avance del proyecto y ayudarme a enfocar mis esfuerzos.

Agradezco al miembro de comité y maestro M.C. Francisco Javier Molina Corral por los consejos y la enseñanza para realizar las metodologías correctamente.

Agradezco al miembro de comité y maestro Dr. David Roberto Sepúlveda Ahumada por su disposición en todo momento y comentarios de apoyo.

Agradezco a mis padres y mis hermanos por motivarme a avanzar y terminar la maestría a pesar de cualquier dificultad.

Agradezco a mi esposa por estar en cada momento a mi lado y ser mi sostén en los momentos más difíciles.

Agradezco también a todas las personas que me motivaron y dieron consejos para que esto sea posible.

DEDICATORIA

Este trabajo es dedicado a Dios por darme la vida y permitirme llegar hasta este punto en mi vida, así como a mi esposa, mi lugar seguro y quien me acompaño a cada momento y a mi familia por todo su apoyo.

CONTENIDO

APROBACIÓN.....	2
DECLARACIÓN INSTITUCIONAL	3
AGRADECIMIENTOS	4
DEDICATORIA	5
CONTENIDO	6
LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE CUADROS.....	9
RESUMEN	10
ABSTRACT	12
1. INTRODUCCIÓN.....	14
2. ANTECEDENTES	16
2.1 Tendencias hacia el Consumo de Frutas y Vegetales.....	16
2.2 Frutos Rojos y su Importancia.....	16
2.3 Generalidades de la Frambuesa	17
2.3.1 Compuestos Fitoquímicos de la Frambuesa	18
2.3.1.1 Compuestos fenólicos.....	20
2.3.1.2 Flavonoides.....	21
2.3.1.3 Antocianinas.....	22
2.3.1.4 Compuestos volátiles del sabor.....	23
2.4 Mermelada como Método de Conservación de la Frambuesa.....	26
3. HIPÓTESIS	28
4. OBJETIVOS	29
4.1. Objetivo General.....	29
4.2 Objetivos Específicos	29
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	30
5.1 Elaboración de Mermelada.....	30
5.2 Análisis Físicoquímicos.....	33
5.3. Análisis de Compuestos Fenólicos, Flavonoides y Antocianinas Totales.....	33
5.3.1 Preparación del Extracto	33
5.3.2 Compuestos Fenólicos Totales	34
5.3.3 Flavonoides Totales	35
5.3.4 Antocianinas Totales.....	35
5.4 Capacidad Antioxidante	36
5.4.1 Ensayos DPPH (1,1-difenil-2-picrilhidrazilo)	36
5.4.2 Ensayos ABTS (2,2'-Azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)).....	36
5.5. Compuestos Volátiles	37
5.6 Análisis Estadístico	38

CONTENIDO (continuación)

6. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	39
6.1 Características Fisicoquímicas de las Mermeladas	39
6.2 Compuestos Fenólicos.....	46
6.3 Flavonoides Totales.....	49
6.4 Antocianinas Totales	51
6.5 Capacidad Antioxidante	53
6.6. Compuestos Volátiles.....	59
6.7 Correlación entre el Costo de las Mermeladas Comerciales y sus Atributos Evaluados	66
7. CONCLUSIONES	68
8. RECOMENDACIONES	70
9. REFERENCIAS	71

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Compuestos volátiles reportados en la frambuesa (<i>Rubus idaeus L.</i>) de acuerdo con su clase química.....	25
2	Sólidos solubles en distintos tipos de mermeladas de frambuesa.....	42
3	Valores de Luminosidad, Croma y °Hue obtenidos en mermeladas de frambuesa comerciales y caseras.....	44
4	Compuestos fenólicos totales de mermeladas de frambuesa comerciales y caseras.....	47
5	Flavonoides totales en mermeladas de frambuesa comerciales y caseras.....	50
6	Antocianinas totales en distintos tipos de mermeladas de frambuesa.....	52
7	Capacidad antioxidante por los métodos de ABTS y DPPH en mermeladas de frambuesa comerciales y caseras, y en frambuesa fresca.....	57
8	Compuestos volátiles del sabor identificados en mermeladas de frambuesa comerciales y caseras.....	61
9	Suma de las áreas de los 14 compuestos identificados en las mermeladas de frambuesa (A) y su distribución de acuerdo con su clase principal (B).....	65

LISTA DE CUADROS

Cuadro	Página
1 Mermeladas de frambuesa estudiadas, origen, ingredientes, porcentaje de fruta y costo.....	32
2 Humedad y actividad acuosa en mermeladas de frambuesa comerciales y caseras.....	40
3 Coeficiente de correlación de Pearson entre la capacidad antioxidante medida por los métodos ABTS y DPPH, en relación con los compuestos fenólicos totales, los flavonoides totales y las antocianinas totales, en mermeladas de frambuesa comerciales y caseras.....	59
4 Contribución al sabor de la frambuesa de los compuestos volátiles identificados en las mermeladas.....	62
5 Compuestos volátiles identificados en las mermeladas de frambuesa comerciales y caseras (HM y HM-LS).....	63
6 Coeficiente de correlación entre las diferentes variables de respuesta y el costo de la mermelada comercial.....	67

RESUMEN

Las frambuesas, importante fuente de compuestos bioactivos, presentan una corta vida de anaquel, consumiéndose altamente como mermelada. Los consumidores buscando la mermelada de mejor calidad y la más saludable, adquieren los productos más costosos, aquellos bajos en azúcares, o los caseros. El objetivo del presente estudio fue caracterizar 8 mermeladas de frambuesa comerciales, 6 con azúcares (CJ, NI, BM, SD, H, S), una baja en azúcares (S-LS) y una sin azúcares (H-NS) y compararlas con mermeladas caseras (con azúcar HM, y baja en azúcar HM-LS). Se estudiaron los compuestos bioactivos, flavonoides totales, antocianinas totales, y compuestos fenólicos totales, así como compuestos volátiles y capacidad antioxidante. Además, se caracterizó el color, actividad acuosa, sólidos solubles y humedad de las mermeladas. El precio de la mermelada de frambuesa fue directamente proporcional a la cantidad de frambuesa, a la cantidad de compuestos fenólicos y a la capacidad antioxidante, e inversamente proporcional a la concentración de azúcares. Las mermeladas caseras mostraron mayor concentración de compuestos fenólicos, antocianinas, y capacidad antioxidante (ABTS), en comparación con las mermeladas comerciales. La mermelada casera HM-LS presentó mayor concentración de fenoles totales, flavonoides y antocianinas en comparación con la mermelada HM. Las mermeladas comerciales bajas en azúcar presentaron la más baja concentración de compuestos fenólicos y la menor capacidad antioxidante, equivalente a la mermelada de frambuesa con azúcar más económica, CJ. La mermelada casera HM mostró mayor concentración de monoterpenos, compuestos volátiles benéficos para la salud. A pesar de contener más fruta, la mermelada HM-LS mostró una concentración baja de volátiles del grupo de los monoterpenos, así como del C13-norisoprenoide, en comparación con HM. Esto sugiere que los azúcares pudieran tener un efecto protector de este tipo de compuestos volátiles. Debido a la mayor concentración de monoterpenos, encontrada en la mermelada casera HM, podemos sugerir que esta mermelada es el producto que presenta mejor sabor y mayor beneficio a la salud, con respecto a compuestos volátiles, en comparación con la mermelada casera baja en azúcar HM-LS y las mermeladas comerciales; mientras que la mermelada HM-LS muestra ser la mejor opción saludable tomando en cuenta los compuestos fenólicos, flavonoides y antocianinas, así como la ausencia de azúcar. Las mermeladas comerciales bajas en azúcares presentaron menor capacidad antioxidante y concentración de compuestos volátiles en comparación con la mermelada con azúcares (misma marca), mostrando no ser la mejor opción con respecto a sabor y compuestos saludables.

Palabras clave: frambuesa, mermelada, compuestos bioactivos, antocianinas, flavonoides, compuestos fenólicos, compuestos volátiles, salud, calidad.

ABSTRACT

Raspberries, an essential source of bioactive compounds, have a short shelf life and are widely consumed as jam. Consumers looking for the best quality and healthiest jam purchase the most expensive products, those low in sugar or those homemade. Taking all this into consideration, the objective of the present study was to characterize eight commercial raspberry jams: 6 with sugars (CJ, NI, BM, SD, H, S), one low in sugars (S-LS), and one without sugars (H-NS) and compare them with homemade jams (with sugar HM, and low sugar HM-LS). Bioactive compounds, total flavonoids, total anthocyanins, and total phenolic compounds, as well as volatile compounds and antioxidant capacity, were studied. In addition, the color, water activity, soluble solids, and humidity of the jams were characterized. The price of raspberry jam is directly proportional to the its raspberry content, the concentration of phenolic compounds, and the antioxidant capacity, and inversely proportional to the concentration of sugars. Homemade jams showed a higher concentration of phenolic compounds, anthocyanins, and antioxidant capacity (ABTS) than commercial jams. The HM-LS jam presented a higher concentration of total phenols, flavonoids, and anthocyanins than the HM jam. Consumers look for jams low in sugar because they consider them healthier; however, commercial jams low in sugar have the lowest concentration of phenolic compounds and the lowest antioxidant capacity, equivalent to the cheapest raspberry jam with sugar, CJ. Homemade HM jam showed a higher concentration of volatile monoterpene compounds (beneficial for health). Despite containing a higher fruit concentration, homemade low-sugar jam (HM-LS) shows a low concentration of volatiles from the monoterpene group and the C13-norisoprenoid, compared to HM. This suggests that sugars could protect jams against losing this type of volatile compounds. Due to the higher concentration of monoterpenes found in the HM homemade jam, this jam has the best flavor and most significant health benefits concerning volatile compounds compared to the low-sugar homemade jam HM-LS and commercial jams, while HM-LS jam was shown to be the healthiest option, considering the phenolic compounds, flavonoids, anthocyanins and the absence of sugar. Commercial jams low in sugar presented lower antioxidant capacity and lower concentration of volatile compounds compared to jams with sugars from the same brand, showing that they are not the best option concerning flavor and concentration of healthy compounds.

Keywords: raspberry, jam, bioactive compounds, anthocyanins, flavonoids, phenolic compounds, volatile compounds, health, quality.

1. INTRODUCCIÓN

La frambuesa (*Rubus idaeus L.*) es un fruto de creciente popularidad y aceptación ante los consumidores por su color, sabor y propiedades saludables (Nile and Park, 2014, Okatan, 2020). El sabor de la frambuesa está dado por la concentración de azúcares, ácidos, y principalmente, por la composición y concentración de compuestos volátiles. Cabe destacar que estos frutos se encuentran entre las mejores fuentes de compuestos bioactivos en la dieta humana, conteniendo una alta cantidad de compuestos fenólicos, entre estos, flavonoides y antocianinas, además de vitamina C y compuestos volátiles (Ponder and Hallmann, 2019, Gu *et al.*, 2020, Frías-Moreno *et al.*, 2021a). Los polifenoles presentan una alta capacidad antioxidante, que conduce a la eliminación de las especies reactivas de oxígeno (ROS) causantes del daño oxidativo a ácidos nucleicos, proteínas y lípidos (Baby, Antony, & Vijayan, 2018), disminuyendo el riesgo de desarrollo de inflamación y enfermedades crónicas y degenerativas, incluyendo cáncer y enfermedades coronarias (Baby, Antony, & Vijayan, 2018; (Lima *et al.*, 2018) Rao & Snyder, 2010). Aunado a los polifenoles, las frambuesas contienen una alta concentración y variedad de compuestos volátiles, los cuales también forman parte de los compuestos bioactivos de los frutos rojos, ya que además de conferir el sabor característico a la frambuesa, presentan propiedades antiinflamatorias a niveles comparables a los compuestos fenólicos, a pesar de encontrarse en una menor concentración (Gu *et al.*, 2020). Los compuestos volátiles del sabor en la frambuesa han mostrado poseer beneficios contra el cáncer, la obesidad y la diabetes (Gu *et al.*, 2022).

Dado que la frambuesa presenta una vida de anaquel muy corta; requiere ser consumida en sus formas procesadas (Rosales-Soto *et al.*, 2012). Dentro de los alimentos procesados de frambuesa, la mermelada es uno de los productos más populares, permitiendo al consumidor el acceso a este fruto durante todo el año. Sin embargo, el tratamiento térmico puede afectar la composición y concentración de compuestos bioactivos como los compuestos volátiles del sabor y los compuestos fenólicos (Igual *et al.*, 2013). Diferentes mermeladas comerciales pueden presentar diferentes concentraciones de compuestos bioactivos dependiendo del proceso utilizado (tiempo y temperatura), de la concentración de frambuesa y de la adición de otros ingredientes, como el azúcar. Por este motivo, el objetivo de este estudio fue caracterizar las mermeladas comerciales (con azúcar o bajas en azúcar) disponibles en el mercado con base en sus compuestos bioactivos, polifenoles totales, flavonoides totales, antocianinas y compuestos volátiles; y compararlas con una

mermelada casera. Cabe destacar que con la presente investigación el consumidor se beneficiará de un mayor conocimiento comparativo entre las diferentes opciones comerciales y la opción casera; y se replanteará si las mermeladas comerciales bajas en azúcar son o no una mejor opción, tomando en cuenta como factores para su decisión la concentración de compuestos bioactivos benéficos para la salud, polifenoles totales y compuestos volátiles del sabor.

2. ANTECEDENTES

2.1 Tendencias hacia el Consumo de Frutas y Vegetales

Desde los años 90, y en fechas recientes con mayor intensidad, diversas organizaciones internacionales han recomendado aumentar el consumo diario de frutas y vegetales, por ser una importante fuente de nutrientes y de compuestos benéficos que contribuyen a mejorar la salud y reducir el riesgo de enfermedades crónicas (Rao and Snyder, 2010, Nile and Park, 2014).

El consumo de una dieta rica en frutas y verduras se ha asociado con una disminución en el riesgo de contraer enfermedades no transmisibles relacionadas con la edad y el estilo de vida, incluidas las enfermedades cardiovasculares (ECV) 5, la diabetes mellitus tipo 2 (DM2), el Alzheimer y el cáncer (Burton-Freeman *et al.*, 2016, D'Onofrio *et al.*, 2017, Bacanli *et al.*, 2019, Ranjan *et al.*, 2019).

A pesar de estos hallazgos y las recomendaciones, en México ha incrementado el consumo de alimentos procesados que podrían causar deterioro en la salud, sobrepeso, y enfermedades crónicas (Tena *et al.*, 2021). Sin embargo, algunos beneficios pueden obtenerse de cierto tipo de productos procesados, como es el caso de las mermeladas de frutos con corta vida de anaquel, como es el caso de los frutos rojos, donde para que el consumidor pueda beneficiarse del consumo de estos frutos durante todo el año, deberá consumirlos en sus formas procesadas.

2.2 Frutos Rojos y su Importancia

Los frutos rojos, como la mora (*Rubus spp.*), la frambuesa negra (*Rubus occidentalis*), el arándano (*Vaccinium corymbosum*), la fresa (*Fragaria ananassa*) y la frambuesa (*Rubus idaeus*), son frutas pequeñas y jugosas que se cultivan y consumen ampliamente tanto en su forma fresca como procesada (Nile & Park, 2014). Dentro de las frutas que forman parte de la alimentación, se ha observado un aumento en el porcentaje de consumo de frutos rojos, debido a su delicioso sabor y a su capacidad para combatir enfermedades (Diaconeasa *et al.*, 2019).

Los frutos rojos son una fuente abundante de diversos compuestos nutritivos como azúcares,

vitaminas y minerales; compuestos bioactivos como compuestos fenólicos (flavonoides, antocianinas, ácidos fenólicos), estilbenos y taninos, así como compuestos volátiles del sabor. Estos compuestos bioactivos presentes en los frutos rojos poseen potentes propiedades antioxidantes, anticancerígenas, antimutagénicas, antimicrobianas, antiinflamatorias y antineurodegenerativas, tanto en estudios *in vitro* como *in vivo* (Nile and Park, 2014, Gu *et al.*, 2022).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) resalta la relevancia de los compuestos bioactivos y su actividad antioxidante en frutos rojos, para la prevención de enfermedades cardiovasculares, diabetes, cáncer y obesidad (OMS, 2002). Investigaciones epidemiológicas han establecido una relación entre el consumo de frutos rojos y mejoras en la salud, principalmente debido a su contenido de polifenoles y propiedades antioxidantes cuando se consumen en estado fresco. De acuerdo con Beekwilder y cols. (2005a) las frambuesas se encuentran entre las principales fuentes de antioxidantes, mostrando una capacidad antioxidante hasta 10 veces más alta que vegetales como el tomate. Además de los polifenoles, existen otros compuestos bioactivos altamente benéficos a la salud, los compuestos volátiles del sabor, los cuales, además de ser los responsables de aportar el aroma y sabor únicos en los frutos rojos, han mostrado beneficios a la salud en contra de la inflamación, el cáncer, la obesidad y la diabetes en estudios *in vitro* e *in vivo* (Gu *et al.*, 2022).

2.3 Generalidades de la Frambuesa

La frambuesa (*Rubus idaeus L.*) pertenece al género *Rubus*, el cual engloba 12 subgéneros, más de 500 especies y miles de cultivares (Fotirić Akšić *et al.*, 2022). La domesticación de la frambuesa se inició cuando los romanos la difundieron por toda Europa en el siglo IV. Su popularidad se incrementó en el siglo XVI, cuando su cultivo se expandió por todo el continente europeo. En la actualidad, el subgénero *Idaeobatus* (frambuesas) se encuentra distribuido en América del Norte, Europa, África y Asia, siendo el más relevante desde el punto de vista comercial. Las bayas de frambuesa se consideran frutas agradables y refrescantes, con un sabor y aroma excepcionales que proporcionan energía y contribuyen a una dieta equilibrada. Se consideran entre los frutos rojos más populares del mundo y son consumidas en su forma fresca y procesada (Bobinaitė *et al.*, 2012).

En los últimos cinco años, la producción mundial de frambuesas ha experimentado un crecimiento

del 21.9% (FAO, 2021) abarcando actualmente más de 127 mil hectáreas, con una producción aproximada de 882 mil toneladas, siendo Europa el líder con casi las tres cuartas partes de la cantidad total de frambuesas producidas anualmente. Rusia produce alrededor de 174 mil toneladas, México ocupa el segundo lugar con aproximadamente 129 mil toneladas, y Serbia se sitúa en el tercer puesto con cerca de 120 mil toneladas. Según datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) en 2019, México se posicionó como el segundo productor mundial de frambuesas, con una cifra de 128 mil 848 toneladas. En los primeros meses del año 2023 la frambuesa fue el fruto de mayor exportación en nuestro país, así como el segundo producto del campo con mayor valor de exportación (Gobierno de México, 2023, Forbes, 2023).

Las frambuesas contribuyen a la dieta con una importante cantidad de fibra 6.5g/100g, proporcionan 52kcal/100g, también contienen vitamina C, magnesio, potasio, vitamina K, calcio y hierro (Burton-Freeman *et al.*, 2016). Las frambuesas son cada vez más apreciadas por el consumidor debido a su sabor, color y principalmente por el conocimiento sobre sus propiedades benéficas a la salud. Cada vez en mayor proporción los consumidores consideran a la frambuesa como un tesoro de la naturaleza debido a sus niveles elevados de diversos nutrientes, incluyendo minerales esenciales (magnesio, potasio, cobre y hierro), azúcares, ácidos orgánicos, compuestos fenólicos como flavonoides y antocianinas, ácidos grasos, estilbenos (resveratrol), taninos, lignanos, fibra dietética, vitaminas como la vitamina C y compuestos volátiles del sabor (Castilho-Maró *et al.*, 2013).

2.3.1 Compuestos Fitoquímicos de la Frambuesa

Los compuestos bioactivos son moléculas esenciales y no esenciales que ocurren en la naturaleza como parte de la cadena alimenticia, los cuales poseen beneficios a la salud humana, más allá del valor nutricional básico del alimento (Biesalski *et al.*, 2009). Mientras que los compuestos fitoquímicos son compuestos bioactivos de origen vegetal producidos por las plantas para su protección, entre otras funciones (Slavković and Bendahmane, 2023). La frambuesa se encuentra entre las mejores fuentes de compuestos fitoquímicos importantes por su efecto benéfico o protector en enfermedades de los tiempos modernos como cáncer, enfermedades cardiovasculares, diabetes mellitus, enfermedades neurodegenerativas como Alzheimer y problemas de sobrepeso, todas estas

relacionadas con vínculos metabólicos, oxidativos e inflamatorios (Burton-Freeman *et al.*, 2016). Por este motivo incluso se le ha considerado como un producto funcional natural (Bobinaité *et al.*, 2012).

Entre los compuestos bioactivos contenidos en las frambuesas se encuentran los compuestos fenólicos, entre estos, flavonoides, y dentro de estos las antocianinas (Ponder and Hallmann, 2019, Frías-Moreno *et al.*, 2021a). Los compuestos fenólicos presentan una alta capacidad antioxidante, que conduce a la eliminación de las especies reactivas de oxígeno (ROS) causantes del daño oxidativo a ácidos nucleicos, proteínas y lípidos (Baby, Antony, & Vijayan, 2018), disminuyendo el riesgo de desarrollo de inflamación y enfermedades crónicas y degenerativas, incluyendo cáncer y enfermedades coronarias (Baby, Antony, & Vijayan, 2018; (Lima *et al.*, 2018) Rao & Snyder, 2010).

Aunado a los compuestos fenólicos, las frambuesas contienen una alta concentración y variedad de compuestos volátiles del sabor, los cuales además de impartir el aroma y sabor característico de la frambuesa, también forman parte de los compuestos bioactivos de este fruto, presentando propiedades antiinflamatorias a niveles comparables a los compuestos fenólicos, a pesar de encontrarse en una menor concentración (Gu *et al.*, 2020). Los compuestos volátiles del sabor han mostrado poseer beneficios contra el cáncer, la obesidad y la diabetes (Gu *et al.*, 2022).

El consumo de frambuesa procesada, especialmente como mermelada, se ha vuelto cada día más popular debido a los estilos de vida modernos que siguen los consumidores. Es fundamental para la industria alimentaria que los productos comerciales de mermelada que producen no solo satisfagan al consumidor por su sabor, textura y apariencia, sino también por sus posibles beneficios para la salud. Sin embargo, los polifenoles, incluidos los flavonoides o las antocianinas, no son muy estables en la matriz alimentaria y se puede producir cierta degradación durante el procesamiento de la mermelada y después del almacenamiento debido a varios factores, como la temperatura, el pH, la concentración y la estructura de las antocianinas, el oxígeno, la luz y las enzimas. Su degradación durante el procesamiento puede causar cierta pérdida de color en las mermeladas, lo que influye en la aceptación de los consumidores (Poiana *et al.*, 2013). Por lo tanto, se deben elegir combinaciones adecuadas de temperatura y tiempo en el procesamiento de la mermelada para garantizar la estabilidad de las antocianinas y preservar la capacidad antioxidante. Se espera que las mermeladas de buena calidad presenten sus características nutricionales y sensoriales sustancialmente a lo largo de su almacenamiento prolongado (de Oliveira Pineli *et al.*, 2015).

Diaconeasa y colaboradores, (2019) estudiaron mermeladas de frambuesa comerciales por sus compuestos antioxidantes, y concluyeron que a pesar de que existen pérdidas de compuestos fenólicos y antocianinas y un decremento en la actividad antioxidante durante el procesamiento de la mermelada y su almacenamiento, las mermeladas comerciales seguían siendo una buena fuente de moléculas nutritivas con propiedades antioxidantes.

2.3.1.1 Compuestos fenólicos. El término "compuesto fenólico" abarca una amplia gama de sustancias vegetales que poseen una o más porciones fenólicas (uno o más anillos aromáticos - benceno- con un sustituyente hidroxilo) (Hamad, 2021). Mientras existen los fenólicos simples, con un solo grupo fenol; existen también los polifenoles, los cuales contienen más de un grupo fenol (Hamad, 2021). Los compuestos fenólicos vegetales forman un grupo químico muy heterogéneo que incluye casi 10,000 compuestos individuales. Algunos son solubles en agua debido a su combinación con azúcares en forma de glicósidos, y generalmente se encuentran en la vacuola. Otros sólo son solubles en solventes orgánicos, mientras que otros son polímeros grandes e insolubles (Ringuelet and Viña, 2013).

A lo largo de la evolución, las plantas han desarrollado mecanismos de defensa naturales contra infecciones microbianas y otros efectos ambientales dañinos. Es probable que los compuestos fenólicos, y varios otros compuestos estén involucrados en este fenómeno. Algunos estudios han indicado que los constituyentes bioactivos de las bayas, y en particular sus compuestos fenólicos, también pueden actuar como un nuevo tipo de antimicrobianos que pueden controlar una amplia variedad de patógenos (Diez-Sánchez *et al.*, 2021).

Las frutas y verduras comunes que son abundantes en compuestos fenólicos incluyen los frutos rojos, muchos cultivos de árboles frutales y las cebollas. Se ha reportado que las manzanas, las cebollas y el té aportan la mayor cantidad de flavonoides antioxidantes a la dieta de Europa occidental debido a su contenido y frecuencia de consumo (Hertog *et al.*, 1993). Los compuestos fenólicos son el grupo principal de fitoquímicos presentes en los frutos rojos, incluyendo flavonoides (antocianinas, flavonoles, flavonas, flavanoles, flavanonas e iso-flavonoides), estilbenos, taninos y ácidos fenólicos (Paredes-López *et al.*, 2010). Existen numerosos estudios que describen el contenido fenólico y la capacidad antioxidante de diversos cultivares de frambuesas (Kalt *et al.*, 1999, Wang and Lin, 2000, Moyer *et al.*, 2002, Frías-Moreno *et al.*, 2021b). El

contenido de compuestos fenólicos reportados en las frambuesas puede variar debido a las variaciones existentes entre los métodos analíticos, los cultivares, el cultivo convencional y orgánico, el momento de la cosecha y los procesos de manipulación (Hidalgo and Almajano, 2017, Ponder and Hallmann, 2019). Aunque ciertos cultivos de bayas tienen un alto contenido de vitamina C, normalmente es el contenido fenólico y no el contenido de vitamina C el que se correlaciona positivamente con la capacidad antioxidante (Kalt *et al.*, 1999).

Los dos grupos dominantes de compuestos fenólicos encontrados en la frambuesa son las antocianinas y los elagitaninos, los cuales conforman el 85% de los compuestos fenólicos totales (Bradish *et al.*, 2012, Kula *et al.*, 2016, Baby *et al.*, 2018). Específicamente, las frambuesas son una fuente rica de glucósidos, soforosidos y rutinosidos de cianidina. El ácido elágico (o los elagitaninos) son de particular interés desde el punto de vista nutricional y farmacológico, ya que estos compuestos pueden actuar como potentes agentes quimiopreventivos (Márquez-López *et al.*, 2019, Díez-Sánchez *et al.*, 2021). Los compuestos fenólicos contribuyen grandemente a la capacidad antioxidante de la frambuesa, de acuerdo con Lopez-Corona y colaboradores (2022), los elagitaninos proveen la mayor capacidad antioxidante en conjunto con las antocianinas. Beekwilder y cols., indican que los elagitaninos (o su forma libre ácido elágico) contribuyen con el 58% de la capacidad antioxidante de los frutos de frambuesa. Mullen y cols., indican que, de los elagitaninos, la sanguina H-6 es quien contribuye mayormente a la actividad antioxidante en la frambuesa (Mullen *et al.*, 2002, Beekwilder *et al.*, 2005a, Beekwilder *et al.*, 2005b).

El contenido de compuestos fenólicos en frambuesa se ve afectado por el procesamiento, así como por el almacenamiento. Los polifenoles se ven reducidos considerablemente con el tratamiento térmico durante la elaboración de mermeladas de frutos rojos; esta reducción ha sido reportada hasta en un 80% (Šavikin *et al.*, 2009). La reducción en los compuestos fenólicos totales durante el almacenamiento de la mermelada también ha sido reportada; de acuerdo con Savikin y cols., (2009) la concentración de compuestos fenólicos disminuyó entre un 6 a un 17% en mermeladas de frutos rojos. A pesar de esto, los autores siguen considerando a las mermeladas de frutos rojos como excelentes fuentes de sustancias nutricionales y capacidad antioxidante (Šavikin *et al.*, 2009)

2.3.1.2. Flavonoides. Los flavonoides son un importante grupo de compuestos fenólicos que tienen una estructura genérica que consiste en dos anillos aromáticos conectados por carbonos que

comúnmente están en un anillo heterocíclico oxigenado. Los flavonoides se han relacionado con una reducción en el riesgo de enfermedades crónicas como el cáncer, la diabetes, enfermedades del corazón, Alzheimer, entre otras. Se han aislado e identificado más de 5,000 flavonoides; de acuerdo con la estructura del anillo heterocíclico C estos se clasifican en flavonoles, flavonas, flavanoles, flavononas, isoflavonoides y antocianidinas (o antocianinas si se encuentran unidas a un azúcar) (Liu, 2013).

Muchos de los productos consumidos en la alimentación humana han sido sometidos a procesos de transformación térmica, lo cual puede afectar la estructura de los flavonoides y, por lo tanto, su actividad antioxidante. La temperatura tiene un efecto sobre la estabilidad de los flavonoides y su actividad biológica. Durante el tratamiento térmico a 130°C durante 2 horas, la quercetina, P1 y P2 se degradan por completo, dando lugar a la formación de P4 (ácido 2-(3,4-dihidroxifenil)-2-oxoacético), P5 (producto no identificado), P6 (ácido 2,4,6-trihidroxibenzoico) y P7 (producto no identificado) (Chaaban *et al.*, 2017). Dependiendo de su estructura, algunos flavonoides son más sensibles al tratamiento térmico que otros. Los flavonoides glicosilados suelen ser más resistentes al tratamiento térmico que los aglicónicos. La degradación está relacionada con la solidez estructural, y los dobles enlaces requieren más energía para degradarse. Las modificaciones estructurales pueden provocar cambios en la actividad antioxidante de los flavonoides. Los productos de degradación pueden presentar una menor, igual o mayor actividad antioxidante en comparación con los flavonoides nativos (Chaaban, 2017).

Durante la manufactura de mermelada de frutos rojos, los flavonoides pueden disminuir. La quercetina y el kaempferol disminuyeron en un 15 y 18% respectivamente durante el proceso de elaboración de mermelada de fresa (Häkkinen *et al.*, 2000). Durante el almacenamiento también hay pérdidas en los flavonoles, la mermelada de fresa perdió en 6 meses de almacenamiento el 40% de la quercetina 3-glucosido y el 50% del kaempferol 3-glucosido (Zafrilla *et al.*, 2001).

2.3.1.3 Antocianinas. Las antocianinas son un subgrupo de los flavonoides, los que a su vez forman parte de los compuestos fenólicos. Tienen una alta capacidad antioxidante y son muy abundantes en los frutos rojos. Las antocianinas se han asociado con un menor riesgo de contraer ciertos tipos de cáncer, y enfermedades urinarias, entre otras enfermedades (Nile and Park, 2014). Las antocianinas son responsables en conjunto con los elagitaninos, de proveer la mayor capacidad

antioxidante en las frambuesas (Mullen *et al.*, 2002, Lopez-Corona *et al.*, 2022). Las frambuesas rojas, púrpuras y azules son especialmente ricas en antocianinas (Nile, 2014). Las antocianinas son los compuestos responsables de proporcionar el color rojo, púrpura y azul característico de los frutos rojos (Määttä-Riihinen *et al.*, 2004).

Las principales antocianinas en frambuesas son derivados de la cianidina (Beattie *et al.*, 2005). Mullen y cols. (2002) reportaron 11 antocianinas en frambuesa roja, siendo cianidina-3-soforosido y cianidina-3-glucosil rutinosido las más importantes. García y cols., (1998) reportan como las principales antocianinas en mermelada de frambuesa Heritage a cianidina-3-soforosido y a cianidina-3-glucosido.

El color es el principal atributo asociado con la calidad de la mermelada de frambuesa y la conservación de las antocianinas que dan el color natural a este producto es un desafío importante en el procesamiento de alimentos (Ahmed *et al.*, 2005). Las antocianinas, que son responsables del color en la frambuesa, se degradan fácilmente siguiendo varios mecanismos de reacción afectados por varios factores como el pH, la temperatura, la luz, el oxígeno y las enzimas (Castañeda-Ovando *et al.*, 2009). Por lo que el tratamiento térmico en la elaboración de mermelada tiene un efecto nocivo sobre las antocianinas (Harbourne *et al.*, 2008). De acuerdo con García y cols. (1998) al elaborar mermelada de frambuesa la concentración total de antocianinas se reduce en un 17-24% con frambuesa Heritage y de un 37-40% con frambuesa Zeva. Otro responsable de la pérdida de antocianinas es el almacenamiento, y este efecto es más pronunciado a mayor es la temperatura de almacenamiento. Después de un considerable periodo de almacenamiento las mermeladas llegan a disminuir en un 94-97% la concentración de antocianinas (García-Viguera *et al.*, 1998).

2.3.1.4 Compuestos volátiles del sabor. Los compuestos volátiles son sustancias pequeñas con un peso molecular menor a 300 Daltones, presentes en bajas concentraciones que van desde ppb a ppm; las cuales son percibidas por las personas y se relacionan con olores y sabores placenteros (Aprea *et al.*, 2015, Gu *et al.*, 2020). Estas moléculas, sin embargo, son emitidas por las plantas con funciones importantes como, atraer polinizadores, y defenderse contra herbívoros, insectos y microorganismos, así como para aliviar el estrés biótico y abiótico (Aprea *et al.*, 2015, Gu *et al.*, 2020, Gu *et al.*, 2022). La composición y concentración de compuestos volátiles en la frambuesa varía dependiendo de la variedad del fruto, el método de cultivo, el estado de madurez, la cantidad

y horas de luz (Aprea *et al.*, 2009, Molina-Corral *et al.*, 2021).

Los compuestos volátiles son esenciales en la percepción del sabor de la frambuesa. La sensación de sabor se percibe utilizando dos sentidos corporales simultáneamente: el gusto, detectado en la boca (principalmente en la lengua), y el olfato, radicado en las fosas nasales, donde se detecta el aroma. Los estímulos responsables del aroma de la frambuesa son sustancias volátiles, cuya composición, propiedades y mecanismos de percepción han sido ampliamente estudiados (Durán *et al.*, 1999). El perfil de aroma de las frambuesas, que es una combinación compleja de aldehídos, cetonas, terpenoides, alcoholes, ésteres y furanos, tiene un impacto significativo en la aceptabilidad de las frutas por parte del consumidor (Valdés García *et al.*, 2020).

Cerca de 300 compuestos volátiles han sido reportados en frambuesa (Aprea *et al.*, 2015). La principal clase de volátiles son los terpenoides (Aprea *et al.*, 2015), hidrocarburos con una unidad básica de isopreno (C_5H_8)_n. Dependiendo del número de isoprenos, los terpenos pueden dividirse en mono-, sesqui- y diterpenos, en los cuales el número de isoprenos es de 2, 3 y 4, respectivamente (Lima *et al.*, 2018). De estos los monoterpenos terpinen-4-ol, geraniol, linalol, limoneno, nerol, p-cymene, terpinoleno, α - and β - felandreno, γ -terpineno and α - y β - pineno son los más frecuentemente reportados (Aprea *et al.*, 2015). De los sesquiterpenos, los principales son el β -cariofileno, y el α -elemeno. Entre los ácidos encontrados en la frambuesa se encuentran el ácido acético y el hexanoico, los cuales se reportan en concentraciones de 20 ppb a 135 ppm y de 19.3 ppm (respectivamente). La frambuesa contiene un grupo de volátiles llamado C13-norisoprenoides, los cuales se generan a partir de los carotenoides; entre estos se encuentran la α -ionona y la β -ionona (derivados del α -caroteno y β -caroteno), el α -ionol, la α - β -dihidro- β -ionona y la metil- β -ionona (Aprea *et al.*, 2015). Los C13-norisoprenoides tienen un umbral del sabor bajo y un fuerte impacto sensorial en el aroma (Liang *et al.*, 2022). La Figura 1 muestra los compuestos volátiles identificados en la frambuesa de acuerdo con su clase química.

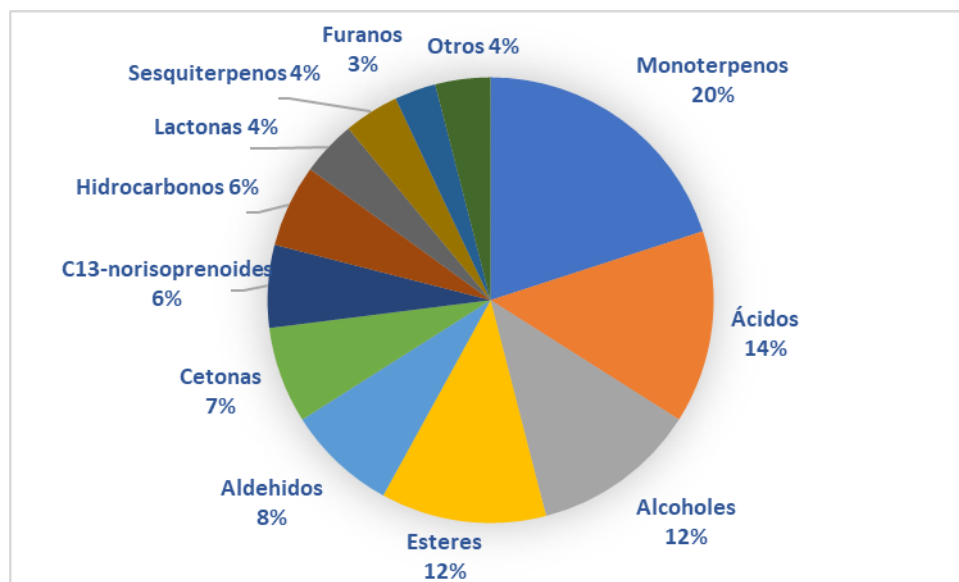


Figura 1. Compuestos volátiles reportados en la frambuesa (*Rubus idaeus L.*) de acuerdo con su clase química. Tomado de Aprea et al. (2015).

Los compuestos volátiles también pueden encontrarse en su forma no volátil sin proporcionar sabor, cuando se encuentran como glico-conjugados (unidos a un azúcar), y su ocurrencia puede ser mayor que en su forma libre, estos son un indicador del potencial aroma de la fruta (Liang *et al.*, 2022). La ocurrencia de estos aroma-glicósidos no es igual en todas las clases de volátiles. Por ejemplo los sesquiterpenos glicósidos no son tan predominantes como lo son los monoterpenos glicósidos (Liang *et al.*, 2022).

Aunque los compuestos volátiles son principalmente reconocidos por el aroma característico que imparten a los frutos, estos también son fitoquímicos con propiedades saludables, sin embargo no son muy reconocidos por este importante atributo (Gu *et al.*, 2020). Se ha demostrado que los compuestos volátiles tienen propiedades antiinflamatorias comparables a los compuestos fenólicos, a pesar de que se encuentran en una concentración mucho menor. Su acción se da a través de la supresión de mediadores proinflamatorios y la expresión de citoquinas a través de la regulación negativa de NF-KB (Gu *et al.*, 2020). Los isoprenoides como el mirceno y el pineno han mostrado beneficios antibacterianos, antitumorales, antiinflamatorios, anti edad, antioxidantes, analgésicas y sedativas (Kumar *et al.*, 2023). Los compuestos volátiles del aroma de la clase de los terpenos y terpenoides juegan un rol muy importante en la salud por sus propiedades anticancerígenas, antioxidantes, antivirales, antidiabéticas y anti-inflamatorias (Gu *et al.*, 2020). Los monoterpenos

han mostrado han mostrado efecto anticancerígeno a través de su actividad quimiopreventiva y quimioterapéutica (Edris and Derivatives, 2007); el d-limoneno ha mostrado efectos antiangiogénicos y proapoptóticos en cáncer gástrico (Edris and Derivatives, 2007).

El procesamiento de la frambuesa puede afectar la concentración y composición de los volátiles. Durante el almacenamiento a temperaturas de congelamiento (-20°C) los cambios en los compuestos volátiles son mínimos. Se observa una mayor capacidad de extraer α -ionona (27%) y cariofileno (67%), los autores atribuyen esto a la disrupción celular causada por el proceso de congelamiento (de Ancos *et al.*, 2000). En el caso de las mermeladas, la alta temperatura de procesamiento puede afectar más drásticamente a los compuestos volátiles del sabor. De acuerdo con Hadjimitsi y cols. (2005), aumentar la temperatura de 75°C a 98°C causa una disminución de mirceno, limoneno y γ -terpineno. De acuerdo con Levaj y cols. (2010), la mermelada de frambuesa contiene los mismos volátiles que la fruta fresca, pero en menores concentraciones.

2.4 Mermelada como Método de Conservación de la Frambuesa

Las frambuesas frescas, son extremadamente perecederas debido a sus frágiles estructuras, altas tasas de respiración y susceptibilidad a infecciones fúngicas. Tienen un alto contenido de humedad (84%), por lo que se degradan fácilmente por deterioro (Rodríguez *et al.*, 2018). Dicho deterioro de la calidad de la fruta se caracteriza por sobremaduración, deshidratación, oscurecimiento y ablandamiento de la fruta con colapso progresivo y el ataque de patógenos, principalmente del hongo *Botrytis cinerea* (Valdés García *et al.*, 2020).

Las prácticas industriales actuales se basan principalmente en el almacenamiento en frío (0 a 2 °C), lo que da como resultado una vida útil comercial máxima de 7 a 10 días después de la cosecha. El carácter perecedero de las frambuesas ha estado limitando su expansión en el mercado y es una causa del desperdicio de alimentos en las tiendas minoristas y en los hogares (do Nascimento Nunes, 2009).

Debido a la corta vida útil de las frambuesas, el consumidor demanda productos procesados con una vida de anaquel más larga. Entre las principales formas procesadas más aceptadas por el consumidor se encuentran las mermeladas ya que son productos que se encuentran con facilidad en

los supermercados, de un color agradable, sabor típico, consistencia placentera, de fácil conservación e inmediata disponibilidad (Rababah *et al.*, 2015). Las mermeladas son preparaciones conteniendo fruta preservada utilizando azúcar u otros endulzantes, preparada y preservada por la cocción, con la posibilidad de agregar conservadores, pectina y ácidos, especialmente ácido cítrico (Rababah *et al.*, 2015, Kántor *et al.*, 2021). Las mermeladas de frambuesa generalmente se elaboran combinando proporciones similares de fruta y de azúcar, aunque otros edulcorantes pueden ser añadidos como como jarabe de maíz de alta fructosa, glucosa de maíz, sucralosa, malitol, sorbitol, miel, jarabe de arce, jarabe de agave, estevia, y polidextrosa, entre otros (Saveski *et al.*, 2015).

Igual que los atributos sensoriales como el color, sabor y consistencia, las características nutricionales y de salud de las mermeladas son importantes. Estas características son las que califican los consumidores todos los días y en base a las cuales deciden si comprar o no un producto en particular (Kántor *et al.*, 2021).

El procesamiento térmico utilizado para la elaboración de mermelada es un proceso útil para prolongar la vida y el período de conservación de la frambuesa, pero es necesario tener en cuenta tanto las consecuencias beneficiosas como las destructivas del tratamiento térmico (Lepinard *et al.*, 2012). Por tanto, en la producción de mermelada de frambuesa hay que afrontar que el procesamiento puede afectar a sus propiedades. Durante el procesamiento de la fruta, las estructuras celulares se alteran y se vuelven más susceptibles a la oxidación, tanto enzimática como no enzimática (Aaby *et al.*, 2007). El procesamiento de alimentos durante la elaboración de mermelada puede alterar y dañar los antioxidantes presentes. Los pasos como la maceración, el calentamiento y la separación pueden provocar oxidación, degradación térmica, y otros eventos que resultan en niveles más bajos de antioxidantes en la mermelada de frambuesa, en comparación con el fruto en fresco. Esto es especialmente cierto en el caso de la vitamina C y los compuestos fenólicos. Sin embargo, en el caso de los carotenoides, el procesamiento puede conducir a la liberación de antioxidantes de los componentes de la matriz vegetal, lo que resulta en un aumento de los antioxidantes carotenoides y una mejor absorción digestiva (Kalt, 2005). La ubicación de los componentes dentro de los tejidos vegetales se vuelve importante cuando ciertos tejidos, como las semillas, se separan durante la elaboración de mermelada. Esto puede reducir el nivel de ciertos componentes antioxidantes (Kalt, 2005).

3. HIPÓTESIS

- Las mermeladas de frambuesa caseras representan la mejor fuente de compuestos bioactivos
- Las mermeladas comerciales representan una buena fuente de compuestos bioactivos en relación directa con su costo.
- Las mermeladas comerciales sin azúcar no representan la mejor opción al consumidor, tomando en cuenta los compuestos bioactivos.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo General

El objetivo de este estudio fue caracterizar las mermeladas de frambuesa comerciales disponibles en el mercado y compararlas con mermelada de frambuesa casera, con relación a los compuestos bioactivos.

4.2 Objetivos Específicos

1. Obtener las mermeladas de frambuesa comerciales disponibles en el mercado en México y elaborar mermelada de frambuesa casera.
2. Analizar y comparar los compuestos antioxidantes: fenoles totales, flavonoides totales y antocianinas totales de las diferentes mermeladas de frambuesa.
3. Analizar y comparar la actividad antioxidante de las diferentes mermeladas de frambuesa, por los métodos ABST y DPPH.
4. Estudiar la correlación existente entre la actividad antioxidante de las mermeladas (ABTS y DPPH) y sus compuestos antioxidantes.
5. Analizar y comparar los compuestos volátiles de las diferentes mermeladas de frambuesa.
6. Estudiar la correlación entre la concentración de los diferentes compuestos bioactivos (fenoles totales, flavonoides, antocianinas, compuestos volátiles), la capacidad antioxidante (ABTS y DPPH) y el costo de las mermeladas comerciales.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

En el presente trabajo se caracterizaron las mermeladas de frambuesa comerciales disponibles en el mercado (Cuadro 1). Con el fin de comparar las mermeladas comerciales con mermelada casera, se elaboraron dos diferentes mermeladas; una mermelada de frambuesa con azúcar (HM) y una mermelada de frambuesa baja en azúcar (HM-LS). El Cuadro 1 muestra las características de las mermeladas estudiadas, ingredientes, origen, porcentaje de fruta y precio de venta. Las mermeladas de frambuesa fueron caracterizadas por sus compuestos bioactivos: compuestos volátiles, compuestos fenólicos, antocianinas y flavonoides totales; además se analizó la capacidad antioxidante mediante el método ABST y el método DPPH, finalmente se analizaron las siguientes propiedades fisicoquímicas: sólidos solubles totales, humedad, actividad acuosa y color (L^* , Croma y $^{\circ}$ Hue).

5.1 Elaboración de Mermelada

Para la elaboración de la mermelada casera se adquirió frambuesa de una plantación comercial en Cuauhtémoc, Chihuahua, México. Las prácticas agronómicas para su cultivo se llevaron a cabo de acuerdo con las recomendaciones y criterios del productor. Las frambuesas fueron cosechadas en su estado de madurez óptimo y posteriormente almacenadas a 3°C hasta la elaboración de las mermeladas (24h). Para la elaboración de la mermelada casera con azúcar HM, se mezcló la frambuesa con azúcar en proporción 1:0.8 (0.8 kg de azúcar por cada kilogramo de frambuesa. Así mismo se elaboró una mermelada baja en azúcar HM-LS, en proporción 1:0.1:0.0017, fruta:azúcar:estevia (inulina, extracto de hoja de estevia y sílica) con adición de 0.2 g de estevia (SweetLeaf, AZ, E.U.A.) por cada kg de fruta. Para la preparación de mermeladas la fruta se mezcló con el edulcorante y se llevó a ebullición a presión atmosférica en recipiente abierto, por 7 minutos. Posteriormente se añadió pectina comercial poco esterificada disuelta en agua (Sure-Jell) para obtener un producto final con 1.27% de pectina (mezcla de dextrosa, ácido cítrico y pectina de fruta); se llevó a ebullición por 5min y se adicionó jugo de limón en una proporción de 5g/kg de

mermelada (solamente se adicionó a HM). Posteriormente las mermeladas fueron envasadas en caliente en frascos de vidrio de 236 ml previamente hervidos por 5 min. Las mermeladas caseras se almacenaron a temperatura ambiente (24°C) por 4 meses para simular un tiempo de la vida de anaquel de la mermelada comercial.

Cuadro 1. Mermeladas de frambuesa estudiadas, origen, ingredientes, porcentaje de fruta y costo.

Nombre adjudicado	Imagen	Origen	Ingredientes	% de fruta	Costo dólares/100g
CJ		México	Frambuesa, azúcares añadidos (glucosa de maíz, jarabe de maíz de alta fructosa y azúcar), pectina, ácido cítrico, CMC sódica, sorbato de potasio y EDTA disódico	---	0.34
NI		México	Frambuesa, azúcar, pectina y sorbato de potasio	---	1.11
BM		España	Frambuesas, azúcar, caña de azúcar moreno, jugo de limón concentrado, pectina de fruta.	---	1.48
SD		Francia	Frambuesa, azúcares añadidos, jugo de fruta, pectina	51%	1.32
H*		España	Frambuesa, azúcares añadidos (azúcar), pectina, ácido cítrico.	60%	1.02
H-NS*		España	Frambuesa, agua, fibra dietética, malitol, sucralosa, concentrado de sauco, pectina, ácido cítrico, sorbato de potasio.	---	1.42
S*		México	Frambuesas, azúcares añadidos (jarabe de maíz alto en fructosa, jarabe de maíz), pectina, ácido cítrico.	---	0.86
S-LS*		México	Agua, frambuesas*, poli dextrosa, azúcares añadidos (sacarosa y maltodextrina), pectina, ácido cítrico, goma de algarrobo, sorbato de potasio (0,09% como conservador), sucralosa (30 mg/100 g), cloruro de calcio, saborizante natural, colorantes artificiales (rojo No. 17 y azul No. 2) y *azúcares añadidos (sacarosa).	---	0.68
HM		México	Frambuesa, azúcar	52%	1.02
HM-LS		México	Frambuesa, azúcar, estevia, jugo de limón, pectina	82%	1.42

* Las siguientes mermeladas son de la misma marca, sólo que la primera contiene azúcar y la segunda es baja en azúcar o no contiene azúcar: H y H-NS, S y S-LS.

5.2 Análisis Fisicoquímicos

Los parámetros fisicoquímicos evaluados fueron, sólidos solubles, expresado como °Brix; humedad, expresada como porcentaje de humedad; actividad acuosa, y color, expresado como L, croma y °Hue. La concentración de sólidos solubles de las mermeladas se determinó por el método AOAC932.12 modificado utilizando una muestra diluida 1g:1ml agua. La medición se llevó a cabo a una temperatura de 20°C utilizando un refractómetro Abbe a 20°C. El análisis de humedad de las muestras se llevó a cabo utilizando el método AOAC 925.10, 1975, los resultados fueron expresados en porcentaje de humedad. La actividad acuosa se determinó de acuerdo con el manual de instrucciones de Decagon Devices, Inc. (2008), utilizando el equipo Aqualab Serie 3TE (Decagon Device Inc., EE.UU).

Las mediciones del color de las mermeladas se realizaron con un colorímetro Hunter Lab, LabScan XE (Hunter Associates Laboratory, Reston, VA, EUA), usando el sistema CIE L*a*b* con iluminante D65 y observador de 10°. Seis lecturas por repetición fueron realizadas para determinar los valores °Hue (tono de color), Croma (intensidad del color) y L* (luminosidad). Las muestras se homogenizaron y se introdujeron en una placa transparente de 15 cm de diámetro y 2 cm de profundidad. La placa se colocó sobre una base blanca y en la superficie de la muestra se adhirió un plástico transparente. Las mediciones se realizaron por triplicado para cada muestra.

5.3. Análisis de Compuestos Fenólicos, Flavonoides y Antocianinas Totales

5.3.1 Preparación del Extracto

Una muestra de 5g de mermelada fue sometida a un proceso de extracción adicionando 100ml de solución metanol/agua/ácido acético en proporción 70:30:5. Posteriormente la mezcla fue homogeneizada en un baño de agua, utilizando un ultraturax (Ultra-Turrax, Model IKA, T25 digital, Alemania) a una velocidad de 12,500 rpm por un periodo de 1 min. El homogeneizado fue filtrado

a presión reducida a través de papel de filtro (Whatman nº 1). El sobrenadante fue nuevamente tratado repitiendo el proceso de extracción hasta que las muestras fueron incoloras; para esto se requirieron dos procesos más adicionando 50 ml de disolvente en cada uno. Las tres fracciones obtenidas fueron combinadas y llevadas a evaporación utilizando un rotavapor (Labconco-Rotary Evaporator, E.U.A.) bajo vacío a 40°C hasta obtener 20 ml, lo que llevó aproximadamente 35 min. Posteriormente la muestra fue llevada a 50 ml con agua desionizada. El extracto fue utilizado para determinar compuestos fenólicos totales, flavonoides totales, antocianinas totales y capacidad antioxidante por los métodos DPPH y ABTS. Para evitar cualquier pérdida de pigmentos, la preparación del extracto se llevó a cabo en la oscuridad y bajo condiciones controladas. Todas las mediciones se llevaron a cabo utilizando un espectrofotómetro modelo Thermo scientific, evolución 201 UV/Visible (E.U.A.).

5.3.2 Compuestos Fenólicos Totales

La determinación de compuestos fenólicos totales se realizó según Da Silva *et al.*, (2007) con algunas modificaciones. Una alícuota de 0.5ml de extracto se mezcló con 0.1 ml de reactivo de Folin-Ciocalteu y 1.1 ml de agua destilada, utilizando un tubo de ensayo de 4 ml. Después de 5 minutos a temperatura ambiente se adicionaron 0.3 ml de una solución saturada de carbonato de sodio (Na_2CO_3). La mezcla se llevó a incubación y reposo por 40 minutos para después agregar 1.1 ml de agua destilada. La absorbancia se midió a 750 nm y los resultados se expresaron como mg de ácido gálico (GAE) /100 g de peso fresco.

Se realizó una curva de calibración de ácido gálico aforando 20 mg de ácido gálico a 10 ml con metanol. Posteriormente se tomaron 100 µl y se aforaron a 10 ml con agua (solución stock). Se obtuvieron diferentes concentraciones de la solución stock, 1mg/L (0.005 ml), 6 mg/L (0.3 ml), 12 mg/L (0.6 ml), 18 mg/L (0.9 ml), 24 mg/L (1.2 ml) en tubos de ensayo de 15 ml. Cada solución fue procesada como se hizo con el extracto.

5.3.3 Flavonoides Totales

El contenido total de flavonoides de los extractos se determinó mediante el método colorimétrico, descrito por Sulastri y cols., (2018) con algunas modificaciones. Un mililitro de extracto se mezcló con 3 ml de etanol (96%). Posteriormente se agregaron 0.2 ml de cloruro de aluminio (10%), 0.2 ml de acetato de potasio (1 M) y 5.6 ml de agua destilada. La mezcla se incubó a temperatura ambiente durante 10 min con agitación intermitente. La absorbancia se midió a 430 nm contra un blanco sin cloruro de aluminio utilizando el espectrofotómetro UV-Vis Thermo scientific, evolución 201. Los flavonoides totales se calcularon como media $\pm$ DE (n = 3) y se expresaron como peso de equivalente de quercetina (QE) por 100 mg de peso fresco.

La curva de calibración se realizó disolviendo 25 mg de quercetina en etanol (96%). Se obtuvieron diluciones seriadas de la solución para conseguir las siguientes concentraciones: 3.9, 7.8, 15.6, 37.5, 62.5, 125, 250 y 500 μ g/ml. Cada solución fue procesada como se hizo con el extracto.

5.3.4 Antocianinas Totales

Se determinó el contenido antocianinas totales utilizando el método diferencial de pH descrito por Lee y cols., (2005), utilizando cloruro de potasio 25 mM y acetato de sodio 0.4 M como soluciones de tampón con un pH de 1.0 y 4.5, respectivamente. Un mililitro de extracto se mezcló con 4 ml de buffer pH 1.0, para posteriormente ser leído a dos longitudes de onda (520 y 700 nm). Nuevamente se tomó 1 ml de extracto y se mezcló con 4 ml de buffer de pH 4.5 para posteriormente llevar a cabo las lecturas a 520 y 700nm. La concentración de antocianinas totales monoméricas se determinó usando la siguiente formula:

$$(A \times MW \times DF \times 1000) / (\epsilon \times 1) \quad (1)$$

Donde A = $(A_{530 \text{ nm}} - A_{700 \text{ nm}})$ a pH 1.0 - $(A_{530 \text{ nm}} - A_{700 \text{ nm}})$ a pH 4.5. MW es el peso molecular =

449.2 g/mol de Cianidina-3-glucósido; DF es el factor de dilución, y ϵ es el coeficiente de extinción molar= 26900 L/M/cm. Los resultados se expresaron en mg de cianidina-3-glucósido (C3G)/100g peso fresco.

5.4 Capacidad Antioxidante

5.4.1 Ensayos DPPH (1,1-difenil-2-picrilhidrazilo)

Para la medición de la capacidad antioxidante mediante el método DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazil), descrito por Bran-Williams y cols., (1995); el radical DPPH fue disuelto en metanol. Se preparó una solución de trabajo DPPH en metanol, ajustada a una absorbancia de 1 en 515 nm (20 ml de solución DPPH, 29 ml de metanol 80%). El ensayo se llevó a cabo utilizando 50 μ L de extracto y 1450 μ l de la solución DPPH, incubando por 30 min. Cada tratamiento se evaluó por triplicado, y como referencia del reactivo se usó la misma cantidad de DPPH (1450 μ l) y 50 μ L del solvente de la muestra (metanol 80%). Después de 30 minutos de reacción a temperatura ambiente y en la oscuridad, se leyó la absorbancia a una longitud de onda de 515 nm. La curva de referencia se construyó usando trolox como patrón primario (1,000 ppm), realizando diluciones seriadas para obtener concentraciones de 500, 250, 125, 62.5, 31.25 y 15.625 μ g/ml de Trolox. Se tomaron muestras de las diferentes soluciones para procesarlas de la misma manera que se hizo con el extracto. Utilizando la curva de calibración se determinó la concentración de antioxidantes en las muestras de mermelada. Los resultados se expresaron μ mol de equivalente Trolox (ET)/100 g peso fresco (μ mol ET/100 g peso fresco).

5.4.2 Ensayos ABTS (2,2'-Azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid))

Los valores de capacidad antioxidante total en mermeladas frambuesa se analizaron con el método

de decoloración de cationes radicales ABTS de acuerdo con el método descrito por Diaconeasa y cols., (2019) con algunas modificaciones. En oscuridad se llevó a cabo la preparación de ABTS poniendo en 10 ml de agua 38.4 g de ABTS, utilizando un matraz aforado ambar para obtener una solución 7 mM. Posteriormente se preparó una solución de persulfato de potasio adicionando 6.62 mg de persulfato de potasio en 10 ml de agua desionizada utilizando un matraz aforado de 10 ml para obtener una solución 2.45 mM. Se preparó una solución mezclando 5 ml de ABTS 7 mM con 88 µL de persulfato potasio 2.45 mM, se dejó reposar por 16 horas a temperatura ambiente y bajo oscuridad para su posterior uso. Se elaboró la solución de trabajo tomando una parte de la solución diluyendo hasta obtener una absorbancia de 0.7 a 734nm. Se analizó el extracto tomando 100 µl del mismo adicionando 1500 µl de solución de trabajo, se incubó por 6 min bajo oscuridad a temperatura ambiente y posteriormente se tomó la lectura a 734 nm. Los resultados se calcularon según la curva estándar de Trolox (12.5, 25, 50, 100, 200 y 400 µg/ml). Los resultados se expresaron como µmol de equivalente de Trolox (ET)/100 g de peso fresco.

5.5 Compuestos Volátiles

La composición y concentración de compuestos volátiles del sabor fue obtenida por microextracción en fase sólida de espacio de cabeza (HS / SPME). El dispositivo SPME utilizado fue un soporte SPME manual Supelco (Bellefonte, PA, EE. UU.) 57330-U. Para la extracción y concentración de compuestos volátiles se utilizó fibra de sílice fundida recubierta con polidimetilsiloxano (PDMS), espesores de película de 100 mm (Supelco). La fibra se acondicionó previamente a 250°C para la entrada de la GC antes de tomar la muestra según las instrucciones del fabricante. La muestra homogeneizada de fruta o mermelada (30 mL) se colocó en un vial de 50 mL y se añadió NaCl (3 g). El vial se selló con una tapa de aluminio y un tabique revestido de teflón, se calentó a 50°C y se mezcló suavemente. Las muestras se equilibraron durante 10 minutos antes de la inserción de la fibra y se mantuvieron a 50°C durante un ensayo de 30 minutos. Luego, la fibra se retiró del espacio de cabeza y se insertó en GC.

La desorción térmica de los volátiles adsorbidos se realizó exponiendo directamente la fibra en el puerto del inyector del GC durante 5 min a 200°C. Se realizaron análisis en blanco con regularidad

antes del análisis de la muestra para asegurar la eliminación de posibles impurezas del GC. El modo de inyección splitless se utilizó para la desorción térmica, la válvula split se abrió después de 3 min. Se utilizó un cromatógrafo de gases Varian 3900 acoplado con un detector de masas. Los compuestos se separaron en una columna DB-Wax (60 m 0,25 mm, d.i.; J&W Scientific, Folsom, CA, EE. UU.). El gas portador fue helio a un caudal de 1 ml/min. Se utilizó un inyector split/splitless y se mantuvo a 200°C. El detector se mantuvo a 250°C. La programación de la temperatura fue la siguiente: 3 min a 40°C, luego de 40 a 190°C a 5°C/min y mantener durante 10 min a 190°C (45). La ionización de las muestras se logró a 70 eV usando el modo SCAN. El rango de masas estudiado fue de 40 a 450 m/z. Los espectros de MS se compararon con los datos de los espectros de la biblioteca nist 2008. Los resultados obtenidos en esta investigación se muestran como el área de los picos.

5.6 Análisis Estadístico

Todos los análisis fueron realizados por triplicado. Los resultados obtenidos de las diferentes variables de respuesta fueron analizados mediante un análisis de varianza (ANOVA), llevando a cabo la comparación de medias por el método de Tukey ($P \leq 0.05$). Para determinar si existe correlación entre los diferentes grupos de antioxidantes (polifenoles totales, flavonoides y antocianinas) y la capacidad antioxidante (ABTS y DPPH) o los parámetros de color, así como para determinar si existe una relación entre las diferentes variables de respuesta y el costo de la mermelada, se llevó a cabo un análisis de correlación bivariado para determinar el coeficiente de correlación de Pearson y su significancia estadística. Todos los análisis estadísticos se realizaron utilizando el paquete estadístico IBM SPSS versión 27.

6. RESULTADOS Y DISCUSIONES

En el presente trabajo se caracterizaron las mermeladas de frambuesa comerciales disponibles en el mercado (Cuadro 1), por sus compuestos bioactivos, polifenoles totales, flavonoides totales, antocianinas y compuestos volátiles. Se llevaron a cabo también los análisis fisicoquímicos para determinar sólidos solubles, humedad, actividad acuosa y color (L^* , Croma y $^{\circ}$ Hue). Se elaboraron mermeladas de frambuesa caseras con azúcar (HM) y baja en azúcar (HM-LS) para ser comparadas con las mermeladas comerciales.

6.1 Características Fisicoquímicas de las Mermeladas

El cuadro 2 muestra el porcentaje de humedad y la actividad acuosa de las mermeladas de frambuesa analizadas. Los niveles de humedad pueden influir en la textura de las mermeladas (Huynh *et al.*, 2023), mientras que la estabilidad y la vida útil de las mermeladas se ve afectada por la actividad acuosa. Debido al procesamiento térmico las mermeladas caseras perdieron un 0.9 y un 3.2% de agua, HM y HM-LS, respectivamente. La mermelada casera con azúcar HM pasó de 52 a 51.1% de humedad. En la presente investigación las distintas mermeladas estudiadas presentaron un comportamiento estadísticamente diferente (Cuadro 2). Se puede observar como las mermeladas bajas en azúcares presentan valores más altos de humedad; la mermelada H-NS, la cual no contiene azúcares, presenta la humedad más alta 81.9%, seguida de las mermeladas bajas en azúcares HM-LS (casera) con 78.4% y S-LS con 74.5%; mientras sus respectivas contrapartes (la misma marca, pero conteniendo azúcares), muestran los siguientes valores: H 58.4%, HM 51.1% y S 39.1%. El coeficiente de correlación de Pearson entre la humedad y los sólidos solubles es de -0.99, valor totalmente razonable tomando en cuenta que la composición principal de la mermelada es agua y sólidos solubles como azúcares y pectina. Aquellas mermeladas con menor cantidad de humedad y mayor cantidad de sólidos solubles fueron S y CJ, con 38.2 y 39.1% de humedad, respectivamente, y sin diferencia estadística significativa en ambos parámetros (Cuadro 2 y Figura 2). Dado que las mermeladas S y CJ presentan la mayor cantidad de sólidos solubles se espera que tengan el menor

precio, y así es, estas dos mermeladas comerciales, S y CJ, son las más económicas (Cuadro 1). Es importante destacar que estas dos mermeladas, las más económicas, son las únicas que presentan en sus ingredientes como edulcorante al jarabe de maíz, mientras que el resto de las mermeladas que muestran azúcares en sus ingredientes, contienen sacarosa (Cuadro 1). El resto de las mermeladas conteniendo sacarosa presentan una humedad que va desde 45.3% hasta 58.4%.

Cuadro 2. Humedad y actividad acuosa en mermeladas de frambuesa comerciales y caseras.

Mermeladas de frambuesa										
	<i>CJ</i>	<i>NI</i>	<i>BM</i>	<i>SD</i>	<i>H</i>	<i>H-NS</i>	<i>S</i>	<i>S-LS</i>	<i>HM</i>	<i>HM-LS</i>
Humedad (%)	38.2 ^h	53.7 ^e	45.3 ^g	52.3 ^{ef}	58.4 ^d	81.9 ^a	39.1 ^h	74.5 ^c	51.1 ^f	78.4 ^b
Actividad acuosa (a_w)	0.84 ^f	0.88 ^e	0.83 ^g	0.87 ^e	0.91 ^c	0.98 ^a	0.83 ^g	0.99 ^a	0.89 ^d	0.97 ^b

Los resultados son la media del análisis ANOVA. Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas ($p < 0.05$) según la prueba de comparación de Tukey. Mermelada casera elaborada con azúcar: HM; mermelada casera elaborada con baja proporción de azúcar: HM-LS.

La actividad acuosa (a_w) es la relación entre la presión parcial de vapor de agua en un alimento y la presión parcial de vapor de agua, en el agua pura. Se ha demostrado que a niveles de actividad acuosa superiores a 0.91 a_w , puede ocurrir un crecimiento bacteriano, lo que representa un riesgo potencial para la calidad e inocuidad de las mermeladas además el crecimiento de bacterias y mohos en alimentos con alta actividad acuosa puede afectar su sabor, textura y valor nutricional y comprometer su seguridad para el consumo (Mckee 2002). Las mermeladas que presentaron los más altos valores de actividad acuosa fueron las mermeladas comerciales bajas o libres de azúcares: S-LS 99 y H-NS 0.98; no presentando diferencia estadística significativa entre estas (Cuadro 2). Ambas mermeladas presentan en su formulación sorbato de potasio como conservador, para evitar el desarrollo de microorganismos. Muy cercana a estos valores, la mermelada casera baja en azúcar HM-LS presentó una a_w de 0.97; esta mermelada no fue adicionada con sorbato de potasio. De acuerdo con Lindroth y col, (1978), mermeladas caseras de frutos rojos pueden con frecuencia ahongarse presentando una capa de moho en la superficie, con el riesgo de producción de la toxina patulina; sin embargo, la mermelada casera baja en azúcar HM-LS no presentó desarrollo superficial de hongos (observación realizada por un periodo de 2 años). Es importante indicar que las mermeladas caseras fueron envasadas en caliente, con frascos sometidos a un procesamiento

térmico por inmersión en agua hirviendo por el tiempo de elaboración de las mermeladas.

La actividad acuosa de las mermeladas comerciales conteniendo azúcares en sus ingredientes fue considerablemente menor en comparación con las mermeladas bajas en azúcares, esto es esperado dado que los azúcares tienden a formar puentes de hidrógeno con el agua, disminuyendo así el agua libre en la mermelada. Los valores de a_w en las mermeladas conteniendo azúcares variaron desde 0.83 hasta 0.91 (Cuadro 2). La mermelada casera con azúcar (HM) presentó un valor de 0.89.

Los sólidos solubles desempeñan un papel fundamental en las mermeladas ya que son cruciales para determinar el contenido de azúcares lo cual impacta directamente en la textura, el sabor y la conservación del producto final (Scrob *et al.*, 2021). El contenido de azúcares, medido a través de los sólidos solubles, influye significativamente en la textura de las mermeladas, afectando su punto de fraguado y su firmeza. Además, los azúcares actúan como un conservante al reducir la actividad del agua e inhibir el crecimiento de microorganismos. No solo eso, el sabor de las mermeladas también se ve afectado por el contenido de azúcares, así como por la acidez y la presencia de otros compuestos como los fenoles y las antocianinas (Scibisz, 2009). El análisis de los sólidos solubles es clave para garantizar la calidad y aceptabilidad del producto final, lo que puede tener implicaciones significativas en la industria de las mermeladas y su impacto en la salud y la experiencia del consumidor (Aaby 2007). En este contexto, es esencial evaluar los niveles de sólidos solubles y su relación con el contenido de azúcares en las mermeladas, ya que esto permite obtener productos con características óptimas en términos de sabor, textura y conservación. La Figura 2 muestra los sólidos solubles encontrados en las mermeladas de frambuesa, y sus diferencias estadísticamente significativas.

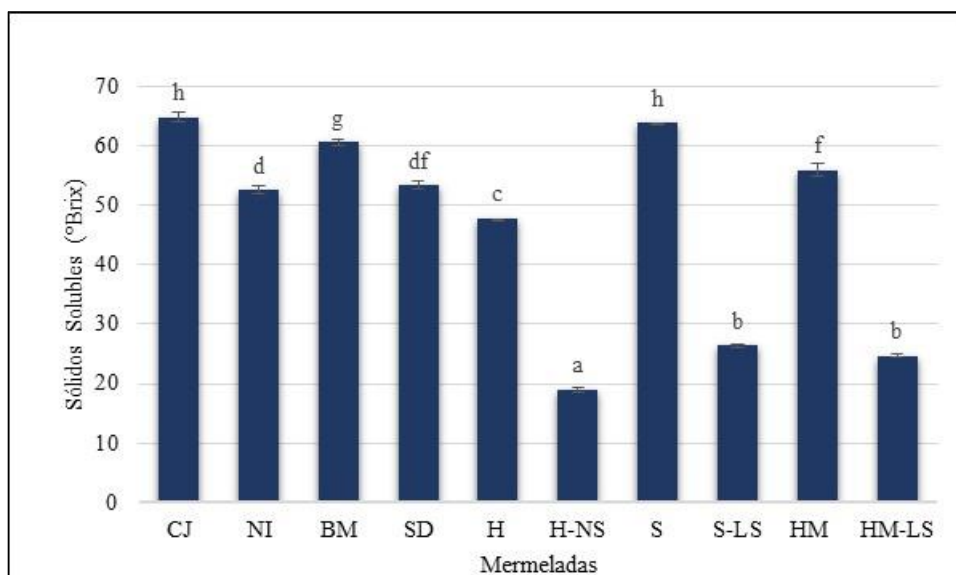


Figura 2. Sólidos solubles en distintos tipos de mermeladas de frambuesa. Los resultados se representan en medias $\pm$ desviación estándar. Diferentes letras entre mermeladas indican diferencia estadística ($p \leq 0.05$).

La mayor cantidad de sólidos solubles se observó en las mermeladas CJ y S, sin diferencia significativa entre éstas (Figura 2); cabe recalcar que CJ y S son a su vez las mermeladas más económicas (Cuadro 1). La menor cantidad de sólidos solubles fue observada en la mermelada que en su formulación no contiene azúcares, H-NS ($p \leq 0.05$), seguida de las mermeladas bajas en azúcar S-LS y HM-LS (casera), las cuales no mostraron diferencia significativa entre sí.

Se determinó la correlación entre los °Brix (excluyendo a las mermeladas comerciales bajas o sin azúcares) y el costo de la mermelada, encontrando un índice de correlación de Pearson de -0.69 con una significancia de 0.059. Con los datos acerca del contenido de fruta de algunas mermeladas, mostrados en la etiqueta (SD 51%, H 60%) y con la concentración de fruta conocida en las mermeladas caseras (HM 52% y HM-LS 82%), se llevó a cabo un análisis de correlación de Pearson entre el porcentaje de fruta y los °Brix de las mermeladas obteniendo un coeficiente de correlación de -0.99. Calculando el coeficiente de correlación de Pearson entre los sólidos solubles y la concentración de compuestos volátiles del sabor se observa que existe una correlación inversa con un valor del coeficiente de correlación de Pearson de -0.79 con una significancia de 0.062, indicando una relación indirecta entre la cantidad de azúcares y la concentración de compuestos volátiles del sabor. Estos resultados indican al consumidor, que, a mayor costo de la mermelada de frambuesa, está obteniendo un producto con mayor cantidad de fruta, mayor cantidad de volátiles del sabor y menor cantidad de azúcares.

Los sólidos solubles se relacionaron de manera indirecta con la humedad de las mermeladas, con un coeficiente de correlación de Pearson de -0.99, valor totalmente razonable tomando en cuenta que la frambuesa está compuesta en un ~87% de agua y el principal ingrediente de una mermelada, después de la frambuesa son los azúcares (Cuadro 1).

El color constituye un parámetro de suma importancia ya que puede influenciar al consumidor para tomar la decisión sobre que mermelada comprar (García-Viguera *et al.*, 1998). Este fue evaluado mediante la determinación de luminosidad (L), °Hue (°H) y saturación (Chroma). Durante el procesamiento térmico de la frambuesa, el color se oscurece presentándose el color característico de esta mermelada.

Los atributos de color evaluados en las diferentes marcas de mermelada fueron determinados mediante los siguientes componentes del color, luminosidad (L) que va de 0 negro a 100 blanco, la saturación del color (croma) es decir, la fuerza o ligereza del color; y el tono (°Hue) que puede ser rojo (iniciando el ángulo), rojo-amarillo, amarillo, amarillo-verde, verde, verde-azul, azul, azul-purpura, purpura y púrpura-rojo (finalizando a 360°). Los resultados se muestran en la Figura 3.

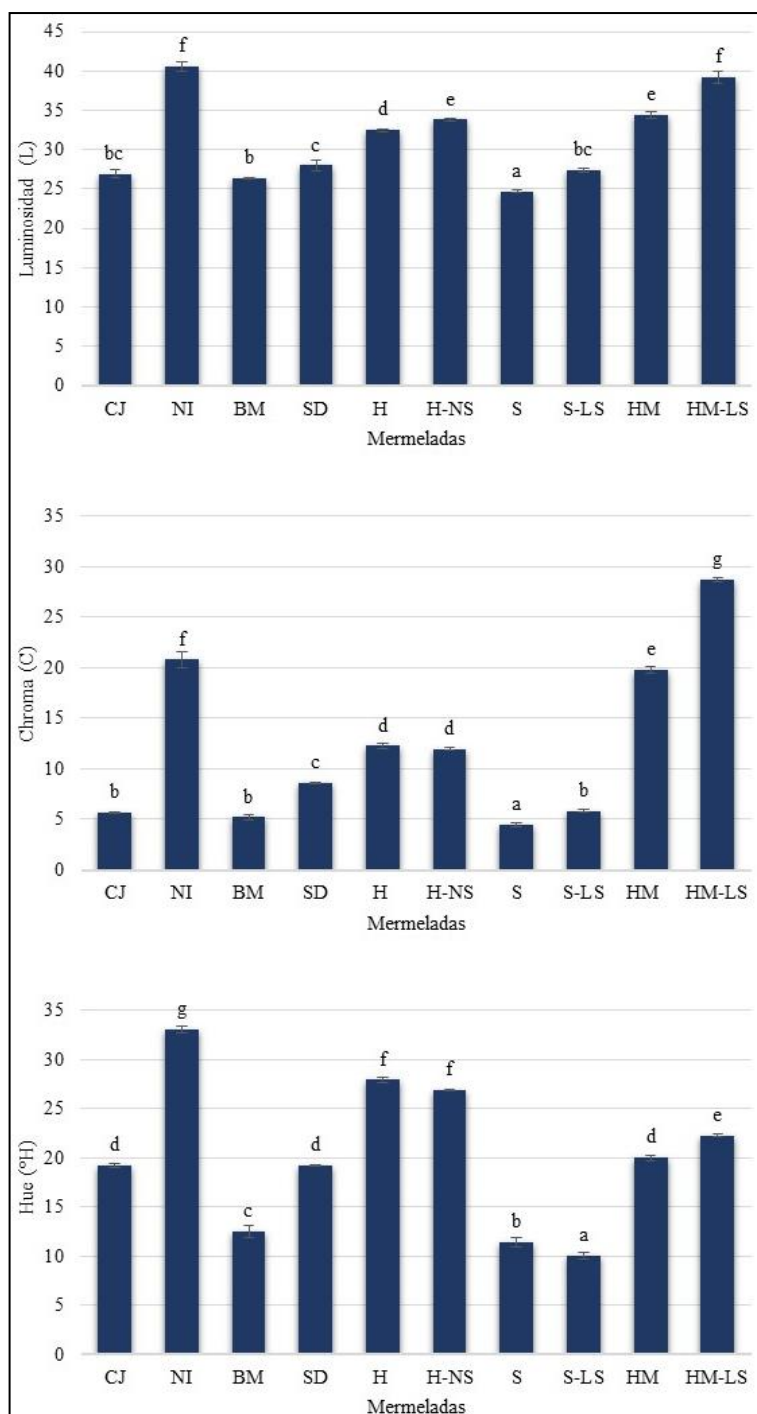


Figura 3. Valores de Luminosidad, Croma y °Hue obtenidos en mermeladas de frambuesa comerciales y caseras. Los resultados se representan en medias $\pm$ desviación estandar. Los resultados son la media del análisis ANOVA (n=6). Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$) según la prueba de comparación de Tukey. Mermelada casera elaborada con azúcar (HM). Mermelada casera elaborada con baja proporción de azúcar (HM-LS).

En el parámetro de luminosidad se observaron diferencias estadísticas significativas entre los

diferentes productos ($p \leq 0.05$), (Figura 3). La mermelada casera baja en azúcares HM-LS y la mermelada comercial NI mostraron los mayores valores de luminosidad ($p \leq 0.05$), (Figura 3). El parámetro de croma indica la saturación o pureza del color, donde valores más altos sugieren colores más intensos y vivos. Los resultados de croma para las diferentes marcas de mermelada estudiadas presentaron diferencias estadísticas (Figura 3). Estas mermeladas también mostraron la mayor saturación de color, teniendo los valores más altos en croma la mermelada casera baja en azúcares HM-LS con un valor de 28.7, seguido de la mermelada NI con un valor de 20.8 ($p \leq 0.05$). Los valores más bajos en la saturación del color (croma) fueron observados en las mermeladas más económicas CJ, S y S-L (Figura 3, Cuadro 1). Se llevó a cabo un análisis de correlación entre la luminosidad y la concentración de antocianinas o compuestos fenólicos totales y no se observó correlación ($0.5 \text{ } p=0.133$ y $0.43 \text{ } p=0.21$, respectivamente).

Se llevó a cabo un análisis de correlación entre la saturación del color (croma) y la concentración de antocianinas obteniendo un índice de correlación de Pearson de 0.78 ($p=0.008$), indicando que la saturación del color está relacionada con la concentración de antocianinas. Igualmente, no se encontró relación entre flavonoides y croma, pero sí entre croma y compuestos fenólicos totales; aunque esta correlación fue menor a la encontrada entre croma y antocianinas (0.66), sí fue significativa ($p=0.04$). De acuerdo con Martinsen y cols. (2020) encontraron una disminución en los valores de croma a la vez que encontraron que durante el almacenamiento de mermelada de frambuesa a 4°C , no se observaba una disminución en la concentración de antocianinas ni tampoco una disminución en croma, mientras que durante el almacenamiento a 23°C se observó una disminución en croma y también en antocianinas. A pesar de estos resultados, ellos no sugirieron una correlación entre ambos parámetros. Para determinar si esta correlación existe se tomaron los datos del manuscrito de Martinsen (valores de croma y antocianinas en mermelada de frambuesa procesada a 60, 85 y 93°C y almacenada a 23°C por 0, 8 y 16 semanas -un total de 9 datos-) y se llevó a cabo un análisis de correlación encontrando un coeficiente de correlación de 0.90 ($p=0.001$), sosteniendo así nuestra hipótesis, la saturación del color (croma) está directamente relacionada con la concentración de antocianinas.

El parámetro de tono ($^{\circ}\text{Hue}$) representa la posición del color en el espacio cromático, indicando si es más cercano a tonalidades de rojo, amarillo, verde, etc. Los resultados del parámetro $^{\circ}\text{Hue}$ (tonalidad) para las diferentes marcas de mermelada tuvieron impactos estadísticos (Figura 3). Las mermeladas comerciales NI, H y H sin azúcares (H-NS) presentaron los valores rojos más amarillos

(33, 28 y 27 respectivamente), siendo las dos últimas estadísticamente iguales ($p>0.05$), mientras que las mermeladas BM, S y S baja en azúcares (S-LS) presentaron los valores más rojos-púrpura (12.5, 11.4 y 10, respectivamente), siendo entre sí significativamente diferentes ($p\leq 0.05$), mientras que las mermeladas caseras HM y casera baja en azúcar (HM-LS) presentaron valores intermedios de °Hue (20 y 22.3, respectivamente). Los resultados de °Hue son menores a los observados por Martinsen y cols., (2020) en mermeladas de frambuesa, quienes encontraron valores entre 32.4 y 38.6. No se encontró correlación significativa entre el ángulo °Hue y la concentración de antocianinas ($p>0.05$). Nuevamente tomando los datos del trabajo de Martinsen y cols. (2020), se realizó un análisis de correlación entre los valores del °Hue y la concentración de antocianinas en las mermeladas de frambuesa procesadas a 60, 85 y 92°C y almacenadas por 8 y 16 semanas a 23°C. Los resultados mostraron un coeficiente de correlación de 0.9 ($p=0.001$). Dado que Martinsen estudió varias temperaturas de proceso y aun así se encuentra correlación entre °Hue y antocianinas, mientras que en nuestro trabajo no; se sugiere que la variedad de la frambuesa en las mermeladas pudiera ser el factor que pueda estar causando una baja correlación entre °Hue y antocianinas en el presente trabajo, dado que Martinsen y colaboradores trabajaron con una sola variedad, ‘Veten’.

6.2 Compuestos Fenólicos

Los fenoles totales son compuestos bioactivos que están altamente presentes en la frambuesa; estos poseen propiedades antioxidantes y beneficios potenciales a la salud, como la prevención de trastornos inflamatorios, enfermedades cardiovasculares, o efectos protectores para reducir el riesgo de varios tipos de cáncer. El presente estudio encontró en frambuesa fresca un valor de 380.1 mg de GAE/100g peso fresco. Frías y colaboradores (2021b) encontraron valores desde 179 en frambuesa ‘Harvest’ hasta 391 GAE/100g peso fresco en frambuesa ‘Autumn Bliss’ amarilla. La mermelada casera baja en azúcar HM-LS (obtenida a partir de la frambuesa fresca analizada) presentó la mayor concentración de compuestos fenólicos totales, con un valor de 155.7 mg GAE/100 g de peso fresco, significativamente mayor a su contraparte con azúcar HM y a las mermeladas comerciales (Figura 4). Contrario, a esto, las mermeladas comerciales con azúcar presentaron mayor concentración de compuestos fenólicos totales en comparación con su

contraparte sin azúcares o baja en azúcares (H vs H-NS y S vs S-LS) ($p \leq 0.05$). El valor de la mermelada HM-LS fue seguido por los valores encontrados en la mermelada casera con azúcar HM (124.7 GAE/100g de peso fresco) y en la mermelada comercial S (105.5 mg GAE/100 g de peso fresco). Enseguida, sin diferencia significativa entre éstas, están NI con 93.6, BM con 90.9 y SD con 84.9 mg GAE/100 g de peso fresco, ($p \leq 0.05$); siendo NI mermelada mexicana, BM española y SD francesa.

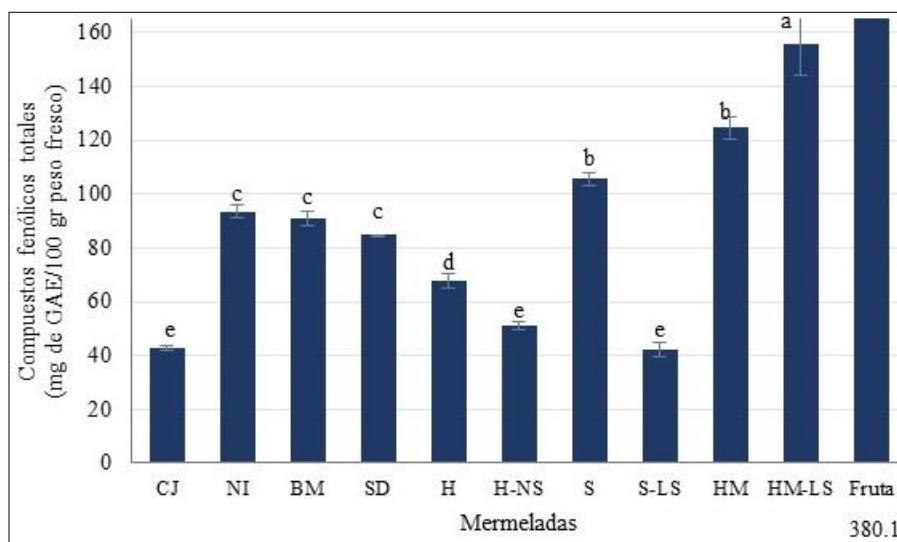


Figura 4. Compuestos fenólicos totales de mermeladas de frambuesa comerciales y caseras. HM: mermelada casera con azúcar, HM-LS: mermelada casera baja en azúcar. Los resultados se representan en medias $\pm$ desviación estándar. Diferentes letras entre mermeladas indican diferencia estadística ($p \leq 0.05$).

Las mermeladas de frambuesa que mostraron las concentraciones más bajas de compuestos fenólicos fueron H-NS con 51.2, CJ con 42.6, y S-LS 42.2 (mg GAE/100 g de peso fresco), sin diferencia significativa ($p \leq 0.05$); Es importante hacer notar que H-NS y S-LS son mermeladas comerciales bajas en azúcar. Esto es significativo ya que los consumidores al adquirir mermelada baja en azúcar buscan, probablemente, un producto más saludable, sin embargo, el presente estudio muestra que aquellos productos comerciales bajos en azúcar no presentan las características saludables que aportan las mermeladas de frambuesa con azúcares, esto con respecto a un atributo muy importante, los compuestos fenólicos (Figura 4).

Da Silva y colaboradores (2007) estudiaron mermeladas de fresa comerciales encontrando valores de compuestos fenólicos totales desde 58 hasta 136 mg GAE/100g peso fresco. Diaconeasa y

colaboradores (2019) encontraron 170.3 mg GAE/100g peso fresco en mermelada de frambuesa comercial teniendo como ingredientes frambuesa (50%), azúcar, ácido cítrico y pectina. Ambos autores manifiestan, que independientemente de las pérdidas en la cantidad de fenoles totales, las mermeladas siguen siendo excelentes fuentes de estas sustancias con potencial antioxidante (Da Silva Pinto *et al.*, 2007, Diaconeasa *et al.*, 2019). El valor encontrado en el presente estudio en mermeladas de frambuesa casera baja en azúcar (155.72 mg GAE/100 g de peso fresco) fue superior a los valores encontrados por Da Silva (2007) y muy cercano a los valores encontrados por Diaconeasa (2019). Las mermeladas comerciales estudiadas tuvieron valores cercanos a los rangos encontrados por Da Silva en mermeladas comerciales de fresa (42.2 a 105.5 mg GAE/100g peso fresco), pero considerablemente menores a los encontrados por Diaconeasa en mermelada de frambuesa (Da Silva Pinto *et al.*, 2007, Diaconeasa *et al.*, 2019). Kántor y colaboradores (2021) estudiaron mermeladas comerciales (Hungría) y caseras de diferentes frutos (naranja, frambuesa, fresa, cereza, ciruelo, mora, arándano, rosa mosqueta, limón y chabacano), encontrando que la mermelada de ciruelo tanto comercial como casera presentaba la mayor concentración de compuestos fenólicos (343 y 397 mg GAE/100g peso fresco, respectivamente); mientras que la mermelada de frambuesa comercial y casera presentaron valores de 141 y 185 mg GAE/100g, respectivamente. Estos valores superan en pequeña medida a los encontrados en la mermelada casera (124.7 y 155.72 mg GAE/100g peso fresco) y en mayor medida a las mermeladas comerciales del presente estudio (42-105 mg GAE/100g peso fresco). Martinsen y colaboradores (2020) elaboraron mermelada de frambuesa encontrando una concentración de compuestos fenólicos totales de 197 a 207 mg GAE/100g de frambuesa en la mermelada; calculando los valores en las mismas unidades para la mermelada casera del presente trabajo, tenemos que la mermelada HM presenta 239 mg GAE/100g de frambuesa en la mermelada, mientras que la mermelada HM-LS presenta 189.87 mg GAE/100g de frambuesa en la mermelada; valores semejantes a los encontrados por Martinsen y cols. (2020).

El contenido de compuestos fenólicos en frambuesa podría verse reducido con el tratamiento térmico durante la elaboración de mermelada. De acuerdo con Šavikin y colaboradores (2009) el contenido de compuestos fenólicos disminuye con el tratamiento térmico durante la elaboración de mermeladas de frutos rojos entre un 6-17%. Kim y colaboradores (2004) encontraron una disminución en la concentración de compuestos fenólicos debido al tratamiento térmico en mermeladas de ciruelo (27%), y de cereza (9%). Levaj y colaboradores igualmente encontraron que

la mermelada de cereza ácida retenía una gran cantidad de polifenoles totales (2010). Para determinar si el tratamiento térmico utilizado para la elaboración de las mermeladas caseras afectó la concentración de compuestos fenólicos, se calculó la concentración esperada en las mermeladas caseras (de acuerdo con el porcentaje de frambuesa contenido), y se compararon estos valores con los obtenidos en el laboratorio. Los resultados mostraron un porcentaje de pérdida de compuestos fenólicos totales de 52% para la mermelada casera baja en azúcar HM-LS y de 37% para la mermelada con azúcar HM. Esta pérdida pudo ser debida a la inestabilidad de los compuestos que conforman al grupo de polifenoles en la frambuesa. De acuerdo con Sójka y colaboradores (2019), el grupo de compuestos fenólicos predominante en la frambuesa es el grupo de los elagitaninos, los cuales conforman entre el 53 y el 76% de los compuestos fenólicos, de los cuales el 80% son lambertianina C y sanguina H-6, compuestos triméricos y diméricos, respectivamente, los cuales son considerablemente menos estables que los elagitaninos monoméricos (Sójka *et al.*, 2019).

6.3 Flavonoides Totales

El contenido de flavonoides totales en las mermeladas es un aspecto crucial a tener en cuenta, dado que estos compuestos bioactivos han sido relacionados con diversos beneficios para la salud, como propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y cardioprotectoras. Por lo tanto, las mermeladas con niveles más altos de flavonoides podrían brindar mayores ventajas para la salud en comparación con aquellas que poseen contenidos más bajos (Igual *et al.*, 2013). El presente trabajo encontró un valor de 6.1 mg QE/100 g de peso fresco en frambuesa fresca, materia prima de las mermeladas de frambuesa caseras (Figura 5). Frías y colaboradores (2021b) (Frías-Moreno *et al.*, 2021b) encontraron valores desde 9.2mg QE/100g peso fresco para frambuesa fresca ‘Harvest’ y hasta 18.3mg GAE/100g peso fresco en frambuesa ‘Red Autumn Bliss’.

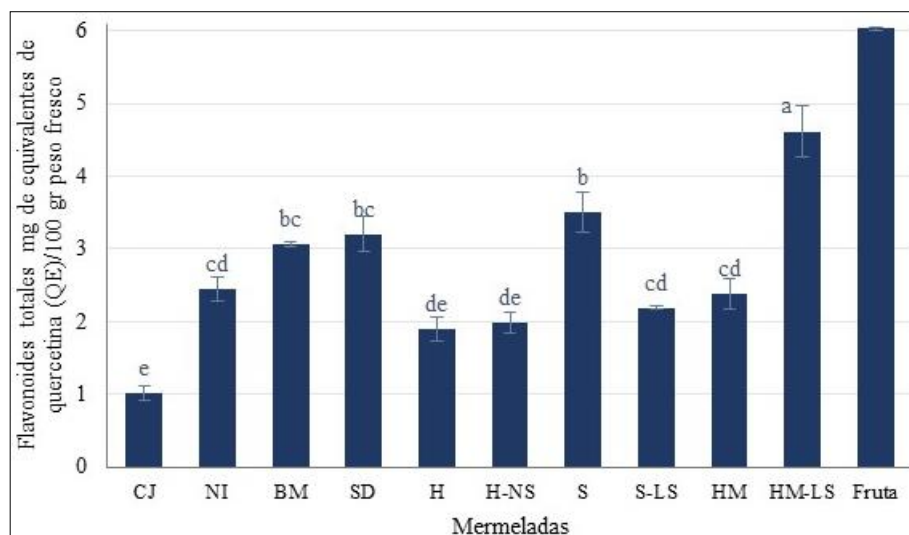


Figura 5. Flavonoides totales en mermeladas de frambuesa comerciales y caseras. Los resultados se representan en medias $\pm$ desviación estandar. Diferentes letras entre mermeladas indican diferencia estadística ($p \leq 0.05$). Mermelada casera elaborada con azúcar (HM). Mermelada casera elaborada con baja proporción de azúcar (HM-LS). Fruta: frambuesa en fresco.

Las mermeladas evaluadas en el presente estudio mostraron variaciones significativas en cuanto a su contenido de flavonoides totales (Figura 5). La mermelada baja en azúcar HM-LS destacó con el contenido más alto de flavonoides 4.6 mg QE/100 g de peso fresco, significativamente mayor que las mermeladas comerciales (1-3.5 mg QE/100 g peso fresco) y que la mermelada casera con azúcar HM (2.38 mg QE/100 g de peso fresco), ($p \leq 0.05$). Es importante destacar que la mermelada casera HM-LS fue elaborada con 82% de fruta, mientras que la mermelada casera HM cuenta con un 52% de fruta (Cuadro 1). Se calculó el porcentaje de pérdida de flavonoides tomando en cuenta la concentración de estos compuestos en la frambuesa fresca y la cantidad de fruta contenida en las mermeladas. Los resultados muestran una pérdida de 9.4% de flavonoides en la mermelada casera baja en azúcar HM-LS; mientras que la mermelada casera con azúcar HM mostró una pérdida considerablemente mayor, 24.4%. Seo y colaboradores (2016) elaboraron mermelada (con azúcar) de frambuesa y fresa con 65% de fruta (18 y 47% de fruta, respectivamente) encontrando 9.5 mg QE/100g peso fresco, valores 4 veces mayores a los encontrados en la mermelada casera HM (52% fruta) y el doble de lo encontrado en la mermelada casera HM-LS (Figura 5). Es importante destacar que la mermelada casera con azúcar HM presentó una concentración de flavonoides similar a las mermeladas comerciales con azúcares NI, BM, SD y H (2.4, 3, 3.2 y 1.9 mg QE/100g peso fresco, respectivamente), (Figura 5). Deaconeasa y colaboradores en 2019 estudiaron mermeladas

comerciales de frambuesa encontrando una concentración de flavonoides totales de 4.43 mg QE/100g peso fresco en mermelada con 50% de fruta, muy similar al valor encontrado en la mermelada casera baja en azúcar HM-LS, 4.6 mg QE/100g peso fresco, sin embargo, esta mermelada contiene un 82% de fruta. La concentración de flavonoides de la mermelada casera con azúcar HM fue estadísticamente similar a aquella presentada en las mermeladas comerciales bajas en azúcar H-NS y S-LS (1.98 y 2.19 mg QE/100g peso fresco, respectivamente). El valor estadísticamente más bajo lo presenta la mermelada CJ con 1.0 mg QE/100g peso fresco ($p \leq 0.05$); siendo esta mermelada la que presenta el menor precio de mercado (Cuadro 1, Figura 5).

6.4 Antocianinas Totales

El contenido de antocianinas totales en las mermeladas es muy importante, ya que éstas son pigmentos naturales que proporcionan color y aportan potenciales beneficios para la salud. Las antocianinas son conocidas por su capacidad para actuar como antioxidantes y proteger al organismo contra el estrés oxidativo (Speer *et al.*, 2020). Por lo tanto, las mermeladas con mayores contenidos de antocianinas podrían ofrecer mayores beneficios antioxidantes en comparación con aquellas con contenidos más bajos. La Figura 6 muestra los resultados del análisis de antocianinas totales en mermeladas comerciales y caseras, así como en frambuesa fresca.

El presente trabajo mostró una concentración de antocianinas de 11.83 mg de C3G/100 g de frambuesa fresca. Frías y colaboradores (2021b) encontraron valores desde 11.34 mg de C3G/100g de frambuesa fresca ‘Summit’, hasta 23.53mg de C3G/100g de frambuesa fresca ‘Red Autumn Bliss’.

La mermelada casera obtenida a partir de la frambuesa fresca analizada mostró valores de 9.73 mg de C3G/100 g peso fresco para la mermelada baja en azúcar HM-LS y de 5.63 mg de C3G/100 g peso fresco para HM (casera con azúcar). De acuerdo con Da Silva y colaboradores (2007), el proceso de elaboración de la mermelada altera el contenido de antocianinas, las cuales son parcialmente degradadas, en el caso de mermelada de fresa. Para determinar si el tratamiento térmico afectó el contenido de antocianinas, se calculó el porcentaje de pérdida de éstas en las mermeladas caseras HM y HM-LS, restando a la concentración de antocianinas esperada (de acuerdo con la concentración de fruta contenida en la mermelada, 52% para HM y 82% para HM-

LS) los valores encontrados en el análisis de laboratorio. Los resultados mostraron una pérdida de antocianinas en la mermelada casera baja en azúcar HM-LS de 2.8%, mientras que en la mermelada casera con azúcar se observó una pérdida de antocianinas de un 8.8%, lo cual es considerablemente bajo. Esto podría sugerir que prácticamente no hay efecto del tratamiento térmico en la concentración de antocianinas. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Martinsen y cols. (2020), quienes observaron que los parámetros antioxidantes de la mermelada de frambuesa (procesada a 60, 85 o 93°C) no son diferentes de la frambuesa fresca. Contrario a nuestros resultados, Cordeiro y colaboradores (2021) encontraron una pérdida de antocianinas de 20% en frambuesa sometida a ebullición a 100°C por 5 min. Esto pudo ser debido a que la temperatura de tratamiento en el estudio de Cordeiro y colaboradores fue considerablemente más alta. Los cambios que ocurren en las antocianinas durante el tratamiento térmico no han sido completamente caracterizados. De acuerdo con White y colaboradores (2011) el tratamiento térmico puede afectar la estabilidad de las antocianinas dependiendo del azúcar al que estén unidas y no tanto de la aglicona; siendo los glucósidos más estables que los galactósidos, los cuales a su vez son más estables que los arabinósidos. De acuerdo con Frías y colaboradores (2021a) las principales antocianinas encontradas en la frambuesa son glucósidos, probablemente esta es la razón por la que en el presente estudio prácticamente no hubo efecto del tratamiento térmico en la concentración de antocianinas.

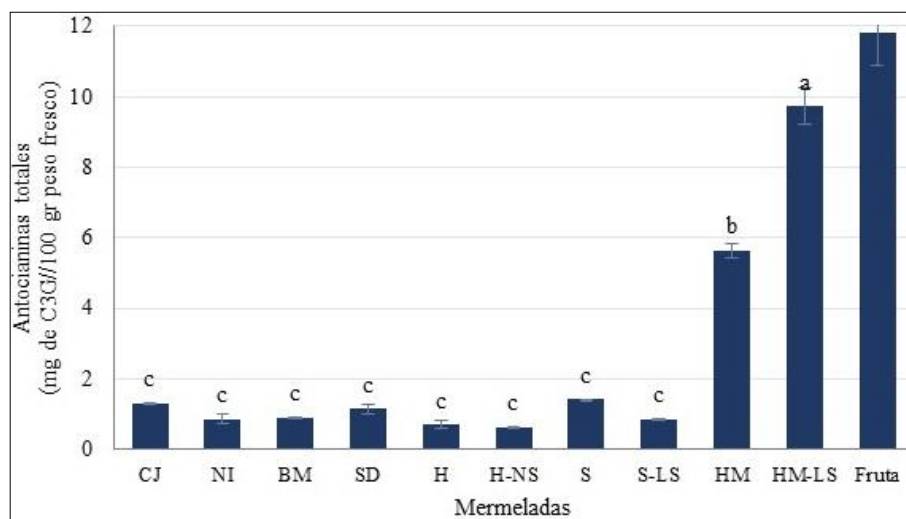


Figura 6. Antocianinas totales en distintos tipos de mermeladas de frambuesa. Los resultados se representan en medias $\pm$ error estándar. Diferentes letras entre mermeladas indican diferencia estadística ($p \leq 0.05$). Mermelada casera elaborada con azúcar (HM). Mermelada casera elaborada con baja proporción de azúcar (HM-LS). Fruta: frambuesa en fresco.

La concentración de antocianinas fue significativamente superior en las mermeladas caseras, siendo la mermelada casera sin azúcar HM-LS la que mostró la concentración estadísticamente más alta con 9.7 mg de C3G/100 g peso fresco, seguida de la mermelada casera con azúcar HM con una concentración de 5.6 mg de C3G/100 g peso fresco ($p \leq 0.05$). Las mermeladas comerciales no mostraron diferencia significativa entre sí, presentando valores desde 0.6 hasta 1.41 mg de C3G/100 g peso fresco ($p \leq 0.05$).

Se llevó a cabo un análisis de correlación entre la concentración de antocianinas y la saturación del color (croma), obteniendo un índice de correlación de Pearson de 0.78 ($p=0.008$), indicando que la saturación del color está relacionada con la concentración de antocianinas. Igualmente se analizaron los resultados presentados por Martinsen y colaboradores en 2020 para determinar si existe correlación entre croma y antocianinas en 9 datos de mermelada de frambuesa procesada (60, 85 y 93°C y almacenada a 23°C por 0, 8 y 16 semanas) encontrando un coeficiente de correlación de 0.90 ($p=0.001$), sosteniendo así nuestra hipótesis, que la saturación del color (croma) está directamente relacionada con la concentración de antocianinas.

6.5 Capacidad Antioxidante

La capacidad antioxidante puede ser definida como la facultad de una molécula de actuar como antioxidante biológico al disminuir o prevenir la oxidación de un sustrato, a pesar de estar presente en una concentración menor que dicho sustrato (Benzie and Strain, 1996). La capacidad antioxidante de la frambuesa está determinada por un conjunto de componentes; las antocianinas contribuyen en un 25%; los elagitaninos, principales compuestos fenólicos contenidos en la frambuesa, contribuyen en un 50% a la capacidad antioxidante total de la frambuesa, mientras que la vitamina C representa alrededor del 20% (Beekwilder *et al.*, 2005a).

La mermelada de frambuesa puede presentar modificaciones en su composición, afectando la capacidad antioxidante. Diferentes marcas comerciales pueden estar elaboradas con diferentes variedades de frambuesa, sin embargo parece no haber diferencias dramáticas en la capacidad antioxidante por efecto de su variedad (Beekwilder *et al.*, 2005a). El presente trabajo muestra la capacidad antioxidante de ocho mermeladas comerciales y dos caseras, así como de la frambuesa

fresca, materia prima utilizada para la elaboración de las mermeladas, (Figura 7). La determinación de actividad antioxidante se llevó a cabo por dos métodos colorimétricos ABTS y DPPH; en el método ABTS se utiliza el 2,2'-azino-bis-3-etil benzotiazolin-6-sulfonato de amonio y en el método DPPH el 2,2-difenil-2-picrilhidrazilo; en ambos métodos la capacidad antioxidante de la frambuesa es determinada a través de los cambios en la absorbancia de los radicales ABTS^{•+} y DPPH[•], los cuales son artificiales, estables y coloridos. El grado de reducción del radical colorido durante la reacción con el antioxidante es determinado por métodos fotométricos (Olszowy and Dawidowicz, 2018).

Los resultados obtenidos en la determinación de actividad antioxidante por el método ABTS se muestran en la Figura 7. En fruta fresca la mayor capacidad antioxidante se observó usando el método ABTS en comparación con el método DPPH; esto no ocurrió así en las mermeladas de frambuesa, donde se observó una mayor capacidad antioxidante por el método DPPH en comparación con ABTS (Figura 7). En concordancia con nuestro trabajo, Lopez-Corona y colaboradores en 2022 reportan varios trabajos que muestran una mayor capacidad antioxidante en frambuesa fresca por el método ABTS, en comparación con DPPH. Wojdyło y colaboradores (2013) y Si y colaboradores (Si *et al.*, 2016) encontraron mayores valores de capacidad antioxidante por el método ABTS que por el método DPPH en mermeladas de membrillo con frambuesa y en polvos de frambuesa.

La frambuesa fresca presentó valores de 672 mg Trolox/100 g peso fresco por el método ABTS y de 616.6 mg Trolox/100 g peso fresco por el método DPPH. Frías y colaboradores (2021b) determinaron la capacidad antioxidante de frambuesa fresca cultivada mediante fertilización orgánica y convencional, encontrando valores de capacidad antioxidante de 563 y 441 mg Trolox/100 g peso fresco, respectivamente (método DPPH). Otro estudio en frambuesa fresca de diferentes variedades, cultivadas en la misma zona donde se cultivó la frambuesa del presente trabajo, encontró valores de capacidad antioxidante de 340 para la variedad '*Yellow Autumn Bliss*' y de 575 mg Trolox/100 g peso fresco para la variedad '*Red Autumn Bliss*' (método DPPH), (Frías-Moreno *et al.*, 2021b). Kuskosky y cols., estudiaron la actividad antioxidante de diferentes purés de fruta fresca por el método DPPH, encontrando valores de 300 mg Trolox/100 g peso fresco para la fresa y de 1,690 mg Trolox/100 g peso fresco para la acerola (Kuskoski *et al.*, 2005).

Los resultados muestran que, por el método ABTS, la fruta fresca presenta más del doble de la capacidad antioxidante en comparación con la mermelada casera baja en azúcar HM-LS y la

mermelada casera con azúcar HM (627, 323.2 y 253.3 mg Trolox/100 g peso fresco, respectivamente). Utilizando el método DPPH, la frambuesa fresca presenta menos del doble de actividad antioxidante en comparación con HM y HM-LS (616.6, 334, y 323.13 mg Trolox/100 g peso fresco, respectivamente) (Figura 7). Es importante destacar que la mermelada HM-LS contiene un 82% de fruta, mientras que HM contiene un 52% de fruta, por lo que gran parte de la diferencia en comparación con la fruta fresca, pudiera atribuirse a la concentración de fruta. Para evaluar esto se calculó la capacidad antioxidante de las mermeladas caseras HM y HM-LS a partir de la concentración de sólidos de fruta contenida. Los resultados mostraron un porcentaje de pérdida de la actividad antioxidante por el método ABTS de 41.4% para HM-LS y de 27.5% en HM; mientras que la pérdida observada por el método DPPH fue de 20% en HM-LS y de 12.8% en HM. En ambos métodos la pérdida de la capacidad antioxidante por el procesamiento térmico fue ~65% mayor en la mermelada casera sin azúcar HM-LS en comparación con la mermelada casera con azúcar HM. El azúcar podría estar haciendo una función protectora de los compuestos fenólicos. Scibisz y Mitek (2009) encontraron una reducción en la capacidad antioxidante de 13 a 19% debido al procesamiento térmico aplicado para la elaboración de mermelada de arándano (método ABTS), pérdida atribuida por ellos a la disminución del 18-56% de las antocianinas. Sin embargo nuestro estudio no muestra una considerable disminución en la concentración de antocianinas por el tratamiento térmico (2.8% para HM-LS y 8.8% para HM), siendo esta última mermelada la que mostró una mayor disminución en la capacidad antioxidante debido al procesamiento térmico (Figura 6). A pesar de la pérdida en la capacidad antioxidante debido al procesamiento térmico, las mermeladas de frutos rojos siguen siendo una excelente fuente de compuestos bioactivos con potencial antioxidante, las cuales pueden ser consumidas independientemente de la estación del año (Šavikin *et al.*, 2009, Diaconeasa *et al.*, 2019).

La capacidad antioxidante por el método ABTS mostró valores desde 22 mg Trolox/100 g peso fresco para S-LS, hasta 323.2 mg Trolox/100 g peso fresco para la mermelada casera sin azúcar HM-LS; el orden decreciente de la capacidad antioxidante obtenida por el método ABTS es el siguiente: HM-LS=HM > SD=BM > SD=BM=S=NI > S=NI=H > CJ=H-NS=S-LS ($p<0.05$). Las mermeladas caseras, HM y HM-LS, mostraron la mayor capacidad antioxidante (ABTS) en comparación con las mermeladas comerciales, sin diferencias significativas entre éstas ($p\leq 0.05$), (Figura 7).

Por el método DPPH, igualmente los valores de capacidad antioxidante más bajos y más altos se

encontraron en S-LS con 70.3 mg Trolox/100 g peso fresco y HM-LS con 334 mg Trolox/100 g peso fresco. No se observó diferencia significativa entre las mermeladas comerciales NI, BM, SD, S, y las mermeladas caseras HM y HM-LS, indicando que, para la determinación de capacidad antioxidante en mermelada de frambuesa, el método ABTS es más sensible.

Las mermeladas comerciales sin azúcares o bajas en azúcares mostraron una significativa menor capacidad antioxidante (ABTS y DPPH) en comparación con su contraparte (igual marca comercial pero conteniendo azúcares): $S > S\text{-LS}$ y $H > H\text{-NS}$ ($p \leq 0.05$); para el caso de las mermeladas caseras se observó lo contrario, la mermelada casera baja en azúcar (HM-LS) mostró mayor capacidad antioxidante en comparación con la mermelada casera con azúcar ($HM\text{-LS} > HM$), esto probablemente debido a que la mermelada HM-LS contiene mayor cantidad de fruta en comparación con la HM (82% y 52%, respectivamente), (Figura 7).

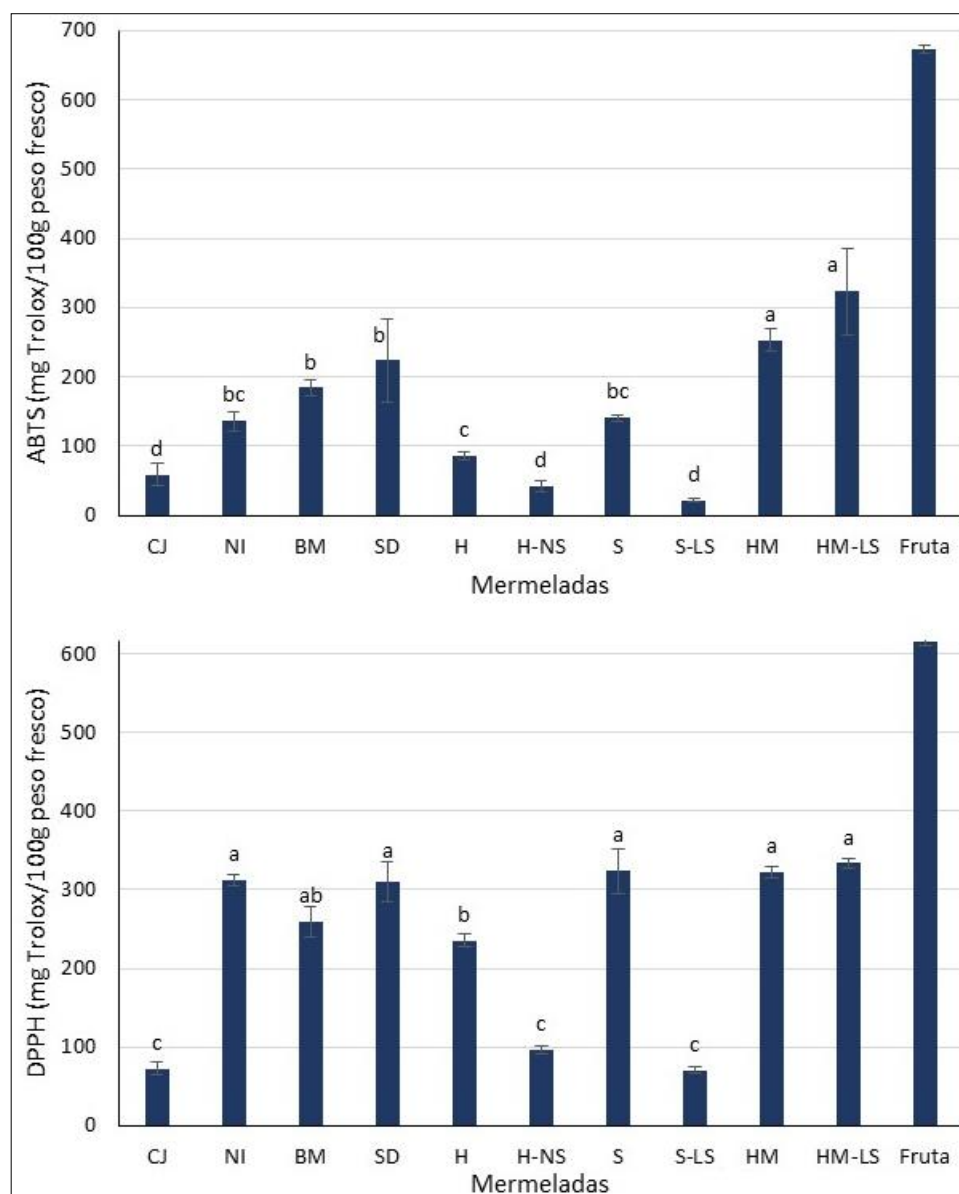


Figura 7. Capacidad antioxidante por los métodos de ABTS y DPPH en mermeladas de frambuesa comerciales y caseras, y en frambuesa fresca. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$). Mermelada casera elaborada con azúcar (HM). Mermelada casera elaborada con baja proporción de azúcar (HM-LS). Fruta: frambuesa en fresco.

Los valores más bajos de capacidad antioxidante se observaron en las mermeladas comerciales bajas en azúcares o sin azúcares S-LS y H-NS con valores de 22 y 41.2 mg Trolox/100 g peso fresco (ABTS) y 70.3 y 96.7 mg Trolox/100 g peso fresco (DPPH). Estos valores fueron estadísticamente semejantes a la mermelada con azúcares CJ, la mermelada más económica estudiada (Figura 7 y Cuadro 1).

Para comprender mejor que grupo de antioxidantes está contribuyendo más a la capacidad antioxidante en las mermeladas de frambuesa, se determinó la correlación existente entre los compuestos antioxidantes evaluados (fenoles totales, flavonoides y antocianinas) y la capacidad antioxidante por los métodos ABTS y DPPH. Los resultados (Cuadro 3) muestran que hay una mayor correlación entre los compuestos antioxidantes, fenoles totales, flavonoides y antocianinas y la capacidad antioxidante por el método ABTS (0.93, 0.77, 0.80, respectivamente), en comparación con el método DPPH (0.90, 0.72, 0.45, respectivamente). Estos resultados indican que el método de ABTS es un mejor predictor de la concentración de compuestos antioxidantes del tipo de compuestos fenólicos (ya sean fenoles totales, flavonoides o antocianinas). Se puede observar que los compuestos fenólicos son los que mejor correlacionaron con la actividad antioxidante con ambos métodos (0.93 para ABTS y de 0.9 para DPPH) ($p=0.001$). De acuerdo con Diaconeasa y cols. (2019) los ensayos ABTS presentan una alta correlación con el contenido de compuestos fenólicos en frambuesa. Gu y colaboradores (2020) también encontraron una alta correlación entre los compuestos fenólicos totales y la capacidad antioxidante por el método DPPH (0.99). De acuerdo con Kalt y cols., (1999) es el contenido fenólico y no el contenido de vitamina C el que se correlaciona positivamente con la capacidad antioxidante. Los flavonoides tuvieron una correlación significativa con la capacidad antioxidante, 0.77 con respecto a ABTS ($p=0.01$) y 0.72 con respecto a DPPH ($p=0.02$). Las antocianinas mostraron una alta correlación con respecto a la capacidad antioxidante por el método ABTS (0.8 $p=0.005$), mientras que por el método DPPH, la correlación no fue significativa (coeficiente de correlación 0.45 con $p=0.189$). Esta baja correlación es probablemente debida a que las antocianinas son compuestos coloridos los cuales se analizan a una longitud de onda de 500, mientras que el ensayo de DPPH se lleva a cabo a 515 nm, causando probablemente interferencia en las determinaciones. De acuerdo con Olszowy y Dawidowicz (2018) la presencia de compuestos antioxidantes con propiedades coloridas que absorben en el rango de longitud de onda de los radicales a neutralizar podría falsear los cambios en la absorbancia resultantes de la disminución de la concentración del radical coloreado y complica la estimación de la capacidad antioxidante real de los compuestos examinados.

Cuadro 3. Coeficiente de correlación de Pearson entre la capacidad antioxidante medida por los métodos ABTS y DPPH, en relación con los compuestos fenólicos totales, los flavonoides totales y las antocianinas totales, en mermeladas de frambuesa comerciales y caseras.

	Coeficiente de correlación	Significancia
Correlación con ABTS		
Fenoles totales	0.93	0.001
Flavonoides	0.77	0.010
Antocianinas	0.80	0.005
Correlación con DPPH		
Fenoles totales	0.90	0.001
Flavonoides	0.72	0.020
Antocianinas	0.45	0.189

6.6 Compuestos Volátiles

Las frambuesas son frutos muy populares debido a sus propiedades saludables y a su agradable y característico sabor (Hampel *et al.*, 2007). El sabor de la frambuesa está dado por el gusto y el aroma; el primero determinado por los azúcares y los ácidos contenidos, y el segundo por una compleja mezcla de compuestos volátiles (Espino-Díaz *et al.*, 2016). Los compuestos volátiles son moléculas pequeñas con una alta presión de vapor a temperatura ambiente, lo que las vuelve volátiles y con capacidad de ser percibidas por el humano a través de la nariz por vía directa o retranasal. Alrededor de 200 compuestos volátiles han sido identificados en las frambuesas (Klesk *et al.*, 2004).

En el presente trabajo se identificaron los compuestos volátiles contenidos en mermeladas de frambuesa comerciales y caseras. Los compuestos volátiles identificados en las mermeladas de frambuesa estudiadas, fueron 14; 11 terpenos (terpenoides), dos ácidos y un alcohol.

De acuerdo a Deaconeasa y cols., (2019) los compuestos volátiles de las mermeladas de frutos rojos están compuestos principalmente por terpenoides. Aprea y colaboradores (2015) colectaron información de compuestos volátiles en la frambuesa reportados en 20 artículos científicos. La mayor clase de compuestos encontrados está constituida por monoterpenos (incluidos terpenos y terpenoides), de los cuales terpinen-4-ol, geraniol, linalol, limoneno, nerol, p-cimeno, terpinoleno, α - y β - felandreno, γ -terpineno así como α - y β - pineno, son los más frecuentemente reportados. En nuestro estudio, de los cinco monoterpenos identificados, cuatro están incluidos dentro de los

frecuentemente reportados, terpinen-4-ol, linalol, limoneno y γ -terpineno (Cuadro 5). La mermelada casera con azúcar HM mostró la mayor variedad de monoterpenos (cinco); esta mermelada es la única que presenta γ -terpineno y limoneno (Cuadro 5). El linalol es considerado por Klesk y colaboradores (2004) como un compuesto de impacto en el aroma de la frambuesa, este compuesto se encontró solo en 5 mermeladas, 3 comerciales (H, H-NS y S) y las dos mermeladas caseras HM y HM-LS (Cuadro 5).

Los C13-norisoprenoides tienen un umbral del sabor bajo y un fuerte impacto sensorial en el aroma (Liang *et al.*, 2022). Aprea y colaboradores (2015) indica que se han reportado diez C13-norisoprenoides en la frambuesa, los cuales contribuyen significativamente al sabor de la frambuesa. En el presente trabajo se identificaron 5 C13-norisoprenoides, α -ionona, β -ionona, α -ionol, α - β -dihidro- β -ionona y metil- β -ionona. De acuerdo con Hampel y colaboradores (2007) así como Aprea y colaboradores (2009), la α -ionona, la β -ionona son importantes compuestos del aroma en la frambuesa madura. También Larsen y colaboradores (Larsen *et al.*, 1991) identifican a la α -ionona, y a la β -ionona entre los compuestos volátiles del aroma más importantes en la frambuesa. Éstos se encontraron en mayor proporción en la mermelada comercial S-LS, la cual muestra en sus ingredientes contener saborizantes agregados y, por la concentración significativamente mayor en la que se encuentran estos dos norisoprenoides ($p \leq 0.05$), se sugiere que estos fueron adicionados a la mermelada S-LS. Las mermeladas caseras HM y HM-LS también contienen α -ionona, la β -ionona, sin diferencia significativa entre estas ($p \leq 0.05$), (Cuadro 5). Las mermeladas comerciales H y H-NS presentan valores altos de α -ionona, la β -ionona (Cuadro 5). La mermelada comercial más económica, CJ, no presenta α -ionona y presenta la menor concentración de β -ionona en comparación con el resto de las mermeladas (Cuadro 5).

Un alcohol, el hexanol, fue identificado en todas las muestras con excepción de la mermelada comercial CJ (la más económica). Dos ácidos orgánicos fueron identificados, el ácido acético y el ácido hexanoico (Figura 8). De acuerdo con Klesk y colaboradores (2004), de estos dos ácidos, el hexanoico se considera importante en el sabor de la frambuesa.

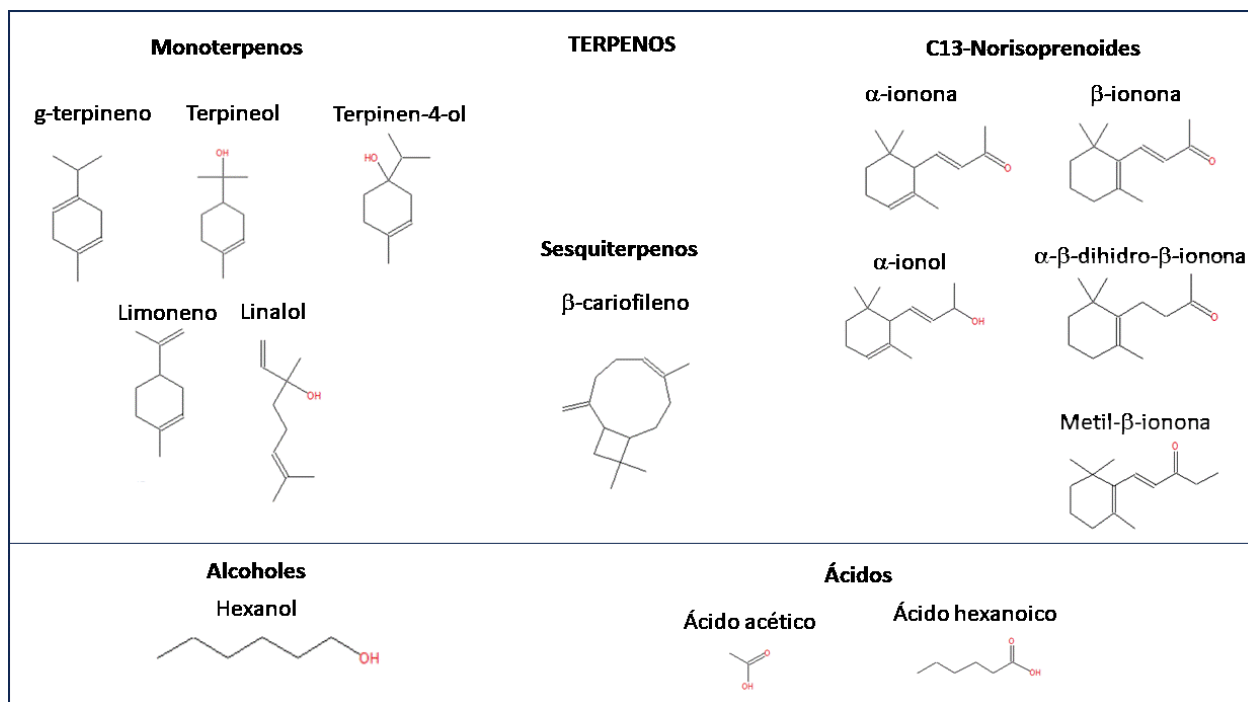


Figura 8. Compuestos volátiles del sabor identificados en mermeladas de frambuesa comerciales y caseras.

Aprea y cols. (2015), indican que se han identificado 38 volátiles ácidos, de los cuales los principales son el ácido acético, el ácido hexanoico y el ácido octanoico. En el presente trabajo se encontraron el ácido acético y el ácido hexanoico (Cuadro 5). Aprea y cols. (2015), reportan que se han identificado once sesquiterpenos en frambuesa. En el presente trabajo se identificó un sesquiterpeno, el cariofileno (Cuadro 5). Este compuesto fue encontrado solamente en las mermeladas comerciales S y S-LS, las cuales son la misma marca, la primera conteniendo azúcares y la segunda siendo baja en azúcar (Cuadro 1). De acuerdo con Robertson y colaboradores (Robertson *et al.*, 1995) el cariofileno va disminuyendo en concentración conforme la frambuesa madura. La marca comercial de mermelada de frambuesa S, probablemente utilice frambuesa en un estado menos maduro.

Cuadro 4. Contribución al sabor de la frambuesa de los compuestos volátiles identificados en las mermeladas.

Compuesto	Contribución al sabor de la frambuesa	Referencia
γ-terpineno	Cítrico, terpenoso, dulce, frutal	(Diaconeasa <i>et al.</i> , 2019, Liang <i>et al.</i> , 2022)
Terpineol	Madera, pino, anís, menta	(Diaconeasa <i>et al.</i> , 2019)
Terpinen-4-ol	Pimienta inglesa	(Liang <i>et al.</i> , 2022)
Limoneno	Frutal	(Diaconeasa <i>et al.</i> , 2019)
Linalol	Dulce, floral, frutal, cítrico	(Diaconeasa <i>et al.</i> , 2019)
Cariofileno	Madera, picante, frutal, dulce	(Diaconeasa <i>et al.</i> , 2019)
α-ionona	Floral	(Aprea <i>et al.</i> , 2015)
β-ionona	Frambuesa, violeta	(Aprea <i>et al.</i> , 2015)
α-Ionol	Limón, té caliente, violeta	(Klesk <i>et al.</i> , 2004)
α,β-Dihidro-β-ionona	afrutado-floral, pungente, cítrico	(Klesk <i>et al.</i> , 2004)
Ácido acético	Vegetal, pungente, ácido	(Klesk <i>et al.</i> , 2004)
Ácido hexanoico	--	--
Hexanol	Floral, dulce, tostado, verde	(Diaconeasa <i>et al.</i> , 2019)

En el presente trabajo el principal grupo las mermeladas HM, HM-LS, NI, H, H-NS y S-LS, fue el de los C13-norisoprenoides, importantes compuestos del sabor de la frambuesa. La mermelada S-LS presentó la mayor concentración C13-norisoprenoides, probablemente debido a que contenía saborizantes añadidos. Por otro lado, las mermeladas CJ, BM, SD y S, presentaron a los ácidos como principal grupo volátil, siendo el más abundante el ácido acético (Cuadro 5). La mermelada con mayor concentración de ácido acético fue la CJ; es importante indicar que esta mermelada es la más económica de entre las mermeladas comerciales estudiadas (Cuadro 1).

La mermelada casera con azúcar, HM, presenta la mayor cantidad de compuestos volátiles (12); esto sugiere que la mermelada casera con azúcar presentará un sabor más completo e integral a frambuesa. La mermelada casera sin azúcar HM-LS, presenta una considerable menor cantidad de volátiles (7), a pesar de presentar una mayor concentración de fruta (Cuadro 1). Mientras la mermelada casera HM presenta los monoterpenos γ -terpineno, terpineol, terpinen-4-ol, limoneno, α -ionol, la mermelada casera baja en azúcar HM-LS, no los presenta (Cuadro 5). La mermelada HM contiene compuestos no presentes en el resto de las mermeladas: γ -terpineno y limoneno, (Cuadro 5). La mermelada comercial con menor número de volátiles identificados fue la mermelada comercial CJ, la cual presentó solamente dos volátiles β -ionona y ácido acético. De estos dos

volátiles, el ácido acético corresponde al 92% y la b-ionona solo al 8% del total (Figura 9). Es importante recalcar que la mermelada CJ fue la más económica (Cuadro 1).

Cuadro 5. Compuestos volátiles identificados en las mermeladas de frambuesa comerciales y caseras (HM y HM-LS). Los valores muestran su concentración relativa (área del pico/1,000). Diferentes letras dentro de una misma fila indican diferencia significativa ($p \leq 0.05$) *S-LS presenta saborizantes naturales añadidos.

	CJ	NI	BM	SD	H	H-NS	S	S-LS*	HM	HM-LS
MONOTERPENOS	0	296	270	395	2444	880	1022	1080	2899	76
γ -terpineno	0 ^a	0 ^a	0 ^a	0 ^a	0 ^a	0 ^a	0 ^a	0 ^a	199 ^b	0 ^a
Terpineol	0 ^a	296 ^{ab}	270 ^{ab}	395 ^{bc}	1,668 ^e	640 ^{cd}	799 ^d	806 ^d	1,470 ^e	0 ^a
Terpinen-4-ol	0 ^a	0 ^a	0 ^a	0 ^a	0 ^a	0 ^a	0 ^a	273 ^b	305 ^b	0 ^a
Limoneno	0 ^a	0 ^a	0 ^a	0 ^a	0 ^a	0 ^a	0 ^a	0 ^a	862 ^b	0 ^a
Linalol	0 ^a	0 ^a	0 ^a	0 ^a	776 ^c	240 ^b	224 ^b	0 ^a	62 ^{ab}	76 ^{ab}
SESQUITERPENOS	0	0	0	0	0	0	295	278	0	0
Cariofileno	0 ^a	0 ^a	0 ^a	0 ^a	0 ^a	0 ^a	295 ^b	278 ^b	0 ^a	0 ^a
C13-NORISOPRENOIDES	340	4903	2581	3360	7125	7032	3104	1960	5677	4574
α -ionona	0 ^a	1,323 ^b _c	0 ^a	602 ^{ab}	1,924 ^c	2,219 ^c	606 ^{ab}	12,209 ^d	1,350 ^{bc}	1,338 ^b _c
β -ionona	340 ^a	2,452 ^c	1,477 ^b	1,052 ^{ab}	4,123 ^e	3,812 ^{de}	1,363 ^b	6,652 ^f	3,104 ^{cd}	2,838 ^c
α -Ionol	0 ^a	323 ^{bcd}	776 ^{cd}	929 ^d	469 ^{bc}	633 ^{bcd}	491 ^{bcd}	740 ^{cd}	219 ^b	0 ^a
α,β -Dihidro- β -ionona	0 ^a	559 ^c	0 ^a	0 ^a	609 ^c	367 ^{bc}	0 ^a	0 ^a	266 ^b	338 ^{bc}
β -metil-ionona	0 ^a	244 ^{ab}	0 ^a	777 ^b	0 ^a	0 ^a	643 ^{ab}	0 ^a	736 ^{ab}	61 ^a
ALCOHOLES	0	156	421	444	418	254	199	263	284	181
Hexanol	0 ^a	156 ^{ab}	420 ^b	444 ^b	418 ^b	254 ^{ab}	199 ^{ab}	263 ^{ab}	284 ^{ab}	181 ^{ab}
ÁCIDOS	3802	1201	2610	3513	1392	868	5200	1083	1547	1646
Ácido acético	3,802	1,201 ^a	2,346 ^a	3,513 ^a	1,391 ^a	868 ^a	3,683 ^a	635 ^a	1,547 ^a	1,646 ^a
Ácido hexanoico	0 ^a	0 ^a	264 ^b	0 ^a	0 ^a	0 ^a	1,516 ^d	448 ^c	0 ^a	0 ^a
Número de volátiles	2	8	7	7	8	8	10	9	12	7

Los compuestos volátiles pueden también encontrarse en su forma no volátil sin proporcionar sabor, cuando se encuentran como glico-conjugados (unidos a un azúcar), y su ocurrencia puede ser mayor que en su forma libre, estos son un indicador del potencial aroma de la fruta (Liang *et al.*, 2022). La ocurrencia de estos aroma-glicósidos no es igual en todas las clases de volátiles. Por ejemplo los sesquiterpenos glicósidos no son tan predominantes como lo son los monoterpenos glicósidos (Liang *et al.*, 2022). El Cuadro 5 muestra una comparación de los compuestos volátiles de las

diferentes mermeladas, por clase de volátil. Se puede observar que los monoterpenos se encuentran en una considerable mayor concentración en las mermeladas con azúcares en comparación con su contraparte sin azúcares. Esto se observa tanto en la mermelada comercial: H vs H-NS (2,458 vs 949 área/1,000), como en la mermelada casera: HM vs HM-LS (2889 vs 78 área/1,000). Esto puede indicar que los compuestos volátiles de la clase de los monoterpenos, se unen a la glucosa que se obtiene a partir del rompimiento de la sacarosa añadida (que se da con la ayuda de la temperatura de procesamiento y los ácidos naturales encontrados en la fruta y los añadidos). De esta manera los monoterpenos en las mermeladas con azúcares se conservan glicosilados, sin capacidad de volatilizarse, durante el calentamiento térmico, mientras que las mermeladas sin azúcares pierden los monoterpenos por volatilización. Esto se aprecia con mayor claridad en la mermelada casera ya que se conocen los ingredientes y su modo de elaboración; y la mermelada casera baja en azúcar HM-LS, a pesar de contener una cantidad mucho mayor de fruta, presenta una concentración mucho menor de monoterpenos (g-terpineno, terpineol, terpinen-4-ol y limoneno (Cuadro 5). La mermelada comercial S con azúcares, y S-LS sin azúcares, no se pueden analizar en este aspecto dado que la mermelada S-LS presenta en sus ingredientes “saborizante natural” por lo que se concluye que la mermelada S-LS tiene compuestos volátiles añadidos (Cuadro 1 y Cuadro 5).

La disminución de azúcar parece conducir también a una disminución en la proporción en los C13-norisoprenoides (Cuadro 5). De los compuestos volátiles de dos mermeladas con azúcar y sin azúcar (o bajas en azúcar), H y su contraparte H-NS (sin azúcar), así como la mermelada casera HM y su contraparte HM-LS (baja en azúcar); se observa que las mermeladas H-NS y HM-LS, presentan menor concentración de compuestos volátiles del grupo de los norisoprenoides α -ionol y β -metil-ionona. De acuerdo con Vrhovsek y cols., (2014) los 13-norisoprenoides, específicamente el α -ionol se pueden encontrar en su forma glicosilada 27.5 a 40.7 veces en mayor concentración en comparación con su forma libre. En la mermelada casera con azúcar HM se observó una concentración relativa de α -ionol de 326 (área del pico/1,000), mientras que la mermelada casera baja en azúcar HM-LS no presentó α -ionol. Esto podría sugerir que los azúcares promueven la glicosilación del α -ionol; esto significa que durante el tratamiento térmico en la elaboración de mermelada casera, la glucosa derivada de la hidrolización de la sacarosa (ambiente ácido y alta temperatura promueven la hidrolización de la sacarosa en fructosa y glucosa) pudo unirse al α -ionol, evitando así su volatilización, lo cual no ocurrió en la mermelada de frambuesa casera baja en azúcar. Esto con una posterior liberación de volátiles activos de los glucósidos aromáticos, lo

cual se puede lograr a través de la escisión de los enlaces glucosídicos en condiciones ambientales suaves, incluidas las acciones de la temperatura, la luz, las enzimas, los microorganismos y el cambio de los valores de pH (Liang *et al.*, 2022).

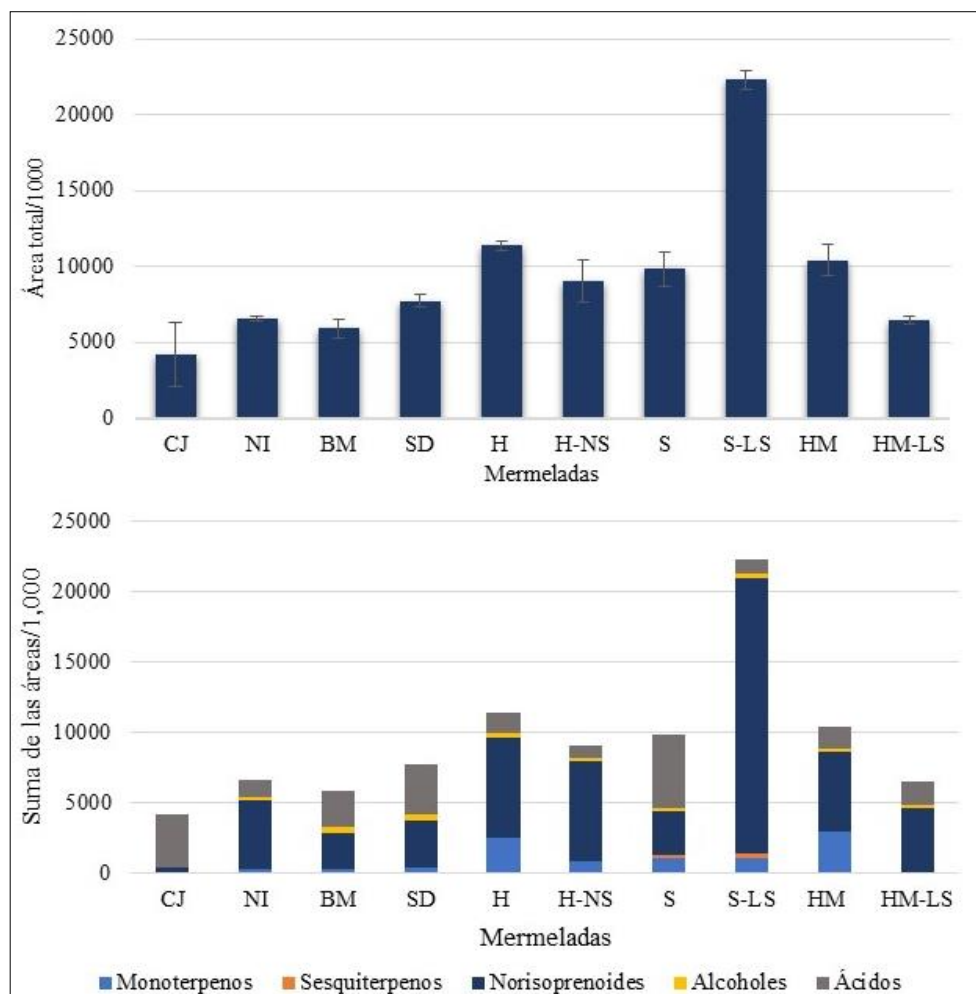


Figura 9. Suma de las áreas de los 14 compuestos identificados en las mermeladas de frambuesa (A) y su distribución de acuerdo con su clase principal (B). *La mermelada S-LS contiene en sus ingredientes saborizante. Los resultados se representan en medias $\pm$ desviación estándar.

Los compuestos volátiles poseen efectos benéficos a la salud (Kohlert *et al.*, 2000). Gu y colaboradores (2020) encontraron que los compuestos volátiles de los frutos rojos presentaban efectos antiinflamatorios comparables a sus compuestos fenólicos, a pesar de encontrarse en menor concentración. Los compuestos volátiles actúan suprimiendo los mediadores proinflamatorios y las

citoquinas a través de la regulación negativa de NF-KB (Gu *et al.*, 2020). Los terpenos han mostrado importantes beneficios a la salud, como anticancerígenos, antioxidantes y antivirales (Gu *et al.*, 2020); especialmente actuando contra la inflamación, el cáncer, la obesidad y la diabetes (Gu *et al.*, 2022). Se ha demostrado que los compuestos volátiles de la frambuesa presentan capacidad antioxidante de 6.57mm TE/kg (Gu *et al.*, 2020). De acuerdo con Kumar y cols., (2023) el limoneno ha presentado propiedades antiinflamatorias, neuro protectoras, antioxidantes y anti-estrés. Entre las mermeladas estudiadas, la mermelada casera con azúcar (HM) presentó la mayor concentración de monoterpenos y fue la única mermelada que presentó limoneno, en comparación con el resto de las mermeladas (Cuadro 5). Se ha observado que el terpineol presenta actividad antitumoral, especialmente en cáncer de pulmón (Gu *et al.*, 2020); este compuesto se encontró en todas las mermeladas con excepción de HM-LS y CJ; siendo encontrado en mayor proporción en la mermelada casera con azúcar HM y en la mermelada comercial H, sin diferencia significativa entre estas ($p \leq 0.05$), (Cuadro 5). El linalol ha mostrado beneficios contra la inflamación, el cáncer, la obesidad y la diabetes (Gu *et al.*, 2022); este compuesto se encontró en las mermeladas H y H-NS, en S y en HM y HM-LS, siendo la mermelada H la que lo presenta en mayor proporción ($p \leq 0.05$), (Cuadro 5).

La importancia de los compuestos volátiles en la mermelada de frambuesa es copiosa, no solamente por el característico y agradable sabor que proporcionan, sino por las propiedades saludables que estos aportan, debiéndose considerar como compuestos bioactivos de beneficio para la salud humana.

6.7 Correlación entre el Costo de las Mermeladas Comerciales y sus Atributos Evaluados

Para determinar si el precio de las mermeladas comerciales tiene alguna relación con las características de calidad, especialmente con sus compuestos bioactivos, se llevó a cabo un análisis de varianza con un modelo de regresión lineal, para observar si existe significancia estadística. Debido al valor agregado a los productos sin azúcares o bajos en azúcares, las mermeladas H-NS, y S-LS fueron excluidas de este análisis; de igual manera las mermeladas caseras fueron excluidas al no contar con precio de venta.

Cuadro 6. Coeficiente de correlación entre las diferentes variables de respuesta y el costo de la mermelada comercial. Para evitar el sesgo por costo agregado en los productos bajos en azúcares o sin azúcares, se eliminaron las mermeladas comerciales S-LS, H-NS, y las mermeladas caseras HM y HM-LS.

Variable de respuesta	Coeficiente de correlación con el costo	Significancia
Flavonoides	0.84	0.009
Compuestos fenólicos	0.89	0.003
DPPH	0.84	0.008
ABTS	0.89	0.003

*Se calculó el coeficiente de correlación de Pearson (R) restando un 30% al costo del producto en aquellas mermeladas importadas.

La correlación entre la capacidad antioxidante y el costo de la mermelada fue de 0.89 ($p=0.003$) por el método ABST y de 0.84 ($p=0.008$) por el método DPPH. La correlación entre los compuestos fenólicos y el costo fue considerablemente alta, con un valor de 0.89 ($p=0.003$), mientras que los flavonoides tuvieron un coeficiente de correlación de 0.84 ($p=0.009$). Es interesante observar que el costo de la mermelada está relacionado directamente con la capacidad antioxidante del producto por ambos métodos, ABST y DPPH, compuestos fenólicos totales y flavonoides; indicando que en la compra de mermelada de frambuesa, a mayor costo de la mermelada, el consumidor estará obteniendo un producto con mejor calidad, en relación a los potenciales beneficios saludables del consumo de alimentos con una alta capacidad antioxidante y una alta concentración de compuestos bioactivos benéficos para la salud (Cuadro 6).

7. CONCLUSIONES

Se estudiaron las mermeladas de frambuesa comerciales y se compararon con mermeladas caseras, concluyendo lo siguiente:

El precio de la mermelada de frambuesa es directamente proporcional a la cantidad de frambuesa, a la concentración de compuestos volátiles del sabor, a la cantidad de compuestos fenólicos y a la capacidad antioxidante. El precio de la mermelada de frambuesa conteniendo azúcares es inversamente proporcional a la concentración de azúcares.

La saturación del color (croma) está directamente relacionada con la concentración de antocianinas en la mermelada.

Las mermeladas caseras mostraron mayor concentración de compuestos fenólicos, y antocianinas, y capacidad antioxidante por el método ABTS, en comparación con las mermeladas comerciales.

La mermelada casera baja en azúcar (HM-LS) presentó mayor concentración de fenoles totales, flavonoides y antocianinas en comparación con la mermelada casera con azúcar (HM). Esto es debido probablemente a que la mermelada HM-LS tiene mayor concentración de fruta.

La capacidad antioxidante determinada por el método ABTS muestra más diferencias significativas entre tratamientos, en comparación con el método DPPH, por lo que sugerimos utilizar este método para analizar productos como la mermelada de frambuesa.

Los consumidores buscan la mermelada baja en azúcar por considerarlas más saludables, sin embargo, las mermeladas comerciales bajas en azúcar presentan la más baja concentración de compuestos fenólicos y la menor capacidad antioxidante equivalente a la mermelada de frambuesa con azúcar más económica.

La mermelada casera baja en azúcar (HM-LS) fue estadísticamente similar a la mermelada con azúcar (HM) respecto a su capacidad antioxidante a pesar de que la mermelada HM-LS contenía mayor cantidad de frambuesa. Estos resultados sugieren que el azúcar conserva los compuestos fenólicos.

La concentración de compuestos fenólicos totales es el grupo de antioxidantes que mejor se correlaciona con la capacidad antioxidante, tanto por ABTS como por DPPH, sugiriendo que los compuestos fenólicos son los principales contribuyentes como antioxidantes en la mermelada de frambuesa.

La mermelada casera con azúcar (HM) mostró mayor concentración de compuestos volátiles del grupo de los monoterpenos (reconocidos por sus beneficios a la salud) en comparación con el resto de las mermeladas.

A pesar de contener una concentración mayor de fruta, la mermelada casera baja en azúcar (HM-LS) muestra una concentración baja de volátiles del grupo de los monoterpenos g-terpineno, terpineol, terpinen-4-ol y limoneno, así como del C13-norisoprenoide α -ionol, en comparación con la mermelada casera alta en azúcar (HM). Esto sugiere que los azúcares pudieran tener un efecto protector de este tipo de compuestos volátiles.

Debido a la mayor concentración de monoterpenos, encontrada en la mermelada casera (HM), podemos sugerir que esta mermelada es el producto que presenta mejor sabor y mayor beneficio a la salud, con respecto a compuestos volátiles anti-inflamatorios, anticancerígenos y reguladores de obesidad y diabetes, en comparación con la mermelada casera baja en azúcar (HM-LS) y las mermeladas comerciales.

Con respecto a las mermeladas de frambuesa; si queremos buscar un producto de calidad con respecto a la salud, muchas veces buscaríamos una mermelada baja en azúcares y este estudio demuestra que esto no es así; que la mermelada de frambuesa baja en azúcares tiene menor capacidad antioxidante y menor concentración de compuestos volátiles que proporcionan sabor y beneficios a la salud; esto en comparación con la mermelada con azúcares de su misma marca (o casera).

8. RECOMENDACIONES

Se sugiere evaluar la capacidad de glicosilación de los compuestos volátiles, específicamente los monoterpenos g-terpineno, terpineol, terpinen-4-ol, limoneno y el C13-isoprenoide α -ionol, para la formación de compuestos aromáticos no volátiles. Esto como posible método de conservación de estos volátiles en mermeladas conteniendo azúcares en su formulación. Se sugiere analizar los compuestos volátiles glicosilados encontrados en la mermelada, compuestos que se hidrolizan al entrar en contacto con las glucosidasas de la saliva humana proporcionando más sabor al alimento.

Se sugiere estudiar la liberación de volátiles activos de los glucósidos aromáticos por la escisión de los enlaces glucosídicos, mediante la variación de los factores: luz, temperatura, enzimas y pH.

Se sugiere estudiar la estabilidad de los compuestos bioactivos en mermelada (tanto los compuestos fenólicos, flavonoides y antocianinas, como los compuestos volátiles), por efecto del tiempo de almacenamiento, la luz, el pH y la concentración de azúcares; factores que afectan tanto la composición como la concentración de los compuestos fenólicos y de los compuestos volátiles.

9. REFERENCIAS

- Aaby, K., R. E. Wrolstad, D. Ekeberg, G. J. J. o. A. Skrede, and F. Chemistry. 2007. Polyphenol composition and antioxidant activity in strawberry purees; impact of achene level and storage. 55(13):5156-5166.
- Ahmed, J., H. J. F. Ramaswamy, and b. processing. 2005. Effect of temperature on dynamic rheology and colour degradation kinetics of date paste. 83(3):198-202.
- Aprea, E., F. Biasioli, S. Carlin, I. Endrizzi, and F. Gasperi. 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). J. Agric. Food Chem. 57(10):4011-4018.
- Aprea, E., F. Biasioli, and F. Gasperi. 2015. Volatile Compounds of Raspberry Fruit: From Analytical Methods to Biological Role and Sensory Impact. Molecules 20(2).
- Baby, B., P. Antony, and R. Vijayan. 2018. Antioxidant and anticancer properties of berries. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 58(15):2491-2507.
- Bacanli, M., S. A. Dilsiz, N. Başaran, and A. A. Başaran. 2019. Chapter Five - Effects of phytochemicals against diabetes. Pages 209-238 in Advances in Food and Nutrition Research. Vol. 89. F. Toldrá, ed. Academic Press.
- Beattie, J., A. Crozier, G. G. J. C. N. Duthie, and F. Science. 2005. Potential health benefits of berries. 1(1):71-86.
- Beekwilder, J., R. D. Hall, and C. H. R. de Vos. 2005a. Identification and dietary relevance of antioxidants from raspberry. BioFactors 23:197-205.
- Beekwilder, J., H. Jonker, P. Meesters, R. D. Hall, I. M. van der Meer, and C. Ric de Vos. 2005b. Antioxidants in raspberry: on-line analysis links antioxidant activity to a diversity of individual metabolites. J. Agric. Food Chem. 53(9):3313-3320.
- Benzie, I. F. and J. J. J. A. b. Strain. 1996. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: the FRAP assay. 239(1):70-76.
- Biesalski, H.-K., L. O. Dragsted, I. Elmadfa, R. Grossklaus, M. Müller, D. Schrenk, P. Walter, and P. Weber. 2009. Bioactive compounds: Definition and assessment of activity. Nutrition 25(11):1202-1205.
- Bobinaitė, R., P. Viškelis, and P. R. Venskutonis. 2012. Variation of total phenolics, anthocyanins, ellagic acid and radical scavenging capacity in various raspberry (*Rubus spp.*) cultivars. Food Chem. 132(3):1495-1501.
- Bradish, C. M., P. Perkins-Veazie, G. E. Fernandez, G. Xie, and W. Jia. 2012. Comparison of flavonoid composition of red raspberries (*Rubus idaeus* L.) grown in the southern United States. J. Agric. Food Chem. 60(23):5779-5786.
- Brand-Williams, W., M.-E. Cuvelier, and C. Berset. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. LWT-Food science and Technology 28(1):25-30.

- Burton-Freeman, B. M., A. K. Sandhu, and I. Edirisinghe. 2016. Red Raspberries and Their Bioactive Polyphenols: Cardiometabolic and Neuronal Health Links. *Advances in Nutrition* 7(1):44-65.
- Castilho-Maró, L. A., R. Pio, M. N. Santos-Guedes, C. M. Patto de Abreu, and P. Nogueira-Curi. 2013. Bioactive compounds, antioxidant activity and mineral composition of fruits of raspberry cultivars grown in subtropical areas in Brazil. *Fruits* 68(3):209-217.
- Chaaban, H., I. Ioannou, L. Chebil, M. Slimane, C. Gérardin, C. Paris, C. Charbonnel, L. Chekir, M. J. J. o. f. p. Ghoul, and preservation. 2017. Effect of heat processing on thermal stability and antioxidant activity of six flavonoids. 41(5):e13203.
- Cordeiro, T., I. Fernandes, O. Pinho, C. Calhau, N. Mateus, and A. Faria. 2021. Anthocyanin content in raspberry and elderberry: The impact of cooking and recipe composition. *International Journal of Gastronomy and Food Science* 24:100316.
- D'Onofrio, G., D. Sancar, Q. Ruan, Z. Yu, F. Panza, A. Daniele, A. Greco, and D. J. C. D. T. Seripa. 2017. Phytochemicals in the treatment of Alzheimer's disease: a systematic review. 18(13):1487-1498.
- Da Silva Pinto, M., F. M. Lajolo, and M. I. Genovese. 2007. Bioactive Compounds and Antioxidant Capacity of Strawberry Jams. *Plant Foods for Human Nutrition* 62(3):127-131.
- de Ancos, B., E. Ibanez, G. Reglero, and M. P. Cano. 2000. Frozen storage effects on anthocyanins and volatile compounds of raspberry fruit. *J. Agric. Food Chem.* 48(3):873-879.
- de Oliveira Pineli, L. d. L., C. L. Moretti, M. Chiarello, and L. Melo. 2015. Influence of strawberry jam color and phenolic compounds on acceptance during storage. *Revista Ceres* 62(3):233-240.
- Diaconeasa, Z., C. I. Iuhas, H. Ayvaz, D. Rugină, A. Stanilă, F. Dulf, A. Bunea, S. A. Socaci, C. Socaciu, and A. Pintea. 2019. Phytochemical Characterization of Commercial Processed Blueberry, Blackberry, Blackcurrant, Cranberry, and Raspberry and Their Antioxidant Activity. *Antioxidants* 8(11).
- Diez-Sánchez, E., A. Quiles, and I. J. F. Hernando. 2021. Interactions between blackcurrant polyphenols and food macronutrients in model systems: *In vitro* digestion studies. 10(4):847.
- do Nascimento Nunes, M. C. 2009. Color atlas of postharvest quality of fruits and vegetables. John Wiley & Sons.
- Durán, L., E. J. F. S. Costell, and T. International. 1999. Revision: Percepción del gusto. Aspectos fisicoquímicos y psicofísicos/Review: Perception of taste. Physiochemical and psychophysical aspects. 5(4):299-309.
- Edris, A. E. J. P. R. A. I. J. D. t. P. and T. E. o. N. P. Derivatives. 2007. Pharmaceutical and therapeutic potentials of essential oils and their individual volatile constituents: a review. 21(4):308-323.
- Espino-Díaz, M., D. R. Sepúlveda, G. González-Aguilar, and G. I. Olivas. 2016. Biochemistry of apple aroma: A review. *Food technology and biotechnology* 54(4):375-394.
- FAO. 2021. FAOStat. in <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
- Fotirić Akšić, M., M. Nešović, I. Ćirić, Ž. Tešić, L. Pezo, T. Tosti, U. Gašić, B. Dojčinović, B.

- Lončar, and M. J. H. Meland. 2022. Chemical fruit profiles of different raspberry cultivars grown in specific Norwegian agroclimatic conditions. 8(9):765.
- Frías-Moreno, M. N., R. A. Parra-Quezada, G. González-Aguilar, J. Ruíz-Canizales, F. J. Molina-Corral, D. R. Sepulveda, N. Salas-Salazar, and G. I. Olivas. 2021a. Quality, Bioactive Compounds, Antioxidant Capacity, and Enzymes of Raspberries at Different Maturity Stages, Effects of Organic vs. Conventional Fertilization. *Foods* 10(5).
- Frías-Moreno, M. N., R. Á. Parra-Quezada, J. Ruíz-Carrizales, G. A. González-Aguilar, D. Sepulveda, F. J. Molina-Corral, J. L. Jacobo-Cuellar, and G. I. Olivas. 2021b. Quality, bioactive compounds and antioxidant capacity of raspberries cultivated in northern Mexico. *International Journal of Food Properties* 24(1):603-614.
- García-Viguera, C., P. Zafrilla, F. Artés, F. Romero, P. Abellán, F. A. J. J. o. t. S. o. F. Tomás-Barberán, and Agriculture. 1998. Colour and anthocyanin stability of red raspberry jam. 78(4):565-573.
- Gu, I., C. Brownmiller, N. B. Stebbins, A. Mauromoustakos, L. Howard, and S.-O. Lee. 2020. Berry Phenolic and Volatile Extracts Inhibit Pro-Inflammatory Cytokine Secretion in LPS-Stimulated RAW264.7 Cells through Suppression of NF-κB Signaling Pathway. *Antioxidants*. doi:10.3390/antiox9090871.
- Gu, I., L. Howard, and S.-O. Lee. 2022. Volatiles in Berries: Biosynthesis, Composition, Bioavailability, and Health Benefits. *Applied Sciences*. doi:10.3390/app122010238.
- Hadjimitsi, E., I. J. F. Zabetakis, and f. journal. 2005. The aroma of jam prepared from fruits of mosphilla (*Crataegus azarolus* L.). 20(5):507-511.
- Häkkinen, S. H., S. O. Kärenlampi, H. M. Mykkänen, and A. R. Törrönen. 2000. Influence of Domestic Processing and Storage on Flavonol Contents in Berries. *J. Agric. Food Chem.* 48(7):2960-2965.
- Hamad, H. A. M. 2021. Phenolic Compounds: Classification, Chemistry, and Updated Techniques of Analysis and Synthesis. Page Ch. 4 in *Phenolic Compounds*. A. B. Farid, ed. IntechOpen, Rijeka.
- Hampel, D., A. Swatski, A. Mosandl, and M. Wüst. 2007. Biosynthesis of Monoterpenes and Norisoprenoids in Raspberry Fruits (*Rubus idaeus* L.): The Role of Cytosolic Mevalonate and Plastidial Methylethylthritol Phosphate Pathway. *J. Agric. Food Chem.* 55(22):9296-9304.
- Harbourne, N., J. C. Jacquier, D. J. Morgan, and J. G. J. F. C. Lyng. 2008. Determination of the degradation kinetics of anthocyanins in a model juice system using isothermal and non-isothermal methods. 111(1):204-208.
- Hertog, M. G., P. C. Hollman, B. J. J. o. a. Van de Putte, and f. chemistry. 1993. Content of potentially anticarcinogenic flavonoids of tea infusions, wines, and fruit juices. 41(8):1242-1246.
- Hidalgo, G.-I. and M. P. J. A. Almajano. 2017. Red fruits: Extraction of antioxidants, phenolic content, and radical scavenging determination: A review. 6(1):7.
- Huynh, N., M. Wilson, R. J. F. P. Stanley, and S. Life. 2023. Extending the shelf life of raspberries in commercial settings by modified atmosphere/modified humidity packaging. 37:101069.
- Igual, M., E. García-Martínez, M. M. Camacho, and N. Martínez-Navarrete. 2013. Jam processing

and storage effects on β -carotene and flavonoids content in grapefruit. *Journal of Functional Foods* 5(2):736-744.

- Kalt, W., C. F. Forney, A. Martin, R. L. J. J. o. a. Prior, and f. chemistry. 1999. Antioxidant capacity, vitamin C, phenolics, and anthocyanins after fresh storage of small fruits. 47(11):4638-4644.
- Kalt, W. J. J. o. f. s. 2005. Effects of production and processing factors on major fruit and vegetable antioxidants. 70(1):R11-R19.
- Kántor, A., L. Alexa, B. Kovács, N. J. J. o. M. Czipa, Biotechnology, and F. Sciences. 2021. Determination of nutritional parameters of commercial and homemade jams. 2021:407-411.
- Kim, D. O., Padilla-Zakour, O.I. . 2004. Jam processing effect on phenolics and antioxidant capacity in anthocyanin-rich fruits: Cherry, plum, and raspberry. 69(9):S395-S400.
- Klesk, K., M. Qian, R. R. J. J. o. a. Martin, and f. chemistry. 2004. Aroma extract dilution analysis of cv. Meeker (*Rubus idaeus* L.) red raspberries from Oregon and Washington. 52(16):5155-5161.
- Kohlert, C., I. Van Rensen, R. März, G. Schindler, E. Graefe, and M. J. P. m. Veit. 2000. Bioavailability and pharmacokinetics of natural volatile terpenes in animals and humans. 66(06):495-505.
- Kula, M., M. Majdan, D. Głód, and M. Krauze-Baranowska. 2016. Phenolic composition of fruits from different cultivars of red and black raspberries grown in Poland. *Journal of Food Composition and Analysis* 52:74-82.
- Kumar, A., N. P, M. Kumar, A. Jose, V. Tomer, E. Oz, C. Proestos, M. Zeng, T. Elobeid, S. K, and F. Oz. 2023. Major Phytochemicals: Recent Advances in Health Benefits and Extraction Method. *Molecules* 28(2).
- Kuskoski, E. M., A. G. Asuero, A. M. Troncoso, J. Mancini-Filho, R. J. F. S. Fett, and Technology. 2005. Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos. 25:726-732.
- Lee, J., R. W. Durst, and R. E. Wrolstad. 2005. Determination of total monomeric anthocyanin pigment content of fruit juices, beverages, natural colorants, and wines by the pH differential method: collaborative study. *Journal of AOAC international* 88(5):1269-1278.
- Lespinaud, A. R., R. R. Bambicha, R. H. J. F. Mascheroni, and B. Processing. 2012. Quality parameters assessment in kiwi jam during pasteurization. Modelling and optimization of the thermal process. 90(4):799-808.
- Levaj, B., V. Dragović-Uzelac, K. Delonga, K. Kovačević Ganić, M. Banović, and D. Bursać Kovačević. 2010. Polyphenols and volatiles in fruits of two sour cherry cultivars, some berry fruits and their jams. *Food Technology and Biotechnology* 48(4):538-547.
- Liang, Z., Z. Fang, A. Pai, J. Luo, R. Gan, Y. Gao, J. Lu, and P. Zhang. 2022. Glycosidically bound aroma precursors in fruits: A comprehensive review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 62(1):215-243.
- Lima, G. P. P., C. V. Borges, F. Vianello, L. Cisneros-Zevallos, and I. O. Minatel. 2018. Phytochemicals in Organic and Conventional Fruits and Vegetables. *Fruit and Vegetable Phytochemicals: Chemistry and Human Health*, 2nd Edition:1305-1322.

- Lindroth, S., A. Niskanen, and O. J. J. o. F. S. Pensala. 1978. Patulin production during storage of blackcurrant, blueberry and strawberry jams inoculated with *Penicillium expansum* mould. 43(5):1427-1429.
- Liu, R. H. 2013. Health-Promoting Components of Fruits and Vegetables in the Diet. *Advances in Nutrition* 4(3):384S-392S.
- Lopez-Corona, A. V., I. Valencia-Espinosa, F. A. González-Sánchez, A. L. Sánchez-López, L. E. Garcia-Amezquita, and R. Garcia-Varela. 2022. Antioxidant, Anti-Inflammatory and Cytotoxic Activity of Phenolic Compound Family Extracted from Raspberries (*Rubus idaeus*): A General Review. *Antioxidants*. doi:10.3390/antiox11061192.
- Määttä-Riihinen, K. R., A. Kamal-Eldin, and A. R. Törrönen. 2004. Identification and quantification of phenolic compounds in berries of *Fragaria* and a species (family Rosaceae). *J. Agric. Food Chem.* 52(20):6178-6187.
- Márquez-López, A., M. del Carmen Chavéz-Parga, and J. C. G. J. C. N. Hernández. 2019. Aspectos generales sobre los elagitaninos y su conversión a ácido elágico. (77):36-58.
- Martinsen, B. K., K. Aaby, and G. Skrede. 2020. Effect of temperature on stability of anthocyanins, ascorbic acid and color in strawberry and raspberry jams. *Food Chem.* 316:126297.
- Molina-Corral, F., J. , M. Espino-Díaz, J. Jacobo, L. , S. Mattinson, D., J. Fellman, K. , D. Sepúlveda, R. , G. González-Aguilar, N. Salas-Salazar, A. , and G. Olivas, I. 2021. Quality attributes during maturation of ‘Golden Delicious’ and ‘Red Delicious’ apples grown in two geographical regions with different environmental conditions. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 49(1).
- Moyer, R. A., K. E. Hummer, C. E. Finn, B. Frei, R. E. J. J. o. a. Wrolstad, and f. chemistry. 2002. Anthocyanins, phenolics, and antioxidant capacity in diverse small fruits: *Vaccinium*, *Rubus*, and *Ribes*. 50(3):519-525.
- Mullen, W., J. McGinn, M. E. J. Lean, M. R. MacLean, P. Gardner, G. G. Duthie, T. Yokota, and A. Crozier. 2002. Ellagitannins, Flavonoids, and Other Phenolics in Red Raspberries and Their Contribution to Antioxidant Capacity and Vasorelaxation Properties. *J. Agric. Food Chem.* 50(18):5191-5196.
- Nile, S. H. and S. W. Park. 2014. Edible berries: Bioactive components and their effect on human health. *Nutrition* 30(2):134-144.
- Okatan, V. 2020. Antioxidant properties and phenolic profile of the most widely appreciated cultivated berry species: A comparative study. *Folia Horticulturae* 32(1):79.
- Olszowy, M. and A. L. Dawidowicz. 2018. Is it possible to use the DPPH and ABTS methods for reliable estimation of antioxidant power of colored compounds? *Chemical Papers* 72(2):393-400.
- OMS, O. M. d. l. S. O. d. S. 2002. The World health report : 2002 : reducing risks, promoting healthy life : overview. World Health Organization, Geneva.
- Paredes-López, O., M. L. Cervantes-Ceja, M. Vigna-Pérez, and T. J. P. f. f. h. n. Hernández-Pérez. 2010. Berries: improving human health and healthy aging, and promoting quality life—a review. 65:299-308.
- Poiana, M.-A., M.-F. Munteanu, D.-M. Bordean, R. Gligor, and E. J. C. C. J. Alexa. 2013. Assessing

the effects of different pectins addition on color quality and antioxidant properties of blackberry jam. 7:1-13.

- Ponder, A. and E. Hallmann. 2019. The effects of organic and conventional farm management and harvest time on the polyphenol content in different raspberry cultivars. *Food Chem.* 301:125295.
- Rababah, T. M., M. H. Al-u'datt, and S. Brewer. 2015. Chapter 82 - Jam Processing and Impact on Composition of Active Compounds. Pages 681-687 in *Processing and Impact on Active Components in Food*. V. Preedy, ed. Academic Press, San Diego.
- Ranjan, A., S. Ramachandran, N. Gupta, I. Kaushik, S. Wright, S. Srivastava, H. Das, S. Srivastava, S. Prasad, and S. K. Srivastava. 2019. Role of Phytochemicals in Cancer Prevention. *International Journal of Molecular Sciences*. doi:10.3390/ijms20204981.
- Rao, A. V. and D. M. Snyder. 2010. Raspberries and Human Health: A Review. *J. Agric. Food Chem.* 58(7):3871-3883.
- Ringuelet, J. A. and S. Z. Viña. 2013. *Productos naturales vegetales*. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP).
- Robertson, G. W., D. W. Griffiths, J. A. T. Woodford, and A. N. E. Birch. 1995. Changes in the chemical composition of volatiles released by the flowers and fruits of the red raspberry (*Rubus idaeus*) cultivar glen prosen. *Phytochemistry* 38(5):1175-1179.
- Rodriguez, A., E. Bruno, C. Paola, L. Campañone, R. H. J. F. S. Mascheroni, and Technology. 2018. Experimental study of dehydration processes of raspberries (*Rubus Idaeus*) with microwave and solar drying. 39:336-343.
- Rosales-Soto, M. U., J. R. Powers, and J. R. Alldredge. 2012. Effect of mixing time, freeze-drying and baking on phenolics, anthocyanins and antioxidant capacity of raspberry juice during processing of muffins. *J. Sci. Food Agric.* 92(7):1511-1518.
- Saveski, A., V. Stamatovska, V. Pavlova, T. Kalevska, R. J. F. s. Spirovska Vaskoska, engineering, and S. W. technologies-. 2015. Sensory analysis of raspberry jam with different sweeteners. 294-297.
- Šavikin, K., G. Zdunić, T. Janković, S. Tasić, N. Menković, T. Stević, and B. Đorđević. 2009. Phenolic Content and Radical Scavenging Capacity of Berries and Related Jams from Certificated Area in Serbia. *Plant Foods for Human Nutrition* 64(3):212-217.
- Scibisz, I. and M. Mitek. 2009. Effect of processing and storage conditions on phenolic compounds and antioxidant capacity of highbush blueberry jams. *Polish journal of food and nutrition sciences* 59(1).
- Seo, J. Y., J. H. Jang, J.-S. Kim, E.-J. Kim, and J.-S. Kim. 2016. Development of low-sugar antioxidant jam by a combination of anthocyanin-rich berries. *Applied Biological Chemistry* 59(2):305-312.
- Si, X., Q. Chen, J. Bi, X. Wu, J. Yi, L. Zhou, and Z. Li. 2016. Comparison of different drying methods on the physical properties, bioactive compounds and antioxidant activity of raspberry powders. *J. Sci. Food Agric.* 96(6):2055-2062.
- Slavković, F. and A. Bendahmane. 2023. Floral Phytochemistry: Impact of Volatile Organic Compounds and Nectar Secondary Metabolites on Pollinator Behavior and Health. *Chemistry*

& Biodiversity 20(4):e202201139.

- Sójka, M., M. Janowski, and K. Grzelak-Błaszczyk. 2019. Stability and transformations of raspberry (*Rubus idaeus* L.) ellagitannins in aqueous solutions. *European Food Research and Technology* 245(5):1113-1122.
- Speer, H., N. M. D’Cunha, N. I. Alexopoulos, A. J. McKune, and N. J. A. Naumovski. 2020. Anthocyanins and human health—A focus on oxidative stress, inflammation and disease. 9(5):366.
- Sulastri, E., Z. Muhammad Sulaiman, A. Nurafni Israyanti, A. Syakila, H. Ririen, Y. Risfah, and Aliyah. 2018. Total Phenolic, Total Flavonoid, Quercetin Content and Antioxidant Activity of Standardized Extract of Moringa oleifera Leaf from Regions with Different Elevation. *Pharmacognosy Journal* 10(6s).
- Tena, L., G. Erandi, J. J. Ramírez Hernández, and R. F. Sánchez Barreto. 2021. Panorama de la industria alimentaria, el consumo de alimentos y sus efectos en la salud en México.
- Valdés García, A., S. E. Maestre Pérez, M. Butsko, M. S. Prats Moya, and A. Beltrán Sanahuja. 2020. Authentication of “Adelita” Raspberry Cultivar Based on Physical Properties, Antioxidant Activity and Volatile Profile. *Antioxidants* 9(7).
- Vrhovsek, U., C. Lotti, D. Masuero, S. Carlin, G. Weingart, and F. Mattivi. 2014. Quantitative metabolic profiling of grape, apple and raspberry volatile compounds (VOCs) using a GC/MS/MS method. *Journal of Chromatography B* 966:132-139.
- Wang, S. Y. and H.-S. Lin. 2000. Antioxidant activity in fruits and leaves of blackberry, raspberry, and strawberry varies with cultivar and developmental stage. *J. Agric. Food Chem.* 48(2):140-146.
- White, B. L., L. R. Howard, and R. L. Prior. 2011. Impact of Different Stages of Juice Processing on the Anthocyanin, Flavonol, and Procyanidin Contents of Cranberries. *J. Agric. Food Chem.* 59(9):4692-4698.
- Wojdyło, A., J. Oszmiański, M. Teleszko, A. J. I. j. o. f. s. Sokół-Łętowska, and nutrition. 2013. Composition and quantification of major polyphenolic compounds, antioxidant activity and colour properties of quince and mixed quince jams. 64(6):749-756.
- Zafrilla, P., F. Ferreres, and F. A. Tomás-Barberán. 2001. Effect of Processing and Storage on the Antioxidant Ellagic Acid Derivatives and Flavonoids of Red Raspberry (*Rubus idaeus*) Jams. *J. Agric. Food Chem.* 49(8):3651-3655.