

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS

SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
CHIHUAHUA

**EFECTO DE LA RADIACIÓN UV-C CON TRATAMIENTOS
TÉRMICOS MODERADOS SOBRE PARÁMETROS DE CALIDAD
EN MEZCLAS DE JUGO DE MANZANA (*Pyrus malus* L.) CON
ARÁNDANO AZUL (*Vaccinium corymbosum*)**

POR:

MARÍA DEL CIELO VALDEZ CÁRDENAS

**TESIS PRESENTADA COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**

CHIHUAHUA, CHIH., MÉXICO

OCTUBRE DE 2020



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
CHIHUAHUA

Chihuahua, Chih., a 31 de octubre de 2020.
Oficio: 64/CA/SIP/20

Dr. Ildebrando Pérez Reyes
Secretario de Investigación y Posgrado
Facultad de Ciencias Químicas
Universidad Autónoma de Chihuahua
P r e s e n t e:

Los integrantes del comité, informamos a Usted que efectuamos la revisión de la tesis intitulada: **Efecto de la radiación UV-C con tratamientos térmicos moderados sobre parámetros de calidad en mezclas de jugo de manzana (*Pyrus malus* L.) con arándano azul (*Vaccinum corymbosum*)** presentada por la **Ing. María del Cielo Valdez Cárdenas** alumna del Programa de Maestría en Ciencias en Ciencia y Tecnología de Alimentos.

Después de la revisión, indicamos a la tesista las correcciones que eran necesarias efectuar y habiéndolas realizado, manifestamos que la tesis, de la cual adjuntamos un ejemplar, ha cumplido con los objetivos señalados por el Comité de Tesis, por lo que puede ser considerada como adecuada para que se proceda con los trámites para la presentación de su Examen de Grado.

A t e n t a m e n t e
“Por la ciencia para bien del hombre”

M.C. Carlos Fernando Vázquez Cárdenas
Co-Director de tesis

Dra. Carmen Oralía Meléndez Pizarro
Asesora de tesis

M.C. Ricardo Talamás Abbud
Asesor de tesis

Dr. Armando Quintero Ramos
Director de tesis

Dr. Ildebrando Pérez Reyes
Secretario de Investigación y Posgrado



***El que suscribe certifica que las firmas que aparecen en esta acta, son auténticas, y las mismas que utilizan los C. Profesores mencionados.

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
Circuito Universitario
Campus Universitario #2 C.P. 31125
Tel. +52 (614) 236 6000
Chihuahua, Chihuahua, México
<http://www.fcq.uach.mx>

AGRADECIMIENTOS

A mi director de tesis, Dr. Armando Quintero Ramos, por la oportunidad de desarrollar esta investigación bajo su tutela. Por su apoyo, por corregirnos, orientarnos, dándonos siempre la confianza y seguridad para lograr nuestros objetivos. Valoro enormemente cada una de sus enseñanzas.

A mis mentores, el M. C. Carlos Vázquez, Dra. Carmen Meléndez, Dr. Miguel Sánchez y M. C. Ricardo Talamás, por sus aportaciones, apoyo en todo momento, paciencia y su tiempo para lograr que este proyecto se realizara de la mejor manera.

A mi familia, por estar presente en cada etapa de mi vida, mostrándome su cariño y apoyo para seguir adelante.

Muy especialmente a mis compañeras de batallas, de aventuras y alegrías, Maddy y Aurora, gracias por esa amistad tan leal y tan fuerte ¡lo logramos y vamos por más!

A mi amigo del alma, Fernando Navarro, por estar siempre ahí para escucharme y alentarme a luchar cada día por mis sueños.

A Edgardo (†) por haber hecho que me enamorara de Chihuahua y hacer de mi estancia un baúl de recuerdos, en mi corazón siempre MS.

A CONACYT y a la Secretaria de Investigación y Posgrado de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua por el apoyo para realizar esta maestría.

Y agradezco con todo cariño a todas las personas que me brindaron su ayuda y contribuyeron de alguna forma en la realización de este proyecto: al personal del laboratorio, administración, almacén y talleres, ¡Gracias!

DEDICATORIA

Gracias Dios por la fuerza y fe para sacar adelante este proyecto y culminar una etapa más en mi vida.

A mis padres y hermana, por sus consejos, su apoyo y su cariño incondicional, por confiar en mí y compartir con tanta ilusión cada proyecto que realizo. Han sido mi inspiración y motivación en cada paso de mi vida. Mis triunfos y victorias siempre serán por y para ustedes, los amo. 🐾

“Si he logrado ver más lejos, ha sido porque he subido a hombros de gigantes”. – Issac Newton

ÍNDICE	
AGRADECIMIENTOS	ii
DEDICATORIA	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
LISTA DE ABREVIATURAS	xi
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xvi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES	4
2.1. Tendencias actuales en el consumo de productos de frutas.....	4
2.1.1. Tendencias en el consumo de bebidas de frutas	5
2.1.2. Bebidas funcionales.....	6
2.1.3. Mercado de bebidas	7
2.2. Tratamientos de conservación de bebidas.....	7
2.2.1. Tratamientos térmicos	9
2.2.2. Efectos del tratamiento térmico sobre las propiedades de los productos a base de frutas	10
2.2.3. Tratamientos no térmicos	11
2.2.4. Radiación UV-C.....	11
2.2.5. Efecto de la radiación UV-C sobre los microorganismos.....	12
2.2.6. Limitaciones de la tecnología UV-C.....	14
2.2.7. Efectos de la radiación UV-C sobre compuestos bioactivos.....	14
2.2.8. Efectos de la radiación UV-C sobre enzimas	17
2.2.9. Empleo de tratamientos combinados para la conservación de alimentos	18
III. JUSTIFICACIÓN	22
IV. HIPÓTESIS	24
V. OBJETIVOS	25
5.1. Objetivo general	25
5.2. Objetivos específicos	25
VI. MATERIALES Y MÉTODOS	26
6.1. Materiales.....	26
6.2. Obtención del jugo	26



6.3.	Formulación de las mezclas	26
6.4.	Procedimiento experimental.....	27
6.5.	Tratamientos de radiación UV-C	29
6.6.	Tratamientos térmicos (TT)	30
6.7.	Propiedades del perfil del flujo	30
6.8.	Cálculo de la dosis de radiación.....	31
6.9.	Análisis microbiológico	31
6.10.	Métodos analíticos	32
6.11.	Color.....	33
6.12.	Análisis HPLC de compuestos fenólicos	33
6.13.	Evaluación Sensorial.....	34
6.14.	Diseño experimental y análisis estadístico	34
VII.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	35
7.1.	Etapa 1a. Efecto de la radiación UV-C sobre las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de las mezclas de jugo de manzana con arándano azul, antes del almacenamiento.....	35
7.1.1.	Caracterización óptica y fisicoquímica de las mezclas de jugo de manzana con arándano azul.....	35
7.1.2.	Propiedades del perfil del flujo.....	37
7.1.3.	Cálculo de las dosis de radiación UV-C.....	37
7.1.4.	Efecto sobre la carga microbiana	38
7.1.5.	Efecto de la radiación UV-C sobre las propiedades fisicoquímicas de las JB	41
7.1.6.	Parámetros de pH, TSS, RS y color	43
7.1.7.	Actividad antioxidante (TAA)	47
7.1.8.	Polifenoles totales (TP).....	47
7.1.9.	Antocianinas totales (TA).....	48
7.1.10.	Flavonoides totales (TF)	48
7.2.	Etapa 1b. Efecto de la radiación UV-C sobre las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de las mezclas de jugo de manzana con arándano azul, después del almacenamiento.....	51
7.2.1.	Efecto sobre la carga microbiana	51
7.2.2.	Cambios después del almacenamiento de los parámetros de pH, TSS y color	53



7.2.3. Cambios después del almacenamiento de actividad antioxidante (TAA)	58
7.2.4. Cambios después del almacenamiento de polifenoles totales (TP)	59
7.2.5. Cambios después del almacenamiento de antocianinas totales (TA)	60
7.2.6. Cambios después del almacenamiento de flavonoides totales (TF)	61
7.2.7. Cambios después del almacenamiento de polifenoles individuales	62
7.3. Etapa 2. Evaluación del efecto individual y combinado de la tecnología de radiación UV-C y tratamiento térmico moderado sobre las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de las mezclas de jugo de manzana con arándano azul.	74
7.3.1. Efecto sobre la carga microbiana	74
7.3.2. Cambios durante el almacenamiento de los parámetros de pH, TSS y color	76
7.3.3. Cambios durante el almacenamiento del contenido de actividad antioxidante	84
7.3.4. Cambios durante el almacenamiento del contenido de polifenoles totales	86
7.3.5. Cambios durante el almacenamiento del contenido de antocianinas totales	87
7.3.6. Cambios durante el almacenamiento del contenido de flavonoides totales	89
7.3.7. Cambios durante el almacenamiento del contenido de polifenoles individuales	91
7.4. Evaluación Sensorial.....	92
VIII. CONCLUSIÓN.....	93
IX. BIBLIOGRAFÍA.....	94
X. APÉNDICES.....	111
10.1. APÉNDICE A	111
10.2. APÉNDICE B	118
10.3. APÉNDICE C	124

**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla	Página
1 Enfoques innovadores para la descontaminación efectiva de las superficies de frutas frescas y productos de jugos que utilizan luz UV y tratamientos térmicos moderados.	19
2 Propiedades ópticas y fisicoquímicas de las mezclas de jugo de manzana (<i>Pyrus malus L.</i>) y arándano azul (<i>Vaccinium corymbosum</i>).	36
3 Propiedades del flujo volumétrico.	37
4 Dosis de irradiación a diferentes flujos volumétricos y porcentajes de sustitución de jugo de manzana por jugo de arándano azul.	38
5 Efectos del procesamiento (radiación UV-C y tratamiento térmico) sobre las propiedades microbiológicas de las mezclas de jugo de manzana y arándano azul.	40
6 Análisis de varianza de los efectos de las variables sobre las propiedades fisicoquímicas de las mezclas procesadas de manzana con arándano.	42
7 Efectos del procesamiento (Radiación UV-C y Tratamiento térmico) sobre la carga microbiana de las mezclas de jugo de manzana y arándano azul al día 20.	53
8 Tiempos de retención de las mezclas de jugo de manzana con arándano azul	63
9 Efecto del procesamiento individual y combinado (radiación UV-C y tratamiento térmico moderado) sobre las propiedades microbiológicas de las mezclas de jugo de manzana y arándano azul.	76
10 Análisis de varianza de los efectos de las variables de procesamiento y almacenamiento sobre las propiedades fisicoquímicas de las mezclas procesadas de manzana con arándano.	78
11 Efecto del procesamiento sobre el pH de las mezclas durante el almacenamiento.	79
12 Efecto del procesamiento sobre el contenido de actividad antioxidante de las mezclas durante el almacenamiento.	85
13 Efecto del procesamiento sobre el contenido de polifenoles totales de las mezclas durante el almacenamiento.	86



14	Efecto del procesamiento sobre el contenido de antocianinas totales de las mezclas durante el almacenamiento.	88
15	Efecto del procesamiento sobre el contenido de flavonoides totales de las mezclas durante el almacenamiento.	90
16	Efecto del tipo de procesamiento sobre el contenido de polifenoles individuales en el día 0.	91



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1 Efecto de la radiación UV-C sobre el ADN.	13
2 Esquematización del procedimiento experimental.	29
3 Representación gráfica de la unidad CiderSure 3500.	30
4 Efecto del procesamiento sobre A) pH, B) sólidos solubles totales y C) azúcares reductores.	44
5 Efecto del procesamiento sobre parámetros de color A) L^* , B) a^* y C) b^* .	46
6 Efecto del procesamiento sobre el contenido de A) actividad antioxidante, B) contenido de polifenoles totales, C) contenido de antocianinas totales y D) contenido de flavonoides totales.	50
7 Efecto del almacenamiento sobre el pH de las mezclas en el almacenamiento.	54
8 Efecto del almacenamiento sobre el contenido de sólidos solubles totales de las mezclas en el almacenamiento.	55
9 Efecto del almacenamiento sobre los parámetros de color a) L^* , B) a^* y C) b^* de las mezclas en el almacenamiento (día 20).	57
10 Efecto del almacenamiento sobre el contenido de actividad antioxidante en el almacenamiento.	58
11 Efecto del almacenamiento sobre el contenido de polifenoles totales en el almacenamiento.	59
12 Efecto del almacenamiento sobre el contenido de antocianinas totales en el almacenamiento.	61
13 Efecto del almacenamiento sobre el contenido de flavonoides totales en el almacenamiento	62
14 Cromatogramas de polifenoles individuales, a) Muestras 15% ABS en el día 0 para UP, TT y D3, b) Muestras 15% ABS en el día 20 para UP, TT y D3, c) Jugo de arándano y d) Jugo de manzana.	64
15 Efecto del almacenamiento sobre el contenido de ácido clorogénico.	66
16 Efecto del almacenamiento sobre el contenido de ácido vanílico.	67
17 Efecto del almacenamiento sobre el contenido de ácido cafeico.	68



18	Efecto del almacenamiento sobre el contenido de ácido ferúlico.	68
19	Efecto del almacenamiento sobre el contenido epicatequina.	69
20	Efecto del almacenamiento sobre el contenido de ácido p-cumárico.	70
21	Efecto del almacenamiento sobre el contenido de rutina.	71
22	Efecto del almacenamiento sobre el contenido de hesperidina.	71
23	Efecto del almacenamiento sobre el contenido de floridzina.	72
24	Efecto del almacenamiento sobre el contenido de ácido gálico.	73
25	Efecto del almacenamiento sobre el contenido de ácido gentísico.	74
26	Efecto del tipo de procesamiento sobre el pH de las mezclas de jugo de manzana con arándano azul durante el almacenamiento.	80
27	Efecto del tipo de procesamiento sobre el contenido de sólidos solubles totales de las mezclas de jugo de manzana con arándano azul durante el almacenamiento.	81
28	Efecto del tipo de procesamiento sobre el parámetro L^* de las mezclas de jugo de manzana con arándano azul durante el almacenamiento.	82
29	Efecto del tipo de procesamiento sobre el parámetro a^* de las mezclas de jugo de manzana con arándano azul durante el almacenamiento.	83
30	Efecto del tipo de procesamiento sobre el parámetro b^* de las mezclas de jugo de manzana con arándano azul durante el almacenamiento.	84
31	Efecto del tipo de procesamiento sobre el contenido de actividad antioxidante de las mezclas de jugo de manzana con arándano azul durante el almacenamiento.	85
32	Efecto del tipo de procesamiento sobre el contenido de polifenoles totales de las mezclas de jugo de manzana con arándano azul durante el almacenamiento.	87
33	Efecto del tipo de procesamiento sobre el contenido de antocianinas totales de las mezclas de jugo de manzana con arándano azul durante el almacenamiento.	89
34	Efecto del tipo de procesamiento sobre el contenido de flavonoides totales de las mezclas de jugo de manzana con arándano azul durante el almacenamiento.	90



LISTA DE ABREVIATURAS

%	Por ciento
±	Mas menos
≤	Igual o menor
°Brix	Grado Brix
°C	Grado Celsius
μJ	Microjoule
μL	Microlitro
μmol	Micromol
AA	Actividad antioxidante
ABS	Apple juice by Blueberry Substitution
ADN	Ácido Desoxirribonucleico
ANOVA	Analysis of Variance (Análisis de Varianza)
	Association of Official Analytical Chemists (Asociación de Químicos
AOAC	Analíticos Oficiales)
BCAA	Branched-Chain Aminoacids (Aminoácidos de Cadena Ramificada)
BSA	Albúmina Sérica Bovina
C.V.	Capital Variable
Chih.	Chihuahua
cm ⁻¹	Centímetro a la menos uno
cm ²	Centímetro cuadrado
DNS	Ácido 3,5-dinitrosalicílico
DPPH	2,2 difenil-1-picrilhidrazilo
DTR	Distribución del Tiempo de Residencia
Edo.	Estado
EE. UU.	Estados Unidos
Eq.	Equivalente
ET	Equivalente Trolox
<i>et al.</i>	Y otros
FAO	Food and Agriculture Organization (Organización para la Alimentación y Agricultura)
	Food and Drug Administration (Administración de Alimentos y
FDA	Fármacos)



	Food Processing Equipment (Equipo para Procesamiento de Alimentos)
FPE	
FRL	Factor de Reducción Logarítmica
G	Gramo
GPH	Galones por hora
H	Hora
H ₂ SO ₄	Ácido sulfúrico
HACCP	Hazard Analysis of Critical Control Points (Análisis de Riesgos y Puntos Críticos de Control)
	High Temperature Short Time (Altas Temperaturas Tiempos Cortos)
HTST	
J	Joule
kcal	Kilocaloría
kDa	Kilodalton
kJ	Kilojoule
L	Litro
Log	Logaritmo
m ²	Metro cuadrado
mEq	Miliequivalente
Mg	Miligramo
Min	Minuto
mJ	Milijoule
mL	Mililitro
Mm	Milímetro
mM	Milimolar
N	Normal
Nm	Nanómetro
no.	Número
NOM	Norma Oficial Mexicana
NTU	Nephelometric Turbidity Unit (Unidad Nefelométrica de Turbidez)
NY	New York
OMS	Organización Mundial de la Salud
P	Probabilidad



p/p	Peso peso
ppm	Partes por millón
RS	Azúcares reductores
R ²	Coefficiente de determinación
S	Segundo
S.A.	Sociedad Anónima
SIAP	Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera
sp.	Especie
TA	Antocianinas totales
TF	Flavonoides totales
TP	Polifenoles totales
TT	Tratamiento Térmico convencional
MT	Tratamiento Térmico moderado
TROLOX	6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid
UFC	Unidad Formadora de Colonias
UHT	Ultra High Temperature (Temperatura Ultra Elevada)
UV	Ultravioleta
UV/VIS	Ultravioleta visible
UV-A	Ultravioleta de onda larga
UV-B	Ultravioleta de onda media
UV-C	Ultravioleta de onda corta
Var.	Variedad
W	Watt
X	Por
A	Alfa
A	Coefficiente de absorción
Λ	Profundidad de penetración

RESUMEN

Se evaluó el efecto de diferentes dosis de radiación UV-C (4.85, 6.14, 8.59 y 13.41 $\text{mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$) sobre las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del jugo de manzana (*Pyrus malus* L.) con 0, 10 y 15% de sustitución con jugo de arándano (*Vaccinium corymbosum*) (ABS). Se utilizó un tratamiento térmico (TT) como control (85°C-30s). Las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de las mezclas se analizaron antes (UP) y después de cada procesamiento (UV-C o TT). Las dosis de irradiación y ABS afectaron significativamente ($p < 0.05$) la eliminación de mesófilos aeróbicos totales y psicrófilos aeróbicos totales (TAP), obteniendo un proceso seguro a cualquier dosis y ABS, excepto al 0% para TAP donde no hubo crecimiento. Se logró una eliminación completa de la carga microbiana nativa con la misma eficacia que TT, a dosis $\geq 4.85 \pm 0,27 \text{ mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$. El pH, sólidos solubles totales, polifenoles totales, flavonoides totales, antocianinas totales, azúcares reductores y contenidos de actividad antioxidante en los diferentes tratamientos, no presentaron cambios en comparación con UP.

Por otro lado, el almacenamiento afectó significativamente el pH, provocando un descenso en todos los tratamientos a cualquier ABS evaluado, se observó además, un descenso marcado sobre TSS al 15% ABS excepto para TT que presentó un incremento significativo. El parámetro L^* no mostró cambios al 10 y 15% ABS pero si un ligero descenso al 0% ABS en cualquier tratamiento evaluado, el parámetro a^* fue afectado en todos los porcentajes evaluados, mientras que b^* en términos generales de mantuvo constante, la actividad antioxidante se mantuvo estable a las dosis máximas evaluadas al 10 y 15% ABS, mientras que TP se mantuvo estable en todos los tratamientos y ABS evaluados excepto D4 al 10% ABS comparadas con UP y TT. TA mostró un incremento a cualquier dosis y ABS evaluado, mientras que TT causó una reducción, mismo comportamiento se presentó en TF, el contenido de polifenoles individuales fue estable para floridzina, epicatequina, ácido vanílico, ácido p-cumárico, hesperidina al 0% ABS, mientras que se observaron descensos marcados en el contenido de ácido clorogénico a cualquier dosis evaluado y la degradación total de rutina en todos los tratamientos en estudio. El comportamiento de los polifenoles individuales mostró una variabilidad en 10 y 15% ABS, por lo que no se identificaron tendencias marcadas.



Debido a la resistencia que presentaron los microorganismos de deterioro, se evaluó el efecto individual y combinado de la radiación UV-C con tratamientos térmicos moderados (55°C -30s) sobre el mejor tratamiento, 15% ABS y 6.14 mJ·cm⁻² al 0, 10, 20 y 30 días de almacenamiento (4 ± 1 °C) En donde los tratamientos combinados mostraron una tendencia a la estabilidad de todas los fitoquímicos en estudio (TAA, TP, TA y TF) durante el almacenamiento, excepto en pH, L* y a*, mientras que, mostraron la misma efectividad sobre los grupos microbianos evaluados que TT. El análisis sensorial de la mezcla, arrojó resultados satisfactorios, dado que los panelistas no detectaron diferencias entre las muestras procesadas térmicamente y las irradiadas con UV-C. Esto indica que el perfil detectado es muy similar al perfil que comúnmente acostumbran consumir.

Los resultados obtenidos en este estudio sugieren el empleo de la tecnología de radiación UV-C asistida con tratamientos térmicos moderados (55 °C – 30 s) para preservar la calidad nutricional e inocuidad de mezclas de jugo de manzana con arándano azul.

ABSTRACT

The effect of different doses of UV-C radiation (4.85, 6.14, 8.59 and 13.41 $\text{mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$) on the physicochemical and microbiological properties of apple juice (*Pyrus malus* L.) with 0, 10 and 15% of substitution with blueberry juice (*Vaccinium corymbosum*) (ABS) was evaluated. A thermal treatment (TT) was used as a control (85 °C - 30s). Unprocessed treatments (UP) and after each processing (UV-C or TT) were analyzed. The doses of irradiation and ABS significantly affected ($P<0.05$) the elimination of total aerobic mesophiles and total aerobic psychrophiles (TAP), obtaining a safe process at any dose and ABS, except at 0% for TAP where there was no growth. Complete removal of the native microbial load was achieved with the same efficiency as TT, at doses $\geq 4.85 \pm 0.27 \text{ mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$. pH, total soluble solids, total polyphenols, total flavonoids, total anthocyanins, reducing sugars and antioxidant activity contents did not show changes compared to UP.

On the other hand, storage significantly affected the pH, causing a decrease in all treatments to any ABS evaluated, a marked decrease was observed on TSS at 15% ABS except for TT which presented a significant increase, the parameter L^* did not show changes at 10 and 15% ABS but if a slight decrease to 0% ABS in any evaluated treatment, the parameter a^* was affected in all the evaluated percentages, while b^* in general terms remained constant, the antioxidant activity remained stable at the maximum doses evaluated at 10 and 15% ABS, while TP remained stable in all treatments and ABS evaluated except D4 at 10% ABS compared with UP and TT. TA showed an increase at any dose and ABS evaluated, while TT was reduced, the same behavior was presented in TF, the content of individual polyphenols was stable for floridzin, epicatechin, vanillic acid, p-coumaric acid, hesperidin 0% ABS, while marked decreases in chlorogenic acid content were observed at any dose evaluated and total routine degradation in all treatments under study. The behavior of the individual polyphenols showed a variability in 10 and 15% ABS, so no marked trends were identified.

Due to the resistance presented by the deterioration microorganisms, the individual and combined effect of UV-C radiation with moderate thermal treatments (55 °C -30s) on the best treatment, 15% ABS and 6.14 $\text{mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$ at the



0, 10, 20 and 30 days of storage (4 ± 1 ° C) Where the combined treatments showed a tendency to the stability of all the phytochemicals under study (TAA, TP, TA and TF) during storage, except in pH , L^* y a^* ; while, they showed the same effectiveness on the microbial groups evaluated as TT.

Finally, the triangle test yielded satisfactory results, since the panelists did not detect differences between the samples processed thermally and those irradiated with UV-C. This indicates that the profile detected is very similar to the profile that they commonly consume.

The results obtained in this study suggest the use of UV-C radiation technology assisted with moderate heat treatments (55 ° C - 30 s) to preserve the nutritional quality and safety of blends of apple juice with blueberry.



I. INTRODUCCIÓN

Las técnicas de conservación de alimentos se desarrollan continuamente para satisfacer las demandas de los consumidores de alimentos seguros y más saludables producidos con métodos sostenibles (Shah *et al.*, 2016). Particularmente, el mercado de los jugos de frutas ha estado creciendo rápidamente debido a las demandas de los consumidores de productos saludables, prácticos y frescos (Putnik *et al.*, 2019; Rajauria y Tiwari, 2017). Esto ha fomentado el desarrollo de nuevos productos, a través del empleo de frutas novedosas o la combinación de dos o más de estas, lo que resulta en un mejor perfil nutracéutico y organoléptico, de interés para el consumidor. La mejora del perfil y la aceptabilidad del jugo dependen del tipo de fruta y las proporciones utilizadas en la formulación. Algunos estudios han demostrado que mezclas como la manzana-arándano rojo (Caminiti *et al.*, 2011), mora madreSelva azul-manzana (Grobelna *et al.*, 2019), manzana-uva (Aadil *et al.*, 2020) y fresa-manzana-limón (Feng *et al.*, 2020), mejoran la composición fitoquímica de la mezcla final en comparación con un simple jugo de manzana.

El jugo de manzana ha sido ampliamente aceptado por los consumidores debido a sus características sensoriales y nutricionales (Molva y Baysal, 2015). Aunque, la manzana es una excelente fuente de compuestos antioxidantes y fenólicos, como ácido clorogénico, epicatequina, floridzina, entre otros (Alongi *et al.*, 2019; Pires *et al.*, 2018), mezclar esta fruta con otras permite aumentar su consumo, debido al desarrollo de nuevos sabores y mejores composiciones fisicoquímicas. Además, la disponibilidad de esta fruta la hace atractivo para reducir costos y promueve el consumo de frutas de high-cost y low-abundant, como el arándano azul. El arándano azul es una de las bayas, rico en fitoquímicos como polifenoles, flavonoides y antocianinas (Zhu *et al.*, 2019). Los jugos derivados de este tipo de frutas se han vuelto populares, pero es un desafío mantener las características frescas del jugo, así como su vida útil.

Para el procesamiento de jugos, las tecnologías térmicas convencionales han demostrado ser muy eficaces para inactivar microorganismos (Putnik *et al.*, 2019) y enzimas. Sin embargo, las investigaciones han demostrado que el tratamiento térmico de los jugos de frutas degrada su color, sabor y nutrientes

(Bhattacharjee *et al.*, 2019; Zinoviadou *et al.*, 2015). En el procesamiento del jugo de arándano azul, muchos informes muestran la pérdida de compuestos bioactivos (vitaminas y compuestos fenólicos) y una menor aceptación sensorial (Skrede *et al.*, 2000; Lee *et al.*, 2002).

Una alternativa para reducir los cambios en los jugos procesados es la aplicación de tecnologías no térmicas como la radiación de luz ultravioleta de onda corta (UV-C), que ha demostrado su potencial para inactivar microorganismos, con un efecto mínimo en compuestos bioactivos y calidad nutricional en los jugos, además de ser, energéticamente más eficiente que las técnicas térmicas (Shah *et al.*, 2016; Hernández-Hernández *et al.*, 2019; Bhattacharjee *et al.*, 2019). La radiación UV-C daña los enlaces cruzados entre las bases de pirimidina de las cadenas de ADN en el rango de 250-260 nm, lo que conduce a la muerte celular (Choi y Nielsen, 2005; Saucedo-Gálvez *et al.*, 2020). Es importante resaltar que la UV-C es una energía ionizante, lo que podría afectar el perfil de compuestos bioactivos de los jugos procesados cuando se someten a 254 nm, pero este efecto dependerá de la estructura y el tipo de enlace de los componentes del jugo (Guerrero-Beltrán y Barbosa-Cánovas, 2004). Algunos estudios evidencian cambios en los polifenoles en los jugos de manzana irradiados (Islam *et al.*, 2016) a dosis de 240 $\text{mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$, y cambios en la concentración de flavonoides durante la radiación de jugo de mango (Santhirasegaram *et al.*, 2015), así como un decrecimiento en la actividad antioxidante en mezclas de jugo de mandarina y naranja (Fenoglio *et al.*, 2019) con largos tiempos de exposición (15 min) a dosis de 1720 $\text{mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$. Estos resultados podrían atribuirse a las dosis de radiación, los tiempos de exposición y el tipo de matriz analizada. En ese sentido, las mezclas coloreadas, como el jugo de manzana y arándano representan limitaciones en la penetración de la luz y la eficiencia del proceso. No obstante, se ha reportado en estudios recientes sus limitaciones para la inactivación de hongos y levaduras, atribuido a sus características morfológicas y composición de la pared celular de estos grupos microbianos (Santhirasegaram *et al.*, 2015; Gouma *et al.*, 2015), por lo que para potenciar el efecto de esta tecnología se sugiere la combinación de intervenciones variadas, como el uso de tratamientos térmicos a menor temperatura y que no son tan severos sobre las características del alimento, permitiendo la obtención de un producto seguro y con una vida de



anaquel más amplia, puesto que en diversos estudios se ha informado que la combinación de estas tecnologías garantiza la destrucción de los microorganismos de deterioro (Gouma *et al.*, 2015).

Los informes sobre la conservación del jugo de manzana y arándano azul por radiación UV-C de forma individual y en combinación con calor moderado, son escasos, y no se ha informado del impacto de esta tecnología sobre el efecto inhibitorio de la carga microbiana nativa, cambios en fitoquímicos y su comportamiento en vida de anaquel y la aceptabilidad de estas mezclas procesada comparada con procesos térmicos tradicionales.

Por lo tanto, este estudio permite evaluar el impacto de las dosis de radiación UV-C en las propiedades fisicoquímicas y los compuestos bioactivos individuales en las mezclas de jugo de manzana y arándano, variando los porcentajes de manzana sustituidos por jugo de arándano azul, por sus siglas en inglés Apple by Blueberry substitution (ABS), con la hipótesis de que la radiación UV-C en sinergia con tratamientos térmicos moderados puede usarse como una alternativa viable al tratamiento térmico, para reducir los cambios en los principales fitoquímicos de las mezclas.



II. ANTECEDENTES

2.1. Tendencias actuales en el consumo de productos de frutas

La vida moderna actual, ha conducido al consumidor a la búsqueda de alimentos que cubran sus necesidades y aporten con posibles beneficios en su salud. Cada vez el consumidor, se está volviendo mucho más consciente de lo que bebe y lo que quiere beber. Esta tendencia, ha conducido a que la industria de las bebidas innoven procesos y productos, desarrollando nuevos formatos con ingredientes naturales y nutricionales (Zegler, 2018).

Los jugos de frutas son, por lo tanto, una elección popular de bebidas entre los consumidores, son naturales y se consideran saludables, y desempeñan un papel importante en la dieta humana. Además de los macronutrientes y los micronutrientes, los jugos de frutas también son una fuente rica de compuestos nutraceuticos que pueden proporcionar una mejor inmunidad y otros beneficios para la salud (Rajauria y Tiwari, 2017).

Esto crea aberturas en el mercado para una variedad de formatos, formulaciones y tamaños de porciones de alimentos y bebidas que brindan a los consumidores opciones que pueden adaptarse a su plan de dieta individual y su estado de ánimo actual o aspiracional. De hecho, los consumidores enfocados en el cuidado personal buscarán ingredientes, productos y combinaciones que aborden los beneficios nutricionales, físicos o emocionales (Zegler, 2018).

La mezcla de jugos es una forma de mejorar el aroma, el sabor y los nutrientes de las bebidas. Las frutas, que son ricas en nutrientes, pero no aceptables en algunos casos, debido a la alta acidez, mal olor y sabor, porque una forma de fomentar su consumo, es mezclarse con otras frutas para mejorar su aceptabilidad y su perfil de los nutrientes disponibles. Se ha informado que la mezcla de jugo de fruta ayuda a mejorar el estado nutricional y a reducir el costo de producción al usar frutas más baratas en las mezclas y también conduce al desarrollo de nuevos productos (Bhardwaj y Pandey, 2011).

En informes científicos recientes, existe una tendencia en la mejora del perfil de los compuestos nutraceuticos en los jugos. Una de las formas de alcanzar este propósito es mediante la combinación de varios tipos de jugos, por ejemplo, manzana-arándano (90:10 v/v) (Caminiti *et al.*, 2011), guayaba-piña (Keyser *et*



et al., 2008), manzana- blue honeysuckle berry (70:30 v/v) (Grobelna *et al.*, 2019), pera-arándano rojo (75:25 v/v) (Lachowicz y Oszmiański, 2018), melón dorado-sandía (70:30 v/v) (Sodipo *et al.*, 2019), uva-manzana (50:50 v/v) (Aadil *et al.*, 2020), fresa- manzana-limón (Feng *et al.*, 2020), piña-mango (70-30 v/v) (Amanina *et al.*, 2019), entre otros, observando que el rango más común empleado para la combinación se centra en la relación 80:20 v/v aproximadamente. El empleo de la combinación de frutas permite el mejoramiento de perfiles fitoquímicos, tanto componentes nutricionales y sensoriales, además de promover el consumo de frutas de alto costo y baja abundancia, dando la oportunidad al consumidor de explorar nuevos sabores.

2.1.1. Tendencias en el consumo de bebidas de frutas

La optimización del uso de la fruta en diferentes formas de productos, como los jugos procesados y bebidas, proporciona opciones convenientes para los consumidores, además de aumentar el valor económico de la fruta. Por lo tanto, la industria de los zumos de fruta está creciendo rápidamente en todo el mundo. Los jugos de frutas contienen compuestos antioxidantes biológicamente activos, como el ácido ascórbico y los fenoles. El ácido ascórbico posee propiedades antioxidantes y antiinflamatorias, mientras que los compuestos fenólicos tienen propiedades anticancerígenas (Szajdek y Borowska, 2008). Adicionalmente, se perciben como alimentos saludables debido a los bajos contenidos de sodio, colesterol y grasa (Shahbaz *et al.*, 2018).

De acuerdo con Rajauria y Tiwari (2017), la tendencia de la salud sigue dominando el mercado de las bebidas y, a medida que los consumidores buscan cada vez sustitutos más saludables de las bebidas gaseosas, los jugos ofrecen una opción cómoda. Sin embargo, dado que el jugo es un mercado en desarrollo, los fabricantes que luchan por aumentar las ventas se están enfocando en la diferenciación de productos que van más allá de simplemente saber bien y brindar beneficios generales para la salud. Los consumidores prefieren cada vez más jugos de frutas naturales o que contengan 100% en contenido de fruta (jugo concentrado). Esta "categoría de jugo 100%" presenta oportunidades de crecimiento sustanciales para las compañías que fabrican jugos, y los fabricantes actualmente también se están aventurando en las bebidas 'libres de',

funcionales, de lujo y éticas" (Granato, *et al.*, 2020). Las tendencias clave que se han destacado los últimos años incluyen:

- Bebidas funcionales: Inversión en superfrutas, bebidas de soja, omega-3, probióticos y prebióticos, calcio añadido, y energía natural.
- Marketing para niños: creando alternativas saludables y creíbles a las bebidas carbonatadas.
- Bebidas de belleza: belleza de adentro hacia afuera.
- Zumos de lujo: tendencia gourmet o experimental.
- Jugos éticos: jugos orgánicos, envases verdes.

2.1.2. Bebidas funcionales

En los últimos tiempos, ha habido un creciente reconocimiento del papel clave de los alimentos y bebidas en la prevención y el tratamiento de enfermedades. Por lo tanto, la producción y el consumo de alimentos funcionales han adquirido mucha importancia, ya que proporcionan un beneficio para la salud más allá de las funciones nutricionales básicas. En la actualidad, las bebidas son, con mucho, la categoría de alimentos funcionales más activos debido a la conveniencia y la posibilidad de satisfacer las demandas de los consumidores en cuanto a contenido, tamaño, forma y apariencia de los recipientes, así como la facilidad de distribución y almacenamiento de productos refrigerados y estables. Además, son un excelente medio de suministro de nutrientes y compuestos bioactivos que incluyen vitaminas, minerales, antioxidantes, ácidos grasos ω -3, extractos de plantas y fibra, prebióticos y probióticos (Corbo *et al.*, 2014).

Las bebidas no solo pretenden satisfacer la sed y proporcionar los nutrientes necesarios, sino también para prevenir enfermedades relacionadas con la nutrición y mejorar el bienestar físico y mental de los consumidores, por lo tanto, su función como bebidas funcionales juega un papel importante (Babajide *et al.*, 2013).

La gama de alimentos funcionales incluye productos como alimentos para bebés, productos horneados y cereales, productos lácteos, confitería, platos preparados, bocadillos, productos cárnicos, productos para untar y bebidas. Los diferentes tipos de productos disponibles comercialmente se podrían agrupar de

la siguiente manera: bebidas a base de lácteos que incluyen probióticos y minerales, bebidas enriquecidas, bebidas de frutas y vegetales, y bebidas deportivas y energéticas (Corbo *et al.*, 2014).

2.1.3. Mercado de bebidas

El mercado de jugos es uno de los mercados de productos más innovadores en el sector de alimentos y bebidas, y uno de los segmentos más competitivos en la industria de bebidas (Qadri *et al.*, 2020). Impulsado por la creciente conciencia y preferencia de los consumidores por productos saludables, el mercado se está expandiendo con el uso de alta tecnología en el procesamiento y envasado. Los jugos de frutas forman parte de lo que se denomina "bebidas de la nueva era". Actualmente, las bebidas naturales, que no tienen aditivos ni conservantes están a la cabeza del mercado de jugos de frutas y verduras, y las bebidas hechas de ingredientes orgánicos están ganando popularidad. Los fabricantes están lanzando a nivel mundial numerosos productos nuevos e innovadores para estimular las ventas a través de innovaciones en las combinaciones de sabores, niveles de calorías y dulzor, y beneficios funcionales, muy en forma de las principales tendencias de estilo de vida (Priyadarshini y Priyadarshini, 2018).

China, Francia, Alemania, el Reino Unido y los Estados Unidos representan los mayores mercados de jugos de frutas y verduras, siendo China el líder mundial. Su mercado de jugos es casi el doble que el de los Estados Unidos en volumen de mercado, con 2.300 millones de sus 19.700 millones de litros vendidos al por menor en 2012 para ser jugo puro. Los volúmenes en China superaron a Europa en su conjunto por primera vez en 2014. No obstante, actualmente los mercados de jugos de América Latina se encuentran entre las regiones de mayor crecimiento a nivel mundial. El valor minorista para Chile está cerca del 20%, con Brasil y México cerca del 14%, y Colombia en 8.9%. Se espera que el crecimiento más rápido se produzca en India (18.5%), Indonesia (16.0%), Sudáfrica (8.6%), Brasil (8.4%) y Malasia (8.3%), y se prevé que las regiones de crecimiento más lento sean Corea del Sur (21,4%), Estados Unidos (21,4%), Italia (21,5%), Austria (22,6%) y Alemania (24,6%) (Rajauria y Tiwari, 2017).

2.2. Tratamientos de conservación de bebidas

Como los jugos de frutas son una opción más saludable entre los consumidores, la calidad y la seguridad de los productos son siempre una preocupación, y

siempre están sujetos a una legislación muy detallada que garantiza toda la información necesaria sobre sus beneficios nutricionales y composiciones. Además, de las regulaciones estrictas, existen otros factores que plantean desafíos en la producción de jugos de frutas e inhiben el crecimiento del mercado mundial de jugos. Uno de los principales desafíos está asociado con el suministro constante de frutas, ya que la mayoría de las frutas son estacionales y esto afecta la producción general. Otros desafíos incluyen: desafíos de fabricación (homogeneización, extracción, filtración, procesamiento, conservación, envasado y almacenamiento); desafíos de los ingredientes (componentes de la fruta, edulcorantes, sabores, colores, conservantes, ingredientes nutraceuticos y diversos aditivos); problemas de calidad (deterioro del color y sabor, cambios de apariencia, material de embalaje, condiciones de almacenamiento, problemas microbiológicos, vida útil, calidad del agua y problemas de embotellado); y los más recientes son los desafíos de desarrollo y mercadotecnia de nuevos productos (restricciones de costos, resumen de mercadotecnia, evaluación del consumidor y quejas) (Rajauria y Tiwari, 2017).

Una reacción negativa y pública está creciendo por la adición de conservantes químicos a los alimentos y bebidas para prolongar su vida útil y para proteger contra patógenos transmitidos por alimentos (Koutchma, 2009). Por lo tanto, los procesos de conservación de alimentos líquidos deben diseñarse para preservar la calidad natural de los alimentos. La pasteurización térmica o la esterilización tienen la importante ventaja de garantizar la seguridad de los alimentos y la conservación prolongada debido a su efecto destructivo sobre las enzimas y los microorganismos. Sin embargo, el efecto no específico del calor puede afectar la calidad nutritiva y sensorial de los alimentos y cambiar sus propiedades funcionales (Zinoviadou *et al.*, 2015).

La naturaleza perecedera de las bebidas de fruta plantea importantes desafíos asociados con la producción y conservación. A menos que el jugo se consumiera fresco, el almacenamiento a temperaturas de enfriamiento o congelación era la única alternativa para proteger las propiedades organolépticas del jugo. La fermentación del jugo poco después de exprimirlo fue el mayor desafío hasta que se desarrollaron las técnicas de conservación. Inicialmente, la fermentación era la única opción para prolongar la vida útil de los jugos, pero los jugos emergieron

como bebidas populares después del desarrollo de las técnicas de pasteurización. Los estudios han demostrado que las cantidades de nutracéuticos en los jugos de frutas dependen de cómo se producen, procesan y conservan. Por lo tanto, existe la necesidad no solo de documentar las formas tradicionales de extraer y conservar los jugos, sino también de explorar cómo los nuevos procesos pueden ayudar a reducir los desafíos que enfrenta la industria de los jugos. Técnicas tradicionales que incluyen enlatado, pasteurización, concentración, congelación, evaporación, y el secado por pulverización ha dado como resultado extensiones significativas en la vida útil, pero a costa de la pérdida de los atributos nutricionales o funcionales. Los tratamientos térmicos a veces no producen un producto de calidad, de alta nutrición y microbiológicamente estable (Rajauria y Tiwari, 2017).

2.2.1. Tratamientos térmicos

La pasteurización (procesamiento térmico) es el método industrial más utilizado para lograr la seguridad microbiana y la conservación de los jugos de frutas. En general, el tratamiento térmico a temperaturas $<100\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante varios segundos (generalmente $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 1 min) se utiliza para lograr una reducción de 5 log para los niveles de patógenos en los jugos de frutas (Mena *et al.*, 2012). La pasteurización a baja temperatura tiempo largo y la pasteurización alta temperatura tiempos cortos se utilizan en plantas de producción de zumos de modo continuo a gran escala. Sin embargo, a pesar de la efectividad del procesamiento térmico para la conservación de los zumos de frutas, el tratamiento térmico puede producir cambios bioquímicos y nutricionales no deseados en los productos alimenticios, lo que afecta las propiedades sensoriales (Keyser *et al.*, 2008; Shahbaz *et al.*, 2018).

Los efectos más frecuentes son la pérdida de compuestos bioactivos (vitaminas, carotenoides y compuestos fenólicos) y una menor aceptación sensorial, debido a los cambios en el perfil de sabor (producción de sabores desagradables y degradación de los compuestos de sabor) y en el color (pardeamiento no enzimático y pérdida de pigmentos). Por lo tanto, la aplicación de métodos de pasteurización no convencionales podría aportar una mejora significativa a los jugos de frutas / vegetales procesados (Lopes *et al.*, 2016).

2.2.2. Efectos del tratamiento térmico sobre las propiedades de los productos a base de frutas

Desde un punto de vista de calidad, es deseable preservar las características de las frutas y verduras mientras se procesan. Los consumidores consideran que su aspecto, color y sabores frescos y novedosos, además de su conveniencia, son los atributos más atractivos para estos productos. El deterioro microbiano, la decoloración o el pardeamiento, los cambios de textura y el desarrollo de mal sabor o mal olor son los principales factores que afectan la vida útil de los productos de fruta procesados. La industria alimentaria necesita garantizar la seguridad de los productos alimenticios manteniendo su calidad. La pérdida de compuestos responsables del aroma durante las operaciones de procesamiento de alimentos es uno de los principales inconvenientes (Santhirasegaram *et al.*, 2015). Además, el control de la contaminación microbiana y el crecimiento en los productos alimenticios es esencial para garantizar la salud y el bienestar de los consumidores y para minimizar la pérdida de alimentos a través del deterioro. El tratamiento térmico es la tecnología preferida para desactivar microorganismos y enzimas que causan el deterioro, principalmente porque es menos costoso y más accesible que los otros tratamientos de procesamiento. Sin embargo, varios estudios sobre productos de fruta tratados térmicamente informaron una pérdida de calidad nutricional y, en consecuencia, redujeron los efectos beneficiosos para la salud (Danalache *et al.*, 2017).

Dentro de otros hallazgos importantes similares, se encuentran los siguientes reportes:

- Hubo un cambio de color perceptible después de la pasteurización del jugo de naranja, lo que llevó a que el color del jugo se volviera más claro y más saturado. La pérdida total de contenido de pigmento carotenoide fue significativa, después de la pasteurización térmica a 90 °C durante 30 s (Lee y Coates, 2003).
- Los flavonoides son compuestos polifenólicos presentes en frutas y verduras relevantes no sólo en términos de calidad, ya que influyen en la apariencia visual y el sabor. El contenido total de flavonoides se vio afectado por la pasteurización térmica en el jugo de toronja (80 °C, 11 s) (Igal *et al.*, 2011).

- El ácido ascórbico, los fenoles totales, la capacidad antioxidante total y el valor de la nube en jugo de pera tratados a 95 ° C durante 5 min disminuyeron, mientras que el pH, la acidez y los azúcares se mantuvieron estables (Saeeduddin *et al.*, 2017).
- El procesamiento (90 ° C, 540 s) del jugo de remolacha tuvo un impacto significativo en la degradación del contenido de betalaína (betaxantina y betacianina), el color y la actividad antioxidante (Kathiravan *et al.*, 2017).

2.2.3. Tratamientos no térmicos

En los últimos años, la industria y el mundo académico se han centrado en el desarrollo de tecnologías innovadoras como alternativas al procesamiento convencional. Las tecnologías de procesamiento de alimentos no térmicos han recibido atención por la inactivación microbiana y el mantenimiento de la inocuidad, la calidad y la frescura de los alimentos. Para este fin, la alta presión hidrostática, los campos eléctricos pulsados, la luz ultravioleta, la radiación, el microondas, el ozono, el plasma frío, la radiofrecuencia, el infrarrojo y el calentamiento óhmico son tecnologías de conservación atractivas (Shahbaz *et al.*, 2018).

Las aplicaciones comerciales de algunas tecnologías alternativas son variadas e incluyen la purificación del agua, la pasteurización de los jugos de frutas, el procesamiento de la leche, etc. La radiación UV, por ejemplo, está causando un impacto en muchas de estas aplicaciones (Ortega-Rivas y Salmerón-Ochoa, 2014).

2.2.4. Radiación UV-C

En el espectro electromagnético, la radiación UV-C ocupa una amplia banda de longitudes de onda en la región no ionizante, de los 200-400 nm y se divide en tres zonas: UV de onda larga (UV-A), UV de onda media (UV-B), y UV de onda corta (UV-C). La UV-C (UV de onda corta o germicida) tiene longitudes de onda en el rango de 200-280 (4.42-12.40 eV / fotón), la UV-B tiene longitudes de onda en el rango de 280-320 nm (3.94-4.43 eV / fotón), UV-A tiene longitudes de onda en el rango de 320- 400 nm (3.10-3.94 eV / fotón) (Hollósy, 2002). Para llevar a cabo un cambio fotoquímico, la radiación luminosa debe ser absorbida; por lo tanto, el tipo de fuente de luz que se utilizará se determina por el espectro de

absorción del material a ser irradiado. Este espectro de absorción suele determinar el área óptima de longitudes de onda de trabajo que presentan picos de absorbancia máxima (Rajauria y Tiwari, 2017).

Como método físico, la radiación con luz ultravioleta (UV) tiene una imagen positiva del consumidor y es de interés para la industria alimentaria como un método de conservación no térmico de bajo costo. Los recientes avances en el empleo de la radiación con luz UV han demostrado que esta tecnología ofrece una promesa considerable como alternativa a la pasteurización térmica tradicional para alimentos e ingredientes líquidos, jugos frescos, refrescos y bebidas. Sin embargo, su uso para el tratamiento de alimentos todavía es limitado debido a la baja transmitancia UV de los alimentos líquidos (Koutchma, 2009; Koutchma *et al.*, 2016).

Los productos alimenticios líquidos tienen una amplia gama de propiedades físicas, químicas y ópticas. Cada grupo de propiedades debe evaluarse adecuadamente para diseñar el proceso de conservación y optimizar el rendimiento del reactor UV. Las propiedades físicas (viscosidad, densidad) influyen en la efectividad de la transferencia del momento del fluido y el patrón de flujo. Las propiedades ópticas son los principales factores que afectan la transmisión de luz UV y, por consiguiente, la inactivación microbiana en alimentos líquidos. La composición química, el pH, los sólidos disueltos (°Brix) y la actividad del agua se consideran obstáculos que pueden modificar la eficacia de la inactivación UV (Koutchma, 2009; Caminiti *et al.*, 2011; Ochoa-Velasco *et al.*, 2014).

2.2.5. Efecto de la radiación UV-C sobre los microorganismos

La luz UV-C desactiva los microorganismos al dañar su ácido nucleico que absorbe la luz UV de 200 a 310 nm. El ADN de los microorganismos es el objetivo principal durante el tratamiento con UV, donde la inactivación es causada por la reticulación de los dímeros de pirimidina en el ADN, lo que impide la reproducción microbiana (Figura 1). La longitud de onda UV más efectiva es 253.7 nm (UV-C) debido a la absorción máxima de fotones UV por los materiales genéticos de microorganismos (Koutchma, 2009, Koutchma *et al.*, 2016).

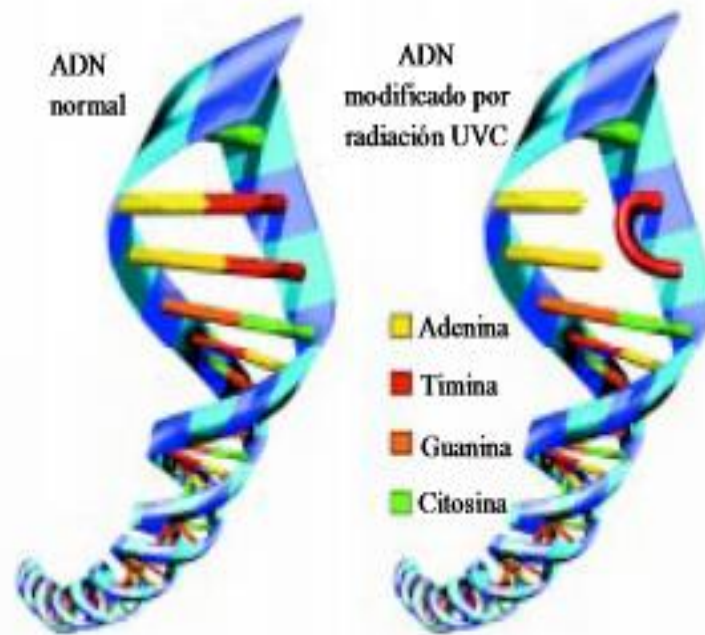


Figura 1. Efecto de la radiación UV-C sobre el ADN. (López-Díaz *et al.*, (2012).

La eficiencia de la luz UV depende del diseño del reactor, la intensidad UV, la velocidad del flujo del fluido, la composición del alimento, el tipo de microorganismo y la fase de crecimiento del microorganismo. La FDA (Food and Drugs Administration) de los Estados Unidos ha aprobado el tratamiento con UV-C para reducir los niveles de patógenos humanos y otros microorganismos en los productos de jugo (Koutchma, 2009). La luz UV es una tecnología amigable con el medio ambiente con bajos costos de equipo, energía y mantenimiento. Además, el tratamiento UV no altera la composición química, el sabor ni el olor de un producto alimenticio y no deja ningún residuo en un producto alimenticio (Shahbaz, 2018).

El efecto de la radiación UV sobre los microorganismos puede variar de especie a especie, y dentro de la misma especie puede depender de la cepa, el medio de cultivo y la fase de crecimiento (Chang *et al.*, 1985; Wright, *et al.*, 2000), así como de la densidad de microorganismos. La eficacia de la radiación UV también depende de las características del alimento y otras características, tales como el tipo y la composición de este. Los hongos y las levaduras (microorganismos grandes) son más resistentes durante la desinfección; sin embargo, altos niveles de microorganismos deben ser tomados en cuenta cuando se utiliza UV-C para la desinfección (Bachmann, 1975).

Las propiedades germicidas de la radiación ultravioleta se deben a que la luz UV-C absorbida por el ADN provoca un desplazamiento físico de los electrones para hacer la división de los enlaces (Guerrero-Beltrán y Barbosa-Cánovas, 2004), causando cruzamiento entre las bases vecinas de nucleósidos de pirimidina (timina y citosina) en la misma cadena de ADN (Figura 1). Debido a las bases mutadas, la formación de los puentes hidrógeno con las bases púricas de la cadena opuesta están desapareados. Por lo tanto, la transcripción del ADN y la replicación están bloqueadas, comprometiendo las funciones celulares y eventualmente llevando a la muerte celular (Shah, *et al.*, 2016). La cantidad de entrecruzamientos es proporcional a la cantidad de exposición de radiación UV (Guerrero-Beltrán y Barbosa-Cánovas, 2004).

2.2.6. Limitaciones de la tecnología UV-C

La principal limitación de la luz UV para el tratamiento de líquidos es un bajo poder de penetración, que está determinado por las características del fluido en estudio. Los pigmentos de color, los solutos orgánicos (azúcares y ácidos orgánicos) y la materia suspendida en los productos de jugos aumentan la absorción y reducen la transmisión de la luz UV, lo que limita las aplicaciones industriales para lograr el nivel de reducción de 5 log (Koutchma, 2009).

También ha sido reportado que la radiación UV-C también presenta limitaciones en la inactivación de hongos y levaduras, puesto que son menos susceptibles a los rayos UV-C que las bacterias (Santhirasegaram *et al.*, 2015). Esto podría deberse a la diferencia en el grosor de la pared celular y el tamaño del microorganismo, lo que influye en el paso de la luz UV-C. Además, las bases de pirimidina menores en la hebra de ADN de la levadura y el moho contribuyen a una menor probabilidad de formación de enlaces cruzados, por lo tanto, una mayor resistencia a los rayos UV-C. Lo que limita, la aplicación de esta técnica, para la conservación de alimentos con larga vida de anaquel (Gouma *et al.*, 2015; Usaga *et al.*, 2016),

2.2.7. Efectos de la radiación UV-C sobre compuestos bioactivos

Los estudios de radiación UV en bebidas generalmente no consideran la atenuación óptica del fluido, aunque este factor afectará fuertemente el rendimiento. La dosis de UV se puede describir como el producto de la intensidad UV y el tiempo de exposición, para cada elemento fluido. Sin embargo, en la

mayoría de los experimentos, la absorbancia óptica del fluido da como resultado un campo de intensidad no uniforme. Como resultado, habrá una distribución de las dosis entregadas a una muestra (Gopisetty *et al.*, 2018). La fotoionización y la estructura molecular se relacionan entre sí a través de los cambios en la geometría que experimentan las moléculas inducidas por la acción del fotón. Los fotones tienen una energía característica determinada por la frecuencia de onda de la luz. Si un átomo absorbe energía de un fotón que tiene más energía que la necesaria para expulsar un electrón del material y además posee una trayectoria dirigida hacia la superficie, entonces el electrón puede ser expulsado del material. Si la energía del fotón es demasiado pequeña, el electrón es incapaz de escapar de la superficie del material (Boll y Fojón, 2015).

Dado que la desinfección es una función logarítmica de la dosis, las regiones de dosis bajas dominarán el rendimiento de desinfección medido. Se ha informado que la radiación UV de los jugos de frutas puede afectar la actividad de las enzimas e incluso puede formar subproductos tóxicos. Koutchma *et al.*, (2016) informaron que la radiación UV afecta a las enzimas asociadas con los jugos frescos, como la polifenoloxidasas, la peroxidasa, la lipoxigenasa y la pectina metilesterasa. Si bien se ha investigado los efectos de los rayos UV en los polifenoles, las antocianinas y el ácido ascórbico, ninguno de los estudios verificó la dosis de UV administrada. Podría esperarse que las dosis UV extremas produzcan daños en los fluidos, pero esto puede ser irrelevante en las dosis adecuadas para la desinfección (Gopisetty *et al.*, 2018).

Algunos estudios han confirmado que la radiación con UV-C aumenta el contenido total de fenólicos en las frutas. Este resultado podría considerarse un mecanismo de aclimatación de la fruta contra el estrés inducido por UV-C, ya que la radiación con UV-C parece inducir la acumulación de compuestos fenólicos debido a la activación de la vía fenilpropanoide a la tolerancia a UV-C. Los efectos de mejora de UV-C en los compuestos fenólicos de frutas y verduras han sido bien estudiados en los últimos años. Existe evidencia científica de que el efecto dañino del ADN por la luz UV-C induce la acumulación de flavonoides que absorben la luz UV y otros compuestos fenólicos. Este efecto podría deberse al aumento de las actividades enzimáticas (Liu *et al.*, 2018).

Los efectos no deseados de los procesos térmicos, como la pérdida de nutrientes, la degradación de compuestos bioactivos y los cambios en los atributos sensoriales, llevan a los investigadores a explorar tecnologías de procesamiento innovadoras (Carvalho Mesquita *et al.*, 2020).

El proceso de radiación corresponde a un proceso físico en el que la energía ionizante pasa a través de un producto objetivo sin dejar ningún residuo radiactivo en el alimento, cuando se administra en la dosis adecuada. Por lo tanto, la seguridad mejora debido a la inactivación de microorganismos y a la mínima interferencia en las características sensoriales y nutricionales (Koutchma *et al.*, 2016).

En estudios de jugo de manzana se encontró un efecto negativo de los tratamientos de radiación a dosis de 2.66 a 53.1 J·cm⁻² sobre el contenido total de polifenoles, mientras que la actividad antioxidante, pH, sólidos solubles y acidez no fueron afectados (Noci *et al.*, 2008), resultados similares fueron encontrados por Tandon *et al.* (2003) en jugo de manzana irradiado a 14 mJ·cm⁻². Por otro lado, en un estudio empleando la misma matriz no se encontraron cambios en pH, sólidos solubles, contenido polifenólico y acidez, sin embargo, si hubo efectos sobre el color del jugo irradiado, sometidos a dosis de radiación de 2.66 a 53.1 J·cm⁻² (Caminiti *et al.*, 2010), mientras que en el estudio de Müller *et al.* (2011) reportaron que no hubo un efecto notable sobre las actividades enzimáticas de jugo de manzana, empleando dosis de 39 a 245 mJ·cm⁻². En contraste, en una mezcla de jugo de manzana con jugo de uva estudiada por Muller *et al.* (2014) el único efecto de la radiación a 4.02 kJ·L⁻¹ fue una disminución del parámetro L^* y turbidez.

Una vez demostrado el mínimo impacto que genera esta tecnología sobre este tipo de jugos, otra de las características que se deben contemplar también es el aspecto sensorial, debido a que el rol que desempeña el consumidor es sumamente importante. Esto fue evaluado por Caminiti *et al.* (2010) quienes reportaron que el jugo de manzana irradiado presentó el mismo comportamiento que el control en términos de aceptabilidad, incluso cuando es comparado con uno sometido a pasteurización térmica (Choi y Nielsen, 2005). Además, Donahue *et al.* (2004) en su investigación emplearon una prueba triangular la

cual arrojó la inexistencia de diferencias significativas entre las muestras sin tratar y las tratadas con radiación UV-C.

De acuerdo a estudios realizados por Islam *et al.* (2016), quienes investigaron el efecto de la pasteurización con luz ultravioleta en jugo de manzana sobre la concentración de polifenoles y actividad antioxidante, muestran que con tratamientos de exposición en un sistema por lote de haz colimado a una dosis máxima de $150 \text{ mJ}\cdot\text{cm}^2$ el contenido de polifenoles como ácido clorogénico, floridzina, catequina y epicatequina se reduce de manera significativa. Por otra parte, la concentración de glucosa y fructosa no se vio afectada significativamente a esta dosis.

Santhirasegaram *et al.* (2015) concluyeron en un estudio, donde compararon el efecto de la pasteurización con luz ultravioleta (muestras de jugo colocadas en cajas Petri y expuestas a una lámpara UV-C fluorescente a una distancia de 35 cm durante 15, 30 y 60 min a dosis promedio de $3.525 \text{ J}\cdot\text{m}^2$) contra la pasteurización térmica ($90 \text{ }^\circ\text{C}$ por 60 s) en jugo de mango, que los jugos irradiados presentan mejores características de color, contenido de polifenoles y ácido ascórbico que los tratados convencionalmente. Sin embargo, la luz ultravioleta no eliminó efectivamente las cuentas de hongos y levaduras y bacterias aeróbicas, por lo que sugieren nuevas investigaciones para determinar las dosis efectivas para la completa eliminación de microorganismos.

2.2.8. Efectos de la radiación UV-C sobre enzimas

Dependiendo del tipo de jugo, la presencia de enzimas puede representar problemas importantes en su calidad resultante. Enzimas como la polifenoloxidasas (PPO), responsable del pardeamiento enzimático, que transforma los compuestos fenólicos en o-quinonas, resultando en melaninas después de una etapa de polimerización que conduce a colores marrones-oscuros. Además, otros compuestos oscuros, las melanoidinas, pueden aparecer en los jugos de frutas después del oscurecimiento no enzimático por la reacción de Maillard. Tanto las melaninas como las melanoidinas tienen un efecto negativo en la calidad final del jugo (Falguera *et al.*, 2011).

Existen pocos estudios sobre el efecto de la radiación UV en las enzimas. Las moléculas de polifenol oxidasa, ATPasa y fosfatasa ácida pueden



desnaturalizarse cuando se irradian con luz ultravioleta, con la consiguiente reducción de su actividad enzimática (Seiji y Iwashita, 1965). La pérdida de actividad enzimática depende de la intensidad de la radiación, alcanzando una inactivación del 75% en el caso de la polifenoloxidasas y alrededor del 50% para las otras dos enzimas.

En un trabajo de tratamiento ultravioleta a 254 nm de zumo de naranja (Tran y Farid, 2004), además de los efectos sobre la desinfección, la vida comercial y la vitamina C, los autores también estudiaron el efecto sobre la actividad de la pectinmetilesterasa. El jugo se trató con $73.8 \text{ mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$, obteniendo una inactivación del 5%. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que la lámpara utilizada en este tratamiento solo tenía una emisión a 254 nm, por lo que se deben realizar estudios adicionales con lámparas con un espectro de emisión más amplio. Además, este trabajo se realizó con jugos que contenían pulpa suspendida, que seguramente ejercen un efecto protector contra la luz UV.

Por otro lado, Falguera *et al.* (2011) lograron inactivar completamente la polifenoloxidasas después de 100 minutos y la peroxidasa después de 15 minutos de radiación en jugo de manzana de cuatro variedades diferentes con una lámpara de vapor de mercurio de 400 W de potencia nominal. A pesar de las condiciones de operación no se observaron variaciones en el pH, contenido de sólidos solubles, índice de formol, fenólicos totales y azúcares.

Mientras que Manzoco *et al.* (2009) estudiaron la inactivación de polifenoloxidasas de jugo de manzana mediante radiación UV-C y reportaron que mayores dosis conducían a la inactivación, mientras que las dosis más bajas provocaban la “activación enzimática”.

2.2.9. Empleo de tratamientos combinados para la conservación de alimentos

El usar métodos combinados en el tratamiento de alimentos para reducir el daño de texturas y nutrientes, y obtener productos microbiológicamente seguros, es una alternativa prometedora. La conservación de los alimentos mediante métodos combinados consiste en aplicar una combinación de factores de estrés, simultáneamente, para minimizar el procesamiento. Al evitar el uso de una

técnica de conservación única, el efecto sinérgico permite la producción de productos alimenticios de alta calidad (Ortega-Rivas y Salmerón-Ochoa, 2014).

Las investigaciones actuales se han centrado en el desarrollo de tecnologías de obstáculos inteligentes basadas en la integración de UV-C con otras tecnologías no térmicas o tratamientos convencionales, incluido el calor moderado. Las estrategias innovadoras utilizadas para mejorar la efectividad de la luz UV contra microorganismos en la conservación de jugos se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Enfoques innovadores para la descontaminación efectiva de las superficies de frutas frescas y productos de jugos que utilizan luz UV y tratamientos térmicos moderados.

Tratamiento	Fruta / Jugo	Microorganismos objetivo	Reducciones Log	Referencias
Sistema UV asistido por agua	Mora azul	<i>E. coli</i> O157:H7	5.2 log en bayas inoculadas en el lugar y 1.6 log en bayas inoculadas por inmersión	Liu <i>et al.</i> (2015)
UVC con soluciones antimicrobianas	Tomate plum	<i>S. entérica</i>	4.71 log	Mukhopadhyay <i>et al.</i> (2015)
UVC con radiación gamma a 0.75 kGy	Tomate grape	<i>E. coli</i> O157:H7, <i>S. entérica</i>	>5	Mukhopadhyay <i>et al.</i> (2015)
UVC	Superficies de manzana, pera, fresa y frambuesa	<i>E. coli</i> O157:H7, <i>L. monocytogenes</i>	Mayor inactivación en superficies lisas que en superficies asperas	Adhikari <i>et al.</i> (2015)
UVC en reactor de tubo de bobina	Jugo de sandía	Bacterias, hongos y levaduras	50 y 30%	Feng <i>et al.</i> (2013)
UVC con tecnología "Dean Vortex"	Jugo de piña	<i>S. typhimurium</i>	5	Mansor <i>et al.</i> (2014)
Sistema UV de flujo laminar con nuevo diseño	Jugo de uva blanca	<i>E. coli</i> K-12	5.34	Unluturk y Atilgan (2015)
UVC combinado con calor suave a 45-60 °C	Jugo de manzana	Levaduras	Inactivación sinérgica entre 52.5 y 57.5 °C	Gouma <i>et al.</i> (2015)
UVC combinado con benzoato de sodio	Néctar de durazno	<i>Aspergillus niger</i>	5; estabilidad microbiana hasta 15 días a 25°C	Flores-Cervantes <i>et al.</i> (2013)
UVC combinado con ultrasonidos	Jugo de naranja	<i>E. coli</i> O157:H7	>3.5	Gabriel (2015)

Fuente: Shahbaz, H. M., Kim, J. U., Kim, S.-H., y Park, J. (2018). Advances in Nonthermal Processing Technologies for Enhanced Microbiological Safety and Quality of Fresh Fruit and Juice Products. Food Processing for Increased Quality and Consumption, 179–217

La aplicación combinada de UV con calor suave fue propuesta por Gouma *et al.* (2015) que investigaron el efecto de la temperatura en la cinética de inactivación UV utilizando los patógenos *E. coli*, *S. Typhimurium*, *L. monocytogenes* y *S. aureus* en jugo de manzana. Se desarrollaron modelos matemáticos para cada microorganismo para la predicción de la inactivación de radiación UV-C con calor suave (UV-H) a diferentes temperaturas de tratamiento. La inactivación de UV-C se mejoró significativamente entre las temperaturas de tratamiento de 50–60 °C. Sin embargo, la termodependencia de la resistencia a la radiación UV-H difirió entre las especies microbianas. *E. coli* fue el microorganismo más resistente a los rayos UV-H en un rango de temperatura de tratamiento de 44–54 °C. Esta combinación de UV-C y calor suave permitió una reducción en la dosis de UV y los tiempos de tratamiento del 49.6% al 89.1%, en comparación con los tratamientos UV-C a temperatura ambiente.

Partiendo de las necesidades que afronta la industria de las bebidas en tanto a cubrir la demanda de alimentos seguros y preservar sus características naturales y nutricionales, y de las áreas de oportunidad que presenta la tecnología de radiación UV-C en la inactivación de microorganismos de deterioro, un gran número de estudios ha demostrado que el efecto sinérgico de este método de conservación con tratamientos térmicos con menor temperatura figura como una alternativa a la pasteurización térmica obteniendo un producto seguro y estable. Tal es el caso de Gouma *et al.* (2015), quienes evaluaron el efecto de la radiación UV-C con calor suave (3.7 J m^{-1} , 57.5 °C) sobre levaduras en jugo de manzana (pH: 3.6, coeficiente de absorción: 24.9 cm^{-1}), alcanzando reducciones de 5 log para *S. cerevisiae*.

Por otro lado, García-Carrillo *et al.* (2018) en su estudio sobre los efectos individuales y combinados de la radiación UV-C con calor suave ($10.6 \text{ mJ} \cdot \text{m}^{-2}$ –50°C) mezclas de jugo de zanahoria con naranja (pH: 3.8; 9.8 °Brix: coeficiente de absorción: 17 cm^{-1}), que en conjunto reportaron reducciones logarítmicas de 4.7 de *S. cerevisiae*, mientras que de forma individual se obtuvieron reducciones de 2.6 a 3.3. En este mismo estudio se evaluó el daño celular mediante microscopía electrónica de transmisión y citometría de flujo, en donde se pudo observar que la aplicación de la radiación UV-C provocó un daño subletal a la



célula, con membrana comprometida pero metabólicamente activa. Mientras que los tratamientos combinados mostraron daños más severos.

Gayán *et al.* (2012), estudiaron este efecto combinatorio en jugo de manzana para la inactivación de *E. coli*, encontrando que las condiciones óptimas de operación para alcanzar más de 5 ciclos logarítmicos de reducción fueron de 27.10 J mL^{-1} a 55 °C por 3.58 min, sin afectar el pH, °Brix y la acidez del jugo de manzana

Los cambios derivados de enzimas en jugos son otra área de mejora de la radiación UV-C por lo que se han realizado estudios para mitigar o disminuir las actividades enzimáticas indeseables en bebidas. Sew *et al.* (2014), estudiaron el efecto combinatorio de la UV con calor suave sobre la actividad enzimática de pectina metilesterasa, bromelina y el contenido de polifenoles totales, obteniendo los mejores resultados de retención a dosis de exposición de $5.61 \text{ mJ}\cdot\text{cm}^{-2} - 55\text{°C}$ por 10 min, provocando una reducción de la actividad enzimática del 60.53%.

III. JUSTIFICACIÓN

El tratamiento con luz UV de onda corta (UV-C) figura como una tecnología adecuada para el procesamiento de jugos de frutas que requieren mantener sus características frescas además de su inocuidad, como es el caso de las mezclas de jugos, cuyo procesamiento con calor no ha sido el adecuado para producir bebidas aceptadas por los consumidores. Esto debido a que la pasteurización térmica, a pesar de ser efectiva en la reducción microbiana provocando larga vida útil del producto, afecta los atributos de calidad de bebidas elaboradas a base de estos alimentos, tales como: color, propiedades estructurales, sabor, aroma y propiedades nutricionales. Estas propiedades están relacionadas a biomoléculas bioactivas que sufren degradación en su estructura por efectos de la relación tiempo-temperatura, así, en el caso de pigmentos como las antocianinas que contribuyen en gran medida al color rojo-azul del jugo, el calor causa en ellas, la isomerización acelerada de estas moléculas, que conduce a la pérdida de color en el jugo, por un color marrón mucho menos atractivo. Estos cambios favorecen reacciones de oscurecimiento, como reacciones de Maillard, pardeamiento no enzimático y caramelización favorecidas por el calor, que además de afectar el color, produce la pérdida de nutrientes que incluyen la degradación del ácido ascórbico y compuestos fenólicos, así como la formación de compuestos aromáticos que alteran el sabor y aroma.

Otro parámetro de calidad que cambia durante el calentamiento son las propiedades reológicas de los jugos, atribuido principalmente a los cambios que ocurren en pectinas y almidones. Esto puede explicarse por la "hinchazón" de partículas y la difusión de agua entre los polímeros durante la pasteurización por calor, aumentando la viscosidad del jugo y depósitos de sólidos, esta característica no es bien vista por los consumidores, por lo que no es deseable. Aunado lo anterior los altos costos de consumo de energía que demandan estos procesos han conducido a la búsqueda de alternativas tecnológicas como la UV-C, que garanticen la inocuidad y preserven atributos de aceptabilidad de los alimentos, así como propiedades funcionales.

Aunque la luz UV-C no incrementa la temperatura del medio cuando este es aplicado en reactores continuos, se ha mostrado que la radiación si es absorbida por algunos compuestos, podría afectar los enlaces de algunas moléculas de



interés ($C=C$, $C=O$, $C=N$, $N=N$, $C=S$) generando radicales libres y degradación de compuestos funcionales. Adicionalmente, otras investigaciones con UV-C han reportado la resistencia de hongos y levaduras y su propagación durante el almacenamiento de jugos de frutas disminuyendo su vida útil, debido a que este grupo microbiano presenta mayor resistencia que las bacterias vinculado a sus diferencias estructurales, geométricas y composición de la pared. Conjuntamente la información divulgada no presenta una consistencia en las condiciones de operación (dosis, tiempos de residencia, cargas, composición del medio) debido a la falta de control, equipos empleados, lo que provoca que esta tecnología se convierta en un campo de estudio de interés actual.

A pesar de los beneficios que representa la UV-C, sus limitaciones en la inactivación de los microorganismos de deterioro, que acortan la vida útil de los alimentos, lleva a plantear la búsqueda de alternativas de procesamiento que favorezcan la seguridad microbiológica y retención de componentes funcionales y nutricionales, a través de la aplicación de la UV-C bajo un concepto de tecnologías de barreras combinándola con métodos térmicos moderados para que, a través de un efecto sinérgico se incremente la eficacia en la inactivación de microorganismos patógenos y de deterioro en el procesamiento, sin causar alteraciones químicas y sensoriales en el producto.

Así el empleo de la UV-C combinado con pasteurización térmica implicará evaluar el impacto que podrían ejercer la composición de los jugos, las dosis de radiación y la temperatura de procesamiento en forma individual y combinada en la eficacia de la inactivación de microorganismos (patógenos y de deterioro) así como la degradación de compuestos bioactivos. Por lo que este estudio permitirá la elucidación de los mecanismos de inactivación microbiana, cambios fisicoquímicos, retención de compuestos funcionales, cambios en atributos sensoriales y vida de anaquel.



IV. HIPÓTESIS

La pasteurización de mezclas de jugo de manzana-arándano mediante radiación UV-C en forma combinada con tratamientos térmicos moderados, resultará en un proceso seguro sin alterar las propiedades fisicoquímicas y atributos sensoriales, comparado con tratamientos térmicos convencionales.



V. OBJETIVOS

5.1. Objetivo general

Evaluar el efecto individual y combinado de la radiación UV-C y tratamientos térmicos sobre la estabilidad de compuestos bioactivos, propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de mezclas de jugo de manzana con diferentes niveles de sustitución de jugo de manzana por jugo de arándano azul.

5.2. Objetivos específicos

- Caracterizar óptica y fisicoquímicamente las mezclas de jugo de manzana-arándano azul a diferentes porcentajes ABS.
- Determinar el efecto de la radiación UV-C a diferentes dosis en mezclas de jugo de manzana-arándano azul a diferentes porcentajes ABS, sobre la estabilidad de sus compuestos bioactivos, propiedades fisicoquímicas y microbiológicas, antes y después del almacenamiento.
- Determinar el efecto de la radiación UV-C a diferentes dosis en mezclas de jugo de manzana-arándano azul a diferentes porcentajes ABS, sobre la estabilidad de compuestos fenólicos individuales por HPLC, antes y después del almacenamiento.
- Determinar el efecto combinatorio de la radiación UV-C y tratamientos térmicos moderados en mezclas de jugo de manzana-arándano azul, sobre la estabilidad de sus compuestos bioactivos, propiedades fisicoquímicas y microbiológicas, antes y durante del almacenamiento.
- Determinar el efecto combinatorio de la radiación UV-C y tratamientos térmicos moderados, sobre la estabilidad de compuestos fenólicos individuales por HPLC, antes del almacenamiento.
- Evaluar sensorialmente las bebidas irradiadas y procesadas térmicamente.

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. Materiales

Reactivo fenol de Folin-Ciocalteu, ácido gálico, catequina, D-glucosa, ácido 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH) ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcroman-2-carboxílico (Trolox) y los estándares de polifenoles individuales (ácido clorogénico, ácido ferúlico, ácido cafeico, floridzina, rutina, hesperidina, ácido p-cumarico, ácido gálico, epicatequina y ácido hidroxibenzoico) se adquirieron de Sigma-Aldrich (St. Louis MO, EE. UU.). Para los análisis microbiológicos, se utilizaron agares de recuento en placa (PCA, Difco, Detroit, MI, EE. UU.), agar bilis rojo violeta (VRBA, Difco) y agar papa dextrosa (PDA, Difco). Todos los demás reactivos y solventes de grado analítico fueron adquiridos de J.T. Baker (Ciudad de México, México).

6.2. Obtención del jugo

El jugo de manzana (var. Glory /Smothee, cosecha 2018/09/03, zona: la finca 2/ 3 lagunas, lote: edificio doble/ 3 lagunas), fue provisto por la empresa "La Norteña" de Cuauhtémoc, Chihuahua, México. Las frutas de arándano azul se cultivaron en condiciones de cultivo estándar en Ahome, Sinaloa, México. Los arándanos se limpiaron de impurezas, se lavaron con agua del grifo, se escurrieron y luego se procesaron a jugo. El jugo de arándano se obtuvo en una relación 1:1 (fruta: agua), molido (Hamilton beach 70725, EE. UU.) y centrifugado a 3500 rpm durante 3 min (Thermo IEC modelo CL3-R, EE. UU.). El jugo obtenido se congeló a -18 °C para su uso posterior.

6.3. Formulación de las mezclas

Las mezclas de jugo de manzana y arándano (JB) se caracterizaron en términos de pH, sólidos solubles totales (TSS), densidad (ρ) y propiedades ópticas. El pH se midió de acuerdo con el método AOAC 981.12 (AOAC, 1996) usando un potenciómetro digital (Hanna Instruments, modelo EDGE HI2020, RI, EE. UU.). Los TSS se midieron usando un refractómetro de mano Abbe (Atago Co. Ltd., Tokio, Japón) de acuerdo con el método AOAC 932.12 (AOAC, 1996). Las propiedades ópticas se midieron de acuerdo con Koutchma *et al.* (2004) El coeficiente de absorción de las JB se determinó utilizando cubetas de cuarzo



fundido desmontables emparejadas (FireflySci, Inc., NY, EE. UU.) Con diferente paso óptico (0.1, 0.2, 0.5 y 1.0 mm). La solución de muestra se colocó en cada cubeta y se midió a 254 nm utilizando un espectrofotómetro (modelo PerkinElmer Lambda 25 UV / VIS, Waltham, MA, EE. UU.). El coeficiente de absorción (con log base 10) de la solución de muestra (α) se calculó con la pendiente de la absorbancia frente al paso óptico y se expresó en cm^{-1} . La turbidez (T) se midió utilizando un micro Turbidímetro 100 (Scientific Inc, Fort Myers FL, EE. UU.) y se expresó en unidades nefelométricas de turbidez (NTU). El parámetro de profundidad de penetración (λ) se calculó como el recíproco del coeficiente de absorción y se expresó en cm. Estas mediciones se realizaron por triplicado y se informaron valores medios con desviación estándar.

6.4. Procedimiento experimental

El procedimiento experimental de este estudio fue dividido en dos etapas (Figura 2). En la primera etapa se llevó a cabo la formulación de las mezclas de jugo de manzana con arándano azul (JB), los porcentajes de sustitución de jugo de manzana por jugo de arándano (ABS) fueron definidos tomando en cuenta los porcentajes empleados en el mercado de bebidas, así como la disponibilidad de los jugos para el experimento, dichas mezclas se caracterizaron ópticamente (Coeficiente de absorción, profundidad de penetración, turbidez). Una vez formuladas las mezclas fueron sometidas a los tratamientos de radiación UV-C en donde se definieron 4 flujos de operación, mismos que arrojaron diferentes dosis de radiación para cada una de las JB irradiadas. A la par se corrió un tratamiento térmico de las JB para ser utilizado como control. Las muestras sin tratar, irradiadas y procesadas térmicamente fueron caracterizadas en sus propiedades fisicoquímicas (pH, sólidos solubles totales, color, actividad antioxidante, polifenoles, antocianinas, flavonoides y azúcares reductores), polifenoles individuales mediante HPLC (0 y 20 días) y cuenta microbiana (coliformes totales, psicrófilos aerobios, mesófilos aerobios, hongos y levaduras) antes y después del almacenamiento (0 y 20 días).

Etapa 1. Efecto de la radiación UV-C sobre las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de las mezclas de jugo de manzana con arándano azul (JB), antes y después del almacenamiento.

La primera etapa tuvo como objetivo evaluar el efecto que tienen sobre las propiedades fisicoquímicas y la reducción microbiológica el tratamiento con radiación UV-C sobre las mezclas de jugo de manzana con arándano azul a diferentes ABS, antes (Etapa 1a) y después del almacenamiento (Etapa 1b) (0 y 20 días).

Para el desarrollo de la segunda etapa, se eligió el mejor ABS y la mejor dosis de radiación con base a los resultados obtenidos en las cuentas microbianas y propiedades fisicoquímicas. Por lo que, en la segunda etapa, este tratamiento fue sometido a diferentes procesamientos con el fin de evaluar tecnologías combinatorias (tratamientos de radiación UV-C con tratamientos térmicos moderados). Se valuó el efecto combinatorio de estas tecnologías (CT), su efecto individual, tratamiento de radiación (UV-C), tratamiento térmico moderado (55 °C – 30 s) (MT) y se utilizó como control el tratamiento térmico convencional (85°C – 30 s) (TT). Las muestras sin tratar, irradiadas y procesadas térmicamente fueron caracterizadas en sus propiedades fisicoquímicas (pH, sólidos solubles totales, color, actividad antioxidante, polifenoles, antocianinas, flavonoides y azúcares reductores), polifenoles individuales (0 y 30 días durante su almacenamiento a 4 ± 1 °C) y cuenta microbiana (coliformes totales, psicrófilos aerobios, mesófilos aerobios, hongos y levaduras) antes y después del almacenamiento (0, 10, 20 y 30 días) a 4 ± 1 °C.

Etapa 2. Efecto de la radiación UV-C con tratamientos térmicos moderados sobre las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de las mezclas de jugo de manzana con arándano azul (JB), antes y durante del almacenamiento.

La segunda fase tuvo como objetivo evaluar el efecto individual y combinatorio de la radiación UV-C y tratamientos térmicos moderados sobre las propiedades fisicoquímicas y la reducción microbiológica de mezclas de jugo de manzana con arándano azul, antes y durante almacenamiento (0, 10, 20 y 30 días de almacenamiento a 4 ± 1 °C).

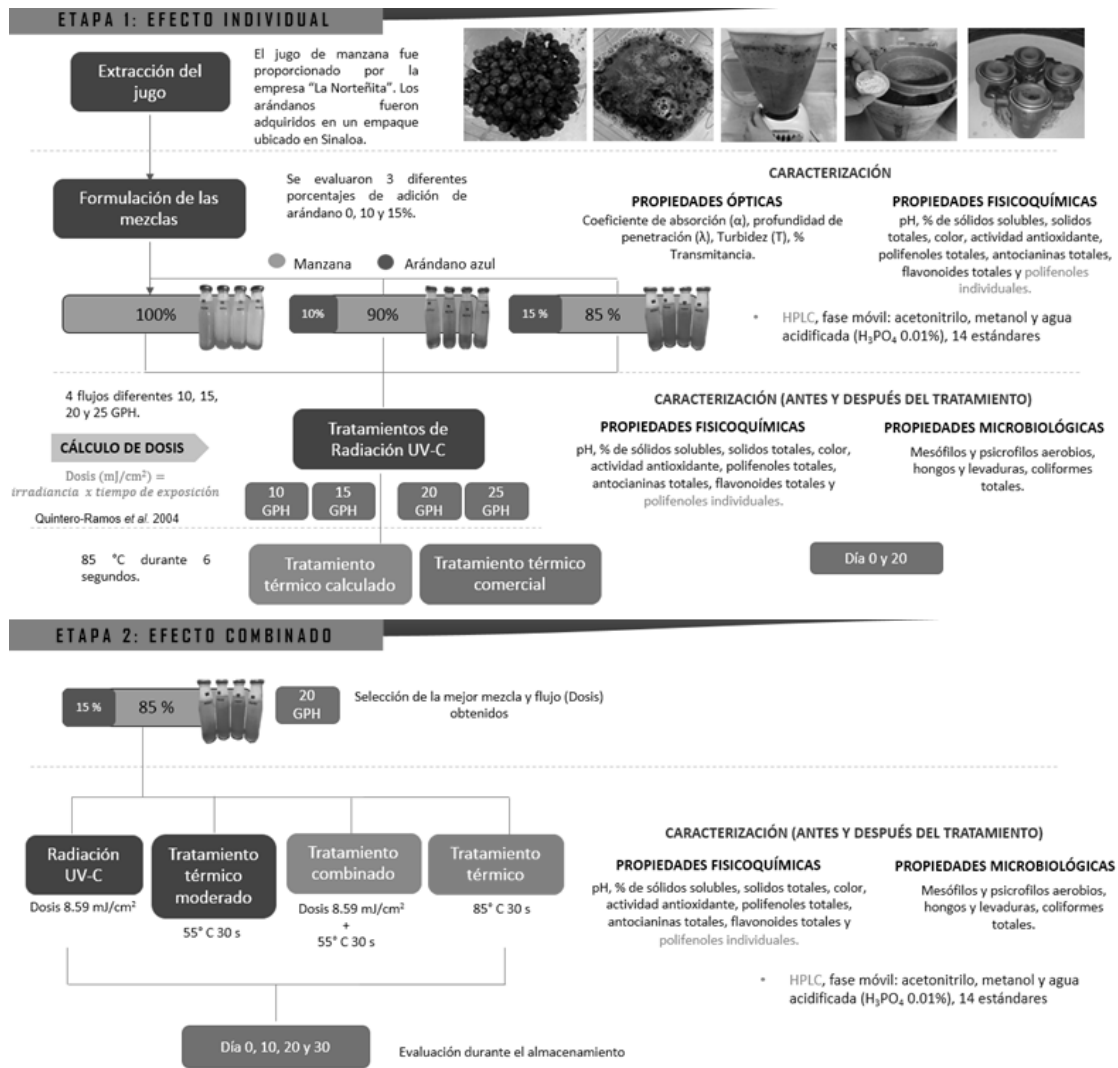


Figura 2. Esquematzación del procedimiento experimental.

6.5. Tratamientos de radiación UV-C

Las JB con diferentes porcentajes de sustitución por jugo de arándano (0, 10 y 15%) fueron sometidos a dosis de radiación de 13.41 (D1), 8.59 (D2), 6.14 (D3) y 4.85 (D4) mJ·cm⁻², por duplicado; utilizando una unidad de procesamiento UV comercial CiderSure 3500 (Figura 3) (FPE Inc., Macedonia, NY, EE. UU.). Antes y después de cada tratamiento, la unidad UV fue limpiada y desinfectada con una solución de hipoclorito de 200 ppm y enjuagada con agua. Las propiedades fisicoquímicas [polifenoles totales (TP), actividad antioxidante (AA), flavonoides totales (TF), antocianinas totales (TA), azúcares reductores (RS) y color (parámetros L^* , a^* y b^*)] y análisis microbiológico (mesófilos aeróbicos totales (TAM), psicrófilas aeróbicas totales (TAP), coliformes totales (TC) y hongos y levaduras (YM) de muestras procesadas (irradiadas con UV-C) y sin procesar (UP) se analizaron inmediatamente.

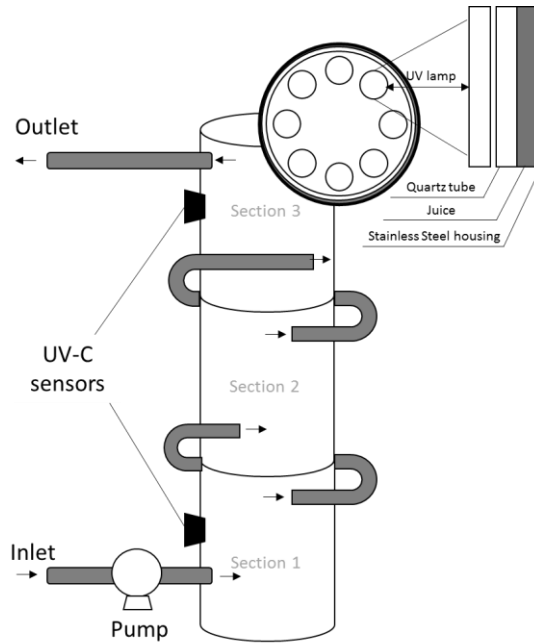


Figura 3. Representación gráfica de la unidad CiderSure 3500.

6.6. Tratamientos térmicos (TT)

Se aplicó un tratamiento térmico (TT) como control y se realizó por duplicado utilizando un pasteurizador tubular continuo (unidad UHT / HTST, Micro Thermics, Raleigh, NC, EE. UU.), cuyo tratamiento fue de 85 °C durante 30 segundos (He *et al.*, 2005), mientras que el tratamiento térmico moderado (TM) establecido fue de 55 °C por 30 segundos. Las propiedades fisicoquímicas y microbianas nativas de las muestras TT y MT también se analizaron de inmediato.

6.7. Propiedades del perfil del flujo

El número de Reynolds (NRe) y el tiempo de residencia (Θ) se calcularon de acuerdo con Guerrero-Beltrán y Barbosa-Cánovas (2005) empleando las siguientes ecuaciones:

$$N_{Re} = \frac{\rho v D_e}{\mu} = \frac{G D_e}{\mu} \dots\dots\dots (Ec. 1)$$

$$G = \frac{w}{s} \dots\dots\dots (Ec. 2)$$

$$D_e = \frac{d_e^2 - d_i^2}{d_i^2} \dots\dots\dots (Ec. 3)$$



$$S = \frac{\pi}{4} (d_e^2 - d_i^2) \dots\dots\dots (Ec. 4)$$

$$\theta = \frac{V}{q} \dots\dots\dots (Ec. 5)$$

donde N_{Re} es el número de Reynolds, G es el flux de másico ($g\ cm^{-2}\ s^{-1}$), D_e es el diámetro equivalente (cm), μ es la viscosidad ($g\cdot cm^{-1}\cdot s^{-1}$), w es el flujo másico ($g\cdot s^{-1}$), S es el área transversal del flujo (cm^2), d_i es el diámetro interno (11.557 cm), d_e es el diámetro externo de la manga de cuarzo (11.43 cm), V es el volumen de la cámara (0.1046 L), q es el caudal ($L\cdot min^{-1}$), y Θ es el tiempo de residencia (min).

6.8. Cálculo de la dosis de radiación

Las dosis UV-C se alcanzaron cambiando la velocidad de flujo (10-25 galones por hora) de las mezclas. La medición de la intensidad UV-C incidente en las JB se realizó de acuerdo con Quintero-Ramos *et al.* (2004) Esta medición se realizó a 254 nm con los dos sensores UVX-25 (UVP, Inc.) (Figura 3). La intensidad promedio (irradiancia) se obtuvo y se multiplicó por el factor de colocación del sensor (ambos suministrados por el equipo) para obtener la intensidad real. Los tiempos de exposición se determinaron a partir del caudal para cada tratamiento con UV-C. La dosis de UV-C se calculó como la ecuación (6).

$$D = I \cdot ET \dots\dots\dots (Ec. 6)$$

Dónde; "D" es la dosis de irradiación ($mJ\cdot cm^{-2}$), "I" la irradiancia ($\mu W\cdot cm^{-2}$) y "ET" es el tiempo de exposición (s).

6.9. Análisis microbiológico

Los análisis microbiológicos de todos los tratamientos se llevaron a cabo utilizando el método de placa de dilución-vertido en serie (APHA, 1992). Las muestras de JB se recogieron asépticamente antes y después de los tratamientos con UV-C y térmicos y se analizaron inmediatamente. Alícuotas (1 mL) de diluciones apropiadas del inóculo se vertieron en placas de diferentes

medios. Para microorganismos mesófilos aerobios totales (TAM), las muestras se vertieron en placas sobre PDA y se incubaron a 37 °C durante 24 h y a 4 °C durante 11 días para psicrófilos aerobios totales (TAP). Para coliformes totales (TC), se usó VRBA y las placas se incubaron a 37 °C durante 18 a 24 h. Para hongos y levaduras (YM) se sembraron en placa sobre PDA y se incubaron durante 5 días a 30 °C. Todos los análisis microbiológicos se realizaron por triplicado. Después de la incubación, se contaron las unidades formadoras de colonias (UFC) de placas con un rango en el conteo de colonias entre 25 y 250. El promedio de triplicado se expresó como log (base 10) UFC mL⁻¹ ± desviación estándar. El límite de detección (DL) del análisis fue de 5 UFC mL⁻¹.

6.10. Métodos analíticos

El contenido fenólico total (TP) se determinó de acuerdo con el método colorimétrico Folin-Ciocalteu (Singleton *et al.*, 1999), preparando una mezcla de 30 µL de JB, 3 mL de agua desionizada y 200 µL de Folin Ciocalteu's reactivo de fenol, después de 10 minutos a temperatura ambiente, se añadieron 600 µL de Na₂CO₃ al 20% y se mezcló. La mezcla se incubó a 40 °C durante 20 min y se enfrió con hielo, y el color desarrollado se midió a 760 nm. Se usó ácido gálico como estándar para la curva de calibración, y los resultados se expresaron como mg de equivalentes de ácido gálico (GAE) por g de JB en base seca (mg GAE·g⁻¹ b. s.). La cuantificación de flavonoides totales (TF) se realizó de acuerdo con el método descrito por Julián-Loaeza *et al.* (2011) El JB (100 µL) se mezcló con 2 mL de agua desionizada, 150 µL de NaNO₂ (5% P/V) y se agitó en un vórtex durante 5 minutos. Luego, se añadieron 150 µL de AlCl₃ (10% P/V), se agitó en un vórtex durante 1 minuto y se añadió 1 mL de NaOH 1 M para agitar nuevamente durante 1 minuto. Las mediciones se realizaron a 510 nm y se compararon con una curva estándar de catequina, y el contenido de flavonoides se expresó como mg de equivalentes de catequina (CE) por g de JB en base seca (mg CE·g⁻¹ b. s.). La actividad antioxidante se midió usando el método de 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH •) de radicales libres, desarrollado por Brand-Williams *et al.* (1995) Se hicieron reaccionar cien µL de la mezcla con 3.9 mL de solución DPPH • (100 µL M) en la oscuridad durante 3 h contra un blanco de metanol. Posteriormente, la absorbancia se midió a 517 nm y los resultados se expresaron como µmol de equivalentes de TROLOX (TE) por g de JB en base

seca ($\mu\text{mol TE}\cdot\text{g}^{-1}$ b. s.). Las antocianinas totales (TA) se realizaron en una dilución 1: 1 (muestra: HCl 0.1 N) y midieron la absorbancia a 528 nm. Los azúcares reductores (RS) se determinaron por el método colorimétrico de Miller (1959) usando D-fructosa como estándar. Todas las determinaciones se realizaron con un espectrofotómetro (modelo PerkinElmer Lambda 25 UV/VIS, Waltham, MA, EE. UU.). Todos los parámetros se midieron por triplicado y se informaron los valores medios con desviación estándar.

6.11. Color

El color de las JB (UP) y las muestras procesadas (P) por UV-C, TT, MT y CT se midió utilizando un colorímetro Konica Minolta CR-400/410 (Minolta Co., Osaka, Japón); el cual calibró con una placa de cerámica blanca. Los parámetros L^* (luminosidad), a^* (verde - rojo) y b^* (azul - amarillo) se registraron a partir de 10 mediciones para cada tratamiento y se informaron los valores medios con desviación estándar.

6.12. Análisis HPLC de compuestos fenólicos

El análisis de HPLC se realizó usando un sistema ThermoScientific Dionex Ultimate 3000 UHPLC (Sunnyvale, CA, EE. UU.) Equipado con un detector de matriz de diodos (DAD Varian ProStar modelo 410, Palo Alto, CA) y muestreador automático. La separación se realizó en una columna Dionex AcclaimTM120-C18 ($4,6 \times 150$ mm, $5 \mu\text{m}$). Los extractos se filtraron a través de un filtro de membrana de 0.45 mm (Millipore, MA, EE. UU.) antes de la inyección. Se usó un gradiente lineal que consistía en $0.01 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$ de agua acidificada con ácido fosfórico (disolvente A) y acetonitrilo (disolvente B) como disolvente de elución. Las muestras se eluyeron de acuerdo con el gradiente lineal durante 40 minutos, comenzando con una mezcla 95: 5 (v/v) de solventes A: B y terminando con una mezcla 70:30 (v/v) de solventes A: B. El caudal fue de $1 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$, y el volumen de inyección fue de $20 \mu\text{L}$ de extracto con una temperatura de columna de 25°C . El detector se ajustó a una longitud de onda de 280 nm. Los compuestos fenólicos en las muestras se identificaron por sus tiempos de retención utilizando los siguientes estándares: ácido clorogénico, ácido ferúlico, ácido cafeico, floridzina, rutina, hesperidina, ácido p-cumárico, ácido gálico, epicatequina y

ácido gálico. La concentración de cada compuesto fenólico en los extractos se calculó a partir del área integrada de cada pico en el cromatograma. Para la cuantificación, se prepararon curvas de calibración externas para cada estándar. Todos los componentes individuales se midieron por duplicado y se informaron los valores medios con desviación estándar.

6.13. Evaluación Sensorial

El análisis sensorial fue diseñado para evaluar si existían diferencias perceptibles entre los dos procesamientos de pasteurización empleados en este estudio (UV-C y tratamiento térmico convencional) utilizando una prueba triangular. Se invitó a participar en este estudio a un panel de 50 consumidores (estudiantes de la Universidad Autónoma de Chihuahua). La prueba del triángulo se realizó siguiendo el protocolo descrito en la ISO 4120 (2004). En la recepción, se les explicó y se entregó el formato de evaluación (Apéndice C), y se indicó a los consumidores que eligieran el que percibieran diferente entre las tres muestras. Cada estudiante recibió tres muestras codificadas con un volumen de 15 mL. Dos muestras eran idénticas entre sí y una era diferente.

6.14. Diseño experimental y análisis estadístico

Para la primera etapa, se empleó un diseño factorial completamente al azar 4×3 para determinar las influencias de la dosis de UV-C, 4.85 (D1), 6.14 (D2), 8.59 (D3) y 13.41 (D4) $\text{mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$, y diferente sustitución de jugo de manzana por arándano azul (ABS) 0, 10 y 15%, en el JB. Se usaron como controles un tratamiento sin procesar (UP) y térmico (TT) a 85 °C durante 30 s. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para evaluar la significación estadística de los datos obtenidos de los diferentes tratamientos. Las diferencias entre las medias de tratamiento se determinaron mediante la prueba de Tukey. Mientras que para la segunda etapa fue analizada mediante ANOVA y prueba de Tukey. Se consideró significativo un nivel de confianza del 95% ($P < 0.05$). Para todos los análisis estadísticos se empleó el software estadístico Minitab versión 16 (Minitab, 2010, State College, PA).

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1. Etapa 1a. Efecto de la radiación UV-C sobre las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de las mezclas de jugo de manzana con arándano azul, antes del almacenamiento.

7.1.1. Caracterización óptica y fisicoquímica de las mezclas de jugo de manzana con arándano azul

Las propiedades fisicoquímicas y ópticas de JB se muestran en la Tabla 2. En esta se observa que ABS de 15% causaron un ligero aumento ($P < 0.05$) en el pH. Esto puede ser explicado por la incorporación del jugo de arándano a la mezcla y cuyo valor de pH era mayor que el jugo de manzana solo. Mientras que el contenido de TSS disminuye ($P < 0.05$) cuando ABS aumenta. Esto podría deberse al efecto de dilución derivado del proceso de obtención del jugo de arándano. Por el contrario, con respecto a las propiedades ópticas, la turbidez (T) mostró un aumento ($P < 0.05$) con el aumento de ABS. Esto puede estar relacionado con los sólidos totales en suspensión (TSS) de la mezcla de jugo. Esta tendencia en los TSS por la adición de jugo de arándano azul en la mezcla contribuye a incrementos significativos ($P < 0.05$) en los valores de NTU y coeficiente de absorción (α). Los valores de α variaron de $9.65 - 18.25 \text{ cm}^{-1}$; los cuales corresponden a los reportados por Koutchma, Parisi y Patazca (2007), para mezclas de jugos similares. La profundidad de penetración λ (cm) de la UV-C decreció con incrementos de ABS, esto debido a la presencia tanto de sólidos suspendidos como disueltos, que actúan como barrera al paso de la luz, absorbiendo y/o dispersando la energía. La obtención de las propiedades ópticas de las JB, a pesar de presentar ligeros incrementos en los coeficientes de absorción, como se esperaba por el incremento de ABS, quedan dentro del rango óptimo para ser procesadas mediante radiación UV-C (Gopisetty *et al.*, 2018)

Tabla 2. Propiedades ópticas y fisicoquímicas de las mezclas de jugo de manzana (*Pyrus malus L.*) y arándano azul (*Vaccinium corymbosum*).

Composición (%)		Propiedades fisicoquímicas			Propiedades ópticas		
Jugo de manzana	Jugo de arándano	ρ^1 ($g\ mL^{-1}$)	pH	TSS ² (%)	α^3 (cm^{-1})	λ^4 (cm)	T ⁵ (NTU)
100	0	1.04 ± 0.002 ^a	3.60 ± 0.007 ^a	12.1 ± 0.104 ^a	9.65 ± 0.016	0.104 ± 0.002	78.2 ± 0.08
90	10	1.04 ± 0.001 ^a	3.60 ± 0.005 ^a	11.12 ± 0.083 ^b	16.59 ± 0.016	0.060 ± 0.001	82.4 ± 0.25
85	15	1.03 ± 0.004 ^b	3.62 ± 0.005 ^b	10.00 ± 0.148 ^c	18.25 ± 0	0.055 ± 0	87.4 ± 0.21
0	100	1.02 ± 0.003 ^b	3.61 ± 0.005 ^{ab}	4.9 ± 0.012 ^d	48.55 ± 0.075	0.021 ± 0	125.3 ± 0.15

^{a,b,c} Valores seguidos por la misma letra en la misma columna no son significativamente diferentes ($P < 0.05$). ¹ Densidad, ² Sólidos solubles totales, ³ coeficiente de absorción, ⁴ Profundidad de penetración, ⁵ Turbidez.

7.1.2. Propiedades del perfil del flujo

El número de Reynolds se calculó solo para el jugo de manzana, por ser el componente principal de las JB. Para la determinación del comportamiento de flujo, la densidad utilizada se muestra en la Tabla 2 y el valor de viscosidad ($0.01286 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$) se obtuvo de Guerrero-Beltrán y Barbosa-Cánovas (2005) para jugo de manzana despectinizado clasificado como fluido newtoniano.

Los valores calculados de flux másico (G), tiempo de residencia (θ) y números de Reynolds (N_{Re}) se muestran en la Tabla 3, en cuatro niveles de flujo volumétrico (q). Donde se observó que el tiempo de residencia disminuye cuando q aumenta; por el contrario, el número de Reynolds aumenta. Los N_{Re} obtenidos fueron 93.28 - 237.79, este rango es similar al obtenido en jugo de manzana (*Pyrus malus L.*) por Guerrero-Beltrán y Barbosa-Cánovas (2005) y Koutchma *et al.* (2004). El flujo se comporta como régimen laminar en cualquier q evaluado. Sin embargo, es posible que en los tubos de interconexión entre secciones, el flujo sea turbulento. El comportamiento del flujo es un aspecto importante para saber cuánto se favorece la exposición a la luz de todos los componentes de las JB sometidos al proceso de radiación UV-C.

Tabla 3. Propiedades de comportamiento de flujo y tiempos de residencia de las mezclas a diferentes flujos volumétricos en el sistema Cidersure 3500.

q^1 (GPH)	G^2 (g cm ⁻² s ⁻¹)	θ^3 (s)	N_{Re}^4
10	4.74 ± 0.10	16.66 ± 0.33	93.28 ± 1.88
15	7.20 ± 0.07	10.98 ± 0.10	141.51 ± 1.33
20	9.47 ± 0.04	8.35 ± 0.03	186.07 ± 0.75
25	12.11 ± 0.01	6.53 ± 0.005	237.79 ± 0.19

¹ flujo volumétrico, ² flujo másico, ³ tiempo de residencia, ⁴ Número de Reynolds.

7.1.3. Cálculo de las dosis de radiación UV-C

El efecto del flujo volumétrico (q) y ABS sobre las dosis de irradiación se presentan en la Tabla 4. Las dosis de irradiación disminuyen con el aumento del

flujo volumétrico para todos los niveles de ABS, así mismo las dosis de irradiación disminuyen al aumentar el porcentaje de sustitución para los flujos volumétricos de 10 y 15 GPH, mientras que para los flujos volumétricos de 20 a 25 GPH las dosis de irradiación se reducen al aumentar el porcentaje de sustitución hasta 10% manteniéndose constante a partir de aquí; esto coincide con el informe de Keyser *et al.* (2008) dosis menores a flujos altos y viceversa. Sin embargo, ABS no mostró diferencias significativas ($P < 0.05$) en cada uno de los niveles de q evaluados. Por lo que, para este estudio se utilizaron los valores medios de las dosis de radiación en lugar de los flujos volumétricos, correspondientes a 13,41 (D4), 8,59 (D3), 6,14 (D2) y 4,85 (D1) $\text{mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$, como factor de los cuatro niveles de tratamientos de radiación.

Tabla 4. Dosis de irradiación a diferentes flujos volumétricos y porcentajes de sustitución de jugo de manzana por jugo de arándano azul.

q (GPH)	Dosis de irradiación ($\text{mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$)			
	0% ABS	10% ABS	15% ABS	\bar{X}^*
10	$16.25 \pm 1.11^{a,1}$	$12.17 \pm 0.89^{a,1}$	$11.80 \pm 1.92^{a,1}$	13.41 ± 2.47
15	$9.75 \pm 0.66^{a,2}$	$8.06 \pm 0.11^{a,2}$	$7.96 \pm 0.73^{a,12}$	8.59 ± 1.01
20	$6.39 \pm 0.15^{a,3}$	$5.99 \pm 0.001^{a,3}$	$6.03 \pm 0.78^{a,2}$	6.14 ± 0.22
25	$5.16 \pm 0.37^{a,3}$	$4.69 \pm 0.11^{a,3}$	$4.69 \pm 0.54^{a,2}$	4.85 ± 0.27

* Valores medios de las dosis de radiación al mismo flujo volumétrico., ^{a,b,c} Valores seguidos por la misma letra en la misma fila no son significativamente diferentes ($P < 0.05$). ^{1, 2, 3} Valores seguidos por el mismo número en la misma columna no son significativamente diferentes ($P < 0.05$). ABS % de sustitución de jugo de manzana por jugo de arándano.

7.1.4. Efecto sobre la carga microbiana

El efecto de los tratamientos de UV-C y TT para los ABS, sobre la carga microbiana nativa de las JB sin procesar (UP) se describe en la Tabla 5. Esta muestra los recuentos microbianos iniciales en un rango de 3.81 ± 0.05 a 4.80 ± 0.04 Log UFC 100 mL^{-1} , para los grupos microbianos evaluados (TAM, TAP, TC y YM) con excepción de TC y TAP (0% ABS), que no mostraron crecimiento. TAM y TAP fueron completamente inactivados en cualquier dosis de radiación y ABS estudiado, logrando el mismo efecto que TT. El único grupo con



supervivencia fue YM a cualquier dosis de UV-C aplicada. Donde observó un aumento en la inactivación de YM a medida que aumentaba la dosis de UV-C para las diferentes mezclas de ABS formuladas. Mientras que TT, logró una inactivación completa.

Geveke (2005), Koutchma *et al.* (2004) y Muller *et al.* (2014) investigaron el tratamiento de irradiación UV-C en jugo de manzana y reportaron la inactivación en bacterias Gram negativas y positivas. Además, otros estudios también reportaron inactivación microbiana a bajas dosis de irradiación con el empleo de un reactor unitario UV-C similar. Por ejemplo, en jugo de manzana la inactivación de *E. coli* ATCC 25922 se alcanzó con una dosis de 14 mJ cm^{-2} (Cidersure 3500) (Usaga *et al.*, 2015); en jugo de manzana la inactivación de *E. coli* O157: H7 a partir de dosis de 10.28 mJcm^{-2} (Cider 10 UV) (Wright *et al.*, 2000) y en leche de cabra, la inactivación de *L. monocytogenes* con dosis hasta 20 mJ cm^{-2} (Cidersure 3500A) (Matak *et al.*, 2005).

Tabla 5. Efectos del procesamiento (irradiación UV-C y tratamiento térmico) sobre las propiedades microbiológicas de las mezclas de jugo de manzana y arándano azul.

ABS (% v/v)	Tratamiento	TAM ¹	TAP ²	YM ³	TC ⁴
		Log CFU 100 mL ⁻¹			
0	UP	3.81 ± 0.05	ND	3.92 ± 0.02 ^a	ND
	TT	ND	ND	ND	ND
	D1	ND	ND	3.81 ± 0.05 ^a	ND
	D2	ND	ND	3.72 ± 0.03 ^a	ND
	D3	ND	ND	3.84 ± 0.09 ^a	ND
	D4	ND	ND	3.09 ± 0.12 ^b	ND
10	UP	4.09 ± 0.06	4.56 ± 0.03	4.21 ± 0.01 ^a	ND
	TT	ND	ND	ND	ND
	D1	ND	ND	3.97 ± 0.09 ^b	ND
	D2	ND	ND	4.05 ± 0.04 ^{ab}	ND
	D3	ND	ND	4.01 ± 0.01 ^{ab}	ND
	D4	ND	ND	4.01 ± 0.05 ^{ab}	ND
15	UP	4.13 ± 0.02	4.80 ± 0.04	4.25 ± 0.01 ^a	ND
	TT	ND	ND	ND	ND
	D1	ND	ND	4.07 ± 0.04 ^{ab}	ND
	D2	ND	ND	4.09 ± 0.12 ^{ab}	ND
	D3	ND	ND	3.90 ± 0.08 ^b	ND
	D4	ND	ND	4.22 ± 0.02 ^a	ND

^{a,b} Valores seguidos por la misma letra con la misma sustitución no son significativamente diferentes ($P < 0.05$). ND No detectado; ¹Mesófilos aerobios totales; ²Psicrófilos aerobios totales; ³Hongos y levaduras; ⁴Coliformes totales. ^{ABS} % de sustitución de jugo de manzana por jugo de arándano. ^{UP} Sin proceso, ^{TT} Trat. Térmico, ^{D1} Dosis 1 (4.85 mJ·cm⁻²), ^{D2} Dosis 2 (6.14 mJ·cm⁻²), ^{D3} Dosis 3 (8.59 mJ·cm⁻²), ^{D4} Dosis 4 (13.41 mJ·cm⁻²)

La sobrevivencia de YM a tratamientos de radiación UV-C ha sido reportada en jugo de manzana irradiado (Gouma *et al.*, 2015; Usaga *et al.*, 2016), jugo de

zanahoria (Riganakos *et al.*, 2017), jugo de naranja (Pala y Toklucu, 2013), entre otros. Este efecto se ha relacionado con las características morfológicas, (tamaño y grosor de la pared celular) del YM, que induce la dispersión de la luz, limitando así la inactivación completa y el éxito de la tecnología UV-C (Usaga *et al.*, 2016; Riganakos *et al.*, 2017). Sin embargo, en otros informes la inactivación de YM es alcanzada mediante radiación UV-C, pero los jugos procesados reportados son líquidos claros. Por ejemplo, agua de coco (Gautam *et al.*, 2017) o mezclas de gel de aloe vera (Rodríguez-Rodríguez *et al.*, 2020), que no representan limitaciones para la penetración de la luz UV-C, alcanzando una inactivación completa de YM, a altas dosis de UV-C o combinando esta tecnología UV-C con tratamientos térmicos moderados.

7.1.5. Efecto de la radiación UV-C sobre las propiedades fisicoquímicas de las JB

Las propiedades fisicoquímicas de los jugos de frutas son uno de los atractivos más importantes para los consumidores porque estas se relacionan con las características sensoriales y nutricionales a la hora de elegir un producto, por ello, es fundamental conservarlas lo mejor posible. En la Tabla 6 se muestra el ANOVA resumido del efecto del procesamiento (radiación UV-C y tratamiento térmico) y ABS sobre las propiedades fisicoquímicas de las muestras.

El análisis de varianza resumido de las variables en estudio de la etapa 1 al día 0 de procesamiento se muestra en la Tabla 6 (Los ANOVAS individuales se muestran en el Apéndice B). Donde los efectos lineales mostraron cambios significativos ($P < 0.05$) en las muestras procesadas, irradiadas con UV-C y procesadas térmicamente (D1, D2, D3, D4 y TT) y sin proceso (UP) a las diferentes sustituciones (ABS, 0, 10 y 15%) a excepción del parámetro L^* donde el tipo de tratamiento no tuvo ningún efecto. Por otro lado, la interacción de las variables fue significativa en todas las respuestas a excepción de RS. En ese sentido y partiendo de los valores obtenidos de la suma de cuadrados del ANOVA para cada una de las respuestas, la interacción es la que menos interviene en la mayoría de los casos. Es por ello, que para el propósito de este estudio, se decidió analizar los resultados obtenidos mediante sólo la significancia obtenida en los efectos lineales.

Tabla 6. Análisis de varianza de los efectos de las variables sobre las propiedades fisicoquímicas de las mezclas procesadas de manzana con arándano.

Fuente	GL	pH	TSS	Color			AA	TP	TF	TA	RS
				<i>L</i> *	<i>a</i> *	<i>b</i> *					
Tratamiento	5	0.0006*	1.0193*	12.5	28.34*	113.21*	879.11*	145.222*	8.208*	16664.9*	693.9*
Sustitución	2	0.0052*	17.2271*	1996.61*	1827.16*	167.06*	251.9*	5.562*	3.9091*	56835.8*	1451.7*
Trat-sust	10	0.0004*	0.7154*	133.02*	52.07*	155.26*	261.7*	5.382*	2.7975*	17327.4*	450.3
Error	18	0.0003	0.2561	84.64	6.14	54.98	75.09	1.849	0.4143	476.9	415.8

*Indican diferencias significativas ($P < 0.05$). Trat, Tratamiento; Sust, sustitución; TSS, % total de sólidos solubles, *L**, parámetro de luminosidad, *a** parámetro (verde – rojo), *b** parámetro (azul-amarillo), AA, Actividad Antioxidante; TP, Polifenoles Totales; TF, Flavonoides Totales; TA, Antocianinas Totales, RS; Azúcares reductores.

7.1.6. Parámetros de pH, TSS, RS y color

El impacto del procesamiento (UV-C y TT) y ABS sobre TSS, pH y RS de JB se ilustra en la Figura 4. El contenido de TSS fue afectado ($P < 0.05$) por ABS, disminuyendo en 8.1 ± 0.94 y $17.4 \pm 1.88\%$ para 10 y 15%, respectivamente; mientras que el 0% no presentó cambios (Figura 4B). Esto se debe a que el jugo de arándano azul agregado tiene un porcentaje menor de sólidos solubles (4.9 ± 0.012 °Brix), lo que provoca un efecto de dilución. TT provocó una disminución en los sólidos solubles de $16,3 \pm 0,33$, $11,8 \pm 0,56$, $6,6 \pm 1,20\%$ para ABS al 0, 10 y 15%. Esto quizás se deba a la pérdida de compuestos volátiles o a reacciones de Maillard, que produzcan la precipitación de algunos compuestos. Para el pH, 15 % ABS provocó el aumento de este parámetro ($P < 0.05$). Mientras, TT provocó una reducción en el pH en los tres niveles de ABS (0, 10 y 15%) (Figura 4A). Finalmente, la incorporación de arándano no afectó RS en ninguno de los ABS evaluados (Figura 4C). No se mostraron cambios en RS (Figura 4C) en la mayoría de los tratamientos a excepción de TT al 10% ABS, que mostró un ligero incremento ($P < 0.05$). Esto puede relacionarse a la exposición a altas temperaturas y degradación de polisacáridos. Sin embargo, Islam, *et al.* (2016), reportaron que la fructosa y glucosa, principales azúcares en el jugo de manzana, no mostraron cambios significativos entre muestras control y muestras irradiadas con UV-C (20 y 40 $\text{mJ}\cdot\text{cm}^2$).

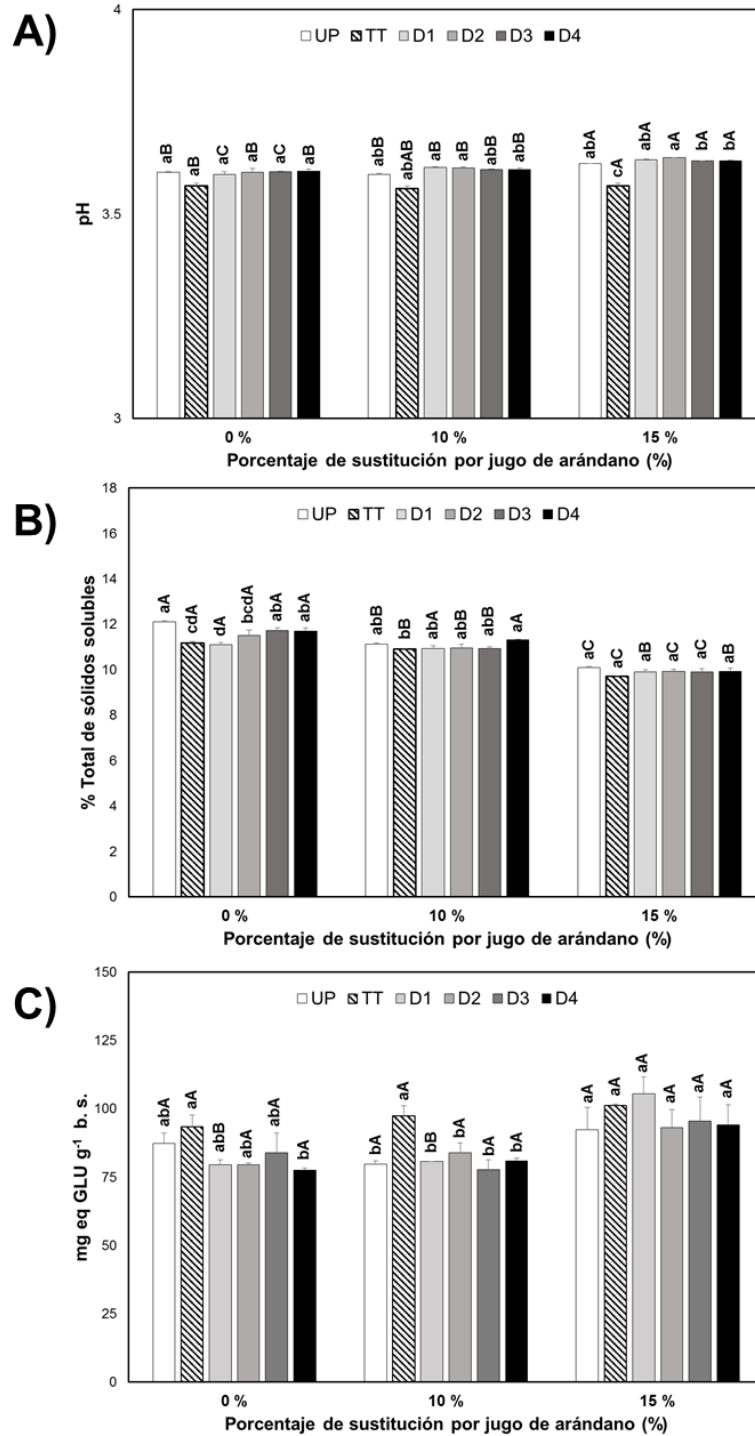


Figura 4. Efecto del procesamiento sobre A) pH, B) sólidos solubles totales y C) azúcares reductores. ^{a,b,c,d} indican diferencias entre los tratamientos al mismo ABS, ^{A,B,C} indican diferencias entre el mismo tratamiento a diferente ABS. ^{UP} Sin proceso, ^{TT} Trat. Térmico, ^{D1} Dosis 1 (4.85 mJ·cm⁻²), ^{D2} Dosis 2 (6.14 mJ·cm⁻²), ^{D3} Dosis 3 (8.59 mJ·cm⁻²), ^{D4} Dosis 4 (13.41 mJ·cm⁻²).

El efecto de los tratamientos de procesamiento y ABS sobre los parámetros de color (L^* , a^* y b^*) se expone en la Figura 5. ABS (10 y 15%) provocó una reducción significativa ($P < 0.05$) de la luminosidad de JB. Esto podría estar relacionado con el valor L^* más bajo del jugo de arándano ($L^* = 25.80 \pm 0.60$) haciendo que la mezcla sea opaca, con una reducción de 25.32 ± 3.04 y $18.79 \pm 1.60\%$, respectivamente. TT provocó una reducción ($8.27 \pm 0,84\%$) del parámetro L^* solo al 0% de sustitución, mientras que en el resto de sustituciones, se mantuvo la misma luminosidad (Figura 5A).

El parámetro de color a^* ($- a^*$ verde - $+ a^*$ rojo) es un factor importante en este estudio porque el color de JB está precisamente en ambos extremos del rango. Inicialmente, el jugo de manzana tenía un ligero color verde, pero cuando se incorporó el jugo de arándano, ABS (10 y 15%) provocó un aumento de $+ a^*$ en JB (Figura 5b). Esto se atribuye al característico color rojo del jugo de arándano. TT provocó una reducción del parámetro a^* , con una pérdida de $40.91 \pm 0,16$ y $48.17 \pm 0,92\%$ para 10 y 15% ABS, a excepción del 0% ABS donde a^* se volvió positivo, lo que indicó la pérdida de tonalidad verde inicial del jugo de manzana (Figura 5b) El parámetro b^* no se vio afectado por ABS, con la excepción de dosis más alta (D4) causó un aumento significativo ($P < 0.05$), correspondiendo a dos veces con respecto a UP (Figura 5c). Este incremento podría atribuirse al pardeamiento enzimático o la acumulación de partículas inestables en el jugo que precipitan parcialmente (Santhirasegaram *et al.*, 2013).

Los tratamientos de radiación (D1, D2, D3 y D4) no mostraron diferencias significativas ($P < 0.05$) en los parámetros de pH, TTS, RS y color (L^* y a^*) en comparación con UP. Lo que coincide con lo reportado por Pala y Toklucu (2013) cuyo estudio no reveló cambios de pH y TSS en jugo de naranja (*Citrus x sinensis*) irradiado.

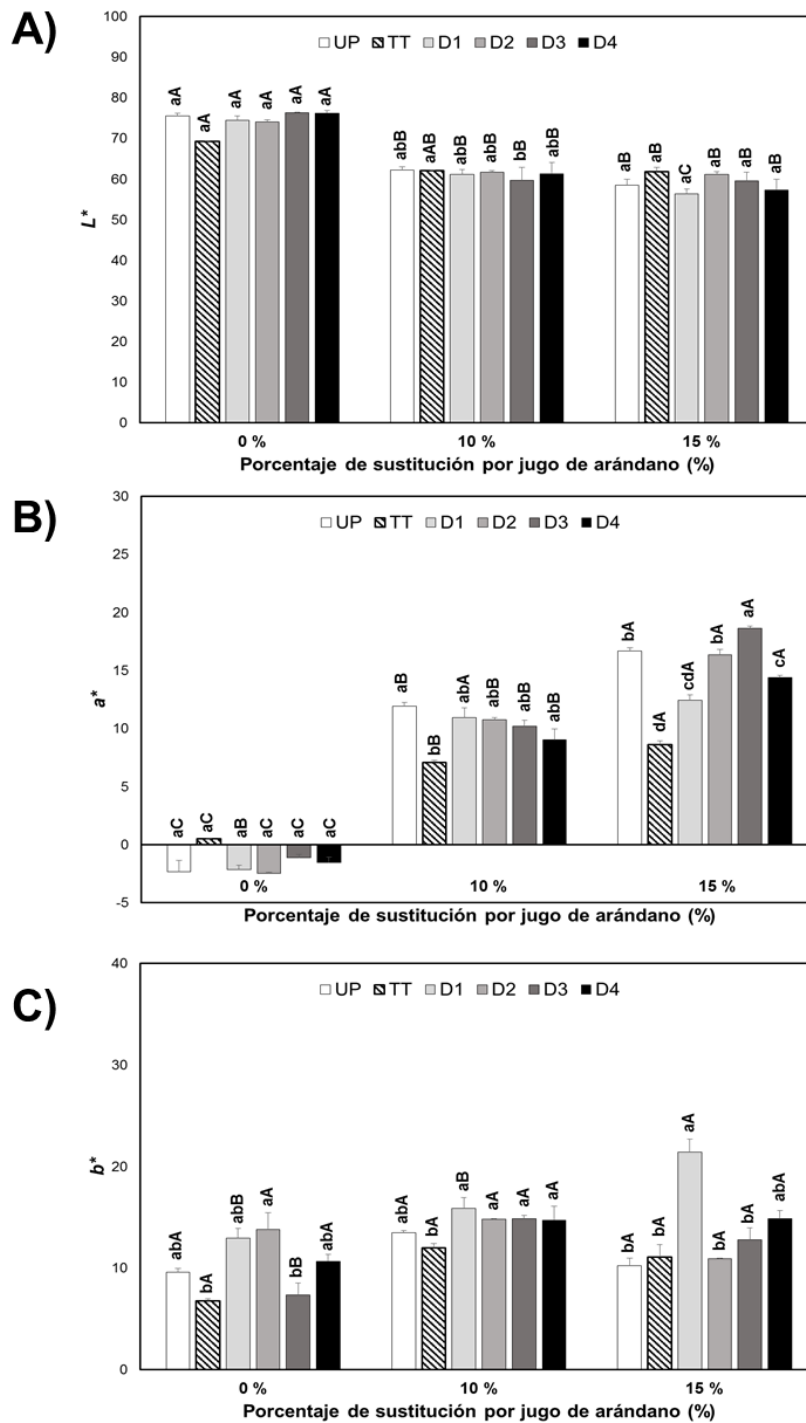


Figura 5. Efecto del procesamiento sobre parámetros de color A) L^* , B) a^* y C) b^* . a,b,c,d indican diferencias entre los tratamientos al mismo ABS, ^{A,B,C} indican diferencias entre el mismo tratamiento a diferente ABS. UP Sin proceso, TT Trat. Térmico, D¹ Dosis 1 (4.85 mJ·cm⁻²), D² Dosis 2 (6.14 mJ·cm⁻²), D³ Dosis 3 (8.59 mJ·cm⁻²), D⁴ Dosis 4 (13.41 mJ·cm⁻²).

7.1.7. Actividad antioxidante (TAA)

TAA de las JB, fue afectado ($P < 0.05$) por la ABS y por el procesamiento (UV-C y TT) (Figura 6A). Puede observarse que la ABS aumenta la actividad antioxidante a partir de un 15% de sustitución, lo que corresponde a un $33.9 \pm 0.007\%$. Sin embargo, no se observó ningún efecto significativo ($P < 0,05$) de los tratamientos de radiación sobre la actividad antioxidante en comparación con UP, excepto al 0% ABS a dosis $> 8.59 \text{ mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$ donde se observó un ligero descenso ($P < 0.05$). TT causó una reducción (20.64 -33.14 %) en la actividad antioxidante con el incremento de ABS. El efecto del tratamiento térmico sobre la actividad antioxidante se ha atribuido a la termolabilidad de los compuestos antioxidantes cuando se someten a temperaturas $> 70 \text{ }^\circ\text{C}$ (Chang *et al.*, 2006; Al-Turki y Stushnoff, 2007). Khandpur y Gogate (2015) atribuyeron esta disminución en la concentración de compuestos antioxidantes debido a la exposición prolongada al calor. Mientras que los ligeros cambios derivados por la radiación UV-C se han informado reducciones similares en mezclas de *Aloe vera*-agua (Rodríguez-Rodríguez *et al.*, 2020) y jugo de manzana (Caminiti *et al.*, 2010) después de ser irradiados. Esto se ha atribuido a una combinación de luz ultravioleta y oxígeno, que produce radicales libres por la reducción de compuestos antioxidantes, provocando una disminución de TAA (Cvetkovic *et al.*, 2011).

7.1.8. Polifenoles totales (TP)

La sustitución del jugo de arándano no mostró cambios significativos ($P < 0.05$) en el contenido de TP. Por el contrario, TT disminuyó el TP en cualquier ABS evaluado, comparados con el tratamiento UP y con los tratamientos de UV-C (Figura 6B). Resultados similares fueron reportados por Aguilar-Rosas *et al.* (2007) quienes estudiaron el efecto de la tecnología HTST (Alta temperatura, Corto tiempo) ($90 \text{ }^\circ\text{C} - 30 \text{ s}$) sobre las propiedades fisicoquímicas del jugo de manzana. En contraste, los tratamientos con UV-C tuvieron el mismo comportamiento que UP en cualquier ABS evaluado. El efecto de la radiación con UV-C sobre la retención de polifenoles también fue informada por Islam *et al.* (2016), donde el contenido de TP se mantuvo independientemente de la

exposición a UV-C para el jugo de manzana. De igual manera, Vergne *et al.* (2018) en su estudio de té verde, mostró que dosis de radiación de $40 \text{ mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$ no impactaban el contenido de TP.

7.1.9. Antocianinas totales (TA)

El incremento en la sustitución del jugo de arándano provocó un aumento significativo ($P < 0.05$) de TA en un $115.58 \pm 15.10\%$ al 10 y 15 % ABS (Figura 6C), esto es debido a que uno de los componentes principales del perfil de fitoquímicos del jugo de arándano azul son las antocianinas (Lee *et al.*, 2002). Los tratamientos de radiación mostraron incrementos al 0 (D1 y D2) y 10 % (D4) ABS y descensos al 10 (D3) y 15% ABS (D2, D3 y D4), alcanzando estabilidad a dosis altas en jugo de manzana y dosis bajas en presencia de arándano azul (10%), esto último podría estar influenciado por la sensibilidad de las antocianinas de los jugos a la energía suministrada cuando son expuestos a 254 nm, la degradación de antocianinas puede atribuirse a la escisión de enlaces (Koutchma *et al.*, 2009). TT generó un ligero aumento al 0 y 15% ABS, y esto podría estar relacionado con la liberación de componentes de la fibra de la fruta presente en el jugo. Se ha reportado que las altas temperaturas favorecen la hidrólisis de polímeros en unidades monoméricas, aumentando el recuento final (Renger, 2000 y Bunzel, 2006).

7.1.10. Flavonoides totales (TF)

ABS no afectó el contenido de TF inicial, al igual que los tratamientos UV-C (D1, D2, D3 y D4) en cualquier ABS evaluado en comparación con las muestras UP (Figura 6D). Por su parte, TT redujo al 10 y 15% de ABS en un 35.82 ± 2.22 y $38,19 \pm 2,50$ respectivamente. El efecto sobre los flavonoides también fue reportado por Chaaban *et al.* (2017), quienes indicaron que la disminución de flavonoides depende del aumento de temperatura y el flavonoide rutina fue el que mostró la mayor sensibilidad. En el mismo sentido García-Martínez *et al.* (2011) informaron pérdidas de flavonoides en jugo de toronja después del tratamiento térmico. La degradación de los flavonoides por procesamiento térmico conduce a la liberación de otros productos. El grado de degradación depende de su solidez estructural; su sensibilidad con respecto al tratamiento



térmico, conduciendo a la formación de nuevos productos con diversas características (Chaaban *et al.*, 2017). Por otro lado, los tratamientos de radiación al 10 y 15% ABS no presentaron cambios con respecto a UP, a excepción de D3 al 10% ABS que presentó un ligero descenso ($P < 0.05$), similar al comportamiento observado en TA (Figura 6C). La estabilidad de flavonoides en los procesos de radiación UV-C ha sido estudiada, Jo y Lee *et al.* (2012) no observaron cambios en el contenido de flavonoides en muestras irradiadas de jugo de zanahoria y La Cava y Sgroppo (2015), reportaron el contenido de flavonoides individuales estables después de irradiar jugo de toronja.

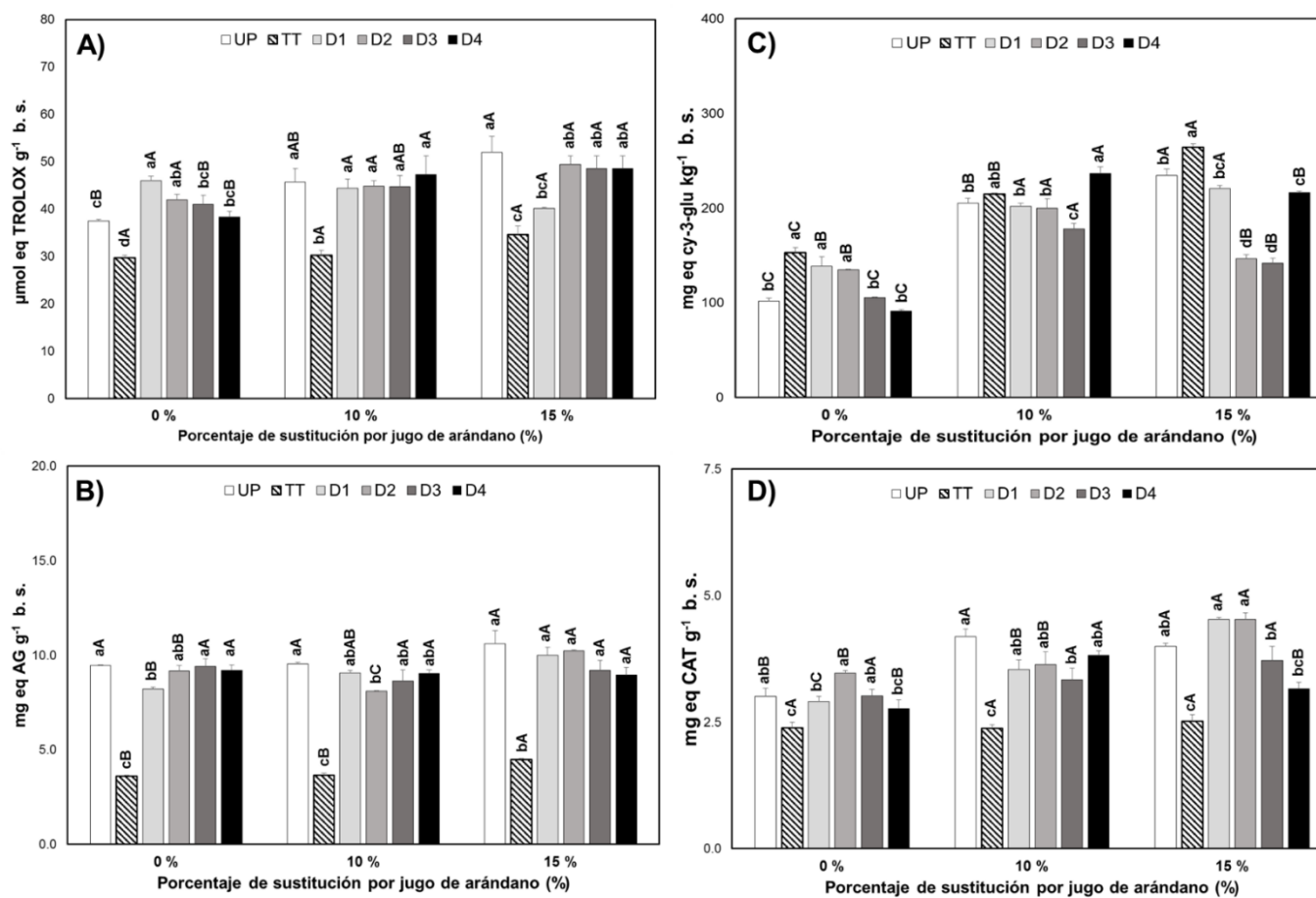


Figura 6. Efecto del procesamiento sobre el contenido de A) actividad antioxidante, B) contenido de polifenoles totales, C) contenido de antocianinas totales y D) contenido de flavonoides totales. ^{a,b,c,d} indican diferencias entre los tratamientos al mismo ABS, ^{A,B,C} indican diferencias entre el mismo tratamiento a diferente ABS. ^{UP} Sin proceso, ^{TT} Trat. Térmico, ^{D1} Dosis 1 (4.85 mJ·cm⁻²), ^{D2} Dosis 2 (6.14 mJ·cm⁻²), ^{D3} Dosis 3 (8.59 mJ·cm⁻²), ^{D4} Dosis 4 (13.41 mJ·cm⁻²).

El desarrollo de la etapa 1a permitió identificar las mejores condiciones de operación a partir del rango de ABS y dosis de irradiación UV-C propuesto. Los resultados obtenidos muestran que, en términos generales, el mejor comportamiento de los fitoquímicos más importantes de las mezclas fue observado en los porcentajes 10 y 15% ABS así como en las dosis intermedias. Así mismo, el comportamiento sobre la carga microbiana nativa de las mezclas mostró su eficacia en la inactivación de microorganismos patógenos (TAM y TAP) y a cualquier dosis evaluada ligeras reducciones en microorganismos de deterioro (YM). De tal forma que, se puede inferir que el perfil del jugo de manzana se mejora al incorporar jugo de arándano y sus propiedades tanto fisicoquímicas como microbiológicas se preservan a dosis entre $6.14 - 8.59 \text{ mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$. Seleccionándose como mejor condición 15% ABS a $6.14 \text{ mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$, para ser estudiada en la etapa 2.

7.2. Etapa 1b. Efecto de la radiación UV-C sobre las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de las mezclas de jugo de manzana con arándano azul, después del almacenamiento.

7.2.1. Efecto sobre la carga microbiana

El efecto del procesamiento (Radiación UV-C y tratamiento térmico) después de 20 días de almacenamiento, sobre la carga microbiana nativa de las mezclas de jugo de manzana y arándano azul se muestran en la Tabla 7. En donde se muestra la supervivencia de 3 de los 4 grupos microbianos evaluados (TAM, TAP y YM) para las muestras sin tratar en un rango de $4.19 - 5.13 \text{ Log UFC } 100 \text{ mL}^{-1}$ para TAM, $3.06 - 4.98 \text{ Log UFC } 100 \text{ mL}^{-1}$ para TAP y $5.45 - 5.95 \text{ Log UFC } 100 \text{ mL}^{-1}$ para YM, mostrándose el crecimiento de microorganismos de psicrófilos. Observándose que, a medida que la presencia de jugo de arándano incrementa la carga microbiana hace lo mismo, esto puede ser debido a la forma de obtención de ambos jugos inicialmente, donde el jugo de arándano fue expuesto a una mayor manipulación, mientras que el jugo de manzana fue obtenido de manera industrial. Lo que podría explicar el no crecimiento de TC. Comparados estos resultados con el día 0 de la etapa 1a, se puede inferir que hubo una fotorreactivación o reparación del ADN, se ha demostrado en algunos casos que



la pérdida de capacidad de división celular resultante de la exposición a la radiación ultravioleta se recupera mediante la iluminación posterior con luz visible (Johnson *et al.*, 1950). Por otro lado, los tratamientos de radiación mostraron inactivación para todos los grupos excepto para YM, dónde solo hubo ligeros descensos de $27.22 \pm 0.44\%$ para cualquier porcentaje de sustitución y dosis evaluada. Este comportamiento se resaltó en la etapa 1a y confirma la efectividad de esta tecnología para inactivar microorganismos patógenos y la oportunidad de mejorar la inactivación de microorganismos de deterioro. La supervivencia de YM durante el almacenamiento corresponde con los resultados obtenidos en la primera etapa de este estudio, atribuido principalmente a la morfología y composición estructural de YM. La resistencia de los microorganismos a los tratamientos UV-C está determinada en gran medida por su capacidad para reparar el daño del ADN causado por los rayos UV. Generalmente, la resistencia a la radiación ultravioleta sigue el patrón Gram-negativos < Gram-positivos < levadura < esporas bacterianas < mohos < virus (López-Malo y Palou, 2005). En contraste, TT no mostró crecimiento de ningún grupo microbiano en los 3 porcentajes de sustitución evaluados, lo que coincide con lo reportado por Santana-Jiménez *et al.* (2020) quienes no observaron crecimiento en las muestras TT para microorganismos patógenos y de deterioro.

Los resultados obtenidos sugieren la búsqueda de alternativas que garanticen un proceso seguro.

Tabla 7. Efectos del procesamiento (Radiación UV-C y Tratamiento térmico) sobre la carga microbiana de las mezclas de jugo de manzana y arándano azul al día 20.

ABS (% v/v)	Tratamiento	TAM	TAP	YM	TC
		Log CFU mL ⁻¹			
0	UP	4.19 ± 0.09	3.06 ± 0.03	5.45 ± 0.07 ^a	ND
	TT	ND	ND	ND	ND
	D1	ND	ND	4.17 ± 0.09 ^b	ND
	D2	ND	ND	4.11 ± 0.06 ^b	ND
	D3	ND	ND	3.93 ± 0.15 ^b	ND
	D4	ND	ND	3.76 ± 0.04 ^b	ND
10	UP	5.10 ± 0.11	4.67 ± 0.02	5.76 ± 0.12 ^a	ND
	TT	ND	ND	ND	ND
	D1	ND	ND	4.23 ± 0.09 ^b	ND
	D2	ND	ND	4.19 ± 0.07 ^b	ND
	D3	ND	ND	4.12 ± 0.07 ^b	ND
	D4	ND	ND	4.14 ± 0.06 ^b	ND
15	UP	5.13 ± 0.04	4.98 ± 0.03	5.95 ± 0.04 ^a	ND
	TT	ND	ND	ND	ND
	D1	ND	ND	4.38 ± 0.02 ^b	ND
	D2	ND	ND	4.25 ± 0.01 ^b	ND
	D3	ND	ND	4.32 ± 0.08 ^b	ND
	D4	ND	ND	4.35 ± 0.02 ^b	ND

^{a,b} Valores seguidos por la misma letra y con la misma sustitución no son significativamente diferentes ($P < 0.05$); ND No detectado; ¹Mesófilos aerobios totales; ²Psicrófilos aerobios totales; ³Hongos y Levaduras; ⁴Coliformes totales. ^{UP} Sin proceso, ^{TT} Trat. Térmico, ^{D1} Dosis 1 (4.85 mJ·cm⁻²), ^{D2} Dosis 2 (6.14 mJ·cm⁻²), ^{D3} Dosis 3 (8.59 mJ·cm⁻²), ^{D4} Dosis 4 (13.41 mJ·cm⁻²).

7.2.2. Cambios después del almacenamiento de los parámetros de pH, TSS y color

El efecto del almacenamiento sobre el pH, TSS y color se muestran en las Figuras 7, 8 y 9, respectivamente. El almacenamiento provocó un descenso del pH de las muestras del 3.20 ± 0.41% ($P < 0.05$) (Figura 7). Los cambios del pH en UP y los tratamientos UV-C (D1, D2, D3 y D4) para cualquier ABS evaluado pueden ser debidos al crecimiento microbiano y a la generación de ácidos por

parte de algunos de las especies que proliferaron en el medio (Feng *et al.* 2013), o bien la liberación de ácidos orgánicos por la exposición a las altas temperaturas, en el caso de TT (Maskat y Tan 2011).

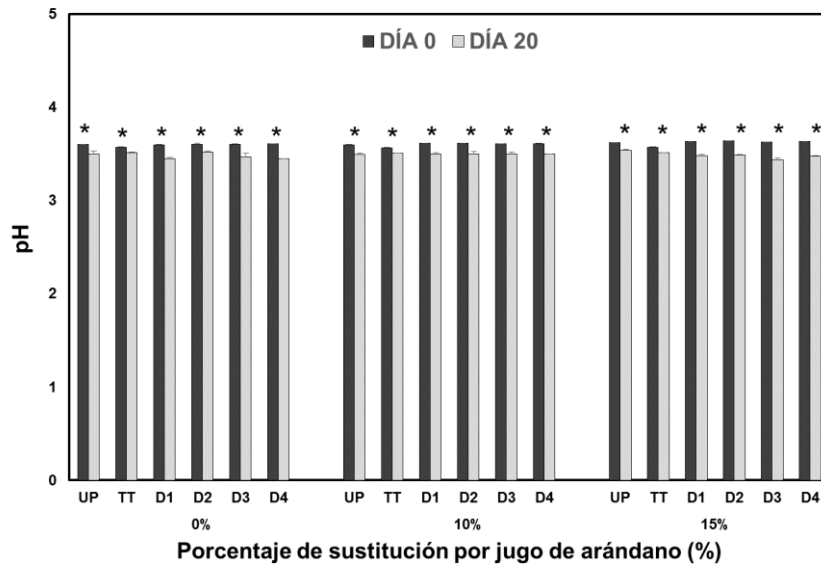


Figura 7. Efecto del almacenamiento sobre el pH de las mezclas en el almacenamiento. *Diferencia significativa durante el almacenamiento con una $P < 0.05$. ^{UP} Sin proceso, ^{TT} Trat. Térmico, ^{D1} Dosis 1 ($4.85 \text{ mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$), ^{D2} Dosis 2 ($6.14 \text{ mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$), ^{D3} Dosis 3 ($8.59 \text{ mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$), ^{D4} Dosis 4 ($13.41 \text{ mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$).

Durante el almacenamiento se observó una tendencia a la disminución ($P < 0.05$) del contenido de sólidos solubles en los tratamientos de radiación UV-C y las muestras sin tratar (Figura 8). Esto último debido al crecimiento de microorganismos de deterioro. Donde en el jugo sin tratar se tiene la mayor reducción, quizás por tener la carga microbiana mayor. El tratamiento térmico mostró un ligero incremento en los °Brix de 4.90, 5.20 y 3.2% para el 0, 10 y 15% de sustitución respectivamente ($P < 0.05$). Esto puede ser debido a la hidrólisis de flavonoides glicosilados o polisacáridos, acorde a lo reportado por Spanos *et al.* (1990). Descensos en TSS por tratamientos de radiación UV-C fueron informados por Mohd-Hanif *et al.* (2016) vinculado a que algunos sólidos solubles contienen enlaces estructurales conjugados que son susceptibles al ataque de

UV-C, lo que lleva a la degradación o alteración de los componentes sólidos solubles, por lo que el valor de TSS disminuye.

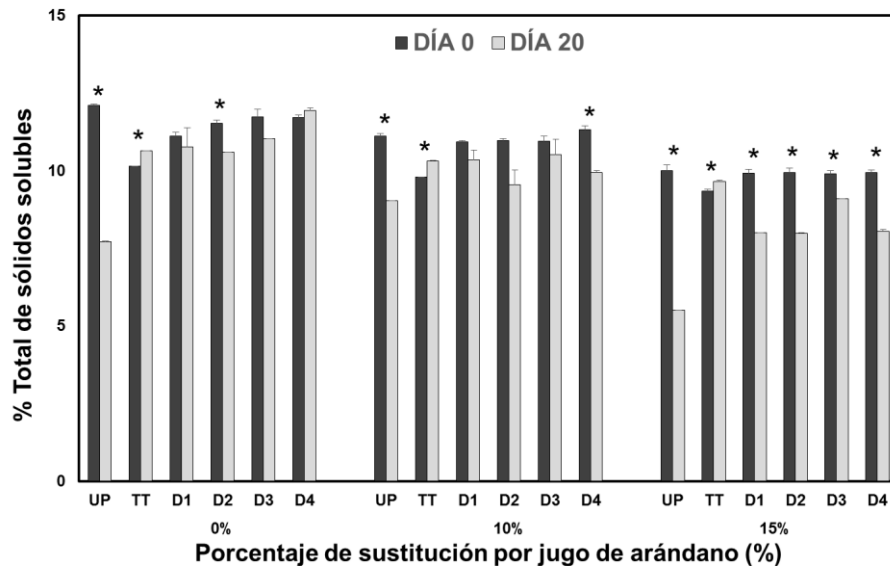


Figura 8. Efecto del almacenamiento sobre el contenido total de sólidos solubles de las mezclas en el almacenamiento. * Diferencia significativa durante el almacenamiento con una $P < 0.05$. UP Sin proceso, TT Trat. Térmico, D¹ Dosis 1 ($4.85 \text{ mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$), D² Dosis 2 ($6.14 \text{ mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$), D³ Dosis 3 ($8.59 \text{ mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$), D⁴ Dosis 4 ($13.41 \text{ mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$).

En lo que concierne a los parámetros de color de las muestras, en el día 20 no se observaron diferencias significativas en la luminosidad de las muestras al 10 y 15% de sustitución por jugo de arándano ($P < 0.05$) (Figura 9A). Sin embargo, al 0%, se observó una disminución significativa ($P < 0.05$) de los valores de L^* para los tratamientos de radiación, tratamiento térmico y muestras sin tratar. Esto podría explicarse por la acumulación de partículas inestables en el jugo que se precipitan parcialmente (Santhirasegaram *et al.*, 2013).

Las mezclas con 10 y 15% de sustitución de arándano mostraron una reducción del parámetro a^* durante el almacenamiento de 20 días ($P < 0.05$) a excepción de D3 y D4 al 10% ABS (Figura 9B). Esta disminución en la intensidad del color rojo corresponde a la posible degradación enzimática o térmica de antocianinas, responsables de impartir dicho color, lo cual corresponde con lo reportado por



Reque *et al.* (2014) quienes mostraron pérdidas significativas de antocianinas de jugo de arándano azul durante el almacenamiento.

El parámetro b^* permaneció constante para el 10 y 15% ABS a excepción de D1 en el 15% ABS que presentó un descenso (25%). Mientras que el 0% ABS mostró descensos significativos para UP y D2 e incrementos ($P < 0.05$) para TT y D4. Los valores positivos de b^* indican una tendencia a tonalidades amarillas, por lo que estos resultados podrían probar la degradación de los pigmentos del jugo de manzana, que inicialmente poseía una tonalidad verde. Sin embargo, Ferrario y Guerrero (2016) reportaron el incremento del parámetro b^* de jugo de manzana durante el almacenamiento de UP. Estos resultados dependen de la variedad y composición de la manzana empleada hasta la forma de obtención del jugo.

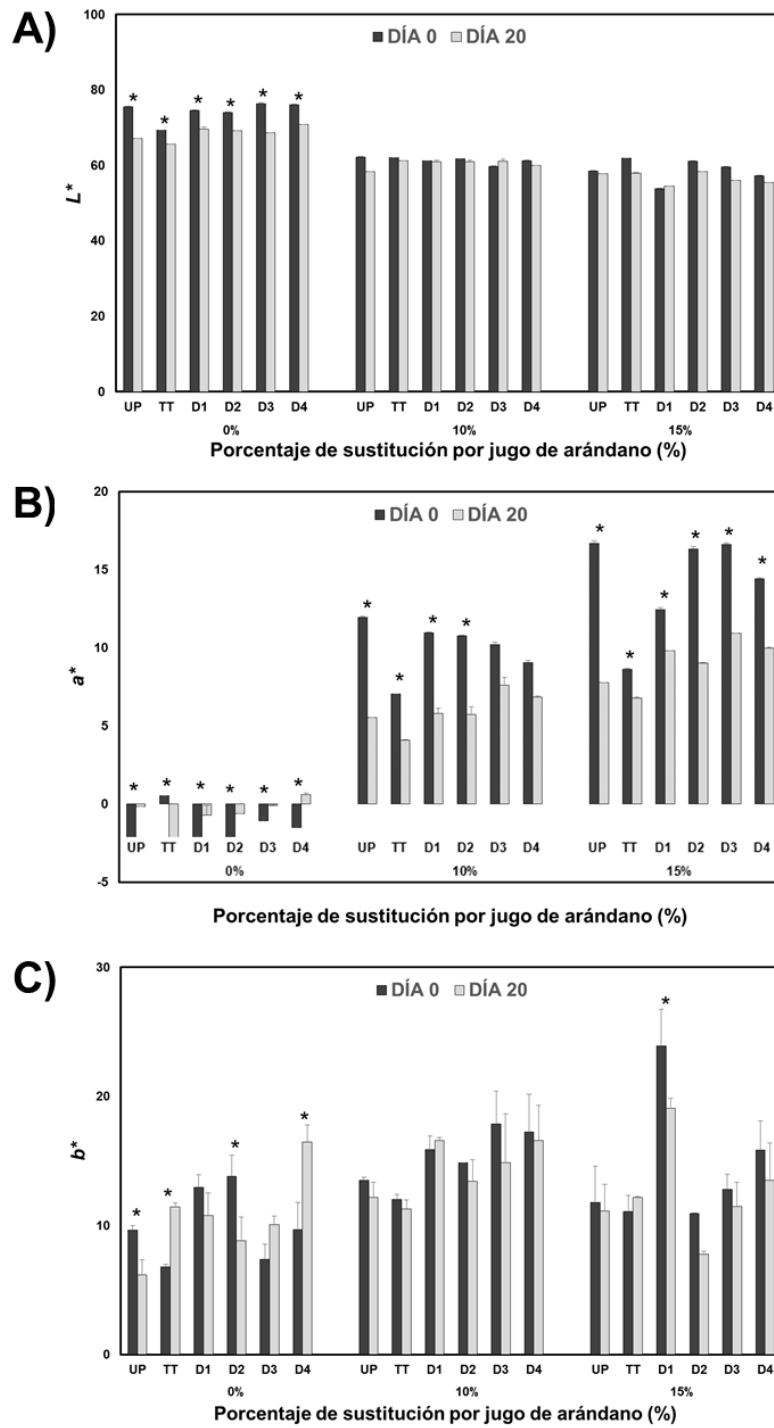
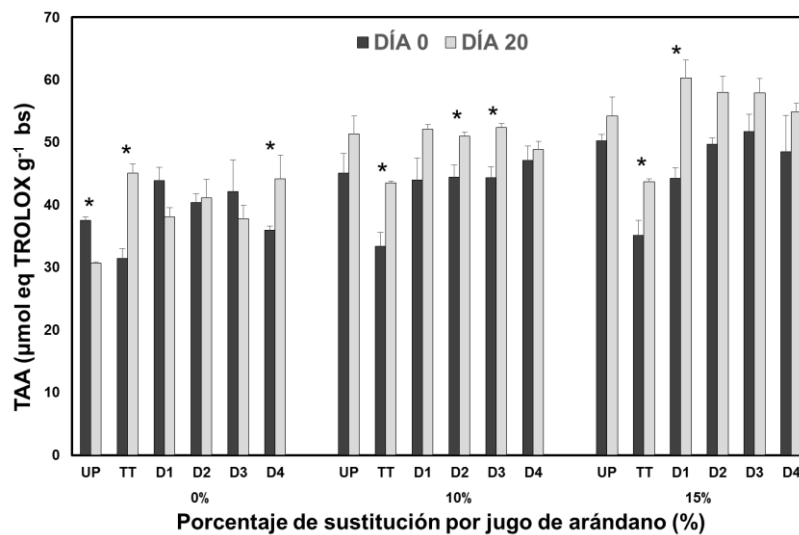


Figura 9. Efecto del almacenamiento sobre los parámetros de color a) L^* , B) a^* y C) b^* de las mezclas en el almacenamiento. *Diferencia significativa durante el almacenamiento con una $P < 0.05$. UP Sin proceso, TT Trat. Térmico, D1 Dosis 1 ($4.85 \text{ mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$), D2 Dosis 2 ($6.14 \text{ mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$), D3 Dosis 3 ($8.59 \text{ mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$), D4 Dosis 4 ($13.41 \text{ mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$).

7.2.3. Cambios después del almacenamiento de actividad antioxidante (TAA)

El almacenamiento afectó el contenido de actividad antioxidante ($P < 0.05$) en las muestras UP al 0% ABS, en las cuales se observó un descenso del $17.99 \pm 2.40\%$ (Figura 10). Mientras que, para TT, la TAA se incrementó en un 34.16 ± 0.27 , 79.64 ± 0.66 y $70.23 \pm 1.28\%$ para 0, 10 y 15% de sustitución evaluados respectivamente. De igual manera, la actividad antioxidante mostró un incremento en la D4 al 0%, D2 y D3 al 10% y D1 al 15% de ABS durante el almacenamiento ($P < 0.05$), atribuido a la reacción entre los productos de la degradación enzimática y térmica con el radical DPPH, lo que provoca un incremento en la cuantificación total (Bath *et al.*, 2011).



* Diferencia significativa durante el almacenamiento con una $P < 0.05$.

Figura 10. Efecto del almacenamiento sobre el contenido de actividad antioxidante en el almacenamiento. *Diferencia significativa durante el almacenamiento con una $P < 0.05$. ^{UP} Sin proceso, ^{TT} Trat. Térmico, ^{D1} Dosis 1 ($4.85 \text{ mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$), ^{D2} Dosis 2 ($6.14 \text{ mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$), ^{D3} Dosis 3 ($8.59 \text{ mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$), ^{D4} Dosis 4 ($13.41 \text{ mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$).

7.2.4. Cambios después del almacenamiento de polifenoles totales (TP)

La Figura 11 muestra el comportamiento de los polifenoles totales durante el almacenamiento, donde el tratamiento térmico presentó un incremento del $211.63 \pm 13.09\%$ en los 3 ABS evaluados. Este aumento se ha atribuido a la liberación y/o separación de compuestos fenólicos de la matriz celular (Maghsoudlou *et al.*, 2019) o bien a la producción de diferentes compuestos en la reacción de Maillard (Molaveisi *et al.*, 2019). Por el contrario, se observó un descenso del $24.41 \pm 4.45\%$ para las muestras sin tratar al 0 y 15%, esto puede ser provocado por la disminución del contenido de antocianinas totales (Figura 12). Mientras que el comportamiento de los tratamientos de radiación permaneció constante en los ABS evaluados. Esto se ha relacionado con los cortos tiempos de exposición aplicados, que pueden prevenir la fotooxidación de estos compuestos (Santana-Jiménez *et al.*, 2020).

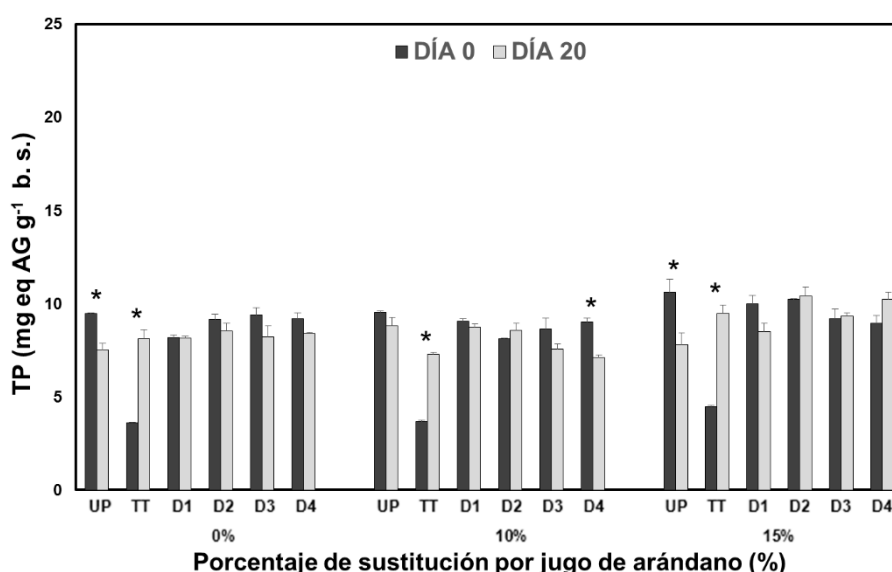


Figura 11. Efecto del almacenamiento sobre el contenido de polifenoles totales en el almacenamiento. *Diferencia significativa durante el almacenamiento con una $P < 0.05$. ^{UP} Sin proceso, ^{TT} Trat. Térmico, ^{D1} Dosis 1 ($4.85 \text{ mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$), ^{D2} Dosis 2 ($6.14 \text{ mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$), ^{D3} Dosis 3 ($8.59 \text{ mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$), ^{D4} Dosis 4 ($13.41 \text{ mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$).

7.2.5. Cambios después del almacenamiento de antocianinas totales (TA)

El contenido de antocianinas incrementó de manera significativa ($P < 0.05$) en las muestras UP y procesadas por radiación UV-C a cualquier ABS evaluado durante el almacenamiento (Figura 12). UP incrementó en un 83.43 ± 3.53 , 141.28 ± 14.92 y $67.46 \pm 2.86\%$ para 0, 10 y 15% ABS respectivamente. Mientras que los tratamientos de radiación en un $29.26-113.38\%$, $63.78-130.58\%$ y $78.86-169.95\%$ para 0, 10 y 15% ABS. En contraste TT presentó una reducción del 74.40 ± 2.99 , 53.19 ± 1.43 y $23.46 \pm 3.96\%$ para los 3 ABS en estudio. Los compuestos fenólicos presentes en el jugo de arándano pueden haber evitado la degradación de antocianinas durante el tratamiento por UV-C por procesos de copigmentación. Se ha informado que la presencia de copigmentos inhibe el efecto de degradación de la radiación UV-C sobre estos compuestos (Pala y Toklucu, 2011). A pesar de que los fotones de la luz UV a 253.7 nm son absorbidos por las moléculas orgánicas y pueden afectar los anillos aromáticos, anillos dobles o aquellos que incluyen enlaces disulfuro, y en consecuencia minimizar el contenido de antocianinas (Koutchma *et al.*, 2009). Sin embargo, el comportamiento de flavonoides totales (Figura 13) presentó una tendencia similar, debido a que la mayoría de antocianinas son flavonoides. Las reducciones observadas en TT pueden atribuirse a la formación de compuestos poliméricos incoloros derivados de la termolabilidad de estos compuestos (Pala y Toklucu, 2011). De la misma forma, descensos en el contenido de antocianinas fueron reportados también por Wang y Xu (2007) en su estudio de jugo y concentrado de mora (*Rubus fruticosus L.*) procesado térmicamente (60-90°C).

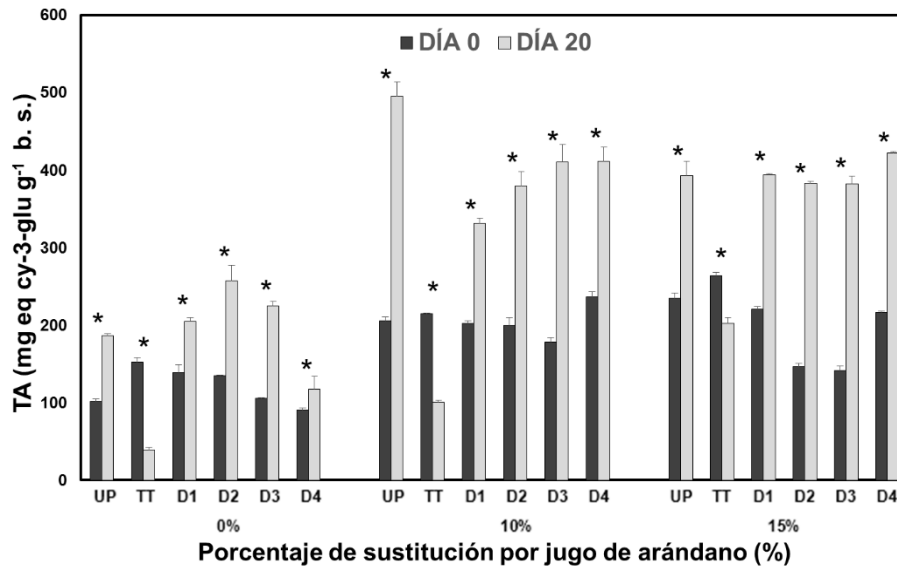


Figura 12. Efecto del almacenamiento sobre el contenido de antocianinas totales en el almacenamiento. *Diferencia significativa durante el almacenamiento con una $P < 0.05$. ^{UP} Sin proceso, ^{TT} Trat. Térmico, ^{D1} Dosis 1 ($4.85 \text{ mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$), ^{D2} Dosis 2 ($6.14 \text{ mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$), ^{D3} Dosis 3 ($8.59 \text{ mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$), ^{D4} Dosis 4 ($13.41 \text{ mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$).

7.2.6. Cambios después del almacenamiento de flavonoides totales (TF)

El cambio en el contenido de flavonoides totales se ilustra en la Figura 13, en donde se puede observar el incremento de las muestras sin tratar en un 151.59 ± 17.19 , 101.17 ± 12.45 y $68.50 \pm 4.22\%$ para el 0, 10 y 15%. De igual manera para las muestras irradiadas incrementos del 35.73-74.92%, 75.94-119.98% y 20.14- 116.41%, al 0, 10 y 15% ABS. Mientras que el contenido de flavonoides de las muestras procesadas térmicamente se mantuvo estable al día 20. Chen *et al.* (2016) reportaron un incremento en el contenido de flavonoides en cebolla durante el almacenamiento. Mientras que la degradación de flavonoides por tratamiento térmico también fue reportada por Igual *et al.* (2011) en su estudio de jugo de toronja pasteurizado.

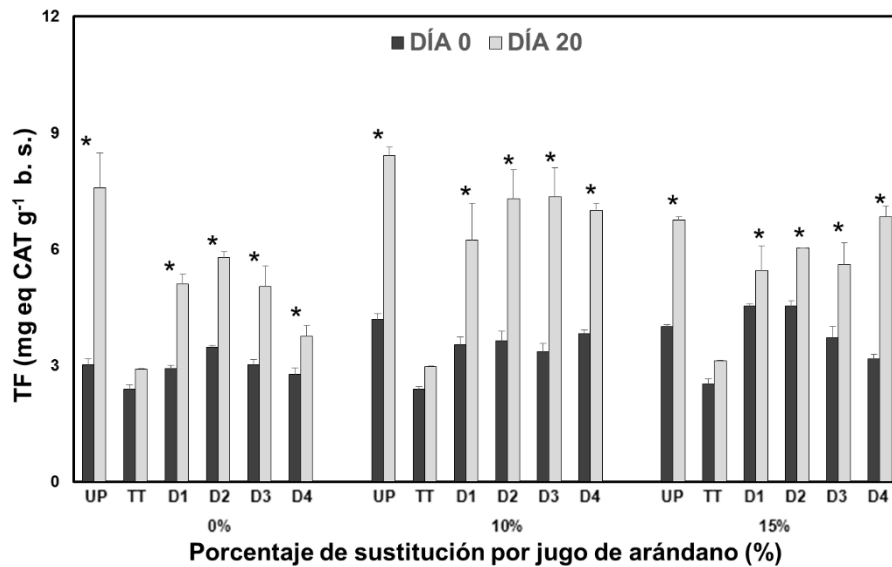


Figura 13. Efecto del almacenamiento sobre el contenido de flavonoides totales en el almacenamiento. *Diferencia significativa durante el almacenamiento con una $P < 0.05$. ^{UP} Sin proceso, ^{TT} Trat. Térmico, ^{D1} Dosis 1 ($4.85 \text{ mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$), ^{D2} Dosis 2 ($6.14 \text{ mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$), ^{D3} Dosis 3 ($8.59 \text{ mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$), ^{D4} Dosis 4 ($13.41 \text{ mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$).

7.2.7. Cambios después del almacenamiento de polifenoles individuales

Para este estudio se sometieron a evaluación 17 estándares de polifenoles de los cuales 11 fueron identificados en las JB. La Tabla 8 muestra los principales polifenoles identificados en las JB mediante HPLC. Así mismo, se pudo identificar los principales componentes fenólicos para ambos componentes de las mezclas (jugo de manzana y jugo de arándano), donde el jugo de arándano está compuesto principalmente de ácido clorogénico (con respecto a todos los polifenoles por el % que representa), seguido del ácido cafeico y ácido gálico (Figura 14c). Mientras que para el jugo de manzana los principales componentes fueron el ácido clorogénico, ácido cafeico y ácido vanílico (Figura 14d).

De manera general la Figura 14a y 14c, muestra el cambio que sufrieron los polifenoles en el almacenamiento (día 20) en los mejores tratamientos de radiación UV-C D2 ($6.14 \text{ mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$), donde se puede observar de manera clara los descensos de las muestras sin proceso y ligeros cambios en las muestras

procesadas por UV-C y TT. Cuyo comportamiento será discutido en el siguiente apartado.

Tabla 8. Estándares evaluados de polifenoles individuales y tiempos de retención.

N°	Polifenol	Tiempo de retención
1	Ácido gálico	5.127
2	*Ácido protocateico	7.703
3	Ácido clorogénico	10.223
4	*Catequina	10.498
5	Ácido gentísico	10.567
6	Ácido vanílico	11.609
7	Ácido cafeico	11.948
8	Epicatequina	12.385
9	*Vainillina	14.385
10	Ácido p-cumárico	15.073
11	Rutina	15.248
12	*Ácido elágico	15.441
13	*Ácido transferúlico	16.065
14	Ácido ferúlico	16.093
15	Hesperidina	17.871
16	Floridzina	19.428
17	*Quercetina	23.451

*Polifenoles individuales no detectados en las muestras

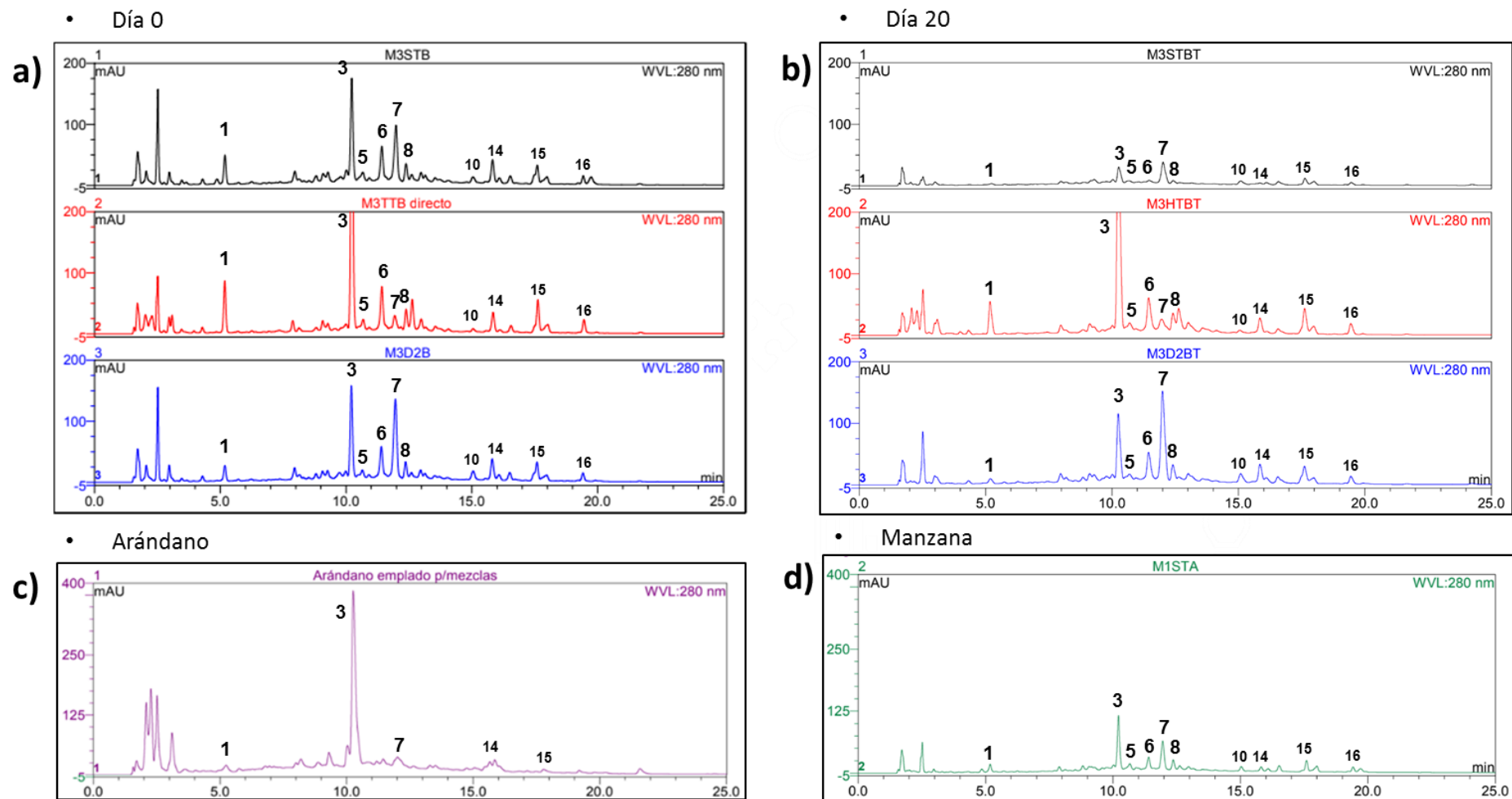


Figura 14. Cromatogramas de polifenoles individuales, a) Muestras 15% ABS en el día 0 para **UP**(M3STB-T), **TT** (M3TTB-T) y **D3** (M3D2B-T), b) Muestras 15% ABS en el día 20 para **UP**, **TT** y **D3**, c) Jugo de arándano y d) Jugo de manzana.

La Figura 15 muestra los cambios en el almacenamiento sobre el contenido de ácido clorogénico de las JB. UP presentó un descenso de 85.76, 93.76 y 71.89% para 0, 10 y 15% respectivamente. De igual manera, las JB procesadas mediante radiación UV-C se redujeron en promedio un 60.89, 50.90 y 47.76% para el 0, 10 y 15%, mientras que el tratamiento térmico, se mostró estable al 10% ABS. Friedman y Jurgens (2000) reportaron que el ácido clorogénico es estable a pH ácidos, a altas temperaturas y al almacenamiento. Por otro lado, Murakami *et al.* (2004) en su estudio mostraron que el ácido clorogénico fue generalmente estable al someterlo a temperaturas de 100°C por tiempos largos. Esto puede explicar el comportamiento de TT y la inestabilidad de UP y los tratamientos de radiación (D1, D2, D3 y D4) a los ABS evaluados. González *et al.* (1999) Indicaron que dentro de los principales sustratos de la polifenoloxidasas de mora (*Rubus glaucus*) se encuentra el ácido clorogénico. Algunos estudios realizados por Reque *et al.* (2014) con arándanos azules (*Vaccinium corymbosum*) informaron la degradación de las antocianinas por sustitución en el anillo B por quinona, que se originó por la oxidación del ácido clorogénico, con acción de la enzima polifenoloxidasas. De manera contraria, TT causó un ligero incremento al 0 y 15 % ABS en el almacenamiento. Esto coincide con lo reportado por Šilarová *et al.* 2019, quienes observaron un incremento en el contenido de ácido clorogénico en el almacenamiento en muestras de berenjena tratadas térmicamente. En particular, se observó un aumento del contenido de ácido clorogénico con el aumento de la temperatura. Por el contrario, una temperatura muy alta (250 ° C) provocó una disminución de la cantidad de ácido clorogénico.

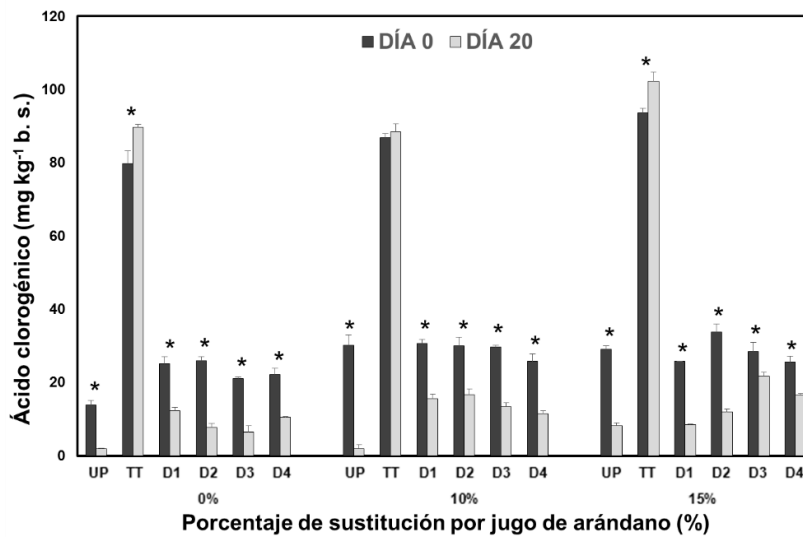


Figura 15. Efecto del almacenamiento sobre el contenido de ácido clorogénico. *Diferencia significativa durante el almacenamiento con una $P < 0.05$. ^{UP} Sin proceso, ^{TT} Trat. Térmico, ^{D1} Dosis 1 ($4.85 \text{ mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$), ^{D2} Dosis 2 ($6.14 \text{ mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$), ^{D3} Dosis 3 ($8.59 \text{ mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$), ^{D4} Dosis 4 ($13.41 \text{ mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$).

El contenido de ácido vanílico mostró una tendencia a disminuir en el almacenamiento tanto en las muestras sin tratar y tratadas con UV-C (Figura 16). Sin embargo, su comportamiento en el tratamiento térmico no mostró diferencias significativas ($P < 0.05$). Algunos estudios muestran que la degradación de los compuestos fenólicos está directamente relacionada con la fotooxidación y el reordenamiento molecular fotoinducido, lo cual podría estar determinado por diversos factores como la estructura y el contenido de los compuestos, el pH o la presencia de oxígeno (Yang *et al.*, 2019).

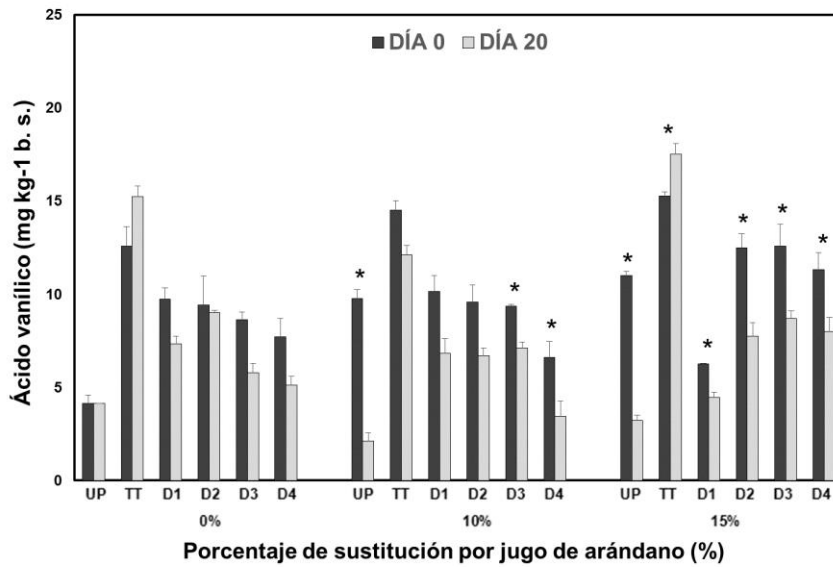


Figura 16. Efecto del almacenamiento sobre el contenido de ácido vanílico. *Diferencia significativa durante el almacenamiento con una $P < 0.05$. ^{UP} Sin proceso, ^{TT} Trat. Térmico, ^{D1} Dosis 1 ($4.85 \text{ mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$), ^{D2} Dosis 2 ($6.14 \text{ mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$), ^{D3} Dosis 3 ($8.59 \text{ mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$), ^{D4} Dosis 4 ($13.41 \text{ mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$).

Para ambos compuestos, ácido cafeico y ferúlico (Figura 17 y 18, respectivamente), se observa una tendencia al incremento ($P < 0.05$) en el día 20. Este fenómeno puede ser atribuido a la liberación de estos componentes de los polisacáridos reticulares de la fibra o de las paredes celulares (Renger 2000; Bunzel 2006). Adicionalmente, este incremento en estos compuestos fenólicos, ha sido relacionado también a la hidrólisis del ácido clorogénico como lo señalan Murakami *et al.* (2004).

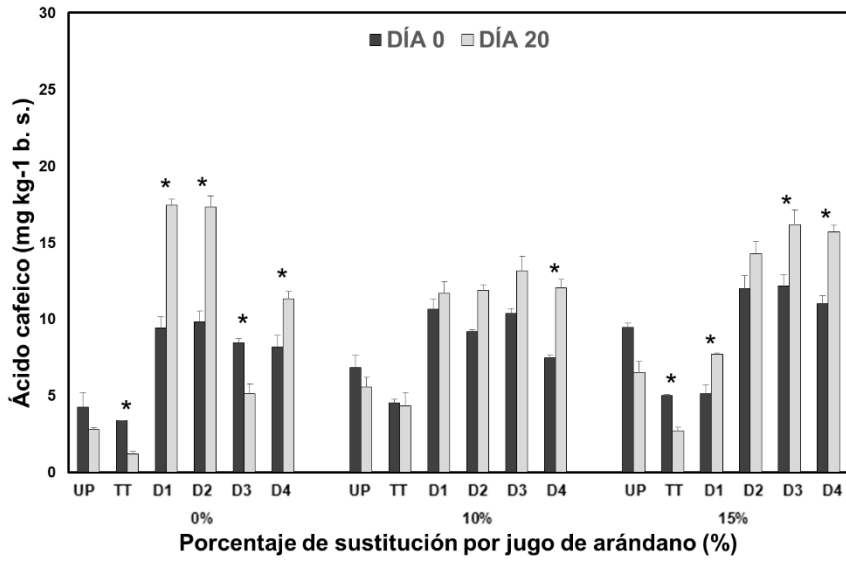


Figura 17. Efecto del almacenamiento sobre el contenido de ácido cafeico. *Diferencia significativa durante el almacenamiento con una $P < 0.05$. ^{UP} Sin proceso, ^{TT} Trat. Térmico, ^{D1} Dosis 1 ($4.85 \text{ mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$), ^{D2} Dosis 2 ($6.14 \text{ mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$), ^{D3} Dosis 3 ($8.59 \text{ mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$), ^{D4} Dosis 4 ($13.41 \text{ mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$).

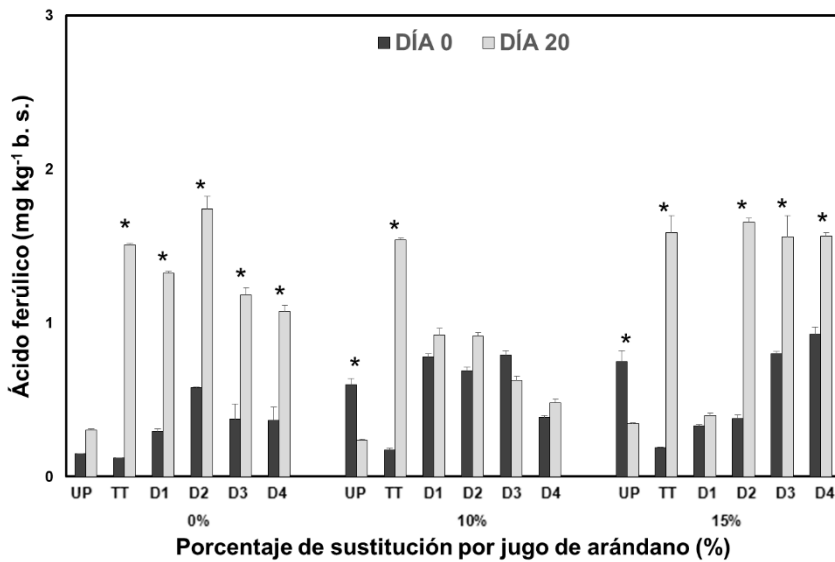


Figura 18. Efecto del almacenamiento sobre el contenido de ácido ferúlico. *Diferencia significativa durante el almacenamiento con una $P < 0.05$. ^{UP} Sin proceso, ^{TT} Trat. Térmico, ^{D1} Dosis 1 ($4.85 \text{ mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$), ^{D2} Dosis 2 ($6.14 \text{ mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$), ^{D3} Dosis 3 ($8.59 \text{ mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$), ^{D4} Dosis 4 ($13.41 \text{ mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$).

Los cambios en el contenido de epicatequina se muestran en la Figura 19. Donde se observa que el comportamiento de este polifenol se mostró estable en los tratamientos al 0% ABS, mientras que al 10 y 15% ABS se presentaron reducciones significativas ($P < 0.05$) para UP, TT y UV-C. De acuerdo con Islam *et al.* (2016), reportaron que el contenido de polifenoles como ácido clorogénico, floridzina, catequina y epicatequina se reduce de manera significativa, en muestras de jugo de manzana irradiado con UV-C. Por otro lado, Ananingsih *et al.* (2013) mostraron la degradación ($P < 0.05$) de catequinas del té verde procesado térmicamente, destacando que las catequinas pueden sufrir degradación, oxidación, epimerización ó polimerización. Estos cambios pueden depender de factores como la temperatura, el pH del sistema, la disponibilidad de oxígeno, la presencia de iones metálicos, etc.

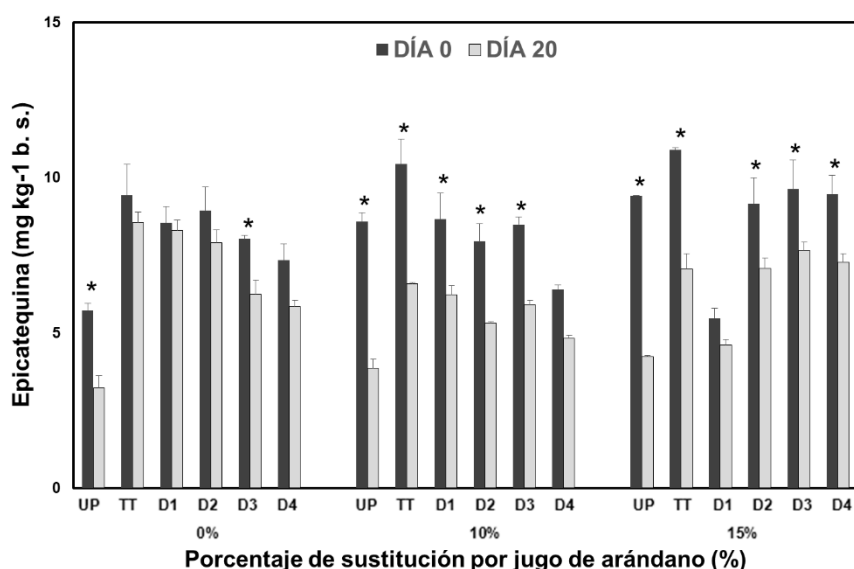


Figura 19. Efecto del almacenamiento sobre el contenido epicatequina. *Diferencia significativa durante el almacenamiento con una $P < 0.05$. ^{UP} Sin proceso, ^{TT} Trat. Térmico, ^{D1} Dosis 1 (4.85 mJ·cm⁻²), ^{D2} Dosis 2 (6.14 mJ·cm⁻²), ^{D3} Dosis 3 (8.59 mJ·cm⁻²), ^{D4} Dosis 4 (13.41 mJ·cm⁻²).

Los porcentajes de sustitución por jugo de arándano del 10 y 15% presentaron las mayores reducciones significativas comprendidas en un 15-55 % aproximadamente ($P < 0.05$) sobre el contenido de ácido p-cumárico en el almacenamiento (Figura 20). Los ácidos fenólicos pueden sufrir descarboxilación

durante el procesamiento de los alimentos. El ácido ferúlico, por ejemplo, forma p-vinilguaiacol durante el almacenamiento del jugo de naranja. El ácido p-cumarico puede formar p-hidroxibenzaldehído (Repo-Carrasco-Valencia, 2009).

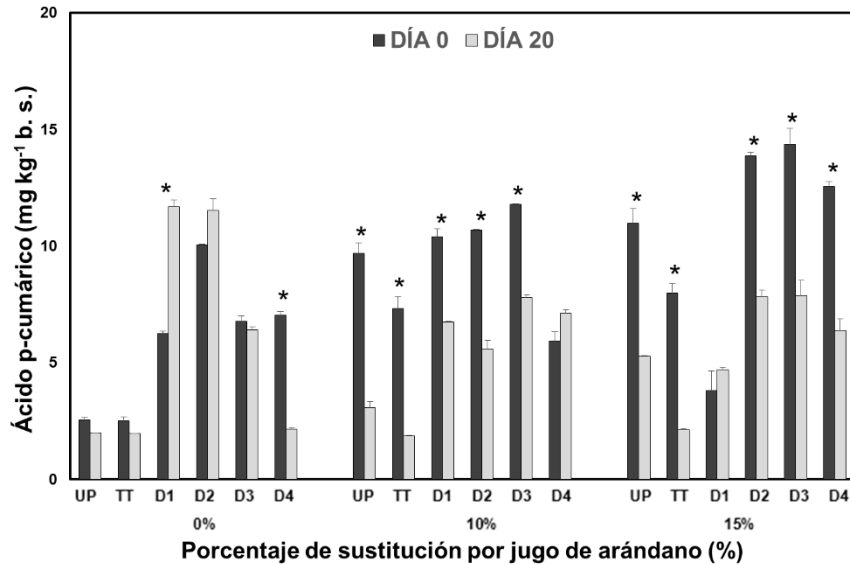


Figura 20. Efecto del almacenamiento sobre el contenido de ácido p-cumárico. *Diferencia significativa durante el almacenamiento con una $P < 0.05$. ^{UP} Sin proceso, ^{TT} Trat. Térmico, ^{D1} Dosis 1 ($4.85 \text{ mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$), ^{D2} Dosis 2 ($6.14 \text{ mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$), ^{D3} Dosis 3 ($8.59 \text{ mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$), ^{D4} Dosis 4 ($13.41 \text{ mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$).

El contenido de rutina y hespérida (Figura 21 y 22) se vio afectado por el almacenamiento, en el primer caso la pérdida total de rutina y en el segundo, una disminución significativa ($P < 0.05$) del contenido de hesperidina en el 10 y 15% de sustitución de jugo de arándano para las muestras tratadas por radiación UV-C y UP. Esto podría deberse a la hidrólisis de los flavonoides glicosilados (Spanos *et al.*, 1990). Esto concuerda con lo reportado por Chaaban *et al.* (2017), quienes evidenciaron que el flavonoide rutina fue el que mostró la mayor sensibilidad al procesamiento. Estas pérdidas pueden ser atribuidas a la conversión de rutina en quercetina. Ya que por hidrólisis la rutina pierde su azúcar y queda en forma de quercetina libre, y dado que no se encontró quercetina en las muestras (Guiné y Barroca, 2014).

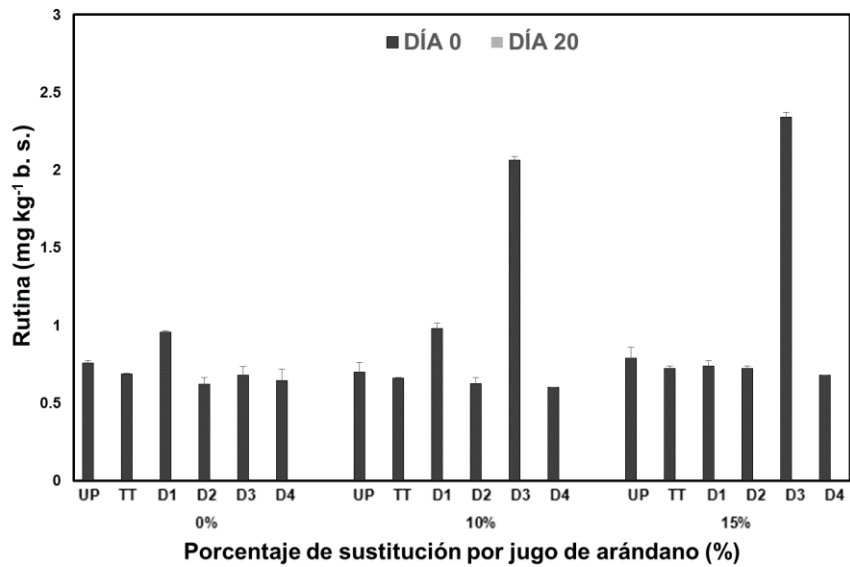


Figura 21. Efecto del almacenamiento sobre el contenido de rutina. *Diferencia significativa durante el almacenamiento con una $P < 0.05$. ^{UP} Sin proceso, ^{TT} Trat. Térmico, ^{D1} Dosis 1 (4.85 mJ·cm⁻²), ^{D2} Dosis 2 (6.14 mJ·cm⁻²), ^{D3} Dosis 3 (8.59 mJ·cm⁻²), ^{D4} Dosis 4 (13.41 mJ·cm⁻²).

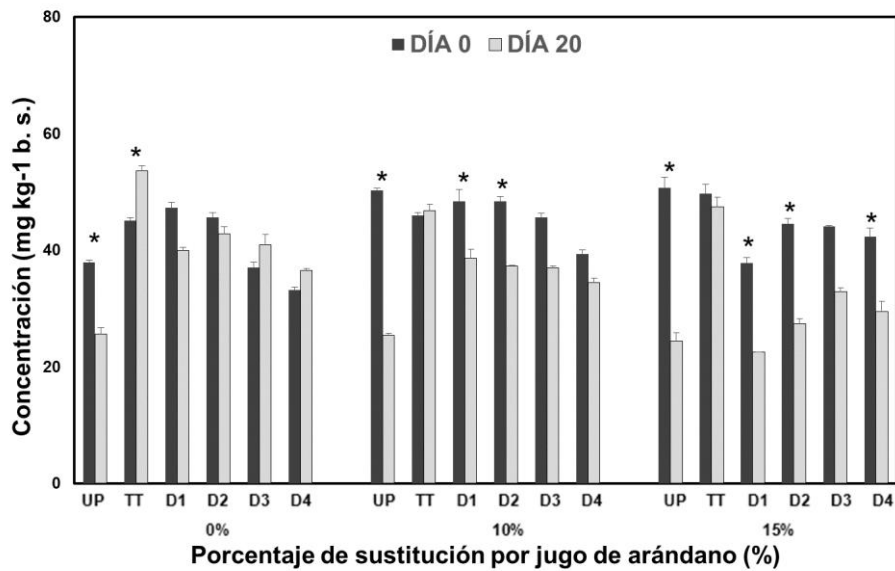


Figura 22. Efecto del almacenamiento sobre el contenido de hesperidina. *Diferencia significativa durante el almacenamiento con una $P < 0.05$. ^{UP} Sin proceso, ^{TT} Trat. Térmico, ^{D1} Dosis 1 (4.85 mJ·cm⁻²), ^{D2} Dosis 2 (6.14 mJ·cm⁻²), ^{D3} Dosis 3 (8.59 mJ·cm⁻²), ^{D4} Dosis 4 (13.41 mJ·cm⁻²).

El comportamiento del contenido de floridzina durante el almacenamiento se muestra en la Figura 23. TT y D2 a 0% ABS mostraron un ligero incremento al igual que D4 al 10% ABS. Mientras que la dosis más alta al 15% ABS tuvo un descenso de aproximadamente el 50% del contenido del día 0. Esto último pudo haberse debido a la hidrólisis de floridzina a floreína y glucosa, derivado de la energía suministrada por ambos tratamientos. Este resultado puede ser explicado sobre previas evidencias de que los ácidos fenólicos y sus formas conjugadas pueden convertirse en otro tipo de moléculas durante los diferentes procesos fisiológicos y tecnológicos (Khan y Ungar, 1986).

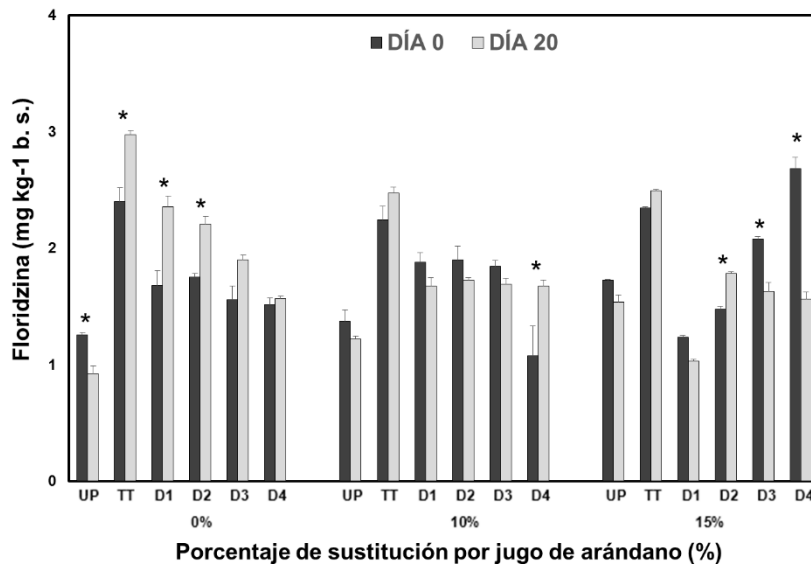


Figura 23. Efecto del almacenamiento sobre el contenido de floridzina. *Diferencia significativa durante el almacenamiento con una $P < 0.05$. UP Sin proceso, TT Trat. Térmico, D¹ Dosis 1 (4.85 mJ·cm⁻²), D² Dosis 2 (6.14 mJ·cm⁻²), D³ Dosis 3 (8.59 mJ·cm⁻²), D⁴ Dosis 4 (13.41 mJ·cm⁻²).

No se observó una tendencia definida del contenido de ácido gálico (Figura 24). Sin embargo, para el 0% ABS se presentaron ligeros incrementos en las dosis iniciales. Mientras que los tratamientos de radiación al 10% ABS el comportamiento de las muestras fue el más estable. En las UP se redujo significativamente ($P < 0.05$) en todos los ABS evaluados. Esto puede ser atribuido a que el ácido gálico figura como uno de los sustratos de microorganismos o enzimas. De manera similar, en los TT se redujo en un tercio

de su contenido durante el almacenamiento al 10 y 15% ABS. Esto podría deberse a que la naturaleza del ácido gálico aportada por el jugo de arándano es más sensible a las altas temperaturas. Además, se ha informado que este polifenol es uno de los sustratos afines de la polifenoloxidasasa (Fang *et al.* 2007).

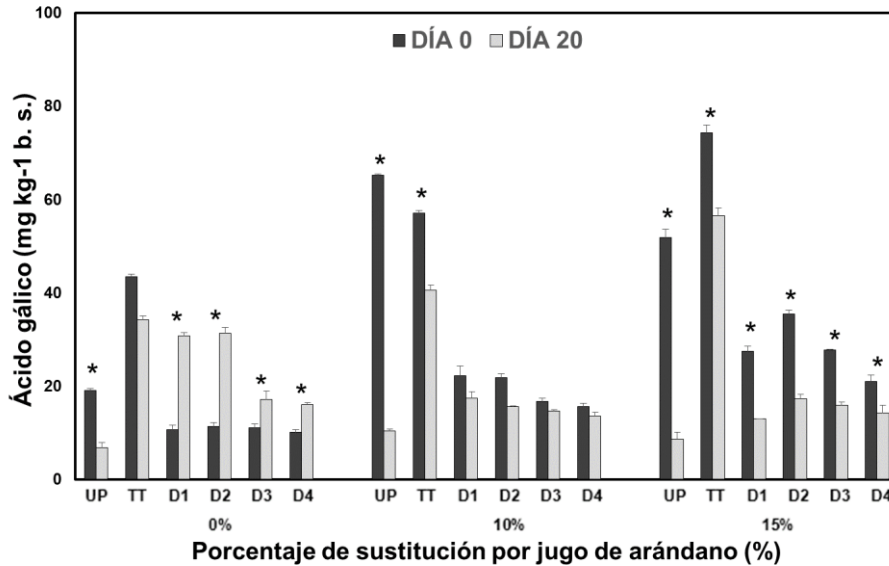


Figura 24. Efecto del almacenamiento sobre el contenido de ácido gálico. *Diferencia significativa durante el almacenamiento con una $P < 0.05$. ^{UP} Sin proceso, ^{TT} Trat. Térmico, ^{D1} Dosis 1 ($4.85 \text{ mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$), ^{D2} Dosis 2 ($6.14 \text{ mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$), ^{D3} Dosis 3 ($8.59 \text{ mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$), ^{D4} Dosis 4 ($13.41 \text{ mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$).

Respecto al contenido del ácido gálico, 0 y 15% ABS mostraron la mayor estabilidad durante el almacenamiento. Mientras que al 10% ABS todos los tratamientos mostraron descensos en este compuesto. El ácido gálico es aportado por el jugo de manzana, lo que podría explicar su estabilidad al 0%. Por otro lado, las UP redujeron su contenido en un 84.20, 15.09 y 33.38% respecto al día 0. Esto podría relacionarse a algunos hallazgos sobre que algunos polifenoles se unen a la polifenoloxidasasa y muestran efectos inhibidores, donde el ácido gálico ha mostrado su capacidad como inhibidor de la actividad de esta enzima (Zhou *et al.*, 2017).

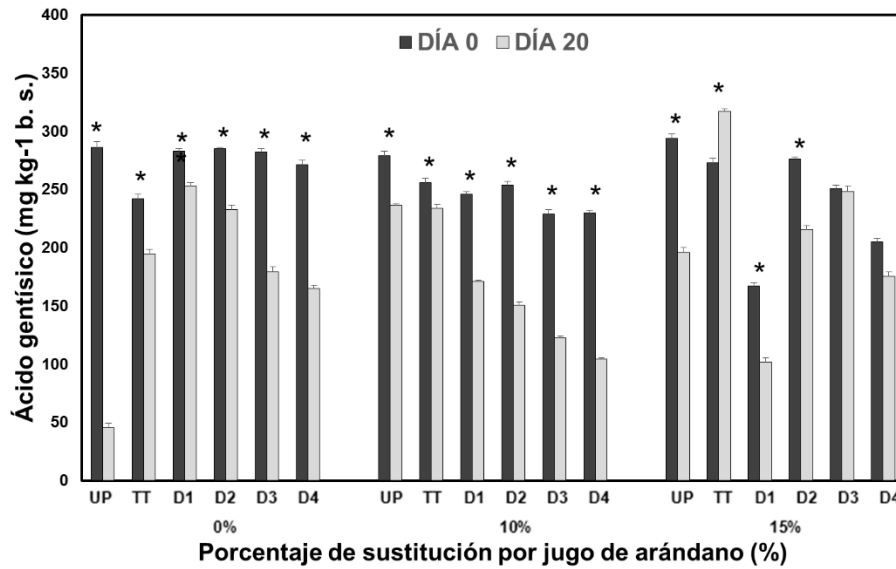


Figura 25. Efecto del almacenamiento sobre el contenido de ácido gentísico. *Diferencia significativa durante el almacenamiento con una $P < 0.05$. ^{UP} Sin proceso, ^{TT} Trat. Térmico, ^{D1} Dosis 1 ($4.85 \text{ mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$), ^{D2} Dosis 2 ($6.14 \text{ mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$), ^{D3} Dosis 3 ($8.59 \text{ mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$), ^{D4} Dosis 4 ($13.41 \text{ mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$).

7.3. Etapa 2. Evaluación del efecto individual y combinado de la tecnología de radiación UV-C y tratamiento térmico moderado sobre las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de las mezclas de jugo de manzana con arándano azul.

7.3.1. Efecto sobre la carga microbiana

El efecto individual y combinado de la radiación UV-C y tratamientos térmicos moderados sobre la calidad microbiana de las mezclas de jugo de manzana con arándano azul en el almacenamiento (0, 10, 20 y 30 días) se muestran en la Tabla 9. En donde las muestras sin tratar presentaron un rango de crecimiento de $3.74 - 7.16$, $3.04 - 6.35$, $3.79 - 7.70 \text{ Log UFC } 100 \text{ mL}^{-1}$, para TAM, TAP y YM respectivamente durante el periodo evaluado y no mostrando crecimiento de TC en ese lapso. No se observó crecimiento en TT, MT y CT hasta el día 30 para los 4 grupos microbianos evaluados (TAM, TAP, YM y TC). Al igual que los tratamientos de radiación UV-C hasta el día 20. Sin embargo, se presentó crecimiento de TAM y YM al día 30 para UV-C. Esto coincide de manera similar a lo obtenido en las etapas evaluadas anteriormente (etapa 1), la supervivencia

de este grupo microbiano (YM), una de las áreas de oportunidad de la tecnología de radiación UV-C, cubriendo esta limitación mediante el empleo de tecnologías, donde los CT mostraron su eficacia al igual que la pasteurización térmica convencional al igual a lo reportado por Ferrario *et al.* (2018) en la inactivación de YM en una mezcla de jugo de zanahoria y naranja adicionada con Yerba Mate (*Ilex paraguariensis*) irradiada con UV-C y asistida con calor suave (50 °C) hasta un periodo de 24 días. Aunado a esto, estudios recientes han reportado mayores daños a las células de levaduras como *S. cerevisiae* cuando se combinan las tecnologías UV y tratamientos térmicos a menor temperatura que cuando son empleados de manera individual. La combinación de estas tecnologías provoca a nivel celular la coagulación del contenido interno, lumen desorganizado y restos celulares (García-Carrillo *et al.*, 2018). Mientras que el efecto mostrado por UV-C hasta el día 20 en TAM, TAP y YM puede ser atribuida a la baja carga microbiana inicial. El crecimiento de YM y TAM después del día 30 en almacenamiento refrigerado (5 ± 1 °C) también fue reportado por Feng *et al.* (2013) en jugo de sandía irradiado, reportando que a mayores dosis menor incremento de microorganismos en el almacenamiento en comparación a las muestras sin tratar. Esto último coincide con lo reportado por Tran y Farid (2004) en la reducción de YM en jugo de naranja irradiado. Con base a lo anterior, un gran número de estudios ha reportado que se requieren dosis muy altas para la inactivación completa de YM, por ejemplo. Marquenie *et al.* (2002) requirieron $0.5\text{-}1.0 \text{ J}\cdot\text{cm}^{-2}$ para la inactivación de estos microorganismos en fresas y cerezas. En otros estudios, como el de Tran y Farid (2004) declararon que existe un máximo de reducción de 3 log de bacterias aeróbicas y hongos y levaduras al aplicar una dosis de luz ultravioleta de $12\text{-}147.6 \text{ mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$, aunque esto es dependiente del sistema de UV empleado.

Además, debido a que el jugo de manzana (componente mayoritario de las mezclas) es un producto con bajo pH, YM son microorganismos capaces de sobrevivir, por lo que se encuentran deteriorando esta matriz de manera predominante (Guerrero-Beltrán y Barbosa-Cánovas, 2005).

Tabla 9. Efecto del procesamiento individual y combinado (radiación UV-C y tratamiento térmico moderado) sobre las propiedades microbiológicas de las mezclas de jugo de manzana y arándano azul.

Días	PT	TAM ¹	TAP ²	YM ³	TC ⁴
		<i>Log CFU 100 mL⁻¹</i>			
0	UP	3.74 ± 0.06	3.04 ± 0.06	3.79 ± 0.01	0
	TT	0	0	0	0
	MT	0	0	0	0
	CT	0	0	0	0
	UV-C	0	0	0	0
10	UP	5.38 ± 0.05	4.08 ± 0.05	4.50 ± 0.03	0
	TT	0	0	0	0
	MT	0	0	0	0
	CT	0	0	0	0
	UV-C	0	0	0	0
20	UP	6.65 ± 0.03	5.95 ± 0.01	6.59 ± 0.02	0
	TT	0	0	0	0
	MT	0	0	0	0
	CT	0	0	0	0
	UV-C	0	0	0	0
30	UP	7.16 ± 0.01	6.35 ± 0.04	7.70 ± 0.03	0
	TT	0	0	0	0
	MT	0	0	0	0
	CT	0	0	0	0
	UV-C	5.50 ± 0.02	0	5.90 ± 0.01	0

ND No detectado; ¹Mesófilos aerobios totales; ²Psicrófilos aerobios totales; ³Hongos y Levaduras; ⁴Coliformes totales. ^{UP} Sin proceso, ^{TT} Tratamiento térmico, ^{MT} Tratamiento térmico moderado, ^{CT} Tratamientos combinados (UV + MT) ^{UV-C} Tratamiento UV-C (6.14 mJ·cm⁻²).

7.3.2. Cambios durante el almacenamiento de los parámetros de pH, TSS y color

La Tabla 10 muestra el ANOVA resumido de las variables en estudio de la etapa 2 (Los ANOVAS individuales se muestran en el Apéndice B), que comprende la evaluación del efecto individual y combinado de la tecnología de radiación UV-C con tratamientos térmicos moderados. Estos fueron comparados contra la pasteurización térmica convencional, sobre las propiedades fisicoquímicas de las mezclas de jugo de manzana con arándano azul en el almacenamiento (0, 10, 20 y 30 días). En donde se puede ver claramente el efecto significativo de la



interacción del tiempo y el tipo de procesamiento ($P < 0.05$), resultados esperados debido a la variación de condiciones a las que se sujetaron las muestras. Para efectos de este apartado se analizaron por separado los efectos lineales, para observar el efecto del procesamiento en cada uno de los días establecidos y el comportamiento de cada proceso en el periodo en estudio.

Tabla 10. Análisis de varianza de los efectos de las variables de procesamiento y almacenamiento sobre las propiedades fisicoquímicas de las mezclas procesadas de manzana con arándano.

Fuente	GL	pH	TSS	Color			AA	TP	TF	TA
				<i>L</i> *	<i>a</i> *	<i>b</i> *				
PT	4	0.0078*	1.4427*	28.55*	5.60*	66.03*	139.1*	824.4*	255.80*	28204*
Tiempo	3	0.1918*	0.0903	50.29*	7.18*	196.51*	23632*	6626.8*	225.53*	50434*
PT*Tiempo	12	0.0163*	0.5084	55.96*	12.40*	350.16*	248.1*	1183.1*	330.68*	70031*
Error	20	0.001	1.0183	36.83	4.96	100.69	58.5	127.7	27.28	2844

*Indican diferencias significativas mediante un ANOVA de acuerdo a la prueba de Tukey ($P < 0.05$). PT; Tipo de procesamiento; AA, Actividad Antioxidante; TP, Polifenoles Totales; TF, Flavonoides Totales; TA, Antocianinas Totales.

El efecto del procesamiento sobre el pH de las mezclas de jugo de manzana con arándano azul durante el almacenamiento se muestra en la Figura 26. En donde se puede observar de manera general un descenso en este parámetro en todos los tipos de procesamiento evaluados (UP, TT, MT, CT y UVC) a partir del día 10 (Tabla 11). La disminución del pH durante el almacenamiento puede ser atribuida a la liberación de ácidos orgánicos cuando las muestras se les aplica energía, o de manera contraria, cuando no son sujetas a ninguna transformación, la principal forma en la que ocurre un descenso de pH es por la presencia de microorganismos, cuyos productos metabólicos, la mayoría ácidos, provocan este fenómeno. Esto concuerda con lo reportado por Unluturk y Atilgan (2015), en su estudio sobre jugo de uva blanca (*V. vinífera*) irradiado donde reportaron que los cambios en pH fueron más pronunciados en las muestras sin tratar que las irradiadas. Esto lo atribuyeron al incremento de la acidez provocada por la actividad metabólica de los microorganismos durante el periodo de almacenamiento. De manera similar Feng *et al.* (2013), quienes irradiaron jugo de sandía observaron un descenso del pH en el almacenamiento a los 30 días de las muestras sin tratar, relacionándolo con el crecimiento de las bacterias aerobias y hongos y levaduras. Por otro lado, Nualkaekul y Charalampopoulos (2011) los cuales monitorearon el crecimiento de bacterias acidolacticas y acidoacéticas concluyeron que a medida que estas se incrementaban el pH de los jugos estudiados se reducía; sugiriendo que dichos microorganismos metabolizaban las fuentes de energía disponibles.

Tabla 11. Efecto del procesamiento sobre el pH de las mezclas durante el almacenamiento.

Tratamiento	Tiempo de almacenamiento (días)			
	0	10	20	30
UP	3.62 ± 0.002 ^{a,2}	3.60 ± 0.000 ^{b,1}	3.54 ± 0.009 ^{c,1}	3.41 ± 0.007 ^{d,2}
TT	3.63 ± 0.005 ^{a,1,2}	3.62 ± 0.005 ^{a,1}	3.55 ± 0.009 ^{b,1}	3.50 ± 0.000 ^{c,1}
MT	3.63 ± 0.005 ^{a,1,2}	3.61 ± 0.007 ^{b,1}	3.48 ± 0.002 ^{c,3}	3.47 ± 0.002 ^{c,1}
CT	3.63 ± 0.005 ^{a,1,2}	3.61 ± 0.002 ^{a,1}	3.52 ± 0.016 ^{b,1,2}	3.50 ± 0.160 ^{b,1}
UV-C	3.63 ± 0.005 ^{a,1}	3.61 ± 0.007 ^{b,1}	3.49 ± 0.002 ^{c,2,3}	3.42 ± 0.002 ^{d,2}

^{a,b,c} Valores seguidos por la misma letra en la misma fila no son significativamente diferentes ($P < 0.05$); ^{1,2,3} Valores seguidos por el mismo número en la misma columna no son significativamente diferentes ($P < 0.05$); ^{UP} Sin proceso, ^{TT} Tratamiento térmico, ^{MT} Tratamiento térmico moderado, ^{CT} Tratamientos combinados (UV + MT) ^{UV-C} Tratamiento UV-C (6.14 mJ·cm⁻²).

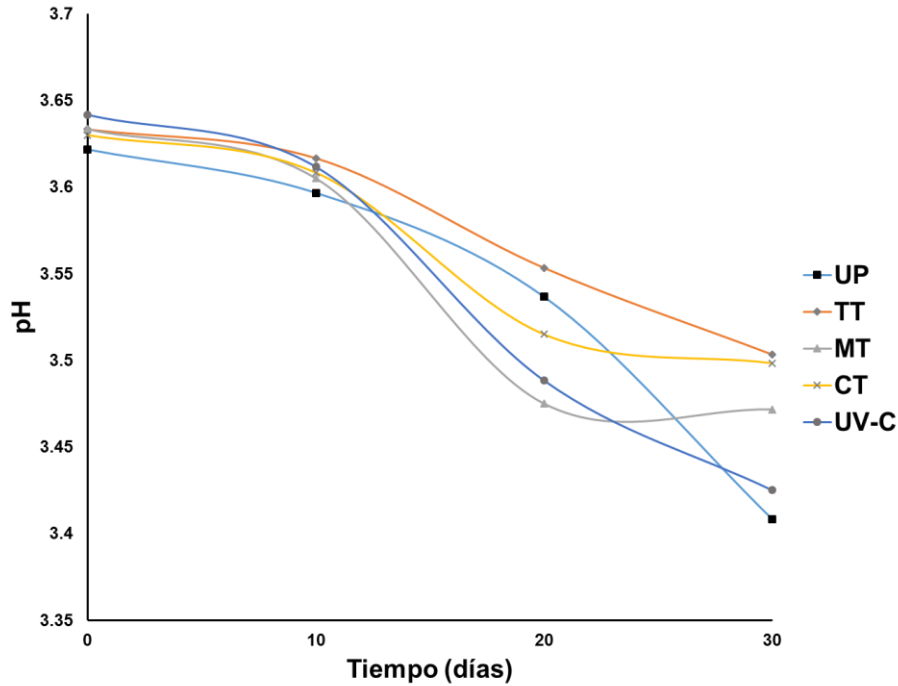


Figura 26. Efecto del tipo de procesamiento sobre el pH de las mezclas de jugo de manzana con arándano azul durante el almacenamiento. ^{UP} Sin proceso, ^{TT} Tratamiento térmico, ^{MT} Tratamiento térmico moderado, ^{CT} Tratamientos combinados (UV + MT) ^{UV-C} Tratamiento UV-C (6.14 mJ·cm⁻²).

Los cambios derivados por el tipo de procesamiento sobre el contenido de sólidos solubles de las mezclas de jugo de manzana con arándano azul durante el periodo evaluado se muestran en la Figura 27. El contenido total de sólidos solubles de las mezclas procesadas bajo cualquier tecnología (TT, MT, TC y UV-C), incluso sin procesar (UP), se mantuvo constante durante el almacenamiento. Esto podría significar que los cambios derivados del crecimiento de microorganismos no fueron lo suficientemente grandes para provocar un cambio en TSS. Varios estudios han reportado que los tratamientos de radiación no causan cambios en TSS en jugo de manzana a 2.66- 53.1 J·cm⁻² (Noci *et al.* 2008), néctar de manzana a 14 mJ·cm⁻² (Tandon *et al.* 2003) o 2.66-53.1 mJ·cm⁻² (Choi *et al.* 2005), Jugo de naranja a 12-48 kJ·L⁻¹ (Pala y Toklucu, 2013), Jugo de uva a 40 mJ·cm⁻² (Kaya y Unluturk, 2015), Jugo de piña a 10.76 mJ·cm⁻² (Shamsudin *et al.*, 2014) y jugo de granada a 12-62 J·mL⁻¹ (Pala y Toclucu, 2011).

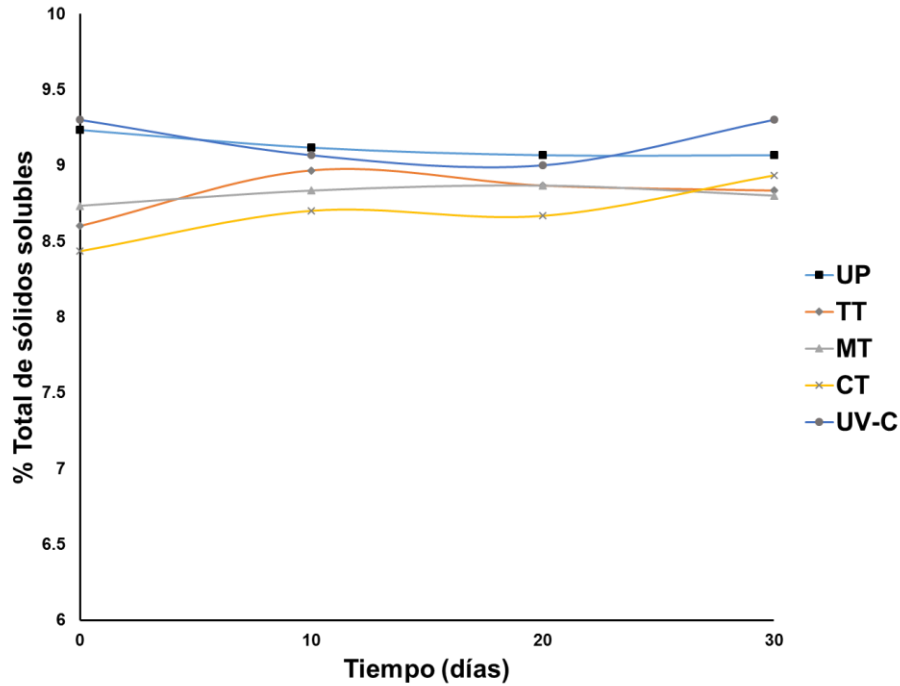


Figura 27. Efecto del tipo de procesamiento sobre el contenido de sólidos solubles totales de las mezclas de jugo de manzana con arándano azul durante el almacenamiento. ^{UP} Sin proceso, ^{TT} Tratamiento térmico, ^{MT} Tratamiento térmico moderado, ^{CT} Tratamientos combinados (UV + MT) ^{UV-C} Tratamiento UV-C (6.14 mJ·cm⁻²).

El comportamiento de la luminosidad de las mezclas durante el almacenamiento procesadas mediante radiación UV-C y tratamiento térmico y tratamientos combinados, se muestra en la Figura 28. Se puede observar que la mezcla procesada en los diferentes tratamientos, muestran ligero decrecimiento en los valores de luminosidad con respecto al tiempo de almacenamiento, sin llegar a ser un cambio significativo ($P > 0.05$). El incremento en el valor de L^* hace al jugo más brillante y transparente debido al deterioro de compuestos de color contenidos inicialmente en el jugo. En contraste Santhirasegaram, *et al.* (2015) reportan que tras la exposición a UV-C y la pasteurización térmica, derivó en un incremento en la luminosidad (L^*).

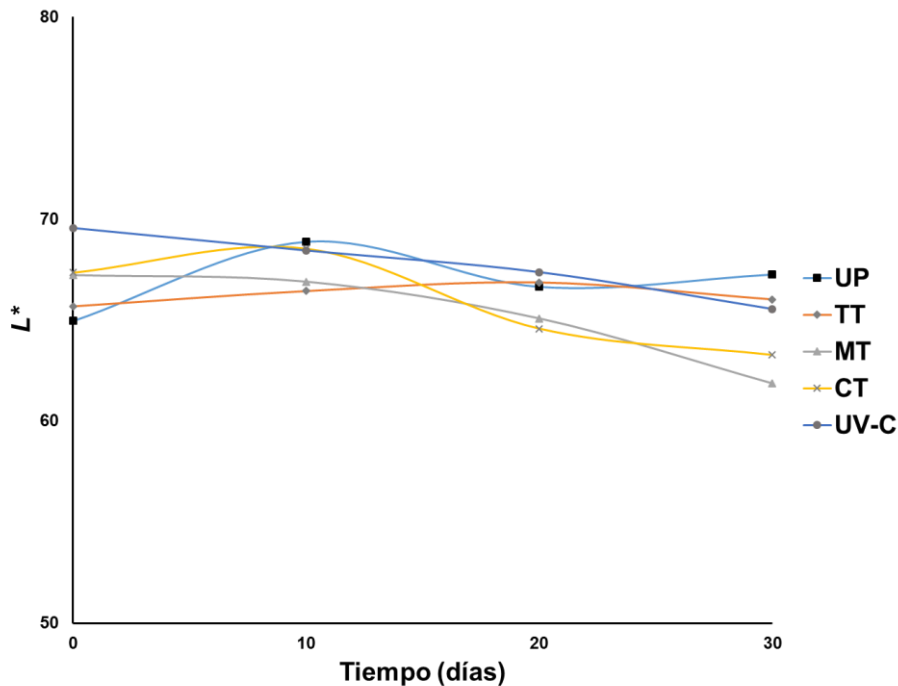


Figura 28. Efecto del tipo de procesamiento sobre el parámetro L^* de las mezclas de jugo de manzana con arándano azul durante el almacenamiento. ^{UP} Sin proceso, ^{TT} Tratamiento térmico, ^{MT} Tratamiento térmico moderado, ^{CT} Tratamientos combinados (UV + MT) ^{UV-C} Tratamiento UV-C (6.14 mJ·cm⁻²).

El efecto del procesamiento sobre el parámetro a^* durante el almacenamiento se muestra en la Figura 29. Los resultados obtenidos se inclinan a las tonalidades rojas ($+a^*$) por el hecho de que la JB seleccionada corresponde al máximo porcentaje de sustitución determinado en la primera etapa. El comportamiento del color rojo en la mezcla presentó una tendencia al aumento para los tratamientos MT, CT y UV-C. Las muestras sin procesar (UP) presentaron un comportamiento variante durante el almacenamiento. Estas tendencias al incremento pueden ser atribuidos al descenso del pH (Figura 26) que presentaron el UP, donde las antocianinas, encargadas de impartir el color rojo, son más estables. Mientras que para TT el contenido se mantuvo constante. Los descensos del parámetro a^* pueden ser atribuidos a la pérdida de antocianinas y esto generalmente es atribuido a la actividad enzimática y crecimiento de microorganismos. Esto último podría explicar el comportamiento de las muestras que no recibieron ningún tratamiento (UP) y por ende, se

convirtieron en un medio óptimo para la proliferación de microorganismos (Tabla 9). Caminiti, *et al.* (2011), Zhang, *et al.* (2011) e Ibarz, *et al.* (2005) reportaron que debido a las reacciones de fotodegradación (correspondientes al tiempo de exposición de UV-C) se puede desencadenar el oscurecimiento del jugo, provocando además cambios de color y pérdida de nutrientes.

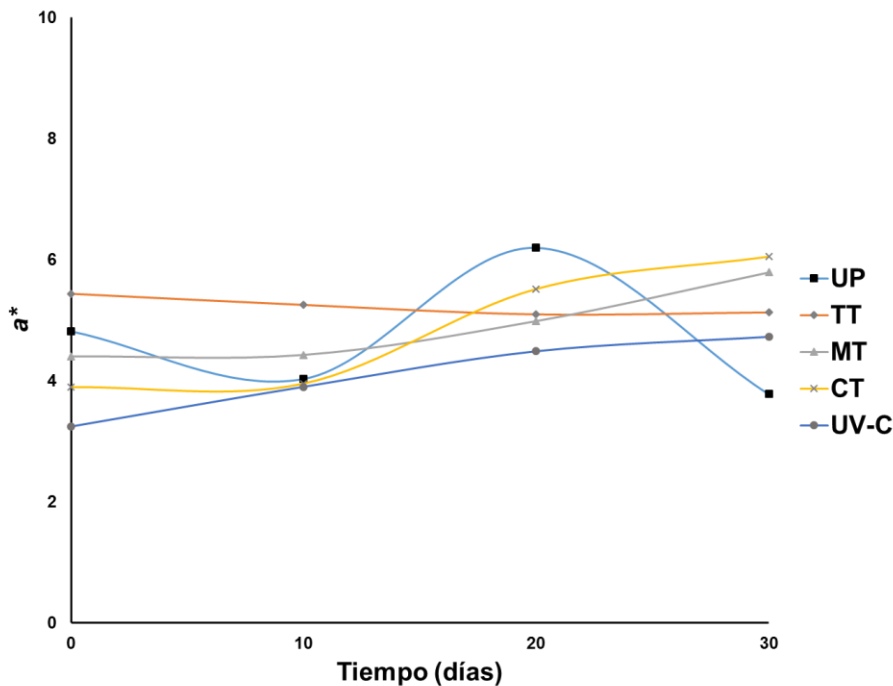


Figura 29. Efecto del tipo de procesamiento sobre el parámetro a^* de las mezclas de jugo de manzana con arándano azul durante el almacenamiento. ^{UP} Sin proceso, ^{TT} Tratamiento térmico, ^{MT} Tratamiento térmico moderado, ^{CT} Tratamientos combinados (UV + MT) ^{UV-C} Tratamiento UV-C (6.14 mJ·cm⁻²).

Los cambios en el parámetro b^* derivados del procesamiento durante el almacenamiento se ilustran en la Figura 30. El parámetro hace referencia a las tonalidades azules- amarillas por lo que los resultados no muestran de manera directa con el resto de las respuestas obtenidas. Sin embargo, puede observarse que MT, CT y UV-C presentan un ligero incremento, mientras que el TT, se mantiene constante a los diferentes tiempos de almacenamiento. En contraste las muestras UP fueron las que presentaron la mayor inestabilidad. Este parámetro podría relacionarse con la pérdida de color al inclinarse a los valores positivos, debidas a la reacción de los azúcares reductores con los aminoácidos,

caramelización de azúcares, actividad enzimática, descomposición de la vitamina C y destrucción de pigmentos (Damasceno *et al.* 2008).

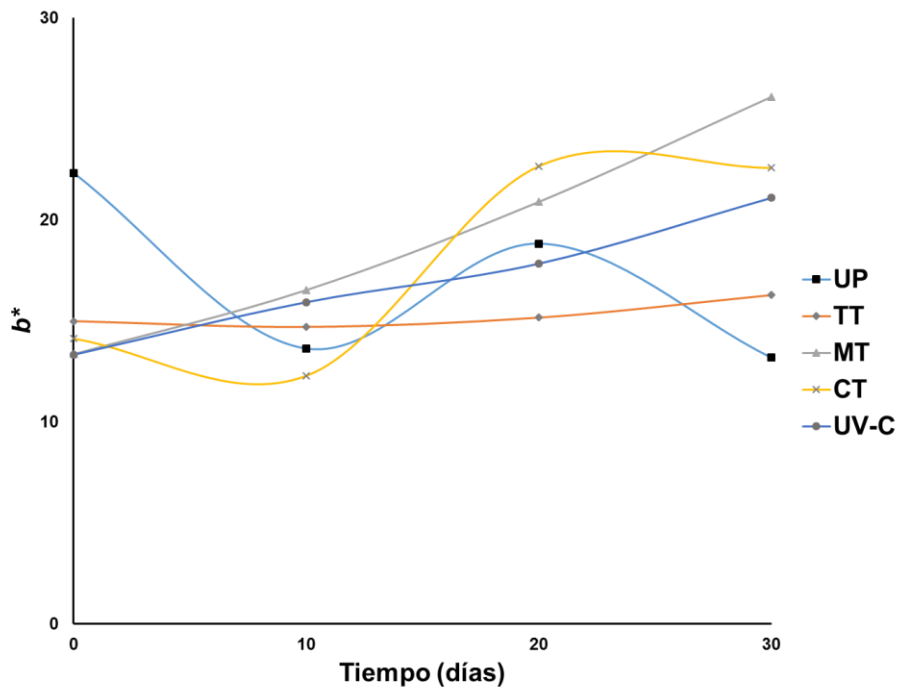


Figura 30. Efecto del tipo de procesamiento sobre el parámetro b^* de las mezclas de jugo de manzana con arándano azul durante el almacenamiento. ^{UP} Sin proceso, ^{TT} Tratamiento térmico, ^{MT} Tratamiento térmico moderado, ^{CT} Tratamientos combinados (UV + MT) ^{UV-C} Tratamiento UV-C ($6.14 \text{ mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$).

7.3.3. Cambios durante el almacenamiento del contenido de actividad antioxidante

Los cambios en el almacenamiento sobre la actividad antioxidante se muestran en la Tabla 12. Donde el comportamiento de todos los tratamientos UP, TT, MT, CT y UV-C a 0, 10, 20 y 30 días de almacenamiento, presentaron un incremento a los 10 días, mostrando una tendencia asíntota con un incremento en el tiempo de almacenamiento (Figura 31). Chia, *et al.* (2012) mostraron en su estudio que, durante un almacenamiento de 13 semanas a $4 \text{ }^\circ\text{C}$, muestras de jugo de piña irradiadas con UV-C a una dosis de $53.42 \text{ mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$ mantuvieron una mayor cantidad de compuestos fenólicos con actividad antioxidante.

Tabla 12. Efecto del procesamiento sobre el contenido de actividad antioxidante de las mezclas durante el almacenamiento.

Tratamiento	Tiempo de almacenamiento (días)			
	0	10	20	30
UP	27.85 ± 0.75 ^{b,2}	91.56 ± 0.83 ^{a,1}	94.05 ± 2.21 ^{a,1}	94.31 ± 2.30 ^{a,1}
TT	36.25 ± 0.97 ^{c,1}	95.23 ± 0.38 ^{a,1}	90.1 ± 1.21 ^{b,1,2}	89.93 ± 1.25 ^{b,1,2}
MT	30.68 ± 0.68 ^{b,2}	88.41 ± 2.40 ^{a,1}	86.57 ± 2.85 ^{a,2}	85.62 ± 1.89 ^{a,2}
CT	34.51 ± 1.23 ^{b,1}	89.54 ± 2.98 ^{a,1}	85.05 ± 0.69 ^{a,2}	86.56 ± 2.50 ^{a,1,2}
UV-C	37.47 ± 0.48 ^{b,1}	90.71 ± 0.53 ^{a,1}	86.20 ± 0.81 ^{a,2}	87.66 ± 2.59 ^{a,1,2}

^{a,b,c} Valores seguidos por la misma letra en la misma fila no son significativamente diferentes ($P < 0.05$); ^{1,2,3} Valores seguidos por el mismo número en la misma columna no son significativamente diferentes ($P < 0.05$); ^{UP} Sin proceso, ^{TT} Tratamiento térmico, ^{MT} Tratamiento térmico moderado, ^{CT} Tratamientos combinados (UV + MT) ^{UV-C} Tratamiento UV-C (6.14 mJ·cm⁻²).

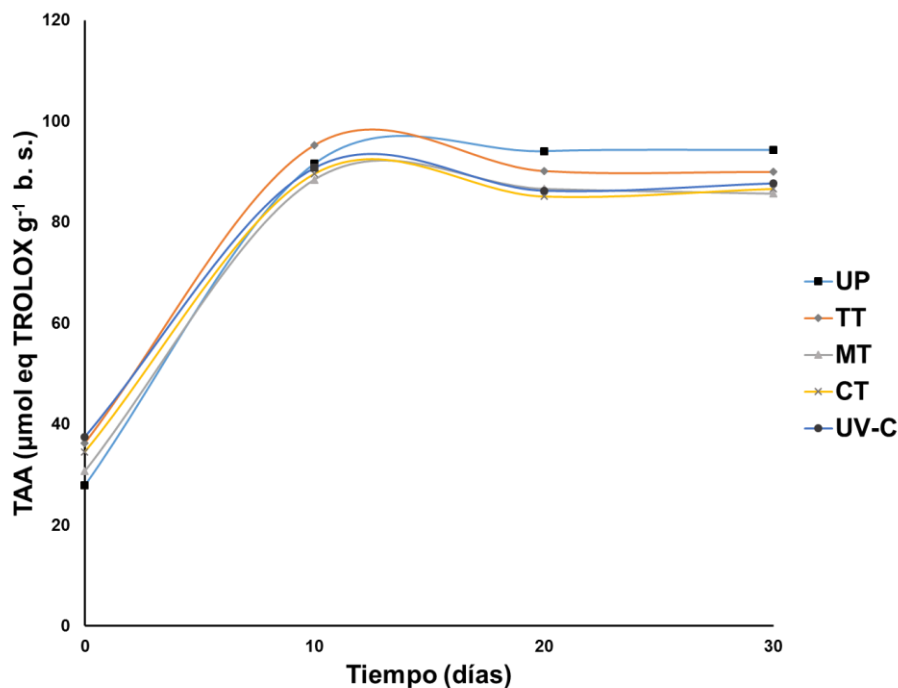


Figura 31. Efecto del tipo de procesamiento sobre el contenido de actividad antioxidante de las mezclas de jugo de manzana con arándano azul durante el almacenamiento. ^{UP} Sin proceso, ^{TT} Tratamiento térmico, ^{MT} Tratamiento térmico moderado, ^{CT} Tratamientos combinados (UV + MT) ^{UV-C} Tratamiento UV-C (6.14 mJ·cm⁻²).

7.3.4. Cambios durante el almacenamiento del contenido de polifenoles totales

Los efectos del procesamiento en el contenido de TP durante el almacenamiento se muestran en la Tabla 13. El procesamiento (TT, MT, TC y UV-C) no causó cambios ($P < 0.05$) en el contenido de TP de las muestras en el día 0. Las JB procesadas para los diferentes tratamientos, presentaron un incremento en el contenido de polifenoles a los 10 días de almacenamiento, mostrando una tendencia asintótica a tiempos mayores de almacenamiento, con excepción de los tratamientos de MT y UVC, que presentan una tendencia inestable. A los 20 días de almacenamiento, el TT, CT y UV-C disminuyeron en un 11.52 ± 2.46 , 16.45 ± 0.65 y $23.10 \pm 2.06\%$ respectivamente comparado con UP. Finalmente los cuatro tipos de procesamiento causaron reducciones similares a los 30 días ($P < 0.05$) equivalentes al $25.10 \pm 0.64\%$ aproximadamente. Los cambios ligeros provocados por el procesamiento pueden ser atribuidos a la energía suministrada a las muestras, sin embargo, es importante resaltar que los incrementos observados en las muestras sin tratar son debidos principalmente a la degradación de compuestos poliméricos a unidades más sencillas, lo que provoca los cambios más contrastantes (Figura 32). La estabilidad durante el almacenamiento de las muestras procesadas térmicamente e irradiadas por UV-C fue reportada por Chia *et al.* (2012) en jugo de piña, cuyo contenido de fenólicos se mantuvo estable durante 13 semanas de almacenamiento ($4\text{ }^{\circ}\text{C}$) para ambos tratamientos.

Tabla 13. Efecto del procesamiento sobre el contenido de polifenoles totales de las mezclas durante el almacenamiento.

Tratamiento	Tiempo de almacenamiento (días)			
	0	10	20	30
UP	$48.35 \pm 2.72^{c,1}$	$74.40 \pm 4.10^{b,1}$	$84.68 \pm 3.56^{ab,1}$	$101.70 \pm 2.29^{a,1}$
TT	$47.95 \pm 0.45^{b,1}$	$70.58 \pm 2.21^{a,1,2}$	$74.88 \pm 1.07^{a,2}$	$74.04 \pm 0.50^{a,2}$
MT	$49.33 \pm 3.37^{b,1}$	$62.52 \pm 4.43^{b,2}$	$86.97 \pm 0.37^{a,1}$	$81.12 \pm 5.49^{a,2}$
CT	$46.18 \pm 2.17^{b,1}$	$68.01 \pm 0.21^{a,1,2}$	$70.74 \pm 2.43^{a,2,3}$	$71.76 \pm 1.93^{a,2}$
UV-C	$47.00 \pm 0.67^{c,1}$	$75.46 \pm 0.63^{a,1}$	$66.32 \pm 1.05^{b,3}$	$77.76 \pm 1.18^{a,2}$

^{a,b,c} Valores seguidos por la misma letra en la misma fila no son significativamente diferentes ($P < 0.05$)

^{1,2,3} Valores seguidos por el mismo número en la misma columna no son significativamente diferentes ($P < 0.05$). ^{UP} Sin proceso, ^{TT} Tratamiento térmico, ^{MT} Tratamiento térmico moderado, ^{CT} Tratamientos combinados (UV + MT) ^{UV-C} Tratamiento UV-C ($6.14\text{ mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$).

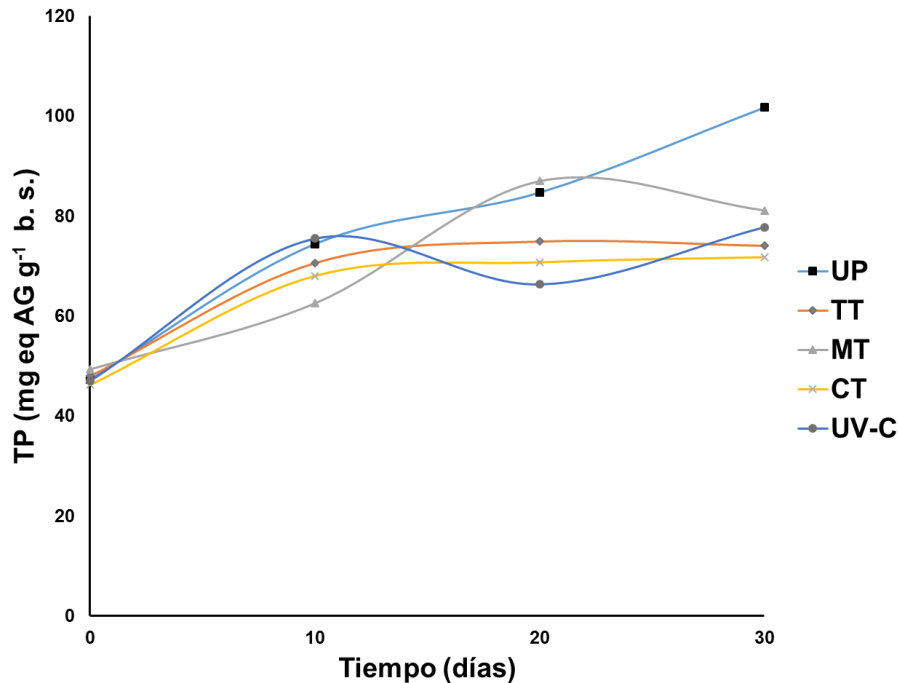


Figura 32. Efecto del tipo de procesamiento sobre el contenido de polifenoles totales de las mezclas de jugo de manzana con arándano azul durante el almacenamiento. ^{UP} Sin proceso, ^{TT} Tratamiento térmico, ^{MT} Tratamiento térmico moderado, ^{CT} Tratamientos combinados (UV + MT) ^{UV-C} Tratamiento UV-C (6.14 mJ·cm⁻²).

7.3.5. Cambios durante el almacenamiento del contenido de antocianinas totales

Los cambios derivados del procesamiento sobre el contenido total de antocianinas durante el almacenamiento se muestran en la Tabla 14. La evaluación inicial de TT indicó un descenso de $41.77 \pm 2.85\%$. Los tratamientos TT, MT y CT muestran una tendencia a mantenerse constante, siendo CT el procesamiento con mayor estabilidad. Por su parte Caminiti *et al.* (2011) reportaron una mayor retención del contenido de antocianinas en una mezcla de jugo de manzana con arándano rojo cuando son procesadas mediante la combinación de tecnologías térmicas que cuando son procesadas de forma individual. Por otro lado, UP y UV-C muestran comportamientos similares, un

descenso marcado al día 10 y después una tendencia al incremento (Figura 33). Al día 30, TT, MT y CT presentaron un contenido de TA estadísticamente igual. Los valores más bajos fueron presentados por TT antes y después del día 10. La degradación de antocianinas por efectos de la temperatura también ha sido reportada por Skrede *et al.* (2000) en jugo de arándano azul y Pala y Toklucu (2011) en jugo de granada. El comportamiento de UP y UV-C pueden estar relacionado con las disminuciones de pH en el almacenamiento, como se muestra en la Figura 26. Las antocianinas alcanzan su estabilidad a pH más ácidos (Kirca *et al.*, 2007).

Tabla 14. Efecto del procesamiento sobre el contenido de antocianinas totales de las mezclas durante el almacenamiento.

Tratamiento	Tiempo de almacenamiento (días)			
	0	10	20	30
UP	262.52 ± 3.59 ^{c,1}	156.37 ± 8.09 ^{d,2}	332.27 ± 16.70 ^{b,1}	400.15 ± 12.65 ^{a,1}
TT	152.82 ± 5.39 ^{b,2}	231.77 ± 1.52 ^{a,1}	223.58 ± 5.70 ^{a,2}	210.10 ± 10.75 ^{a,3}
MT	276.07 ± 12.17 ^{a,1}	215.02 ± 0.69 ^{b,1}	259.60 ± 15.82 ^{a,2}	242.79 ± 8.45 ^{ab,3}
CT	261.24 ± 14.27 ^{a,1}	236.62 ± 7.96 ^{a,1}	264.12 ± 3.68 ^{a,2}	254.79 ± 4.30 ^{a,3}
UV-C	243.89 ± 10.98 ^{b,1}	132.45 ± 19.63 ^{c,2}	263.91 ± 21.32 ^{ab,2}	336.59 ± 20.42 ^{a,2}

^{a,b,c} Valores seguidos por la misma letra en la misma fila no son significativamente diferentes (P<0.05); ^{1,2,3} Valores seguidos por el mismo número en la misma columna no son significativamente diferentes (P<0.05); ^{UP} Sin proceso, ^{TT} Tratamiento térmico, ^{MT} Tratamiento térmico moderado, ^{CT} Tratamientos combinados (UV + MT) ^{UV-C} Tratamiento UV-C (6.14 mJ·cm⁻²).

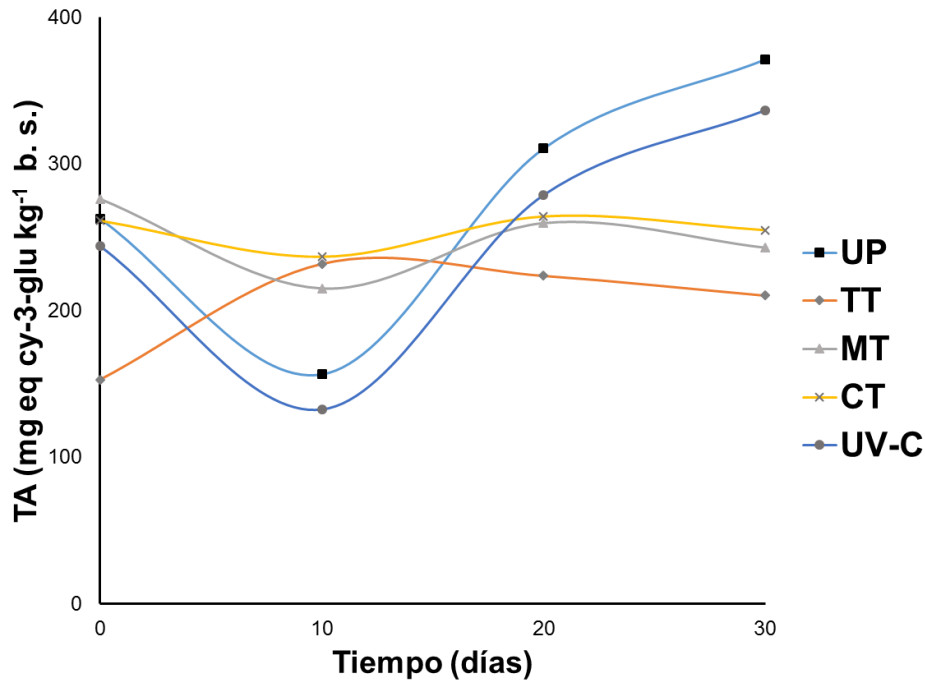


Figura 33. Efecto del tipo de procesamiento sobre el contenido de antocianinas totales de las mezclas de jugo de manzana con arándano azul durante el almacenamiento. ^{UP} Sin proceso, ^{TT} Tratamiento térmico, ^{MT} Tratamiento térmico moderado, ^{CT} Tratamientos combinados (UV + MT) ^{UV-C} Tratamiento UV-C (6.14 mJ·cm⁻²).

7.3.6. Cambios durante el almacenamiento del contenido de flavonoides totales

La Tabla 15 muestra el contenido de flavonoides totales presentes en las muestras sometidas a los diferentes procesamientos durante el almacenamiento. En donde se puede observar que a partir del día 10, TT, MT, CT y UV-C tienden a mantener un contenido constante. Las muestras UP incrementaron su valor al día 20 y 30 en un $78.27 \pm 1.12\%$. Estos incrementos pueden explicarse con el comportamiento del pH (Figura 26) en el almacenamiento de las muestras UP, factor que influye altamente en la estabilidad de los flavonoides, así mismo con el comportamiento de antocianinas totales (Figura 34), clasificadas dentro de este grupo (Kirca *et al.*, 2007). En condiciones naturales, la mayoría de los flavonoides se presentan como glucósidos unidos a la fracción de azúcar y son muy estables y solubles en agua y a pH de 3-5 (Srivastava y Gupta, 2009).

Tabla 15. Efecto del procesamiento sobre el contenido de flavonoides totales de las mezclas durante el almacenamiento.

Tratamiento	Tiempo de almacenamiento (días)			
	0	10	20	30
UP	17.50 ± 0.05 ^{b,1}	20.85 ± 1.42 ^{b,1,2}	31.22 ± 3.43 ^{a,1}	37.13 ± 1.25 ^{a,1}
TT	19.47 ± 0.61 ^{b,1}	23.57 ± 1.03 ^{a,1}	22.47 ± 0.05 ^{a,2}	22.30 ± 0.37 ^{a,2}
MT	18.27 ± 1.27 ^{a,1}	20.55 ± 0.73 ^{a,1,2}	20.40 ± 0.18 ^{a,2}	20.24 ± 0.68 ^{a,2}
CT	18.68 ± 1.43 ^{a,1}	21.19 ± 1.18 ^{a,1,2}	21.00 ± 1.03 ^{a,2}	21.12 ± 0.77 ^{a,2}
UV-C	17.89 ± 0.26 ^{b,1}	19.38 ± 0.08 ^{b,2}	20.46 ± 1.52 ^{ab,2}	22.83 ± 0.52 ^{a,2}

^{a,b,c} Valores seguidos por la misma letra en la misma fila no son significativamente diferentes ($P < 0.05$)
^{1,2,3} Valores seguidos por el mismo número en la misma columna no son significativamente diferentes ($P < 0.05$)
 UP Sin proceso, TT Tratamiento térmico, MT Tratamiento térmico moderado, CT Tratamientos combinados (UV + MT) UV-C Tratamiento UV-C (6.14 mJ·cm⁻²).

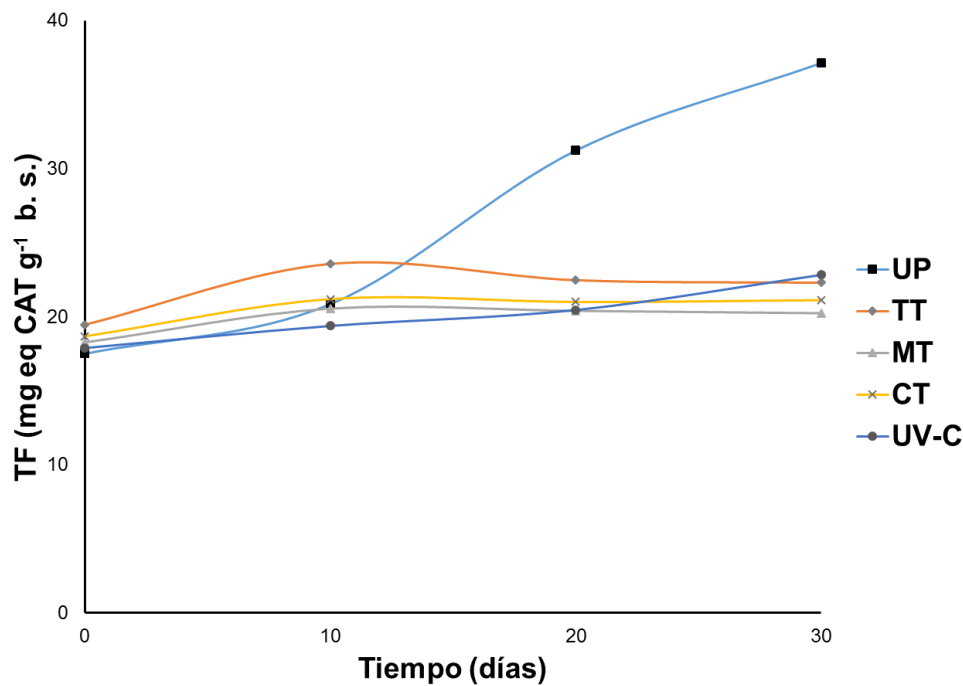


Figura 34. Efecto del tipo de procesamiento sobre el contenido de flavonoides totales de las mezclas de jugo de manzana con arándano azul durante el almacenamiento. UP Sin proceso, TT Tratamiento térmico, MT Tratamiento térmico moderado, CT Tratamientos combinados (UV + MT) UV-C Tratamiento UV-C (6.14 mJ·cm⁻²).

7.3.7. Cambios durante el almacenamiento del contenido de polifenoles individuales

La cuantificación inmediata de polifenoles individuales a las muestras procesadas se muestra en la Tabla 16. El contenido de ácido gálico se incrementó 11 veces después de ser procesado térmicamente (TT), cambios similares fueron reportados en la primera etapa de este estudio. Respecto al ácido clorogénico, se puede observar que el procesamiento, causó una disminución, sin llegar a ser significativa, excepto para el CT, donde se observa que el valor del ácido clorogénico disminuyó ($P < 0.05$) en un $12.61 \pm 2.36\%$. No se detectaron cambios en el contenido de ácido vanílico. Mientras que el contenido de ácido cafeico, TT causó una disminución ($P < 0.05$) de un $16.77 \pm 2.06\%$ comparado con UP. Se observó además que el CT incrementó en un $18.99 \pm 0.87\%$ el contenido de ácido cafeico, comparado con la mezcla sin procesamiento (UP). El contenido de epicatequina en las mezcla procesada por CT y UV-C fue afectada significativamente ($P < 0.05$) en un $42.54 \pm 3.21\%$. Esto, puede atribuirse a reacciones de oxidación, epimerización ó polimerización, influenciadas por la temperatura, el pH del sistema o la disponibilidad de oxígeno (Ananingsih *et al.*, 2013).

Tabla 16. Efecto del tipo de procesamiento sobre el contenido de polifenoles individuales en el día 0.

Tratamiento	Polifenoles individuales (mg·kg ⁻¹ b.s.)				
	Ácido gálico	Ácido clorogénico	Ácido vanílico	Ácido cafeico	Epicatequina
UP	9.02 ± 0.11 ^c	93.27 ± 0.73 ^a	7.96 ± 0.19 ^a	1.89 ± 0.04 ^b	15.66 ± 0.01 ^a
TT	110.80 ± 4.46 ^a	86.46 ± 1.09 ^{ab}	8.27 ± 0.50 ^a	1.57 ± 0.07 ^c	16.16 ± 0.25 ^a
MT	15.80 ± 0.43 ^{bc}	87.31 ± 2.42 ^{ab}	7.33 ± 0.63 ^a	1.74 ± 0.02 ^{bc}	13.96 ± 1.51 ^a
CT	17.30 ± 0.09 ^b	81.52 ± 2.84 ^b	7.50 ± 0.57 ^a	2.24 ± 0.06 ^a	10.13 ± 0.72 ^b
UV-C	10.72 ± 0.19 ^{bc}	86.56 ± 1.73 ^{ab}	7.44 ± 0.51 ^a	1.91 ± 0.06 ^b	7.87 ± 0.30 ^b

^{a,b,c} Valores seguidos de la misma letra en la misma columna no son significativamente diferentes ($P < 0.05$); ^{UP} Sin proceso, ^{TT} Tratamiento térmico, ^{MT} Tratamiento térmico moderado, ^{CT} Tratamientos combinados (UV + MT) ^{UV-C} Tratamiento UV-C (6.14 mJ·cm⁻²).



7.4. Evaluación Sensorial

Acorde a los lineamientos establecidos para la prueba triangular en la norma UNI ISO 4120 para 50 evaluadores, el número de respuestas correctas debe ser al menos 26 con un 95% de confianza, de modo que el panel pueda detectar una diferencia entre dos muestras. En el presente experimento, solo 23 jueces identificaron la muestra "diferente" en las muestras de UV-C y TT evaluadas, por lo que número de respuestas correctas es insuficiente para respaldar la conclusión de que existe una diferencia estadísticamente significativa ($P < 0.05$), esto quiere decir que, al no detectarse diferencias, el procesamiento mediante tecnología UV-C puede ser una alternativa de pasteurización al método utilizado y degustado mayormente por los consumidores.

VIII. CONCLUSIÓN

La sustitución del jugo de manzana por jugo de arándano favorece la obtención de una mezcla más rica en antioxidantes; como antocianinas (15% ABS). Poniendo a disposición de los consumidores un producto más atractivo y la posibilidad de consumir frutas de alto costo y escasa abundancia. La radiación ultravioleta fue una alternativa a la pasteurización térmica convencional para obtener mezclas seguras y estables de jugo de manzana y arándano, en un período aceptable. Además, mantiene el contenido inicial de fitoquímicos (TAA, TP, TF y TA) de las mezclas a dosis $<8.59 \text{ mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$, a diferencia de los tratamientos térmicos convencionales.

El almacenamiento, tipo de procesamiento y ABS causaron variabilidad en el comportamiento de los contenidos de los compuestos fenólicos individuales identificados y cuantificados en las mezclas. Además de mostrar limitaciones en la inactivación de microorganismos de deterioro. A pesar de los beneficios de UV-C, es necesaria una vida útil más prolongada. Por tanto, se requirió buscar alternativas en combinación a la irradiación UV-C, para lograrlo.

Los tratamientos combinados mostraron la misma eficacia que el tratamiento térmico sobre la inactivación de microorganismos patógenos y de deterioro en el periodo de tiempo evaluado (hasta 30 días), manteniendo las mezclas seguras en un lapso de 30 días. Además de mostrar una tendencia constante en los fitoquímicos evaluados en comparación a las muestras sin tratar.

La evaluación sensorial arrojó resultados satisfactorios, puesto que los panelistas no fueron capaces de detectar diferencias entre las bebidas procesadas térmicamente y las irradiadas, lo que significa que el perfil de atributos sensoriales de las mezclas irradiadas es similar al perfil que están acostumbrados a degustar.

Los resultados sugieren que la tecnología UV-C, es una alternativa viable para el desarrollo de bebidas a base de jugos naturales, sin embargo, presenta limitaciones en su conservación a tiempos prolongados de almacenamiento. Así, la combinación de tratamientos de UV-C con térmicos moderados, representaron una alternativa viable a los TT, para el desarrollo y la conservación de una bebida de manzana-arándano.



IX. BIBLIOGRAFÍA

- Aadil, R. M., Khalil, A. A., Rehman, A., Khalid, A., Inam-ur-Raheem, M., Karim, A., y Afraz, M. T. (2020). Assessing the impact of ultra-sonication and thermo-ultrasound on antioxidant indices and polyphenolic profile of apple-grape juice blend. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(5), e14406.
- Aguilar-Rosas, S. F., Ballinas-Casarrubias, M. L., Nevarez-Moorillon, G. V., Martin-Belloso, O., y Ortega-Rivas, E. (2007). Thermal and pulsed electric fields pasteurization of apple juice: Effects on physicochemical properties and flavour compounds. *Journal of Food Engineering*, 83(1), 41-46.
- Alongi, M., Verardo, G., Gorassini, A., Lemos, M. A., Hungerford, G., Cortella, G., y Anese, M. (2019). Phenolic content and potential bioactivity of apple juice as affected by thermal and ultrasound pasteurization. *Food & Function*, 10(11), 7366-7377.
- Al-Turki, S. M., y Stushnoff, C. (2007). Total phenolics and antioxidant properties of cider apple cultivars. *Journal of the American Pomological Society*, 61(3), 131.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists) (1996). Official methods of analysis (16th ed.). Washington, USA: AOAC International.
- APHA (American Public Health Association) (1992). Compendium of methods for the microbiological examination of foods. Washington, USA.
- Amanina, A. K. Z., Rosnah, S., Noranizan, M. A., y Alifdalino, S. (2019). Comparison of UV-C and thermal pasteurisation for the quality preservation of pineapple-mango juice blend. *Food Res*, 3, 362-372.
- Ananingsih, V. K., Sharma, A., y Zhou, W. (2013). Green tea catechins during food processing and storage: A review on stability and detection. *Food Research International*, 50(2), 469–479. doi:10.1016/j.foodres.2011.03.004
- Babajide, J. M., Olaluwoye, A. A., Taofik Shittu, T. A., y Adebisi, M. A. (2013). Physicochemical Properties and Phytochemical Components of Spiced Cucumber-Pineapple Fruit Drink. *Nigerian Food Journal*, 31(1), 40–52.



- Bachmann, R. (1975). Sterilization by intense ultraviolet-radiation. *Brown Boveri Review*, 62(5), 206-209.
- Bhattacharjee, C., Saxena, V. K., y Dutta, S. (2019). Novel thermal and non-thermal processing of watermelon juice. *Trends in Food Science & Technology*, 93, 234-243.
- Bhardwaj, R. L., y Pandey, S. (2011). Juice Blends—A Way of Utilization of Under-Utilized Fruits, Vegetables, and Spices: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 51(6), 563–570. doi:10.1080/10408391003710654
- Boll, D. I., y Fojón, O. A. (2015). Fotoionización de moléculas diatómicas asistida por láser: de atto-a femto-pulsos. (Asociación Física Argentina) (Vol. 26, No. 2, pp. 54-58).
- Brand-Williams, W., M.E. Cuvelier and C. Berset. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Sci. Technol.* 28(1):25–30.
- Bunzel, M., Ralph, J., Brüning, P., y Steinhart, H. (2006). Structural identification of dehydrotriferulic and dehydrotetraferulic acids isolated from insoluble maize bran fiber. *Journal of agricultural and food chemistry*, 54(17), 6409-6418.
- Caminiti, I. M., Palgan, I., Muñoz, A., Noci, F., Whyte, P., Morgan, D. J., Lyng, J. G. (2010). The Effect of Ultraviolet Light on Microbial Inactivation and Quality Attributes of Apple Juice. *Food and Bioprocess Technology*, 5(2), 680–686. doi:10.1007/s11947-010-0365-x
- Caminiti, I. M., Noci, F., Muñoz, A., Whyte, P., Morgan, D. J., Cronin, D. A., y Lyng, J. G. (2011). Impact of selected combinations of non-thermal processing technologies on the quality of an apple and cranberry juice blend. *Food Chemistry*, 124(4), 1387-1392.
- Carvalho Mesquita, T., Cecília Evangelista Vasconcelos Schiassi, M., Maria Teixeira Lago, A., Careli-Gondim, Í., Mesquita Silva, L., de Azevedo Lira, N., Carlos de Oliveira Lima, L. (2020). Grape juice blends treated with

gamma irradiation evaluated during storage. *Radiation Physics and Chemistry*, 108570. doi:10.1016/j.radphyschem.2019.108570

- Chaaban, H., Ioannou, I., Chebil, L., Slimane, M., Gérardin, C., Paris, C. y Ghoul, M. (2017). Effect of heat processing on thermal stability and antioxidant activity of six flavonoids. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(5), e13203.
- Chia, S. L., Rosnah, S., Noranizan, M. A., y Ramli, W. W. (2012). The effect of storage on the quality attributes of ultraviolet-irradiated and thermally pasteurised pineapple juices. *International Food Research Journal*, 19(3), 1001.
- Cvetkovic, D., D. Markovic, D. Cvetkovic and B. Radovanovic. 2011. Effects of continuous UV-irradiation on the antioxidant activities of quercetin and rutin in solution in the presence of lecithin as the protective target. *J. Serb. Chem. Soc.* 76: 973–985.
- Chang, J. C., Ossoff, S. F., Lobe, D. C., Dorfman, M. H., Dumais, C. M., Qualls, R. G., y Johnson, J. D. (1985). UV inactivation of pathogenic and indicator microorganisms. *Applied and environmental microbiology*, 49(6), 1361-1365.
- Chang, X. L., Wang, C., Feng, Y., y Liu, Z. (2006). Effects of heat treatments on the stabilities of polysaccharides substances and barbaloin in gel juice from Aloe vera Miller. *Journal of Food Engineering*, 75(2), 245-251.
- Chen, C., Hu, W., Zhang, R., Jiang, A., y Zou, Y. (2016). Levels of phenolic compounds, antioxidant capacity, and microbial counts of fresh-cut onions after treatment with a combination of nisin and citric acid. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 57(3), 266–273. doi:10.1007/s13580-016-0032-x
- Chia, S. L., Rosnah, S., Noranizan, M. A., & Ramli, W. W. (2012). The effect of storage on the quality attributes of ultraviolet-irradiated and thermally



- pasteurised pineapple juices. *International Food Research Journal*, 19(3), 1001.
- Choi, L. H., y Nielsen, S. S. (2005). The effects of thermal and nonthermal processing methods on apple cider quality and consumer acceptability. *Journal of Food Quality*, 28(1), 13–29. Doi:10.1111/J.1745-4557.2005.00002.X
- Corbo, M. R., Bevilacqua, A., Petruzzi, L., Casanova, F. P., y Sinigaglia, M. (2014). Functional beverages: the emerging side of functional foods: commercial trends, research, and health implications. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 13(6), 1192-1206.
- Damasceno, L. F., Fernandes, F. A. N., Magalhães, M. M. A., y Brito, E. S. (2008). Non-enzymatic browning in clarified cashew apple juice during thermal treatment: Kinetics and process control. *Food Chemistry*: 106(1), 172–179.
- Danalache, F., Carvalho, C. Y., Brito, L., Mata, P., Moldão-Martins, M., y Alves, V. D. (2017). Effect of thermal and high hydrostatic pressure treatments on mango bars shelf-life under refrigeration. *Journal of Food Engineering*, 212, 113–120.
- Donahue, D. W., Canitez, N., y Bushway, A. A. (2004). UV inactivation of E. Coli O157: H7 in apple cider: quality, sensory and shelf- life analysis. *Journal of food processing and preservation*, 28(5), 368-387.
- Falguera, V., Pagán, J., Garza, S., Garvín, A., y Ibarz, A. (2011). Ultraviolet processing of liquid food: A review. *Food Research International*, 44(6), 1580–1588. doi:10.1016/j.foodres.2011.03.025
- Fang, Z., Zhang, M., Sun, Y., y Sun, J. (2007). Polyphenol oxidase from bayberry (*Myrica rubra* Sieb. et Zucc.) and its role in anthocyanin degradation. *Food Chemistry*, 103(2), 268–273. doi:10.1016/j.foodchem.2006.07.044
- Feng, M., Ghafoor, K., Seo, B., Yang, K., y Park, J. (2013). Effects of ultraviolet-C treatment in Teflon®-coil on microbial populations and physico-chemical

- characteristics of watermelon juice. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 19, 133-139.
- Feng, X., Zhou, Z., Wang, X., Bi, X., Ma, Y., y Xing, Y. (2020). Comparison of High Hydrostatic Pressure, Ultrasound, and Heat Treatments on the Quality of Strawberry–Apple–Lemon Juice Blend. *Foods*, 9(2), 218.
- Fenoglio, D., Ferrario, M., Schenk, M., y Guerrero, S. (2019). UV-C light inactivation of single and composite microbial populations in tangerine-orange juice blend. Evaluation of some physicochemical parameters. *Food and Bioproducts Processing*, 117, 149-159.
- Ferrario, M., Schenk, M., García Carrillo, M., & Guerrero, S. (2018). *Development and quality assessment of a turbid carrot-orange juice blend processed by UV-C light assisted by mild heat and addition of Yerba Mate (Ilex paraguariensis) extract. Food Chemistry*, 269, 567–576. doi:10.1016/j.foodchem.2018.06.149
- Friedman, M., y Jürgens, H. S. (2000). Effect of pH on the stability of plant phenolic compounds. *Journal of agricultural and food chemistry*, 48(6), 2101-2110.
- García Carrillo, M., Ferrario, M., y Guerrero, S. (2018). Effectiveness of UV-C light assisted by mild heat on *Saccharomyces cerevisiae* KE 162 inactivation in carrot-orange juice blend studied by flow cytometry and transmission electron microscopy. *Food Microbiology*, 73, 1–10. doi:10.1016/j.fm.2017.12.012
- García-Martínez, E., Camacho, M. M., y Martínez-Navarrete, N. 2011. Changes in flavonoid content of grapefruit juice caused by thermal treatment and storage. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 12(2): 153–162
- Gautam, D., Umagiliyage, A. L., Dhital, R., Joshi, P., Watson, D. G., Fisher, D. J., y Choudhary, R. (2017). Nonthermal pasteurization of tender coconut water using a continuous flow coiled UV reactor. *LWT-Food Science and Technology*, 83, 127-131.
- Gayán, E., Serrano, M. J., Monfort, S., Álvarez, I., y Condón, S. (2012). Pasteurization of Apple Juice Contaminated with *Escherichia coli* by a



- Combined UV–Mild Temperature Treatment. *Food and Bioprocess Technology*, 6(11), 3006–3016.
- Geveke, D. J. 2005. UV inactivation of bacteria in apple cider. *J. Food Prot.* 68(8): 1739–1742.
- González, E. M., de Ancos, B., y Cano, M. P. (1999). Partial Characterization of Polyphenol Oxidase Activity in Raspberry Fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47(10), 4068–4072. doi:10.1021/jf981325q
- Gopisetty, V. V. S., Patras, A., Kilonzo-Nthenge, A., Yannam, S., Bansode, R. R., Sasges, M., Xiao, H. (2018). Impact of UV-C irradiation on the quality, safety, and cytotoxicity of cranberry-flavored water using a novel continuous flow UV system. *LWT*, 95, 230–239.
- Gouma, M., Gayán, E., Raso, J., Condón, S., y Álvarez, I. (2015). Inactivation of spoilage yeasts in apple juice by UV–C light and in combination with mild heat. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 32, 146–155. doi:10.1016/j.ifset.2015.09.008
- Granato, D., Barba, F. J., Bursac Kovačević, D., Lorenzo, J. M., Cruz, A. G., & Putnik, P. (2020). Functional foods: Product development, technological trends, efficacy testing, and safety. *Annual Review of Food Science and Technology*, 11, 93-118.
- Grobelna, A., Kalisz, S., y Kieliszek, M. (2019). The effect of the addition of blue honeysuckle berry juice to apple juice on the selected quality characteristics, anthocyanin stability, and antioxidant properties. *Biomolecules*, 9(11), 744.
- Guerrero-Beltrán, J. A., y Barbosa-Cánovas, G. V. (2004). Advantages and Limitations on Processing Foods by UV Light. *Food Science and Technology International*, 10(3), 137–147. doi:10.1177/1082013204044359
- Guerrero-Beltrán, J. A., y Barbosa-Cánovas, G. V. (2005). Reduction of *Saccharomyces cerevisiae*, *Escherichia coli* and *Listeria innocua* in apple



- juice by ultraviolet light. *Journal of Food Process Engineering*, 28(5), 437-452.
- Guiné, R. D. P. F., y Barroca, M. J. (2014). Influence of processing and storage on fruit juices phenolic compounds. *International Journal of Medical and Biological Frontiers*, 20(1), 45.
- Hernández-Hernández, H. M., Moreno-Vilet, L., y Villanueva-Rodríguez, S. J. (2019). Current status of emerging food processing technologies in Latin America: Novel non-thermal processing. *Innovative Food Science y Emerging Technologies*, 58, 102233.
- Hollósy, F. (2002). Effects of ultraviolet radiation on plant cells. *Micron*, 33(2), 179–197. doi:10.1016/s0968-4328(01)00011-7
- Ibarz, A., Pagán, J., Panadés, R., y Garza, S. (2005). Photochemical destruction of color compounds in fruit juices. *Journal of Food Engineering*, 69(2), 155-160.
- Igual, M., García-Martínez, E., Camacho, M. M., y Martínez-Navarrete, N. (2011). Changes in flavonoid content of grapefruit juice caused by thermal treatment and storage. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 12(2), 153–162. doi:10.1016/j.ifset.2010.12.010
- Islam, M. S., Patras, A., Pokharel, B., Wu, Y., Vergne, M. J., Shade, L., y Sasges, M. (2016). UV-C irradiation as an alternative disinfection technique: Study of its effect on polyphenols and antioxidant activity of apple juice. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 34, 344-351.
- Jo, C., y Lee, K. H. (2012). Comparison of the efficacy of gamma and UV irradiation in sanitization of fresh carrot juice. *Radiation Physics and Chemistry*, 81(8), 1079–1081. doi:10.1016/j.radphyschem.2011.11.070
- Johnson, F. H., Flagler, E. A., & Blum, H. F. (1950). *Relation of Oxygen to Photoreactivation of Bacteria After Ultraviolet Radiation. Experimental Biology and Medicine*, 74(1), 32–35. doi:10.3181/00379727-74-17800



- Kathiravan, T., Nadasabapathi, S., y Kumar, R. (2014). Standardization of process condition in batch thermal pasteurization and its effect on antioxidant, pigment and microbial inactivation of Ready to Drink (RTD) beetroot (*Beta vulgaris L.*) juice. *International Food Research Journal*, 21(4), 1305.
- Kaya, Z., y Unluturk, S. (2015). Processing of clear and turbid grape juice by a continuous flow UV system. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 33, 282–288. doi:10.1016/j.ifset.2015.12.006
- Keyser, M., Müller, I. A., Cilliers, F. P., Nel, W., y Gouws, P. A. (2008). Ultraviolet radiation as a non-thermal treatment for the inactivation of microorganisms in fruit juice. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 9(3), 348-354.
- Khan, M. A., y Ungar, I. A. (1986). Inhibition of germination in *Atriplex triangularis* seeds by application of phenols and reversal of inhibition by growth regulators. *Botanical Gazette*, 147(2), 148-151.
- Khandpur, P., y Gogate, P. R. (2015). Effect of novel ultrasound based processing on the nutrition quality of different fruit and vegetable juices. *Ultrasonics Sonochemistry*, 27, 125–136. doi:10.1016/j.ultsonch.2015.05.008
- Kırca, A., Özkan, M., y Cemeroğlu, B. (2007). Effects of temperature, solid content and pH on the stability of black carrot anthocyanins. *Food chemistry*, 101(1), 212-218.
- Koutchma, T., Parisi, B., y Patzca, E. (2007). Validation of UV coiled tube reactor for fresh juices. *Journal of Environmental Engineering and Science*, 6(3), 319-328.
- Koutchma, T. (2009). Advances in ultraviolet light technology for non-thermal processing of liquid foods. *Food and Bioprocess Technology*, 2(2), 138-155.
- Koutchma, T., Forney, L.J., Moraru, C.I. (2009). Ultraviolet light in food technology: principles and applications. In: *UV Processing Effects on Quality of Foods*. CRC Press, Boca Raton, FL, USA, pp. 103–123

- Koutchma, T., Popović, V., Ros-Polski, V., y Popielarz, A. (2016). Effects of Ultraviolet Light and High-Pressure Processing on Quality and Health-Related Constituents of Fresh Juice Products. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(5), 844–867.
- Lachowicz, S., y Oszmiański, J. (2018). The influence of addition of cranberrybush juice to pear juice on chemical composition and antioxidant properties. *Journal of food science and technology*, 55(9), 3399-3407.
- La Cava, E. L. M., y Sgroppo, S. C. (2015). Evolution during refrigerated storage of bioactive compounds and quality characteristics of grapefruit [Citrus paradisi (Macf.)] juice treated with UV-C light. *LWT - Food Science and Technology*, 63(2), 1325–1333. doi:10.1016/j.lwt.2015.04.013
- Lee, J., Durst, R. W., y Wrolstad, R. E. (2002). Impact of Juice Processing on Blueberry Anthocyanins and Polyphenolics: Comparison of Two Pretreatments. *Journal of Food Science*, 67(5), 1660–1667. doi:10.1111/j.1365-2621.2002.tb08701.x
- Lee, H. S., y Coates, G. A. (2003). Effect of thermal pasteurization on Valencia orange juice color and pigments. *LWT - Food Science and Technology*, 36(1), 153–156. doi:10.1016/s0023-6438(02)00087-7
- Liu, C., Zheng, H., Sheng, K., Liu, W., y Zheng, L. (2018). Effects of postharvest UV-C irradiation on phenolic acids, flavonoids, and key phenylpropanoid pathway genes in tomato fruit. *Scientia Horticulturae*, 241, 107–114.
- Lopes, R. P., Mota, M. J., Delgadillo, I., y Saraiva, J. A. (2016). Pasteurization: Effect on Sensory Quality and Nutrient Composition. *Encyclopedia of Food and Health*, 246–263.
- López-Díaz, A., Palou, E., y López-Malo, A. (2012). Radiación ultravioleta en jugos de frutas: fundamentos y aplicaciones. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 6(2), 79-93.
- Lopez-Malo, A., y Palou, E. (2005). Ultraviolet light and food preservation. *Novel food processing technologies*, 405-422.



- Maghsoudlou, Y., Asghari Ghajari, M., y Tavasoli, S. (2019). Effects of heat treatment on the phenolic compounds and antioxidant capacity of quince fruit and its tisane's sensory properties. *Journal of Food Science and Technology*. doi:10.1007/s13197-019-03644-6
- Manzocco, L., Quarta, B., y Dri, A. (2009). Polyphenoloxidase inactivation by light exposure in model systems and apple derivatives. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 10(4), 506–511. doi:10.1016/j.ifset.2009.02.004
- Marquenie, D. (2002). Inactivation of conidia of *Botrytis cinerea* and *Monilinia fructigena* using UV-C and heat treatment. *International Journal of Food Microbiology*, 74(1-2), 27–35. doi:10.1016/s0168-1605(01)00719-x
- Maskat, M. Y., & Tan, S. M. (2011). Effect of heat treatment on the physico-chemical properties of mengkudu (*Morinda citrifolia*) extract. *International Food Research Journal*, 18(3), 1007-1011.
- Matak, K. E., Churey, J. J., Worobo, R. W., Sumner, S. S., Hovingh, E., Hackney, C. R., y Pierson, M. D. (2005). Efficacy of UV light for the reduction of *Listeria monocytogenes* in goat's milk. *Journal of Food Protection*, 68(10), 2212-2216.
- Mena, P., Martí, N., Saura, D., Valero, M., y García-Viguera, C. (2012). Combinatory Effect of Thermal Treatment and Blending on the Quality of Pomegranate Juices. *Food and Bioprocess Technology*, 6(11), 3186–3199. doi:10.1007/s11947-012-0961-z
- Miller, G. L. 1959. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Anal. Chem.*, 31(3): 420–428.
- Mohd-Hanif, H. A., Shamsudin, R., y Adzahan, N. M. (2016). Effects of UVC irradiation and thermal treatment on the physico-chemical properties and microbial reduction of clear and turbid tamarind juice. *International Food Research Journal*, 23, S107.
- Molaveisi, M., Beigbabaei, A., Akbari, E., Noghabi, M. S., y Mohamadi, M. (2019). Kinetics of temperature effect on antioxidant activity, phenolic



compounds and color of Iranian jujube honey. *Heliyon*, 5(1), e01129. doi:10.1016/j.heliyon.2019.e01129

Molva, C., y Baysal, A. H. (2015). Effects of pomegranate and pomegranate–apple blend juices on the growth characteristics of *Alicyclobacillus acidoterrestris* DSM 3922 type strain vegetative cells and spores. *International journal of food microbiology*, 200, 52-56.

Müller, A., Stahl, M. R., Graef, V., Franz, C. M. A. P., y Huch, M. (2011). UV-C treatment of juices to inactivate microorganisms using Dean vortex technology. *Journal of Food Engineering*, 107(2), 268–275. doi:10.1016/j.jfoodeng.2011.05.026

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

Murakami, M., Yamaguchi, T., Takamura, H., and Matoba, T. (2004). Effects of thermal treatment on radical-scavenging activity of single and mixed polyphenolic compounds. *Journal of Food Science*, 69.

Noci, F., Riener, J., Walkling-Ribeiro, M., Cronin, D. A., Morgan, D. J., y Lyng, J. G. (2008). Ultraviolet irradiation and pulsed electric fields (PEF) in a hurdle strategy for the preservation of fresh apple Juice. *Journal of Food Engineering*, 85(1), 141–146. doi:10.1016/j.jfoodeng.2007.07.011

Nualkaekul, S., y Charalampopoulos, D. (2011). Survival of *Lactobacillus plantarum* in model solutions and fruit juices. *International Journal of Food Microbiology*, 146(2), 111–117. doi:10.1016/j.ijfoodmicro.2011.01.040

Ochoa-Velasco, C. E., Cruz-González, M., y Guerrero-Beltrán, J. Á. (2014). Ultraviolet-C light inactivation of *Escherichia coli* and *Salmonella typhimurium* in coconut (*Cocos nucifera* L.) milk. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 26, 199–204.



- Ortega-Rivas, E., y Salmerón-Ochoa, I. (2014). Nonthermal food processing alternatives and their effects on taste and flavor compounds of beverages. *Critical reviews in food science and nutrition*, 54(2), 190-207.
- Pala, Ç. U., y Toklucu, A. K. (2011). Effect of UV-C light on anthocyanin content and other quality parameters of pomegranate juice. *Journal of Food Composition and Analysis*, 24(6), 790-795.
- Pala, Ç. U., y Toklucu, A. K. (2013). Microbial, physicochemical and sensory properties of UV-C processed orange juice and its microbial stability during refrigerated storage. *LWT - Food Science and Technology*, 50(2), 426–431. doi:10.1016/j.lwt.2012.09.001
- Pires, T. C., Dias, M. I., Barros, L., Alves, M. J., Oliveira, M. B. P., Santos-Buelga, C., y Ferreira, I. C. (2018). Antioxidant and antimicrobial properties of dried Portuguese apple variety (*Malus domestica* Borkh. cv Bravo de Esmolfe). *Food chemistry*, 240, 701-706.
- Priyadarshini, A., y Priyadarshini, A. (2018). Market Dimensions of the Fruit Juice Industry. *Fruit Juices*, 15–32.
- Putnik, P., Kresoja, Ž., Bosiljkov, T., Jambrak, A. R., Barba, F. J., Lorenzo, J. M., ... y Kovačević, D. B. (2019). Comparing the effects of thermal and non-thermal technologies on pomegranate juice quality: A review. *Food chemistry*, 279, 150-161.
- Qadri, O. S., Younis, K., y Yasin, T. (2020). Future Prospects of Fruit and Vegetable-Based Functional Foods. In *Functional Food Products and Sustainable Health* (pp. 191-198). Springer, Singapore.
- Quintero-Ramos, A., Churey, J. J., Hartman, P., Barnard, J., Worobo, R. W. (2004). Modeling of *Escherichia coli* inactivation by UV irradiation at different pH values in apple cider. *Journal of Food Protection*, 67(6), 1153–1156
- Rajauria, G., y Tiwari, B. K. (Eds.). (2017). *Fruit Juices: Extraction, Composition, Quality and Analysis*. Academic Press.



- Renger, A., y Steinhart, H. (2000). Ferulic acid dehydrodimers as structural elements in cereal dietary fibre. *European Food Research and Technology*, 211(6), 422-428.
- Repo-Carrasco-Valencia, R., Peña, J., Kallio, H., y Salminen, S. (2009). Dietary fiber and other functional components in two varieties of crude and extruded kiwicha (*Amaranthus caudatus*). *Journal of Cereal Science*, 49(2), 219-224.
- Reque, P. M., Steffens, R. S., Jablonski, A., Flôres, S. H., Rios, A. D. O., y de Jong, E. V. (2014). Cold storage of blueberry (*Vaccinium* spp.) fruits and juice: Anthocyanin stability and antioxidant activity. *Journal of Food Composition and Analysis*, 33(1), 111-116.
- Riganakos, K. A., I. K. Karabagias, I. Gertzou and M. Stahl. 2017. Comparison of UV-C and thermal treatments for the preservation of carrot juice. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 42: 165–172.
- Rodríguez-Rodríguez, M. Z., A. Quintero-Ramos, C. O. Meléndez-Pizarro, J. A. Meza-Velázquez, J. A. Jiménez-Castro, M. Á Sánchez-Madrigal, M. G. Ruiz-Gutiérrez and J. C. Espinoza-Hicks. 2020. Microbial and physicochemical properties of UV-C processed *Aloe vera* gel blends at different pHs using a continuous flow UV system. *Rev. Mex. Ing. Quim.* 19(1): 175–188.
- Saeeduddin, M., Abid, M., Jabbar, S., Wu, T., Yuan, Q., Riaz, A., Zeng, X. (2017). Nutritional, microbial and physicochemical changes in pear juice under ultrasound and commercial pasteurization during storage. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(6), e13237. doi:10.1111/jfpp.13237
- Santana-Jiménez, A. Z., Quintero-Ramos, A., Sánchez-Madrigal, M. Á., Meléndez-Pizarro, C. O., Valdez-Cárdenas, M. D. C., Orizaga-Heredia, M. D. R. y Talamás-Abbud, R. (2020). Effects of UV-C Irradiation and Thermal Processing on the Microbial and Physicochemical Properties of Agave tequilana Weber var. azul Extracts at Various pH Values. *Processes*, 8(7), 841.

- Santhirasegaram, V., Razali, Z., y Somasundram, C. (2013). Effects of thermal treatment and sonication on quality attributes of Chokanan mango (*Mangifera indica L.*) juice. *Ultrasonics sonochemistry*, 20(5), 1276-1282.
- Santhirasegaram, V., Razali, Z., George, D. S., y Somasundram, C. (2015). Comparison of UV-C treatment and thermal pasteurization on quality of Chokanan mango (*Mangifera indica L.*) juice. *Food and Bioprocess Processing*, 94, 313-321.
- Sauceda-Gálvez, J. N., Tió-Coma, M., Martínez-García, M., Hernández-Herrero, M. M., Gervilla, R., y Roig-Sagués, A. X. (2020). Effect of single and combined UV-C and ultra-high pressure homogenisation treatments on inactivation of *Alicyclobacillus acidoterrestris* spores in apple juice. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 60, 102299.
- Sew, C. C., Mohd Ghazali, H., Martín-Belloso, O., y Noranizan, M. A. (2014). Effects of combining ultraviolet and mild heat treatments on enzymatic activities and total phenolic contents in pineapple juice. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 26, 511–516.
- Shahbaz, H. M., Kim, J. U., Kim, S.-H., y Park, J. (2018). Advances in Nonthermal Processing Technologies for Enhanced Microbiological Safety and Quality of Fresh Fruit and Juice Products. *Food Processing for Increased Quality and Consumption*, 179–217.
- Shah, N. N. A. K., Shamsudin, R., Rahman, R. A., y Adzahan, N. M. (2016). Fruit juice production using ultraviolet pasteurization: A review. *Beverages*, 2(3).
- Shamsudin, R., Mohd Adzahan, N., Pui Yee, Y., y Mansor, A. (2014). Effect of repetitive ultraviolet irradiation on the physico-chemical properties and microbial stability of pineapple juice. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 23, 114–120. doi:10.1016/j.ifset.2014.02.005
- Seiji, M., y Iwashita, S. (1965). Enzyme inactivation by ultraviolet light and protective effect of melanin. *The Journal of Biochemistry*, 57(3), 457-459.
- Sew, C. C., Ghazali, H. M., Martín-Belloso, O., y Noranizan, M. A. (2014). Effects of combining ultraviolet and mild heat treatments on enzymatic activities and



- total phenolic contents in pineapple juice. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 26, 511-516.
- Šilarová, P., Boulekbache-Makhlouf, L., Pellati, F., & Česlová, L. (2019). Monitoring of chlorogenic acid and antioxidant capacity of *Solanum melongena* L.(Eggplant) under different heat and storage treatments. *Antioxidants*, 8(7), 234.
- Singleton, L., R. Orthofer and R. Lamuela. 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin–Ciocalteu reagent. *Methods Enzymol.* 299, 152–178.
- Skrede, G., Wrolstad, R. E., y Durst, R. W. (2000). Changes in anthocyanins and polyphenolics during juice processing of highbush blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.). *Journal of food science*, 65(2), 357-364.
- Sodipo, M. A., Owolabi, A. T., y Oluwajuyitan, T. D. (2019). Physico-chemical, Antioxidant Properties and Sensory Attributes of Golden Melon (*Cucumis melon* L)-Watermelon (*Citrullus lanatus*) Juice Blends. *Archives of Current Research International*, 1-11.
- Spanos, G. A., y Wrolstad, R. E. (1990). Influence of processing and storage on the phenolic composition of Thompson seedless grape juice. *Journal of agricultural and food chemistry*, 38(7), 1565-1571.
- Srivastava, J. K., & Gupta, S. (2009). Extraction, characterization, stability and biological activity of flavonoids isolated from chamomile flowers. *Molecular and cellular pharmacology*, 1(3), 138.
- Szajdek, A., & Borowska, E. J. (2008). Bioactive compounds and health-promoting properties of berry fruits: a review. *Plant foods for human nutrition*, 63(4), 147-156.
- Tandon, K., Worobo, R. W., Churey, J. J., y Padilla-Zakour, O. I. (2003). Storage Quality Of Pasteurized And UV Treated Apple Cider. *Journal of Food Processing and Preservation*, 27(1), 21–35. doi:10.1111/j.1745-4549.2003.tb00498.x



- Tran, M. T. T., y Farid, M. (2004). Ultraviolet treatment of orange juice. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 5(4), 495–502. doi:10.1016/j.ifset.2004.08.002
- Unluturk, S., y Atilgan, M. R. (2015). Microbial Safety and Shelf Life of UV-C Treated Freshly Squeezed White Grape Juice. *Journal of Food Science*, 80(8), M1831–M1841. doi:10.1111/1750-3841.12952
- Usaga, J., Worobo, R. W., Moraru, C. I., y Padilla-Zakour, O. I. (2015). Time after apple pressing and insoluble solids influence the efficiency of the UV treatment of cloudy apple juice. *LWT - Food Science and Technology*, 62(1), 218–224. doi:10.1016/j.lwt.2015.01.014
- Usaga, J., Padilla-Zakour, O. I., y Worobo, R. W. (2016). UV tolerance of spoilage microorganisms and acid-shocked and acid-adapted *Escherichia coli* in apple juice treated with a commercial UV juice-processing unit. *Journal of food protection*, 79(2), 294-298.
- Vergne, M. J., Patras, A., Bhullar, M. S., Shade, L. M., Sasges, M., Rakariyatham, K. y Xiao, H. (2018). UV-C Irradiation on the Quality of Green Tea: Effect on Catechins, Antioxidant Activity, and Cytotoxicity. *Journal of food science*, 83(5), 1258-1264.
- Wang, W. D., y Xu, S. Y. (2007). Degradation kinetics of anthocyanins in blackberry juice and concentrate. *Journal of food engineering*, 82(3), 271-275.
- Wright, J. R., Sumner, S. S., Hackney, C. R., Pierson, M. D., y Zoecklein, B. W. (2000). Efficacy of ultraviolet light for reducing *Escherichia coli* O157: H7 in unpasteurized apple cider. *Journal of Food Protection*, 63(5), 563-567.
- Yali Yang, Hailiang Shen, You Tian, Zhe You y Yurong Guo (2019) Effect of thermal pasteurization and ultraviolet treatment on the quality parameters of not-from-concentrate apple juice from different varieties, *CyTA - Journal of Food*, 17:1, 189-198, DOI: 10.1080/19476337.2019.1569725



- Zegler, J. (2018). Global food y drink trends 2018. Mintel. Recuperado de: <http://www.siicex.gob.pe/siicex/resources/sectoresproductivos/mintel-report-2018.pdf>
- Zhang, C., Trierweiler, B., Li, W., Butz, P., Xu, Y., Rüfer, C.E., et al. (2011). Comparison of thermal, ultraviolet-c, and high-pressure treatments on quality parameters of watermelon juice. *Food Chemistry*. 126(1). Pp. 254–260.
- Zhou, L., Xiong, Z., Liu, W., y Zou, L. (2017). Different inhibition mechanisms of gentisic acid and cyaniding-3-O-glucoside on polyphenoloxidase. *Food Chemistry*, 234, 445–454. doi:10.1016/j.foodchem.2017.05.010
- Zhu, N., Zhu, Y., Yu, N., Wei, Y., Zhang, J., Hou, Y., y Sun, A. D. (2019). Evaluation of microbial, physicochemical parameters and flavor of blueberry juice after microchip-pulsed electric field. *Food chemistry*, 274, 146-155.
- Zinoviadou, K. G., Galanakis, C. M., Brnčić, M., Grimi, N., Boussetta, N., Mota, M. J. y Barba, F. J. (2015). Fruit juice sonication: Implications on food safety and physicochemical and nutritional properties. *Food Research International*, 77, 743-752.

X. APÉNDICES

10.1. APÉNDICE A

Curvas de calibración primera etapa día 0.

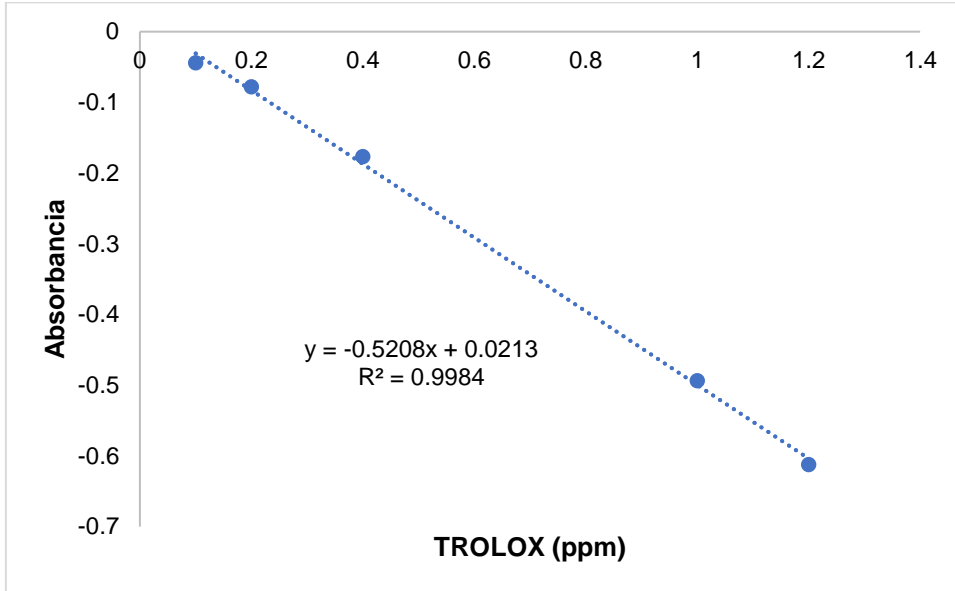


Figura 35. Curva de calibración de TROLOX para actividad antioxidante.

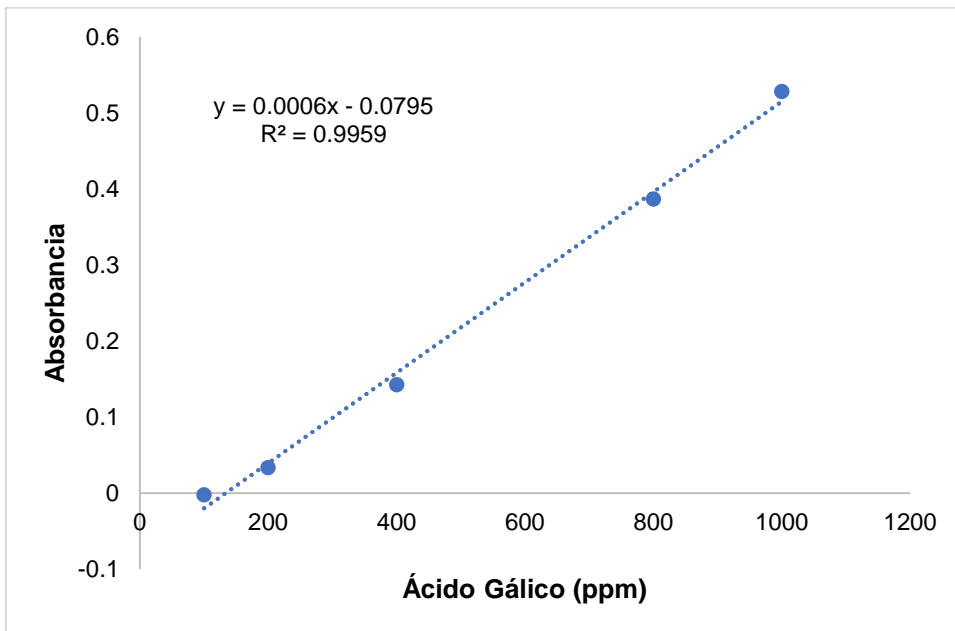


Figura 36. Curva de calibración de Ácido Gálico para polifenoles totales.

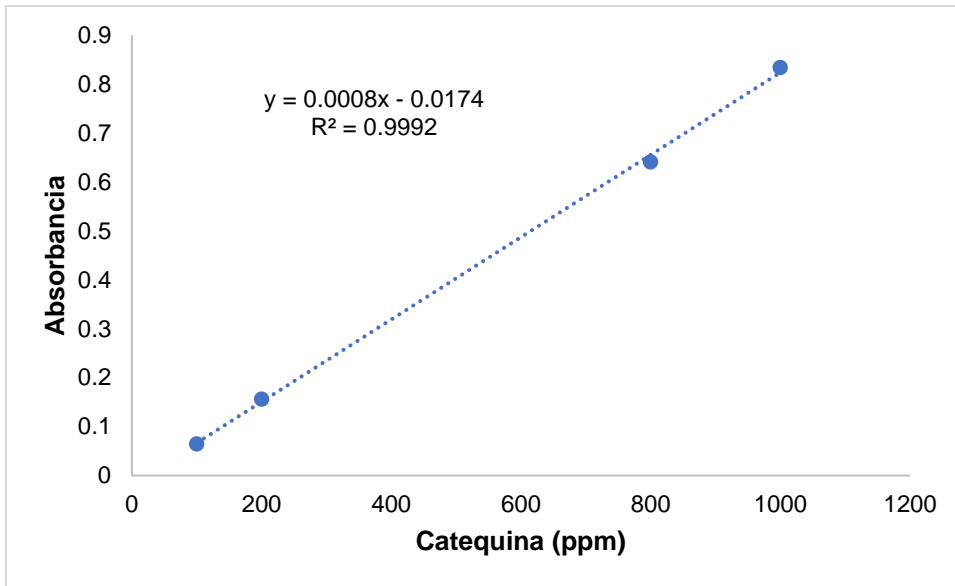


Figura 37. Curva de calibración de Catequina para flavonoides totales.

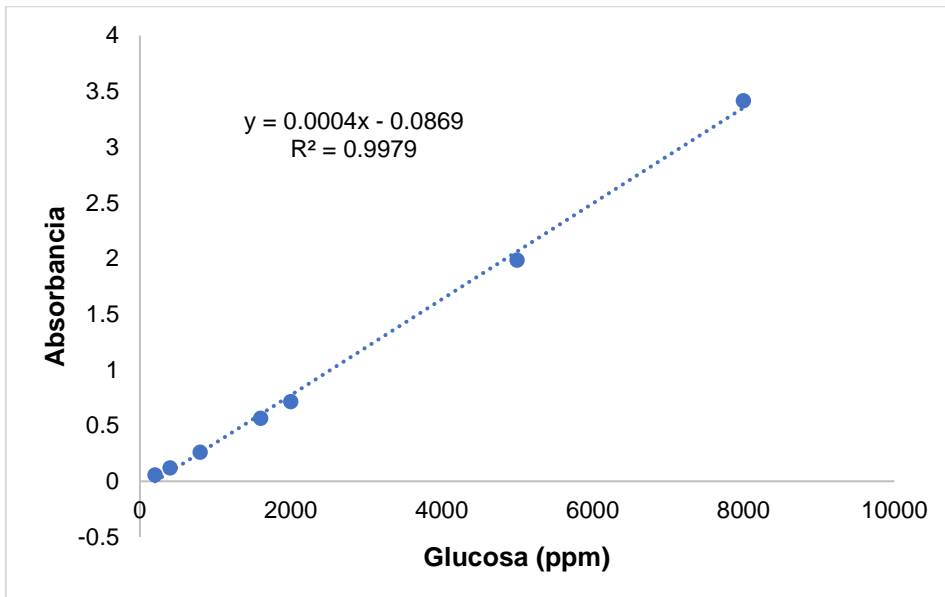


Figura 38. Curva de calibración de Glucosa para azúcares reductores.

Curvas de calibración primera etapa día 20.

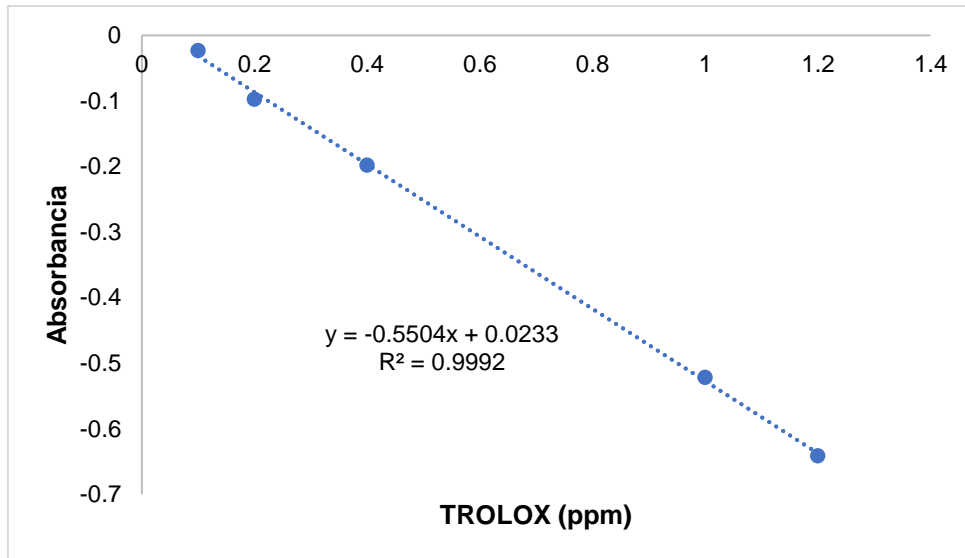


Figura 39. Curva de calibración de TROLOX para actividad antioxidante.

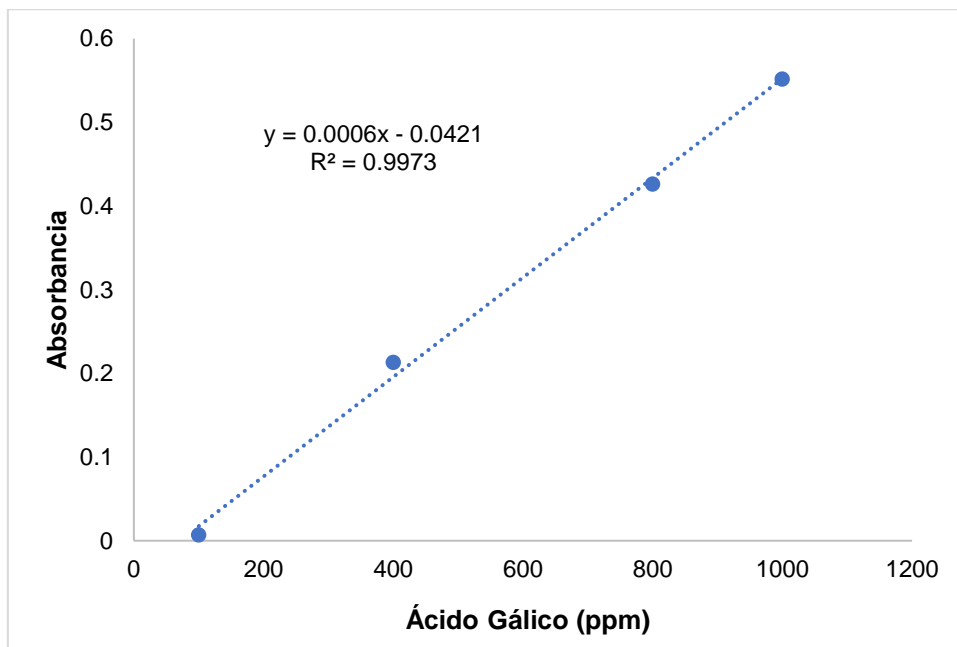


Figura 40. Curva de calibración de Ácido Gálico para polifenoles totales.

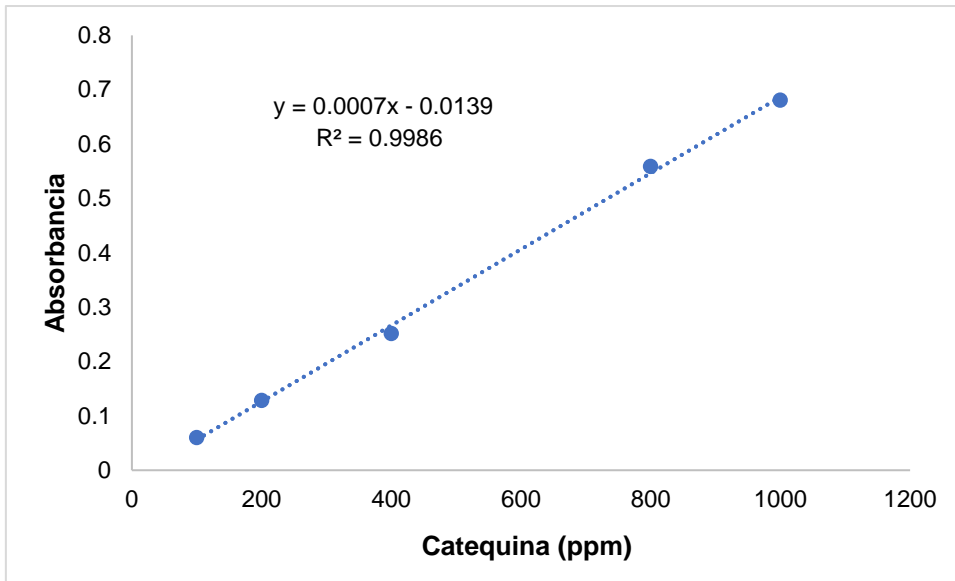


Figura 41. Curva de calibración de Catequina para flavonoides totales.

Curvas de calibración para polifenoles individuales por HPLC.

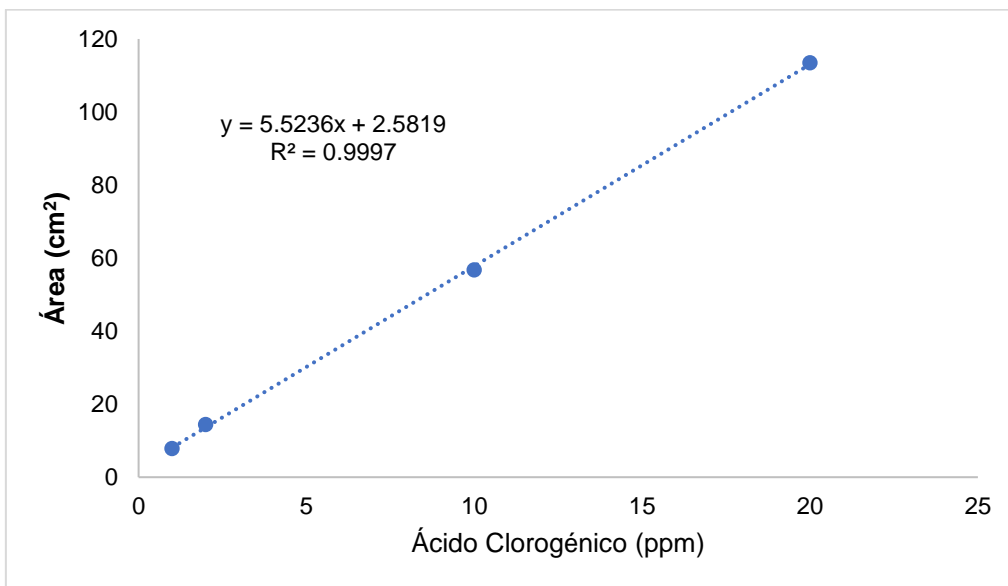


Figura 42. Curva de calibración de ácido clorogénico para polifenoles individuales.

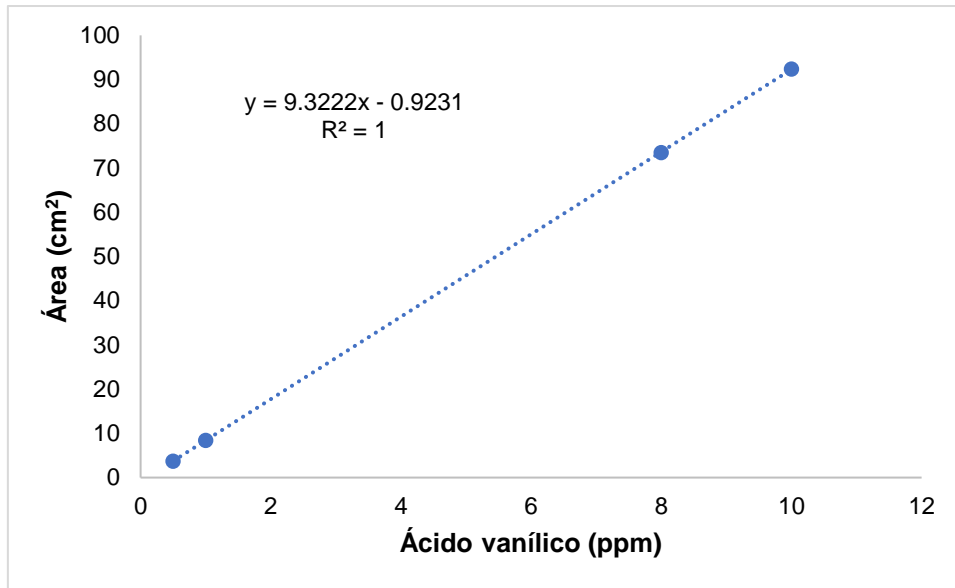


Figura 43. Curva de calibración de ácido vanílico para polifenoles individuales.

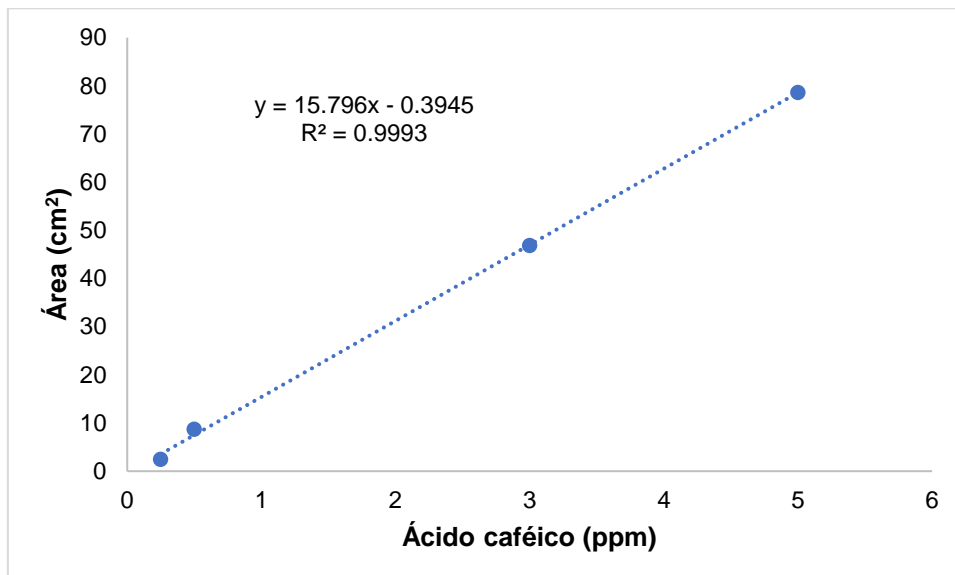


Figura 44. Curva de calibración de ácido caféico para polifenoles individuales.

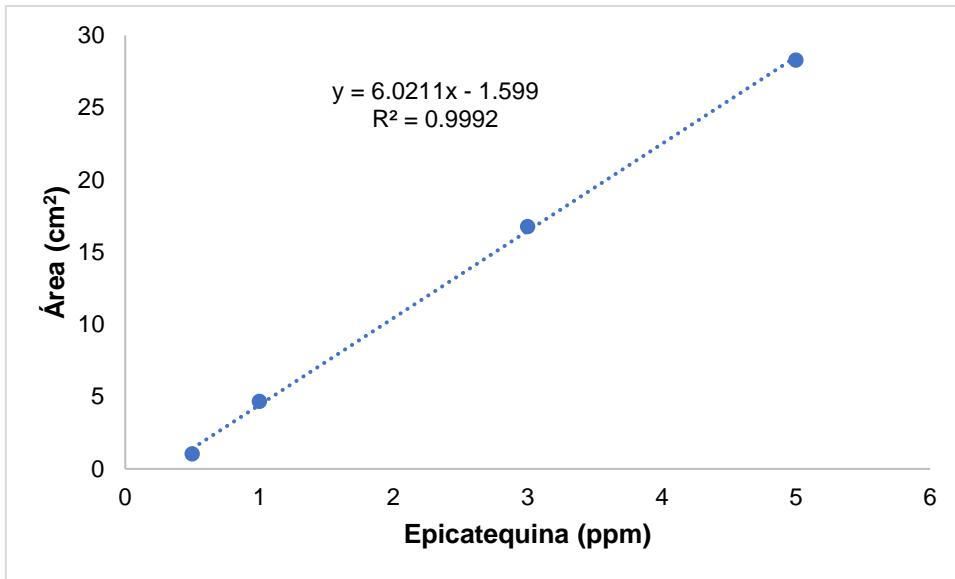


Figura 45. Curva de calibración de epicatequina para polifenoles individuales.

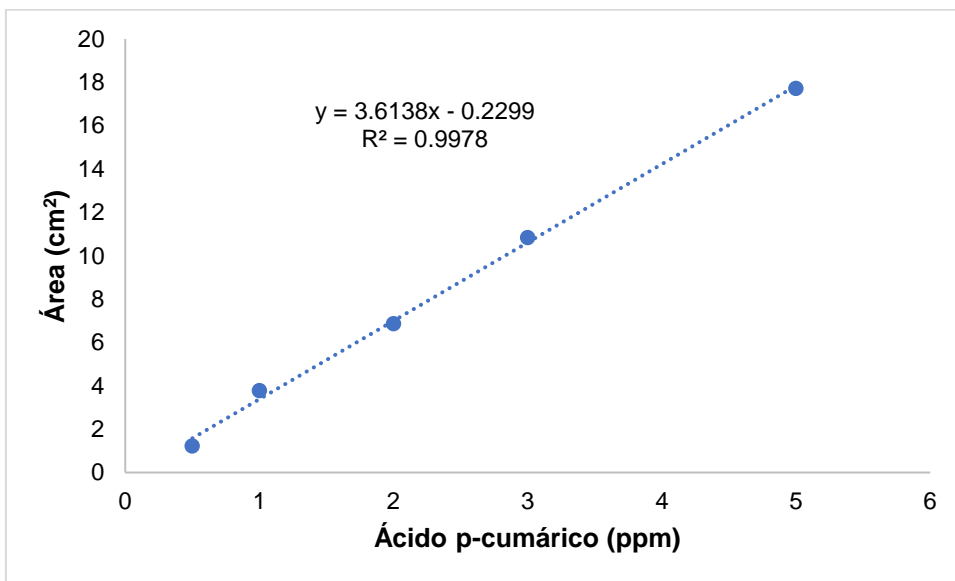


Figura 46. Curva de calibración de ácido p-cumárico para polifenoles individuales.

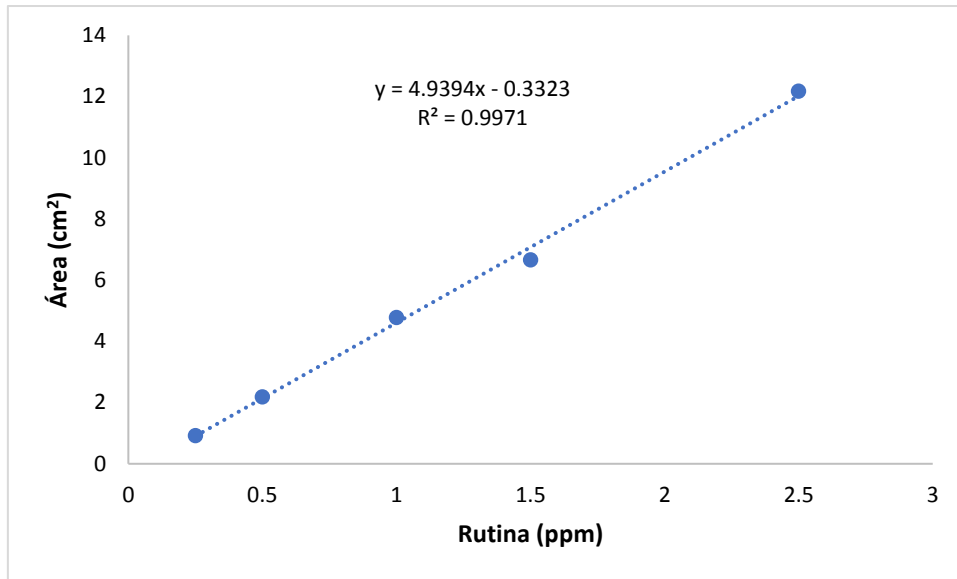


Figura 47. Curva de calibración de Rutina para polifenoles individuales.

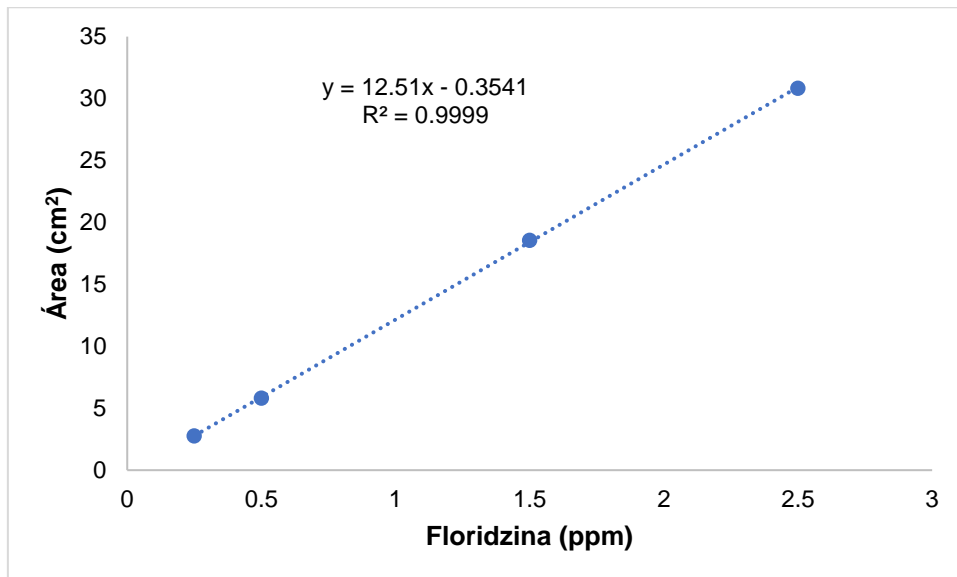


Figura 48. Curva de calibración de Floridzina para polifenoles individuales.

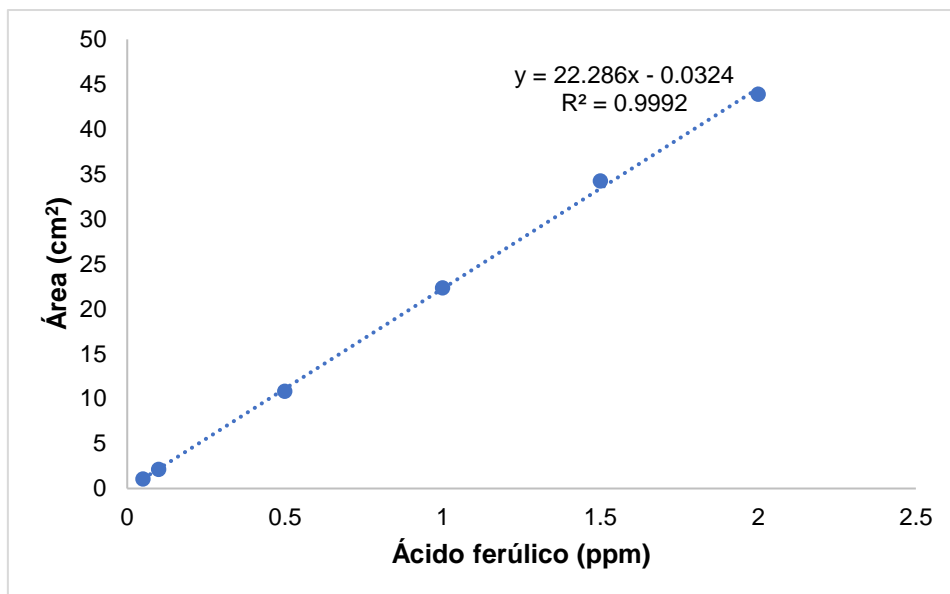


Figura 49. Curva de calibración de ácido ferúlico para polifenoles individuales.

10.2. APENDICE B

Tabla 17. Análisis de varianza de la variable pH

Fuente	GL	SC	MC	F	p
Tratamiento	5	0.000616	0.000123	8.40	0.000
Sustitución	2	0.005218	0.002609	177.96	0.000
Trat*Sust	10	0.000369	0.000037	2.52	0.042
Error	18	0.000264	0.000015		
Total	35	0.006467			

Tabla 18. Análisis de varianza de la variable TSS

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Tratamiento	5	1.0193	0.20386	14.33	0.000
Sustitución	2	17.2271	8.61355	605.38	0.000
Trat*Sust	10	0.7154	0.07154	5.03	0.001
Error	18	0.2561	0.01423		
Total	35	192179			

Tabla 19. Análisis de varianza de la variable L*

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Tratamiento	5	12.50	2.501	0.53	0.749
Sustitución	2	1996.61	998.304	21231	0.000
Trat*Sust	10	133.02	13.302	2.83	0.026
Error	18	84.64	4.702		

Total 35 2226.77

Tabla 20. Análisis de varianza de la variable a^*

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Tratamiento	5	28.34	5.668	16.61	0.000
Sustitución	2	1827.16	913.578	2677.55	0.000
Trat*Sust	10	52.07	5.207	15.26	0.000
Error	18	6.14	0.341		
Total	35	1913.70			

Tabla 21. Análisis de varianza de la variable b^*

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Tratamiento	5	113.21	22.643	7.41	0.001
Sustitución	2	167.06	83.530	27.35	0.000
Trat*Sust	10	155.26	15.526	5.08	0.001
Error	18	54.98	3.054		
Total	35	490.51			

Tabla 22. Análisis de varianza de la variable TAA

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Tratamiento	5	879.11	175.823	42.15	0.000
Sustitución	2	251.90	125.952	30.19	0.000
Trat*Sust	10	261.70	26.170	6.27	0.000
Error	18	75.09	4.171		
Total	35	1467.80			

Tabla 23. Análisis de varianza de la variable TP

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Tratamiento	5	145.222	29.0444	282.81	0.000
Sustitución	2	5.562	2.7811	27.08	0.000
Trat*Sust	10	5.382	0.5382	5.24	0.001
Error	18	1.849	0.1027		
Total	35	158.015			

Tabla 24. Análisis de varianza de la variable TF

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Tratamiento	5	8.2080	1.64161	71.32	0.000
Sustitución	2	3.9091	1.95457	84.92	0.000
Trat*Sust	10	2.7975	0.27975	12.15	0.000
Error	18	0.4143	0.02302		

Total 35 15.3290

Tabla 25. Análisis de varianza de la variable TA

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Tratamiento	5	16664.9	3333.0	125.81	0.000
Sustitución	2	56835.8	28417.9	1072.67	0.000
Trat*Sust	10	17327.4	1732.7	65.40	0.000
Error	18	476.9	26.5		
Total	35	91305.0			

Tabla 26. Análisis de varianza de la variable RS

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Tratamiento	5	693.9	138.77	6.01	0.002
Sustitución	2	1451.7	725.84	31.42	0.000
Trat*Sust	10	450.3	45.03	1.95	0.105
Error	18	415.8	23.10		
Total	35	3011.6			

Tabla 27. Análisis de varianza de la variable Ácido gálico

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Tratamiento	4	15330.5	3832.62	951.60	0.000
Error	5	20.1	4.03		
Total	9	15350.6			

Tabla 28. Análisis de varianza de la variable Ácido clorogénico

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Tratamiento	4	139.67	34.917	9.38	0.015
Error	5	18.61	3.722		
Total	9	158.28			

Tabla 29. Análisis de varianza de la variable Ácido vanílico

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Tratamiento	4	1.274	0.3184	1.25	0.396
Error	5	1.269	0.2538		
Total	9	2.543			

Tabla 30. Análisis de varianza de la variable Ácido cafeico

Fuente	GL	SC	MC	F	P
--------	----	----	----	---	---

Tratamiento	4	0.50010	0.125026	43.74	0.000
Error	5	0.01429	0.002858		
Total	9	0.51440			

Tabla 31. Análisis de varianza de la variable Epicatequina

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Tratamiento	4	104.577	26.1442	44.47	0.000
Error	5	2.940	0.5879		
Total	9	107.516			

Tabla 32. Análisis de varianza de la variable pH en el almacenamiento

Fuente	GL	SC	MC	F	P
PT	4	0.007826	0.001957	39.13	0.000
Tiempo	3	0.191776	0.063925	1278.50	0.000
PT*Tiempo	12	0.016261	0.001355	27.10	0.000
Error	20	0.001000	0.000050		
Total	39	0.216862			

Tabla 33. Análisis de varianza de la variable sólidos solubles totales en el almacenamiento

Fuente	GL	SC	MC	F	P
PT	4	1.44267	0.36067	7.08	0.001
Tiempo	3	0.09031	0.03010	0.59	0.628
PT*Tiempo	12	0.50844	0.04237	0.83	0.619
Error	20	1.01833	0.05092		
Total	39	3.05975			

Tabla 34. Análisis de varianza de la variable L^* en el almacenamiento

Fuente	GL	SC	MC	F	P
PT	4	28.55	7.136	3.88	0.017
Tiempo	3	50.29	16.763	9.10	0.001
PT*Tiempo	12	55.96	4.663	2.53	0.032
Error	20	36.83	1.842		
Total	39	171.63			

Tabla 35. Análisis de varianza de la variable a^* en el almacenamiento

Fuente	GL	SC	MC	F	P
PT	4	5.600	1.4000	5.64	0.003
Tiempo	3	7.179	2.3928	9.64	0.000

PT*Tiempo	12	12.403	1.0336	4.16	0.002
Error	20	4.964	0.2482		
Total	39	30.146			

Tabla 36. Análisis de varianza de la variable b^* en el almacenamiento

Fuente	GL	SC	MC	F	P
PT	4	66.03	16.508	3.28	0.032
Tiempo	3	196.51	65.503	13.01	0.000
PT*Tiempo	12	350.16	29.180	5.80	0.000
Error	20	100.69	5.035		
Total	39	713.40			

Tabla 37. Análisis de varianza de la variable actividad antioxidante en el almacenamiento

Fuente	GL	SC	MC	F	P
PT	4	139.1	34.78	11.58	0.000
Tiempo	3	23632.0	7877.32	2691.54	0.000
PT*Tiempo	12	248.1	20.68	7.06	0.000
Error	20	58.5	2.93		
Total	39	24077.7			

Tabla 38. Análisis de varianza de la variable polifenoles totales en el almacenamiento

Fuente	GL	SC	MC	F	P
PT	4	824.4	206.09	32.28	0.000
Tiempo	3	6626.8	2208.95	345.96	0.000
PT*Tiempo	12	1183.1	98.59	15.44	0.000
Error	20	127.7	6.38		
Total	39	8762.0			

Tabla 39. Análisis de varianza de la variable antocianinas totales en el almacenamiento

Fuente	GL	SC	MC	F	P
PT	4	28204	7050.9	49.59	0.000
Tiempo	3	50434	16811.2	118.24	0.000
PT*Tiempo	12	70031	5835.9	41.05	0.000
Error	20	2844	142.2		
Total	39	151511			



Tabla 40. Análisis de varianza de la variable flavonoides totales en el almacenamiento

Fuente	GL	SC	MC	F	P
PT	4	255.80	63.950	46.89	0.000
Tiempo	3	225.53	75.176	55.12	0.000
PT*Tiempo	12	330.68	27.557	20.20	0.000
Error	20	27.28	1.364		
Total	39	839.29			



10.3. APÉNDICE C

EVALUACIÓN SENSORIAL

Nombre: _____

Edad: _____ Fecha: _____

Frente a usted hay tres muestras de jugo de manzana con arándano azul. **DOS DE ELLAS** son **iguales** entre sí, pruébelas e indique con una **X** cuál es la muestra **DIFERENTE**.

6392 _____ 4178 _____ 3527 _____

De manera general, ¿cuál de las muestras prefiere?

COMENTARIOS

Gracias por su participación

Figura 50. Formato de evaluación sensorial.

Evidencia de la evaluación sensorial





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
CHIHUAHUA

Chihuahua, Chih., a 31 de octubre de 2020.
Oficio: 64/CA/SIP/20

Dr. Ildebrando Pérez Reyes
Secretario de Investigación y Posgrado
Facultad de Ciencias Químicas
Universidad Autónoma de Chihuahua
P r e s e n t e:

Los integrantes del comité, informamos a Usted que efectuamos la revisión de la tesis intitulada: **Efecto de la radiación UV-C con tratamientos térmicos moderados sobre parámetros de calidad en mezclas de jugo de manzana (*Pyrus malus* L.) con arándano azul (*Vaccinum corymbosum*)**” presentada por la **Ing. María del Cielo Valdez Cárdenas** alumna del Programa de Maestría en Ciencias en Ciencia y Tecnología de Alimentos.

Después de la revisión, indicamos a la tesista las correcciones que eran necesarias efectuar y habiéndolas realizado, manifestamos que la tesis, de la cual adjuntamos un ejemplar, ha cumplido con los objetivos señalados por el Comité de Tesis, por lo que puede ser considerada como adecuada para que se proceda con los trámites para la presentación de su Examen de Grado.

A t e n t a m e n t e
“Por la ciencia para bien del hombre”

M.C. Carlos Fernando Vázquez Cárdenas
Co-Director de tesis

Dra. Carmen Oralía Meléndez Pizarro
Asesora de tesis

M.C. Ricardo Talamás Abbud
Asesor de tesis

Dr. Armando Quintero Ramos
Director de tesis

Dr. Ildebrando Pérez Reyes
Secretario de Investigación y Posgrado



***El que suscribe certifica que las firmas que aparecen en esta acta, son auténticas, y las mismas que utilizan los C. Profesores mencionados.

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
Circuito Universitario
Campus Universitario #2 C.P. 31125
Tel. +52 (614) 236 6000
Chihuahua, Chihuahua, México
<http://www.fcq.uach.mx>