

**Extracción y Cuantificación de Compuestos Bioactivos a Partir de Frutos Cítricos
Mandarina (*Citrus reticulata*) y Naranja (*Citrus sinensis*) Generados en la Plaza de
Mercado “El Potrerillo” de la Ciudad de Pasto**

Kimberly Yarittza Vallejo Escobar

Universidad de Nariño

Facultad de Ingeniería Agroindustrial

Programa de Ingeniería Agroindustrial

San Juan de Pasto

2022

**Extracción y Cuantificación de Compuestos Bioactivos a Partir de Frutos Cítricos
Mandarina (*Citrus sinensis*), y Naranja (*Citrus sinensis*). Generados en la Plaza de
Mercado “El Potrerillo” de la Ciudad de Pasto**

Kimberly Yarittza Vallejo Escobar

**Trabajo de Investigación Presentado como Requisito para Optar el Título de
Ingeniería Agroindustrial**

Asesor:

William Alexander Díaz López Ms.C

Universidad de Nariño

Facultad de Ingeniería Agroindustrial

Programa de Ingeniería Agroindustrial

San Juan de Pasto

2022

Nota de Responsabilidad

Las ideas y conclusiones aportadas en este Trabajo de Grado son Responsabilidad de los autores.

Artículo 1 del Acuerdo No. 324 de octubre 11 de 1966, emanado por el Honorable Concejo Directivo de la Universidad de Nariño.

Nota de Aceptación:

Ph.D. ANDRÉS MAURICIO HURTADO

Jurado

MSc. RENATO PANTOJA GUERRERO

Jurado

MSc. WILLIAM ALEXANDER DÍAZ LOPEZ

Asesor

San Juan de Pasto, octubre de 2022

Dedicatoria

Mi tesis la dedico con todo mi amor y cariño a Dios y la Virgen por todas sus bendiciones, protección y fortaleza. A mis padres por su apoyo incondicional, sus consejos y sus esfuerzos logrando que me supere cada día más. A mi hermana quien vivió junto a mí todas las experiencias de caer y volver a levantarnos hasta lograr nuestros objetivos. A mi sobrino por ser una fuente de motivación en los momentos difíciles. Al amor de mi vida por ser ese pilar que me ayudo a sostener mis malos momentos y aspiraciones. Gracias por su paciencia, amor y entrega y por sobre todo, su apoyo en la etapa más difícil de mi carrera. Todos mis esfuerzos y los de ustedes se reflejarán en nuestro futuro.

Agradecimiento

A Dios y la virgen por darme perseverancia y sabiduría para culminar esta etapa universitaria.

A nuestra Alma Mater, la Universidad de Nariño por permitirme ser parte de ella, por haberme alojado en su campus para tener una preparación académica idónea, permitiéndome crecer de manera personal y profesional.

Al Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (Minciencias) por el apoyo económico al proyecto “Obtención de compuestos bioactivos mediante el aprovechamiento y manejo sostenible de residuos vegetales generados en las plazas de mercado del municipio de Pasto” de la convocatoria 818, así como también al Ph.D Oswaldo Osorio Mora director del Grupo de Apoyo a la Investigación y Desarrollo Agroalimentario (GAIDA), quien actualmente lidera el desarrollo del proyecto en mención.

De manera especial a los ingenieros MSc William Alexander Diaz López, al PhD Vladimir Vallejo Castillo, Esteban Hernán Arteaga Cabrera por su apoyo, disposición y grandes conocimientos compartidos a lo largo de este proceso de investigación.

Resumen

Actualmente, el aprovechamiento integral de los residuos de frutas es más frecuente debido a su contenido de compuestos bioactivos que reducen enfermedades degenerativas, cardiovasculares, cáncer, envejecimiento, etc.

El presente estudio investigó el potencial de los residuos de mandarina (*Citrus reticulata*) y naranja (*Citrus sinensis*) y su mezcla (1:1) generados en la plaza de mercado “El Potrerillo” como fuente de Polifenoles y Flavonoides utilizando un método de extracción verde. Inicialmente se llevó a cabo la obtención de compuestos bioactivos por medio de la extracción asistida por ultrasonido (EAU) donde se especificó la frecuencia con 80 KHz y tiempo con 30 minutos empleados en residuos de semilla, pulpa y cascara previamente secas. La mezcla de mandarina y naranja (1:1) inhibió el mayor porcentaje de radical DPPH y ABTS, posteriormente se encontraron las condiciones óptimas de extracción de la (EAU). Se aplicó un Diseño Central Compuesto (DCC) con la metodología de Superficie de Respuesta (RSM), evaluando los factores como concentración del solvente (etanol 30 - 70 %), relación sólido: solvente (1:20 – 1:60 g: mL) y temperatura (25-55°C). Las condiciones que maximizaron las variables de respuesta fueron 72,80 % de etanol (v/v) como solvente, relación sólido: solvente de 1:67,97 (g:mL) y temperatura de 56,23 °C para obtener un contenido total de Polifenoles (TPC) de 4074,64 mg GAE/100 g de Fresh Weight (FW) y para un contenido total de Flavonoides (TFC) de 1426,97 mg CE/100 g FW. Los resultados obtenidos indicaron que los residuos de mandarina y naranja tienen un alto potencial para la obtención de compuestos de alto valor agregado.

Palabras claves: residuos, cítricos, naranja, mandarina, compuestos bioactivos, polifenoles, flavonoides., extracción.

Abstract

Currently, the integral use of fruit residues is more frequent due to its content of bioactive compounds that reduce degenerative and cardiovascular diseases, cancer, aging, etc.

The present study investigated the potential of mandarin (*Citrus reticulata*) and orange (*Citrus sinensis*) residues and their mixture (1:1) generated in the market place "El Potrerillo" as a source of Polyphenols and Flavonoids using an extraction method. green. Initially, the obtaining of bioactive compounds was carried out by ultrasound-assisted extraction (UAE) where the frequency was specified with 80 KHz and time with 30 minutes used in previously dry seed, pulp and shell residues. The tangerine and orange mixture (1:1) inhibited the highest percentage of DPPH and ABTS radicals, later the optimal extraction conditions of the (EAU) were found. A Central Composite Design (DCC) was applied with the Response Surface methodology (RSM), evaluating factors such as solvent concentration (ethanol 30 - 70%), solid:solvent ratio (1:20 - 1:60 g: mL) and temperature (25-55°C). The conditions that maximized the response variables were 72.80% ethanol (v/v) as solvent, solid:solvent ratio of 1:67.97 (g:mL) and temperature of 56.23 °C to obtain a content total Polyphenols (TPC) of 4074.64 mg GAE/100 g of Fresh Weight (FW) and for a total Flavonoid content (TFC) of 1426.97 mg CE/100 g FW. The results obtained indicated that mandarin and orange residues have a high potential for obtaining compounds with high added value.

Keywords: residues, citrus, orange, tangerine, bioactive compounds, polyphenols, flavonoids, extraction.

Contenido

	Pág.
Introducción	19
1. Título.....	21
2. Problema de investigación	22
2.1. Planteamiento y formulación del problema	22
2.2. Pregunta problema	23
3. Justificación	24
4. Marco Teórico.....	26
4.1. Aspectos generales de la naranja (citrus sinensis) y mandarina (Citrus reticulata)	26
4.1.2. Producción en Colombia.....	26
4.1.3. Composición de la naranja y la mandarina	26
4.1.4. Importancia de los antioxidantes	27
4.1.5. Técnicas para medir actividad antioxidante.....	27
4.1.5.1. DPPH.	27
4.1.5.2. ABTS.	28
4.1.6. Extracción asistida por ultrasonido	28
4.1.7. Parámetros que afectan en la extracción asistida por ultrasonido.....	28
4.1.7.1. Solvente de extracción.	28
4.1.7.2. Frecuencia.	28
4.1.7.3. Tiempo de extracción.....	29
4.1.8. Modelos matemáticos en la industria alimentaria.....	29
4.2. Marco conceptual.....	30

4.2.1. Residuos.....	30
4.2.2. Antioxidante.....	30
4.2.3. Radicales Libres.....	30
4.2.4. La actividad antioxidante.....	31
4.2.5. Polifenoles.....	31
4.2.6. Flavonoides	31
4.3. Marco legal	32
5. Estado del arte.....	34
6. Objetivos.....	36
6.1. Objetivo general.....	36
6.2. Objetivos específicos	36
7. Metodología	37
7.1. Caracterización fisicoquímica de residuos de mandarina (citrus reticulata) y naranja (citrus sinensis).....	38
7.1.1. Sanitización.....	38
7.1.2. Troceado de la materia prima	38
7.1.3. Sólidos solubles	39
7.1.4. pH y Acidez titulable	39
7.1.4.1. Determinación de pH.	39
7.1.4.2. Determinación de acidez.....	40
7.1.5. Humedad	41
7.1.6. Secado	42

7.2. Evaluación de la influencia de la frecuencia, tiempo, concentración de solvente (% etanol v/v), relación sólido/solvente y temperatura con EAU de (TPC) y (TFC) presentes en residuos cítricos.....	43
7.2.1. Extracción asistida por ultrasonido.....	43
7.2.2. Cinética de extracción de compuestos bioactivos de residuos cítricos.....	43
7.2.2.1. Análisis estadístico.....	44
7.2.3. Determinación del contenido total de polifenoles (TPC) método colorimétrico de Folin-Ciocalteu	45
7.2.3.1. Curva patrón de ácido Gálico.	45
7.2.4. Determinación del contenido total de flavonoides (TFC) método Colorimétrico de Cloruro de Aluminio.	46
7.2.4.1. Curva patrón catequina.	46
7.2.5. Actividad antioxidante 2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo (DPPH).....	47
7.2.5.1. Ensayo y determinación de la actividad Antioxidante por DPPH.	47
7.2.5.2. Curva de Calibración y Correlación.	47
7.2.6. Actividad antioxidante ABTS * +. 2,2 '-azinobis- (3-etilbenztiazolina-6-sulfonas) (ABTS).....	48
7.2.6.1 Ensayo y determinación de la actividad antioxidante por el método ABTS.	48
7.2.6.2. Curva de Calibración y Correlación.	48
7.2.7. Modelo matemático en cinética de extracción.....	49
7.2.8. Diseño experimental Central Compuesto (DCC) de Superficie de Respuesta	49
7.2.9. Optimización y Validación de las Condiciones Óptimas	50

7.3. Determinación de la actividad antioxidante efectiva de los extractos obtenidos a partir de los residuos de frutos cítricos.....	51
7.3.1. Preparación de extracto para EC50.....	51
8. Resultados y Discusión.....	53
8.1. Caracterización fisicoquímica de residuos de frutos cítricos.....	53
8.2. Secado.....	54
8.3. Evaluación de la influencia de la frecuencia, tiempo y relación solido/solvente con EAU de polifenoles (TPC) y flavonoides (TFC) presentes en residuos cítricos.....	55
8.3.1. Cinéticas de extracción asistidas con ultrasonido para mandarina, naranja y su mezcla (1:1) a 37 kHz.	55
8.3.2. Cinéticas de extracción asistidas con ultrasonido para mandarina, naranja y su mezcla (1:1) a 80 kHz.	59
8.3.3. Análisis estadístico.....	64
8.3.4. Modelamiento matemático para la extracción de TPC y TFC a frecuencia de 80 KHZ	65
8.3.5. Metodología de Superficie de Respuesta, Diseño Central Compuesto (DCC).....	68
8.3.6. Optimización de la extracción asistida por ultrasonido del contenido total de polifenoles y flavonoides presentes en la mezcla de naranja y mandarina (1:1).....	70
8.3.6.1 Modelo Polinomial de Segundo Orden.....	70
8.3.6.2. Adecuación del modelo cuadrático.....	71
8.3.6.3. Figuras de superficie respuesta (RMS) de las interacciones de los factores, A concentración de solvente (% etanol v/v), B (Relación solido: solvente) y C (Temperatura °C) con las variables de respuesta TPC y TFC.	72

8.3.6.4. Condiciones óptimas en la obtención de TPC y TFC y validación e idoneidad del Método.	77
8.3.7. Determinación de la capacidad antioxidante (DPPH) utilizando las variables optimizadas	80
8.4. Determinación de la actividad antioxidante efectiva EC50 de los extractos obtenidos a partir de los residuos de frutos cítricos	80
9. Conclusiones	82
10. Difusión.....	83
11. Recomendaciones	84
Referencias.....	85
Anexos	98

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1 Diagrama de flujo para la extracción asistida por ultrasonidos de polifenoles TPC y flavonoides (TFC) de residuos de naranja (citrus sinensis) y mandarina (citrus reticulata).....	37
Figura 2 Troceado en rodajas de frutos cítricos de mandarina (Citrus reticulata) y naranja (Citrus sinensis)	39
Figura 3 pH-metro con residuos cítricos de mandarina (Citrusreticulata), y naranja (Citrus sinensis)	40
Figura 4 Montaje para determinar la acidez en residuos cítricos de mandarina (Citrus reticulata), y naranja (Citrus sinensis)	41
Figura 5 Determinación de humedad de residuos cítricos de mandarina (Citrus reticulata) y naranja (Citrus sinensis)	42
Figura 6 Frutos cítricos de mandarina (Citrus reticulata) y naranja (Citrus sinensis) en secador de bandejas	42
Figura 7 Residuos secos de mandarina (Citrus reticulata) y naranja (Citrus sinensis) en bolsas herméticas.....	43
Figura 8 Extracción asistida con ultrasonido de harina de mandarina (Citrus reticulata), naranja (Citrus sinensis) y su mezcla	44
Figura 9 Diluciones de ácido Gálico para realizar curva patrón.....	45
Figura 10 Diluciones de Catequina para realizar curva patrón.....	46
Figura 11 Montaje para rotaevaporar la mezcla del extracto de mandarina (Citrus reticulata) y naranja (Citrus sinensis)	51

Figura 12 Cinéticas de extracción de polifenoles totales (TPC) de residuos de mandarina (Citrus reticulata), naranja (Citrus sinensis) y mezcla de naranja y mandarina (1:1) asistidas con ultrasonido a 37 KHz.....	55
Figura 13 Cinéticas de extracción de flavonoides totales (TFC) de residuos de mandarina (Citrus reticulata), naranja (Citrus sinensis) y mezcla de naranja y mandarina (1:1) asistidas con ultrasonido a 37 KHz.....	57
Figura 14 Cinéticas de extracción de actividad antioxidante con método DPPH de mandarina (Citrus reticulata), naranja (Citrus sinensis). y mezcla de naranja y mandarina (1:1) asistidas con ultrasonido a 37 KHz	58
Figura 15 Cinéticas de extracción de polifenoles totales (TPC) de residuos de mandarina (Citrus reticulata), naranja (Citrus sinensis) y mezcla de naranja y mandarina (1:1) asistidas con ultrasonido a 80 KHz.....	59
Figura 16 Cinéticas de extracción de flavonoides totales (TFC) de residuos de mandarina (Citrus reticulata), naranja (Citrus sinensis) y mezcla de naranja y mandarina (1:1) asistidas con ultrasonido a 80 KHz.....	61
Figura 17 Cinéticas de extracción de actividad antioxidante con método DPPH de mandarina (Citrus reticulata), naranja (Citrus sinensis) y mezcla de naranja y mandarina (1:1) asistidas con ultrasonido a 80 KHz	62
Figura 18 Cinéticas de extracción de actividad antioxidante con método ABTS de mandarina (Citrus reticulata), naranja (Citrus sinensis) y mezcla de naranja y mandarina (1:1) asistidas con ultrasonido a 80 KHz	63

Figura 19 Modelamiento matemático de primer orden para la cinética de EAU de la mezcla de mandarina (<i>Citrus reticulata</i>) y naranja (<i>Citrus sinensis</i>) (1 :1) a frecuencia de 80 KHz para TPC (A) y TFC (B).....	67
Figura 20 Diagramas de Pareto para las variables de respuesta: a) contenido total de polifenol, y b) contenido total de flavonoides	69
Figura 21 Superficie de respuesta para el TPC de la mezcla de naranja y mandarina (1:1) en función de la temperatura, relación solido/solvente y concentración de solvente (% etanol v/v).....	73
Figura 22 Superficie de respuesta para el TFC de la mezcla de naranja y mandarina (1:1) en función de la temperatura, relación solido /solvente y concentración de solvente (% etanol v/v).....	76
Figura 23 Superposición de contornos para la EAU del TPC y TFC presentes en la mezcla de naranja y mandarina (1:1).....	79
Figura 24 Estimación de la actividad antioxidante efectiva (CE50) en las condiciones óptimas de extracción EAU	81

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1 Matriz del diseño experimental para el proceso de EAU para TPC y TFC	50
Tabla 2 Caracterización fisicoquímica de frutos cítricos de mandarina (<i>Citrus reticulata</i>), y naranja (<i>Citrus sinensis</i>)	53
Tabla 3 Parámetros cinéticos y estimados del modelamiento matemático de la EAU a frecuencia de 80 KHz para TPC Y TFC.....	66
Tabla 4 Resumen del modelo estadístico analizados en la optimización de la EAU para la TPC y TFC presentes en la mezcla de residuos de naranja y mandarina (1:1)	71
Tabla 5 Comparación de valor experimental y predicho para el TPC y TFC de la mezcla de residuos de mandarina y naranja (1:1) bajo las condiciones optimas	78

Lista de anexos

	Pág.
Anexo 1. Curva de calibración de ácido gálico para TPC (A), curva de calibración de catequina para TFC (B)	98
Anexo 2. Curva de calibración radical DPPH (A), curva de calibración radical ABTS (B).....	99
Anexo 3. Curva de correlación entre los radicales DPPH y ABTS	100
Anexo 4. Tablas de cinética de EAU a 37 y 80 KHz para TPC y TFC en naranja, mandarina y su mezcla (1:1)	101
Anexo 5. Certificados ponencias	117
Anexo 6. Evidencia divulgación.....	119

Introducción

Los residuos orgánicos corresponden a todo material que proviene de especies de flora o fauna y es susceptible a descomposición por microorganismos, o bien consiste en restos, sobras o productos de desecho de cualquier organismo (CCA, 2017).

Considerando la composición y la generación de residuos sólidos, se observa que, en las grandes ciudades de Colombia de acuerdo con la información de los planes de gestión integral de residuos sólidos, los residuos orgánicos corresponden al 61,5% de la generación de residuos. Dentro de la categoría de residuos orgánicos aparecen con gran importancia los generados por los alimentos en sus diferentes etapas de la producción, los cuales se pierden y desperdician en el país a razón de 9,76 millones de toneladas de alimentos al año. Del total de alimentos perdidos y desperdiciados, el 64% corresponde a pérdidas que se ocasionan en las etapas de producción, post-cosecha, almacenamiento y procesamiento industrial (CONPES 3874, 2016).

En la ciudad de Pasto se generan considerables sumas de residuos sólidos, entre ellos residuos de frutas con 1,43 ton (DANE, 2019), que no tienen un proceso de aprovechamiento y son transportados y dispuestos directamente al relleno sanitario. En la plaza de mercado “El Potrerillo” de la ciudad de Pasto, la cantidad de residuos de frutos cítricos presentes tienen un valor promedio de 234,10 kg (9,93%), que está conformado por naranjas, mandarinas y limones, que a su vez cada uno, tiene un porcentaje “Mandarina (63%), naranja (28%) y limón (9%)” de la cantidad total de este residuo (Ordoñez Gomez, 2020).

Los cítricos pertenecen al género *Citrus*, cuyo término común es cítrico y designa las especies de grandes arbustos o arbolillos perennes (entre 5 y 15 m) de la familia *Rutaceae*, cuyos frutos o frutas poseen un alto contenido en vitamina C y ácido cítrico que les proporciona

ese sabor ácido tan característico. Dentro de los cítricos se conocen las siguientes especies en estudio: naranja (*Citrus sinensis*) y mandarina (*Citrus reticulata*).

Las frutas cítricas se han valorado durante mucho tiempo por ser una fuente importante y natural de vitamina C, ácido fólico, potasio y compuestos fenólicos, que presentan diversas actividades biológicas, entre ellas la actividad antioxidante. Los compuestos fenólicos son fitoquímicos derivados del metabolismo secundario de las plantas y poseen un efecto antioxidante que contribuye a prevenir el daño oxidativo de las células ocasionado por especies reactivas de oxígeno (EROS), que son moléculas causantes de enfermedades crónicas, pulmonares, neurodegenerativas y cardiovasculares (Shafiya *et al.*, 2016).

Un método eficiente, económico y favorable hacia el medio ambiente para la extracción de compuestos bioactivos es la extracción asistida por ultrasonido (EAU), la cual es una técnica no convencional que implica generalmente utilizar un disolvente orgánico y disponerlo en un baño de ondas sonoras que se producen durante el fenómeno de cavitación, causando la ruptura de las paredes celulares que permiten la extracción de compuestos fenólicos de la muestra al medio disolvente.

En consecuencia, la presente investigación pretende aprovechar residuos de cítricos generados en la plaza de mercado “El Potrerillo” en el municipio de Pasto con el fin de evaluar el efecto de algunos factores en la extracción asistida con ultrasonido de polifenoles y flavonoides.

1. Título

Extracción y Cuantificación de Compuestos Bioactivos a Partir de Frutos Cítricos
Mandarina (*Citrus reticulata*) y Naranja (*Citrus sinensis*) Generados en la Plaza de Mercado “El
Potrerillo” de la Ciudad de Pasto.

2. Problema de investigación

2.1. Planteamiento y formulación del problema

El medio ambiente se encuentra en un periodo de crisis a nivel mundial debido al gran número de población en las ciudades, lo que lleva a generar una mayor demanda de bienes de consumo que paralelamente aumentan el volumen de desechos, por lo tanto los países deben enfocar sus esfuerzos en implementar estrategias innovadoras que permitan disminuir este gran impacto en cada región.

Una de estas problemáticas es el inadecuado manejo de residuos sólidos en zonas urbanas, a pesar de invertir grandes cantidades de recursos para tratar de aprovechar materiales, transformarlos o reutilizarlos se hace necesaria una intervención económica mucho más alta(Campos *et al.*, 2018).

Los residuos vegetales son definidos como perdidas y desperdicios de alimentos de origen vegetal que se generan durante la postcosecha, distribución y comercialización de alimentos para el consumo, así mismo el aumento de la población y los cambios en los estándares de vida han permitido que estos residuos se incrementen cada vez más (Campos *et al.*, 2018) y formen parte del conjunto de desechos que no se aprovechan ni se manejan de forma adecuada.

El mayor porcentaje se produce en centros de abasto y plazas de mercado, donde generalmente no se cuenta con la infraestructura ni la logística que permita la correcta disposición y selección para su uso y aprovechamiento exclusivo. La plaza de mercado “El Potrerillo” de la ciudad de Pasto no es la excepción ante esta situación, por tal motivo es de gran interés realizar una investigación que plantee una alternativa hacia el aprovechamiento de estos

materiales y simultáneamente dé a conocer sus beneficios y su posible uso en la industria alimentaria y farmacéutica.

2.2. Pregunta problema

¿Cuál es el efecto de la relación sólido/solvente, concentración del solvente y temperatura sobre la extracción asistida con ultrasonido de polifenoles y flavonoides a partir de residuos de frutos cítricos generados en la plaza de mercado “El Potrerillo” de la ciudad de Pasto?

3. Justificación

La generación de residuos sólidos aumenta en proporción directa con el crecimiento de la población mundial, entre estos, los orgánicos han tomado una importancia significativa, su inadecuado manejo conlleva a problemas de olores, generación de partículas en suspensión por arrastre de vientos, contaminación de fuentes hídricas, aporte de gases efecto invernadero con los consecuentes efectos sobre el entorno y la salud pública (Grajales *et al.*, 2018). En Colombia se generan tres principales tipos de residuos sólidos: los orgánicos, inorgánicos y sanitarios, de los cuales el 55% son de tipo orgánico (Alcaldía de Santiago de Cali, 2016). Estos residuos, en su mayoría son biodegradables, es decir se descomponen naturalmente transformándose en otro tipo de materia orgánica, hecho que posibilita estudiar su aprovechamiento.

Con respecto a la generación de residuos cítricos, se estima que en la industria mundial de cítricos se producen más de 120 millones de toneladas, de las cuales el 40% es utilizado para la extracción de zumo, quedando como residuos la piel o cáscara, las semillas y una parte de pulpa. La producción mundial de estos residuos se aproxima a los 20 millones de toneladas. El cítrico más producido en Colombia es la naranja con una producción de alrededor de 228,128 T/año, seguido de las mandarinas con 109,768 T/año (Aguilar *et al.*, 2012a).

Los compuestos bioactivos presentan un papel relevante en la prevención de numerosas enfermedades debido a su importante acción antioxidante. Muchos de los procesos biológicos, entre ellos la respiración o la obtención de energía, generan gran cantidad de moléculas estructuralmente inestables de oxígeno conocidas como especies reactivas de oxígeno (ROS), que son contrarrestadas por antioxidantes endógenos (Zamora, 2007). Sin embargo, la vía endógena requiere apoyo externo por lo que se recomiendan los antioxidantes exógenos como polifenoles y flavonoides, que pueden formar parte de la dieta diaria.

Los beneficios derivados del consumo de cítricos pueden contribuir a reducir el riesgo de contraer muchas enfermedades crónicas como el cáncer, enfermedades cardiovasculares, anemia, malformaciones congénitas y cataratas. Por ello, la extracción de estos compuestos presentes en frutas cítricas ha sido de interés para las industrias alimentarias, farmacéuticas, cosméticas y la elaboración de productos funcionales (Wang y Weller, 2006).

Se emplea la extracción asistida por ultrasonido (EAU) por ser un proceso más amigable con el medio ambiente, siendo una de las más importantes en la obtención de compuestos bioactivos. De acuerdo a estudios previos, este método permite incrementar el rendimiento de compuestos con bajo volumen de disolvente, gasto energético y tiempo, que pueden ser desde 5-60 min, aproximadamente (Putnik *et al.*, 2017).

4. Marco Teórico

4.1. Aspectos generales de la naranja (*Citrus sinensis*) y mandarina (*Citrus reticulata*)

Proviene originalmente del sureste de China e Indochina, la cual fue usada principalmente en un principio para propósitos medicinales y para la elaboración de dulces. Los cítricos pertenecen a la clase Angiospermae, a la subclase Dico-tiledónea, a la orden Rutae, a la familia Rutaceae y al género *Citrus*, y dentro de ellos se conocen las siguientes especies: naranja (*Citrus sinensis*), mandarina (*Citrus reticulata*), limón (*Citrus aurantifolia*), toronja (*Citrus paradisi*) y mandarina (*Citrus reticulata*). Entre los cítricos, la naranja es la fruta más común y la más conocida en el ámbito mundial (Orduz y Mateus, 2012).

4.1.2. Producción en Colombia

En Colombia las zonas productoras de naranja (*Citrus sinensis*) y mandarina (*Citrus reticulata*) están ubicadas entre (0-1600 msnm), precipitaciones (900-1200 mm), temperaturas entre (23-34 °C) y luminosidad mayor de (1900 h/año). En Colombia para el primer trimestre de 2019, la producción de naranja se ubicó en el tercer lugar con 283815 T/semestre correspondiente al 9,7% del total de frutas, el área planteada fue de 40322 ha y el área productiva de 31617 ha, para un rendimiento de 8,98T/ha * semestre. En Nariño se cultivan aproximadamente 1592 ha (Agudelo y Villada, 2018).

4.1.3. Composición de la naranja y la mandarina

Se encuentran formadas por dos capas. La parte externa está formada por una cáscara o piel, la cual incluye dos capas principales, la interna y la externa; la capa externa incluye el flavedo cuya pigmentación depende del tipo de fruta, y el albedo que forma parte de la capa interna y es incolora (Arroyo y León, 2014).

La parte interna tiene una serie de segmentos triangulares en forma de luna, se encuentran alrededor del centro de la fruta cítrica, los cuales constituyen los gajos rodeados por una membrana llamada endocarpio, que permite que un gajo se pueda separar de los demás. Cada gajo consta de dos constituyentes principalmente, el jugo o pulpa, y las semillas. La forma y el tamaño de las semillas varían dependiendo de la especie del fruto, el eje central de los cítricos está compuesto del mismo tipo de tejidos que el albedo y en algunos cítricos, como las mandarinas y sus híbridos, tienen un espacio central (Arroyo y León, 2014).

4.1.4. Importancia de los antioxidantes

Los antioxidantes retrasan y previenen procesos biológicos como el envejecimiento, liberar sustancias tóxicas, el cáncer, patologías relacionadas con sobrepeso y obesidad etc. Ya que combaten la degeneración y muerte de las células. La incapacidad del cuerpo humano para neutralizar a los radicales libres a los que está expuesto diariamente, obliga al hombre a recurrir a alimentos con propiedades antioxidantes con capacidad de neutralizarlos (Gutiérrez Zavala *et al.*, 2007).

4.1.5. Técnicas para medir actividad antioxidante

4.1.5.1. DPPH. Es una técnica para evaluar la capacidad antioxidante de alimentos y plantas, es un polvo cristalino de color oscuro compuesto de moléculas estables de radicales libres. Esta técnica es susceptible de reaccionar con compuestos antioxidantes a través de un proceso caracterizado por la cesión de un átomo de hidrógeno proporcionado por el agente antioxidante (Poma *et al.*, 2015).

4.1.5.2. ABTS. Es la capacidad de un antioxidante para estabilizar el radical catión coloreado $ABTS^{\bullet+}$, el cual es formado previamente por la oxidación del ABTS (2,2'-azinobis (3-etilbenzotiazolina-6- ácido sulfónico)) por metamioglobina y peróxido de hidrógeno. Se fundamentan en la estabilización de radicales libres sintéticos metaestables, cuya reacción con un antioxidante genera un cambio que puede ser detectado instrumentalmente. Los resultados son expresados como equivalentes de Trolox o TEAC (por su nombre en inglés, Trolox Equivalent Antioxidant Capacity) (Julian Londoño, 2012).

4.1.6. Extracción asistida por ultrasonido

La extracción asistida por ultrasonido utiliza sonidos de alta frecuencia con el fin de desprender el compuesto buscando del material vegetal. Las partículas sólidas y líquidas vibran y se aceleran ante la acción ultrasónica, como resultado el soluto pasa rápidamente de la fase sólida al solvente (Gao y Liu, 2005).

4.1.7. Parámetros que afectan en la extracción asistida por ultrasonido

4.1.7.1. Solvente de extracción. Debe ser elegido tomando en cuenta la polaridad y solubilidad del compuesto que debe ser extraído, en general solventes con características similares al soluto que quiere ser extraído, proveen buenas extracciones (Wong y Aguilar, 2020).

4.1.7.2. Frecuencia. La frecuencia influye en la formación de burbujas de cavitación y se relaciona con la potencia. Esto se debe a que las bajas frecuencias generan grandes burbujas de cavitación en los disolventes de extracción que implosionan violentamente, generando un alto cizallamiento lo que asegura una mayor degradación celular, una mayor penetración del disolvente y una mayor tasa de extracción. Por lo tanto la relación con la potencia, es directamente proporcional a la frecuencia, pues al aumentar ésta la potencia debe hacerlo

también ya que un aumento de la frecuencia de ultrasonido a baja potencia afectaba de manera negativa el contenido de polifenoles totales (Ramón y Gil-Garzón, 2021).

4.1.7.3. Tiempo de extracción. El aumento de la eficiencia de extracción con el tiempo, se obtiene hasta que se alcanza un equilibrio, tiempos mayores al óptimo producen una reducción en las recuperaciones obtenidas, probablemente por la degradación del compuesto o por la descomposición del solvente orgánico causado por las ondas del ultrasonido (Wong y Aguilar, 2020).

4.1.8. Modelos matemáticos en la industria alimentaria

La modelización matemática es una herramienta útil para determinar los efectos de las distintas características de un sistema y del proceso en el resultado de éste. La modelización de diversos productos y/o procesos alimentarios es un reto debido, sobre todo, a la falta de comprensión de los fenómenos, a las dificultades de los experimentos de modelización y a las incertidumbres relacionadas con los datos fiables y las propiedades de los alimentos. La calidad de los alimentos y las propiedades de seguridad alimentaria se han convertido en una de las principales preocupaciones de los consumidores y de la industria alimentaria, mientras que los modelos matemáticos sobre el comportamiento de los alimentos a lo largo de la cadena alimentaria proporcionan información relacionada con las características de los alimentos y los diferentes fenómenos que se producen durante todas las actividades/procesos. La modelización de los procesos alimentarios y/o las simulaciones multiescala, desde los ingredientes alimentarios hasta toda la cadena de suministro de alimentos, mejoran la exploración de las alternativas en un mercado competitivo (Djekic *et al.*, 2019).

4.2. Marco conceptual

4.2.1. Residuos

Los residuos orgánicos son biodegradables, se componen naturalmente y tienen la propiedad de poder desintegrarse o degradarse rápidamente, transformándose en otra materia orgánica. Existen factores que inciden en las frutas, convirtiéndose en residuos y se reflejan en plazas de mercado, principalmente en la etapa de distribución como: aumento de producción alimentaria, mayor exigencia estética del mercado, ineficiencias en la gestión de almacenes e inventarios, daños en el embalaje, estrategias de marketing que promueven compras excesivas y fallas en la cadena de frío (A. Martínez et al., 2017).

4.2.2. Antioxidante

Es una sustancia que forma parte de los alimentos de consumo cotidiano y que puede prevenir los efectos adversos de especies reactivas sobre las funciones fisiológicas normales de los humanos. De igual forma Un antioxidante puede definirse como un compuesto que inhibe o evita la oxidación celular y el cuerpo humano los utiliza para eliminar radicales libres (Patthamakanokporn *et al.*, 2008).

4.2.3. Radicales Libres

Un radical libre es una molécula que se produce cada día en nuestro organismo como resultado de las reacciones biológicas que se producen en las células. Los radicales libres son moléculas muy reactivas, necesarias para realizar determinadas funciones y mantener el estado de salud. Diariamente se producen este conjunto de reacciones en el organismo y que se pueden englobar como “respiración celular”. Todas estas reacciones son necesarias para la vida celular, pero la producción de radicales libres a lo largo del tiempo puede tener efectos negativos ya que alteran las membranas de las células y el material genético (ADN de la célula).

La vida biológica media de un radical libre es de microsegundos, pero tiene la capacidad de reaccionar con todo lo que esté a su alrededor provocando el daño celular (Ormaechea, 2019).

4.2.4. La actividad antioxidante

Es la capacidad de una sustancia para inhibir la degradación oxidativa, de tal manera que un antioxidante actúa principalmente gracias a su capacidad para reaccionar con radicales libres por lo tanto, recibe el nombre de antioxidante terminador de cadena (Julian Londoño, 2012).

4.2.5. Polifenoles

Son sustancias orgánicas de naturaleza aromáticas, esto quiere decir que en su estructura química poseen uno o más anillos aromáticos de benceno con sustituyentes hidroxilos. Si en el benceno se sustituye al menos un hidrógeno por un hidroxilo se obtiene un fenol. Son metabolitos secundarios de las plantas, cuya síntesis está muy influenciada por factores externos. Están muy distribuidos por la naturaleza, los más importantes son los de origen vegetal. Se encuentran prácticamente en todas las partes de la planta: hojas, frutas y semillas (Coultate, 2016).

4.2.6. Flavonoides

Son el grupo simple de fenólicos más grande en los alimentos vegetales, son compuestos de bajo peso molecular que generalmente existen enlazados a moléculas de azúcares. Los flavonoides están agrupados en antocianinas y antoxantinas. Las antocianinas son moléculas de pigmentos rojos, azules y púrpuras. Las antoxantinas, que incluyen flavonoles, flavonas, flavanoles, e isoflavonas, son moléculas incoloras o de colores que oscilan desde el blanco hasta el amarillo (Coultate, 2016).

4.3. Marco legal

Ley 9 de 1979: Código sanitario nacional. Establece criterios a ser considerados en el almacenamiento de los residuos. Art. 22 al 35 define la disposición final de los residuos, mediante el almacenamiento (recipiente, condiciones) y la recolección; además que las empresas de aseo deberán ejecutar la recolección de las basuras con una frecuencia tal que impida la acumulación o descomposición en el lugar.

Decreto 1713 de 2002: En este decreto se reglamenta el manejo adecuado de los residuos sólidos en todas sus etapas; separación en la fuente, almacenamiento, tratamiento, recolección, transporte, aprovechamiento y disposición final, todos encaminados a disminuir los efectos negativos ocasionados al ambiente. Las plazas de mercado deben tener programas que produzcan la heterogeneidad de los residuos sólidos facilitando las operaciones de manejo y aprovechamiento, además se debe contar con contenedores de recolección ubicados en puntos estratégicos.

Decreto 1505 2003: Modifica parcialmente el Decreto 1713 de 2002, mediante el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS), en el cual se hace mención de la reincorporación de algunos residuos al ciclo económico y productivo de forma eficiente. Cada municipio y distrito deberán tener actualizado un (PGIRS) controlado y vigilado por las autoridades competentes.

Guía Técnica Colombiana (GTC 24:2009): Dentro del PGIRS se encuentra la separación en la fuente teniendo en cuenta el sector, tipo de residuo y color, la cual pretende que haya mejor calidad de los residuos optimizando el aprovechamiento y disposición final de los mismos, seguidamente se recomienda realizar una recolección selectiva de los residuos.

Guía Técnica Colombiana (GTC 86:2003): Guía para la implementación de la gestión integral de residuos –GIR-, donde se pretende no solo entregar los residuos a las empresas encargadas sino implementar etapas que busquen acciones necesarias para promover su aprovechamiento y tratamiento adecuado, para minimizar su generación e impacto al medio ambiente.

5. Estado del arte

A continuación, se presentan estudios relacionados con la presente investigación a nivel internacional, nacional y regional que sirven de soporte a todo el trabajo desarrollado:

El método aplicado por Hou *et al.* (2021) para extraer compuestos fenólicos del polvo de pulpa de naranja *Navel* (1 g de peso seco) de diferentes meses de crecimiento, se mezcló completamente con 15 ml de solvente (metanol al 80%), extraído por ultrasonido durante 30 min a 30 °C. El contenido fenólico total (TPC) varió de 18,83 mg GAE/g de FW en el período de frutos jóvenes a 5,69 mg GAE/g de FW, al vencimiento comercial. El contenido total de flavonoides (TFC) se expresó como miligramos de equivalentes de rutina por gramo de peso seco de polvo de naranja *navel* (mg RE/g de peso seco). El TFC varió desde 5,38 mg RE/g dw en el período de frutos jóvenes a 0,69 mg RE/g de peso seco en la madurez comercial, y la actividad antioxidante alcanzo un máximo para el período de frutos jóvenes, con valores de Trolox de 12,88 mg/g de peso seco con la metodología ABTS.

Santos Escamillas (2020), realizó la evaluación del contenido total de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante de dos subproductos de café, la cascarilla de café y la película plateada de café, ambos obtenidos del proceso de beneficio del café verde. Una de las fases de desarrollo del proyecto fue identificar el contenido total de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante *in vitro* y para obtener los extractos se evaluaron las mejores condiciones de temperatura y porcentaje de disolvente. El subproducto elegido para su cuantificación fue la película plateada por su mayor perfil nutricional, los métodos aplicados fueron: **a)** el rendimiento de extracción con 18,20%, **b)** el contenido total de compuestos fenólicos con 109,30 mg GAE/100 g de muestra **c)** el contenido total de flavonoides con 0,28 mg de equivalente de

quercetina -QE/100 g de muestra d) la capacidad antioxidante con 4504,50 mg TE/100 g muestra y un EC50 de 39,04 µg/mL.

El objetivo de la investigación de Benavides *et al.* (2020) fue evaluar el TPC y actividad antioxidante de dos variedades de papas (*Solanum phujera*) nativas cultivadas al sur de Colombia. Evaluaron el efecto del uso de ultrasonido en la extracción con respecto a un método convencional. Para polifenoles totales (TPC) fue 1324,11 mg GAE /100 g dw , la actividad antioxidante (ABTS) fue 0,32 mM Trolox g/ dw y la concentración de antioxidante necesario para reducir la concentración inicial del radical a la mitad EC50 con 21,78 µg/ml. La utilización de ultrasonido aumentó la evaluación del contenido de polifenoles totales (TPC) y actividad antioxidante de las dos variedades de papas nativas que es mayor en la piel que en la pulpa.

Mahato *et al.* (2019) aplicaron el método de extracción asistida con ultrasonido en residuos de mandarina (*Citrus reticulata*), para cuantificar polifenoles utilizaron el método de Folin-Ciocalteu y actividad antioxidante con el método DPPH. Las variables que utilizaron en la extracción fueron: etanol como solvente al 80%, temperatura a 70 °C y extracción asistida con ultrasonido (EAU). El contenido de polifenoles totales en la pulpa fue de 104,98 mg GAE/100 g dw y en la piel 169,54 mg GAE/100 g dw. Para la actividad antioxidante en pulpa 62,82% y en la piel 46,98%. En el artículo se presentó dos aspectos de los métodos de extracción, es decir, a escala de laboratorio y a escala industrial masiva con perspectivas futuras anticipadas hacia la máxima utilización de los residuos cítricos.

6. Objetivos

6.1. Objetivo general

Evaluar el efecto de las variables de la extracción asistida con ultrasonido de polifenoles y flavonoides presentes en residuos cítricos generados en la plaza de mercado “El Potrerillo” de la ciudad de Pasto.

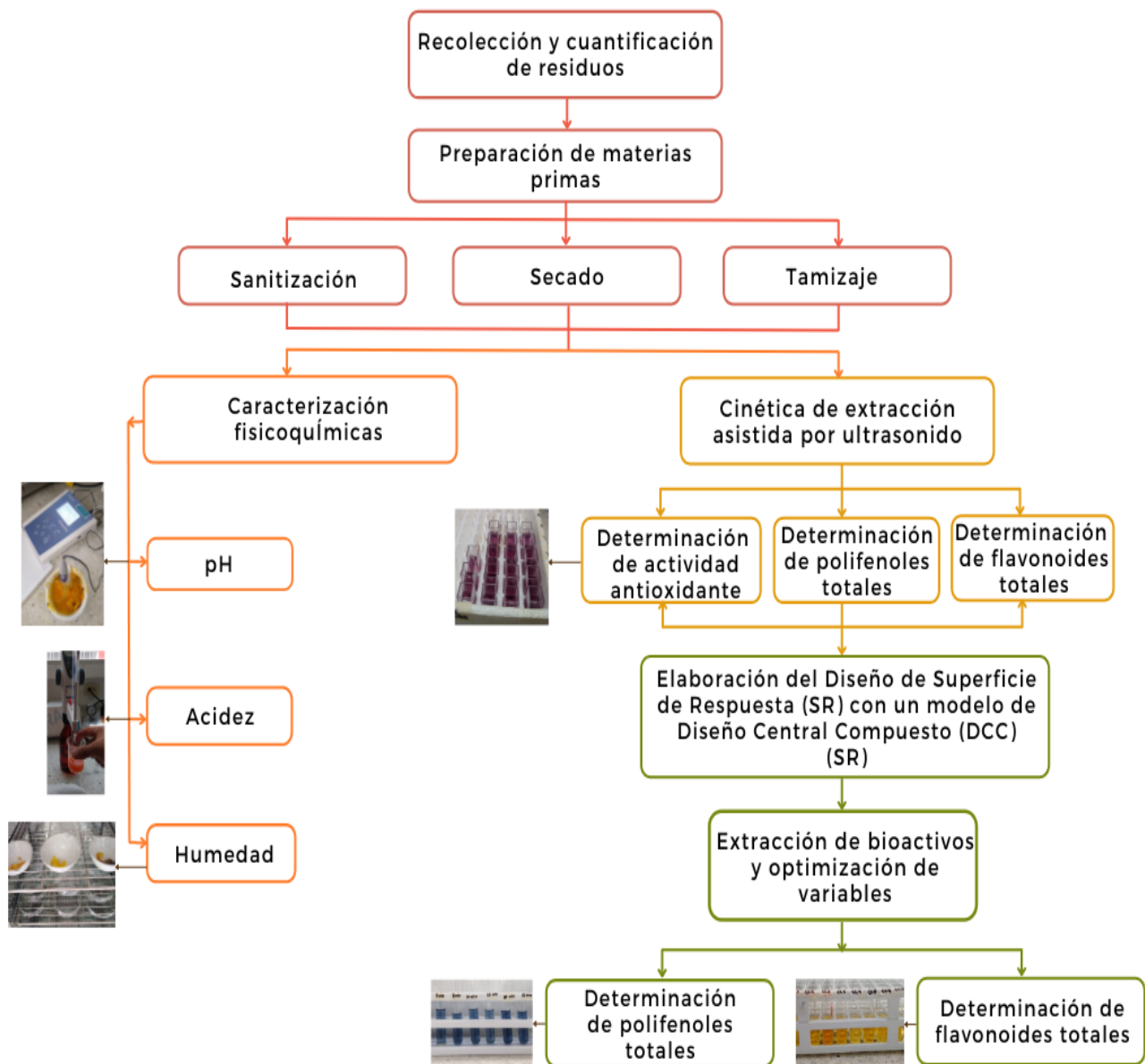
6.2. Objetivos específicos

- Caracterización fisicoquímica de residuos de frutos cítricos generados en la plaza de mercado el “El Potrerillo” de la ciudad de Pasto.
- Evaluar la influencia de la frecuencia, tiempo, concentración del solvente, relación sólido/solvente y temperatura de extracción asistida con ultrasonido de polifenoles y flavonoides presentes en residuos cítricos.
- Determinar la actividad antioxidante efectiva de los extractos obtenidos a partir de los residuos de frutos cítricos generados en la plaza de mercado “El Potrerillo” de la ciudad de Pasto.

7. Metodología

Figura 1

Diagrama de flujo para la extracción asistida por ultrasonidos de polifenoles TPC y flavonoides (TFC) de residuos de naranja (citrus sinensis) y mandarina (citrus reticulata)



Fuente: La presente investigación (2022).

7.1. Caracterización fisicoquímica de residuos de mandarina (*sitrus reticulata*) y naranja (*sitrus sinensis*)

Los residuos de mandarina y naranja se recolectaron en la plaza de mercado “El Potrerillo”. Se realizó una selección de los frutos que se encontraron en buen estado fisiológico y no tuvieron un nivel de senescencia avanzado. Se tomó como referencia el diagnóstico procedente del proyecto Desarrollo e implementación de estrategias para el aprovechamiento de residuos agroindustriales en la plaza de mercado “El Potrerillo” de la ciudad de San Juan de Pasto (Anexo 1), que determinó la cantidad de residuos de frutos cítricos generados en mayor proporción en la plaza de mercado y así disponer de la cantidad necesaria para el desarrollo de las diferentes pruebas para la obtención de polifenoles y flavonoides. Los residuos se llevaron al laboratorio de Evaluación y conservación de la calidad de alimentos perteneciente al Grupo de Apoyo a la Investigación y Desarrollo Agroalimentario (GAIDA) para el proceso de sanitización.

7.1.1. Sanitización

Se realizó un proceso de limpieza y desinfección a los residuos cítricos, se lavaron dos veces con agua potable, se enjuagaron con agua desionizada para eliminar la suciedad y se desinfectó en una solución de hipoclorito a 200 ppm, durante 5 min por inmersión.

7.1.2. Troceado de la materia prima

Los residuos de naranja y mandarina se trocearon manualmente para facilitar el secado.

Figura 2

Troceado en rodajas de frutos cítricos de mandarina (Citrus reticulata) y naranja (Citrus sinensis)



Fuente: La presente investigación (2022).

7.1.3. Sólidos solubles

El procedimiento se llevó a cabo por medio de la metodología oficial 932.12 de la norma Association of Official Analytical Chemists, (AOAC, 2005). Inicialmente los residuos se maceraron, se extrajo el zumo y se colocó dos gotas del zumo sobre el prisma del refractómetro. Finalmente se observó la escala en lente para residuos de naranja y mandarina. La medición se hizo por triplicado y se obtuvo la media aritmética.

7.1.4. pH y Acidez titulable

El procedimiento se llevó a cabo por medio de la NTC 4592 (ICONTEC, 1999b) y la NTC 4623 (ICONTEC, 1999a).

7.1.4.1. Determinación de pH. Los residuos de mandarina y naranja se maceraron en un mortero con agua destilada en una proporción 1:1 luego se calibro el potenciómetro utilizando soluciones tampón, y se leyó la muestra (Figura 3). La medición se hizo por triplicado y se obtuvo la media aritmética.

Figura 3

pH-metro con residuos cítricos de mandarina (Citrusreticulata), y naranja (Citrus sinensis)



Fuente: La presente investigación (2022).

7.1.4.2. Determinación de acidez. Inicialmente se pesó aproximadamente 25 g de residuos de mandarina (*Citrus reticulata*) y naranja (*Citrus sinensis*), y se colocó en un matraz con 50 ml de agua caliente con fenolftaleína, 10 g/L en solución etanol 95% (V/V). Para la titulación se utilizó solución estandarizada de hidróxido de sodio a 0,1 mol/L (0,8 g de hidróxido de sodio en 200 ml de agua esterilizada) (Figura 4). Finalmente se aplica la ecuación 1. La medición se hizo por triplicado y se obtuvo la media aritmética.

$$Acidez \left(\frac{g}{L} \right) = \frac{(V * N * 0,064)}{M} * 100 \quad \text{Ecuación 1}$$

V= Volumen de la solución de hidróxido de sodio gastado en titulación (ml)

N=Normalidad de la solución de hidróxido de sodio (0,1 mol/L)

M=Peso en gramos de la muestra (25 ml)

0,064= Equivalente de ácido cítrico.

Figura 4

Montaje para determinar la acidez en residuos cítricos de mandarina (Citrus reticulata), y naranja (Citrus sinensis)



Fuente: La presente investigación (2022).

7.1.5. Humedad

El procedimiento se llevó a cabo por medio del método gravimétrico oficial 925.10 de la norma (AOAC, 2005). En una capsula se pesó 5 g y se sometieron las capsulas a 105,3°C cada dos horas se retiró las capsulas del horno y se las introduce en la campana de desecación por 5 min y posteriormente se pesa la capsula (Figura 5). El procedimiento se hace hasta que tenga peso constante (0,02). Finalmente se aplica la ecuación 2. La medición se hizo por triplicado y se obtuvo la media aritmética.

$$Humedad (\%) = \frac{((M - m) * 100)}{M} \quad \text{Ecuación 2}$$

$$Humedad (\%) = ((M - m) * 100) / M$$

Donde,

M: Peso inicial en gramo de la muestra (g)

m: Peso de gramo del producto en seco (g)

Figura 5

Determinación de humedad de residuos cítricos de mandarina (Citrus reticulata) y naranja (Citrus sinensis)



Fuente: La presente investigación (2022).

7.1.6. Secado

Los residuos de mandarina y naranja se sometieron a secado con aire caliente a 50 °C por un tiempo de 24 horas hasta un valor de humedad inferior al 10 %, posteriormente se retiraron las muestras del secador de bandejas FIQ-LTDA – CST-800 (Figura 6).

Figura 6

Frutos cítricos de mandarina (Citrus reticulata) y naranja (Citrus sinensis) en secador de bandejas



Fuente: La presente investigación (2022).

Las frutas deshidratadas se trituraron en un molino de cuchillas (KitchenAid) y se tamizaron en un tamizador (PS-35 serie 1182) en la serie de tamices (40-100, A.S.T.M.E.) para obtener un tamaño de 150 μ m adecuado y uniforme (Figura 7).

Figura 7

Residuos secos de mandarina (Citrus reticulata) y naranja (Citrus sinensis) en bolsas herméticas



Fuente: La presente investigación (2022).

7.2. Evaluación de la influencia de la frecuencia, tiempo, concentración de solvente (% etanol v/v), relación sólido/solvente y temperatura con EAU de (TPC) y (TFC) presentes en residuos cítricos

7.2.1. Extracción asistida por ultrasonido

Se realizó la extracción asistida con ultrasonido de compuestos bioactivos como polifenoles y flavonoides totales, además se evaluó la actividad antioxidante de residuos de mandarina (*Citrus reticulata*), naranja (*Citrus sinensis*) y en mezcla (1:1).

7.2.2. Cinética de extracción de compuestos bioactivos de residuos cítricos

Para realizar la cinética de extracción se siguió el protocolo de (Mahato *et al.*, 2019) y (Khemakhem *et al.*, 2016) con algunas modificaciones. Se adicionó en un Beaker, 200 mL de solvente con 5g de residuo seco y se sometió a equipo de ultrasonido (Elmasonic P 120 H) a 37 y

80 KHz, durante intervalos de tiempo (2, 4, 6, 8, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 90) hasta un máximo de 90 min y a temperatura de 40°C (H. J. Martínez et al., 2006). El solvente utilizado fue agua y etanol en proporción de 50:50, con relación sólido y solvente a 1:40 (Figura 8).

Después de la extracción cada una de las muestras se centrifugaron a 10000 rpm por 15 min a 20°C y el sobrenadante se usó para la cuantificación de compuestos bioactivos. Este proceso permitió determinar el tiempo de extracción para obtener la mayor cantidad de compuestos bioactivos, también conocer los puntos máximos de extracción y las diferencias estadísticas entre ellos para el posterior análisis de factores.

Figura 8

Extracción asistida con ultrasonido de harina de mandarina (Citrus reticulata), naranja (Citrus sinensis) y su mezcla



Fuente: La presente investigación (2022).

7.2.2.1. Análisis estadístico. Las pruebas de comparación de medias ANOVA y Tukey ($p < 0,05$) se utilizó para evaluar la cinética y el diseño experimental utilizando dos softwares estadísticos PSSE y Design Expert 11. Todos los experimentos se realizaron individualmente y estos datos se expresaron como la media $\pm$ desviación estándar (Vallejo-Catillo et al., 2019).

7.2.3. Determinación del contenido total de polifenoles (TPC) método colorimétrico de Folin-Ciocalteu

Se utilizaron 100 μ L de la muestra, blanco o patrón se mezclaron con 7,9 mL de agua ultra pura, luego se añadió 500 μ L de reactivo de Folin -Ciocalteu y 1,5 mL de solución saturada de carbonato de sodio (200 g/L) y se agitaron las muestras contenidas en tubos de ensayo en un mezclador vortex Sci Logex MX-5. La absorbancia de esta mezcla se determinó a 760 nm después de un período de incubación de 2 h protegido de la luz (Galván et al., 2013; Kosar et al., 2005).

7.2.3.1. Curva patrón de ácido Gálico. Se empleó un patrón de ácido gálico y se diluyó con etanol puro a una concentración inicial de 1000 mg/L (solución madre). 50 mL de solución madre (1000 mg/L) se preparó con 50 mg de ácido gálico sólido y se realizó las siguientes diluciones: 25, 50, 100, 200, 300, 400, 500, 750, 800, 1000 mg/L (Galván et al., 2013; Kosar et al., 2005). (Figura 9).

Figura 9

Diluciones de ácido Gálico para realizar curva patrón



Fuente: La presente investigación (2022).

7.2.4. Determinación del contenido total de flavonoides (TFC) método Colorimétrico de Cloruro de Aluminio.

250 μ L de la muestra, blanco o patrón se mezcló con 1,25 mL de agua ultrapura, y luego se añadió 75 μ L de nitrito de sodio al 5% (p/p). Después de 5 minutos se adicionó a la solución - 150 μ L de cloruro de aluminio al 10% (p/p) y 500 μ L de hidróxido de sodio 1M y finalmente se completó con 775 μ L de agua ultrapura hasta 3 mL. La absorbancia de esta mezcla se determinó a 510 nm en un espectrofotómetro (Aliakbarian *et al.*, 2012; Yang *et al.*, 2009).

7.2.4.1 Curva patrón catequina. Se empleó un patrón con catequina y se diluye con agua a una concentración inicial de 20 mg/L (solución madre). 50 mL de solución madre (20 mg/L) se preparó con 1 mg de catequina sólido, y se realizó las siguientes diluciones: 0.07, 0.15, 0.3, 0.7, 1.2, 2.5, 5, 10, 15 mg/L (Aliakbarian *et al.*, 2012; Yang *et al.*, 2009) **(Figura 10)**.

Figura 10

Diluciones de Catequina para realizar curva patrón



Fuente: La presente investigación (2022).

7.2.5. Actividad antioxidante 2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo (DPPH)

Se preparó 50 mL de una solución en metanol de radical DPPH con una concentración de 100 μ M se utilizó 1,9716 mg de radical DPPH sólido y se completó con metanol en un balón aforado hasta 50 mL.

7.2.5.1. Ensayo y determinación de la actividad Antioxidante por DPPH. 50 μ L del extracto se le añadió a 1950 μ L de una solución en metanol de DPPH radical (100 μ M). Después de agitación, la mezcla se incubó en la oscuridad a temperatura ambiente durante 30 minutos. A continuación, la absorbancia se determinó a 517 nm (Rodríguez Arzave *et al.*, 2020; Kamran *et al.*, 2010). La actividad antioxidante de las muestras se estimó a partir de la disminución de la absorbancia. La capacidad de la muestra de reducir el radical DPPH se calculó empleando la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de inhibición de DPPH} = \frac{(A_{t0} - A_{tf})}{A_{t0}} \times 100 \quad \text{Ecuación 3}$$

Dónde:

A_{t0} = Absorbancia inicial de la solución de metanol DPPH (Metanol (50 μ L) + Radical DPPH (1950 μ L)).

A_{tf} = Absorbancia de la muestra (Extracto (50 μ L) + Radical DPPH (1950 μ L)).

Como control espectrofotométrico se empleará 2000 μ L de metanol.

Los resultados se expresaron en % de inhibición y en equivalentes Trolox.. El valor de la concentración eficaz (EC 50) se definió como la que disminuyo en un 50% de la Absorbancia inicial de la solución radical DPPH.

7.2.5.2. Curva de Calibración y Correlación. Se realizó la curva de calibración con el reactivo Trolox con concentraciones desde 100 μ M hasta 1500 μ M usando etanol absoluto como solvente. 50 mL de solución madre (1500 μ M) se prepararon con 18,77 mg de Trolox sólido y se

realizó las siguientes diluciones: 1300, 1100, 900, 700, 500, 300, 200, 100 μM , y a continuación se determinó la capacidad antioxidante por DPPH para cada una de las concentraciones conocidas de trolox para realizar la curva de correlación entre DPPH y TROLOX.

7.2.6. Actividad antioxidante *ABTS*^{*+}. 2,2'-azinobis- (3-etilbenztiazolina-6-sulfonas) (ABTS)

Se pesó 96,02 mg del reactivo ABTS y se adicionó 25 mL de agua destilada para obtener una concentración de 7 mM en solución acuosa, a continuación, se pesó 16,56 mg de persulfato de potasio (2,45 Mm) y hasta reacción en un frasco ámbar con la solución de ABTS. La solución se encubó entre 12-16 horas a temperatura ambiente antes de su uso y se almacenó a temperatura ambiente. Se diluyó la solución de ABTS en etanol absoluto hasta obtener una absorbancia inicial de 0,7 +/- (0,02) a 734 nm, se empleó como blanco etanol absoluto (Re et al., 1999).

7.2.6.1 Ensayo y determinación de la actividad antioxidante por el método ABTS. El ensayo se realizó con 980 μL de solución de ABTS y 20 μL de la muestra. Se realizó la medición del valor de absorbancia a 734 nm después de 15 minutos de tiempo de reacción. La capacidad de la muestra de reducir el radical ABTS se calculó empleando la siguiente ecuación;

$$\% \text{ de inhibición de ABTS} = \frac{(A_{t0} - A_{tf})}{A_{t0}} \times 100 \quad \text{Ecuación 4}$$

Dónde:

A_{t0} = Absorbancia inicial de la solución de etanol de ABTS (Etanol absoluto (20 μL) + Radical ABTS (980 μL)).

A_{tf} = Absorbancia de la muestra (Extracto (20 μL) + Radical ABTS (980 μL)).

Como control espectrofotométrico se empleó 1000 μL de etanol absoluto.

7.2.6.2. Curva de Calibración y Correlación. Se realizó la curva de calibración con el reactivo Trolox con concentraciones desde 100 μM hasta 1500 μM usando etanol absoluto como solvente. 50 mL de solución madre (1500 μM) se prepararon con 18,77 mg de Trolox y se realizó

las siguientes diluciones: 1300, 1100, 900, 700, 500, 300, 200, 100 μM , y a continuación se determinó la capacidad antioxidante por ABTS para cada una de las concentraciones conocidas de Trolox para realizar la curva de correlación entre ABTS y TROLOX.

7.2.7. Modelo matemático en cinética de extracción

Se aplicó un modelo matemático de cinética de extracción de primer orden, para determinar el contenido de polifenoles y flavonoides (Katsampa et al., 2015) de residuos de naranja, mandarina y su mezcla (1:1) (ecuación 5).

$$Y_t = Y_S (1 - e^{-kt}) \quad \text{Ecuación 5}$$

Dónde:

Y_t = rendimiento o concentración de compuestos bioactivos en cualquier tiempo (t) (mg compuesto / g dw).

Y_S = rendimiento o concentración de compuestos bioactivos en equilibrio (mg compuesto / g dw).

K = constante de extracción de primer orden (min^{-1}) .

7.2.8. Diseño experimental Central Compuesto (DCC) de Superficie de Respuesta

El análisis del efecto simultáneo de las variables de respuesta y la optimización de los parámetros o factores de funcionamiento se realizó a través de la implementación de la Metodología de Superficie de Respuesta (RSM). Los tres factores Solvente (% etanol v/v), relación solido solvente (g/mL) y temperatura ($^{\circ}\text{C}$) y sus niveles (inferior, medio y superior) se muestran en la Tabla 1 en valores codificados (-1, 0 y +1). El método de RSM elegido fue el diseño compuesto central (DCC) que requirió 18 experimentos, 4 puntos centrales y puntos estrella, también con α igual a 1,68 (Tabla 3). Las variables independientes fueron concentración del solvente (etanol 30 - 70 %), relación sólido: solvente (1:20 – 1:60 g: mL) y temperatura (25-

55°C), y como variables dependientes o de respuesta TPC mg GEA/100 g FW y TFC mg CE/100 g FW presentes en la mezcla de residuos de naranja y mandarina (1:1).

Tabla 1

Matriz del diseño experimental para el proceso de EAU para TPC y TFC

Factor	Niveles				
	(-1,68)	(-1)	(0)	(+1)	(+1,68)
Solvente (% etanol v/v)	16,36	30	50	70	83,63
Relación (g:mL)	6,36	20	40	60	73,63
Temperatura (°C)	14,77	25	40	55	65,23

Fuente: La presente investigación (2022).

7.2.9. Optimización y Validación de las Condiciones Óptimas

Para determinar las condiciones óptimas de las variables involucradas en EAU de residuos secos de la mezcla de naranja y mandarina (1:1), las condiciones del proceso se sometieron a un análisis de respuesta múltiple, a través de la metodología de función de deseabilidad (cercano a 1). Esta técnica de optimización numérica permitió encontrar niveles óptimos de los factores temperatura, concentración del solvente (% etanol v/v) y relación solido/solvente que maximiza simultáneamente el TPC y TFC (Prakash et al., 2017). Con las condiciones encontradas se realizó nuevamente la extracción de compuestos bioactivos para su posterior comparación con los valores predichos por el programa Design Expert 11.12.2.0., logrando obtener un valor porcentual de variación entre los mismos.

7.3. Determinación de la actividad antioxidante efectiva de los extractos obtenidos a partir de los residuos de frutos cítricos

7.3.1. Preparación de extracto para EC50

Se registró el peso del balón del rotaevaporador vacío, para lo cual se retiró la humedad al balón del rotaevaporador en un horno a 100 °C por el transcurso de 1 hora, posteriormente se dejó enfriar en un desecador y finalmente registró un peso estable. A continuación, se dispuso de un extracto previamente centrifugado y filtrado, el cual se sometió a una evaporación hasta sequedad a presión reducida en un rotaevaporador con una temperatura máxima de 40 °C (Figura 11).

Figura 11

Montaje para rotaevaporar la mezcla del extracto de mandarina (Citrus reticulata) y naranja (Citrus sinensis)



Fuente: La presente investigación (2022).

Después de finalizar la evaporación anterior, se registró el peso del balón con la muestra seca y se estimó mediante diferencia el peso del extracto seco. A partir de ese peso se preparó una solución (extracto seco / solvente) de 80 mg/mL (80000 µg/mL) empleando el mismo solvente de la extracción inicial.

A continuación, se diluyó la solución madre (80 mg/mL) en las concentraciones, 75, 70, 65, 60, 55, 50, 40, 30, 20, 10, 7.5, 5, 2.5, 2, y 1.5 mg/mL. Finalmente, a cada una de las concentraciones se les determinó la actividad antioxidante mediante los métodos de DPPH y ABTS y se determinó la concentración efectiva (EC50) (Reynertson et al., 2005).

Los resultados del porcentaje de actividad antioxidante (% AA) se expresarán utilizando el valor EC50, que se define como la concentración del extracto responsable de una disminución del 50% en la actividad inicial de DPPH. La estimación de CE50 se calculará mediante un análisis de regresión no lineal utilizando una ecuación de cuatro parámetros.

$$Y = A_1 + \frac{A_2 - A_1}{10[(\log(EC_{50}) - \log(x))p]} \quad \text{Ecuación 7}$$

Dónde:

Y = actividad antioxidante (% AA).

A1 = respuesta mínima (% AA).

A2 = respuesta máxima (% AA).

p = pendiente de la curva, x = contenido total de polifenoles (mg GAE / 100g FW). Estimación de parámetros de Eq. (2) se realizará utilizando una aplicación de ajuste de curvas en el software MATLAB® 2014a.

8. Resultados y Discusión

8.1. Caracterización fisicoquímica de residuos de frutos cítricos

Tabla 2

Caracterización fisicoquímica de frutos cítricos de mandarina (Citrus reticulata), y naranja (Citrus sinensis)

Residuos	Sólidos solubles totales, SST (°Brix)	Acidez titulable	Ph	Humedad %
Naranja	11,0 ± 0,02	0,47 ± 0,05	3,404 ± 0,05	87,09 ± 2,70
Mandarina	15,0 ± 0,01	0,43 ± 0,042	4,12 ± 0,02	82,84 ± 2,80

Fuente: La presente investigación (2022).

El componente y el contenido de fenoles en los cítricos están profundamente influenciados por numerosos factores, como el cultivo, las condiciones de almacenamiento y la madurez del fruto. Los resultados de los SST de frutos cítricos obtenidos son altos, esto puede ser porque la actividad respiratoria disminuye en estados avanzados de maduración, presentándose un alto contenido de SST y un bajo consumo de azúcares (Guadarrama y Peña, 2013). En el estudio de Yfran et al., (2019) utilizaron naranja y mandarina en un estado de maduración avanzado reportando valores similares a la presente investigación.

Los resultados de la acidez titulable para naranja y mandarina son similares a lo reportada por Guadarrama y Peña (2013) en frutos cítricos. Los valores obtenidos son bajos ya que en la fase de maduración, los ácidos orgánicos libres disminuyen gradualmente, como consecuencia, de un proceso de dilución, lo cual sucede a medida que la fruta aumenta en tamaño y en contenido de jugo (Yfran et al., 2019).

Respecto al contenido de pH y acidez titulable de las frutas cítricas, el valor del pH es alto, esto puede ser debido a la reducción de la acidez (Pantasico, 1981). También está

relacionado con el sabor, ya que cambia gracias a la hidrólisis de los almidones que se transforman en azúcares y su sabor pasa de ser ácido a dulce, ya que el pH se eleva cuando madura (Naturally Postharvest, 2018). Para el valor de pH reportado por Multari *et al.* (2020), se verificó que los residuos de naranja se caracterizan por sus particularidades fisicoquímicas, como un pH entre 3,08 y 3,47 que se asemejan a los resultados encontrados en esta investigación. Para mandarina Villalba *et al.* (2013), obtuvo un pH de 4,2 que se iguala al valor de 4,12 referido en la tabla 4.

El porcentaje de humedad obtenido en naranja y mandarina depende de las condiciones de cosecha y de manejo postcosecha que se realizan durante la etapa productiva de estos frutos, además de todas las actividades propias de la comercialización y distribución. En la tabla 4 se indican los porcentajes de humedad de los cítricos para naranja con 87,09 y mandarina con 82,84 %. Los resultados se encuentran entre los rangos reportados por Corporación Universitaria Lasallista (2012), donde el porcentaje de humedad de naranja esta entre 85 a 90% y para mandarina el porcentaje de humedad se encuentra entre 80 a 85%.

8.2. Secado

Las rodajas de mandarina y naranja se sometieron a secado con aire caliente a 50 °C. El tiempo de secado fue 24 horas, hasta llegar a un valor menor a 10 % de humedad en base húmeda similar al reportado por Urbina *et al.* (2018). El contenido de humedad quedó dentro de límites que permiten fácilmente su conservación durante períodos de tiempo considerables (Guevara y Cancino, 2008).

Con los residuos deshidratadas se procedió a realizar una molienda en un molino de cuchillas y se llevó a un equipo de tamizaje modelo (PS-35 serie 1182) en la serie de tamices (40-100, A.S.T.M.E.) obteniendo un tamaño de partícula de 150 mm. Los residuos de naranja y

mandarina se empacaron en bolsas de polietileno con cierre hermético y se almacenó a temperatura ambiente.

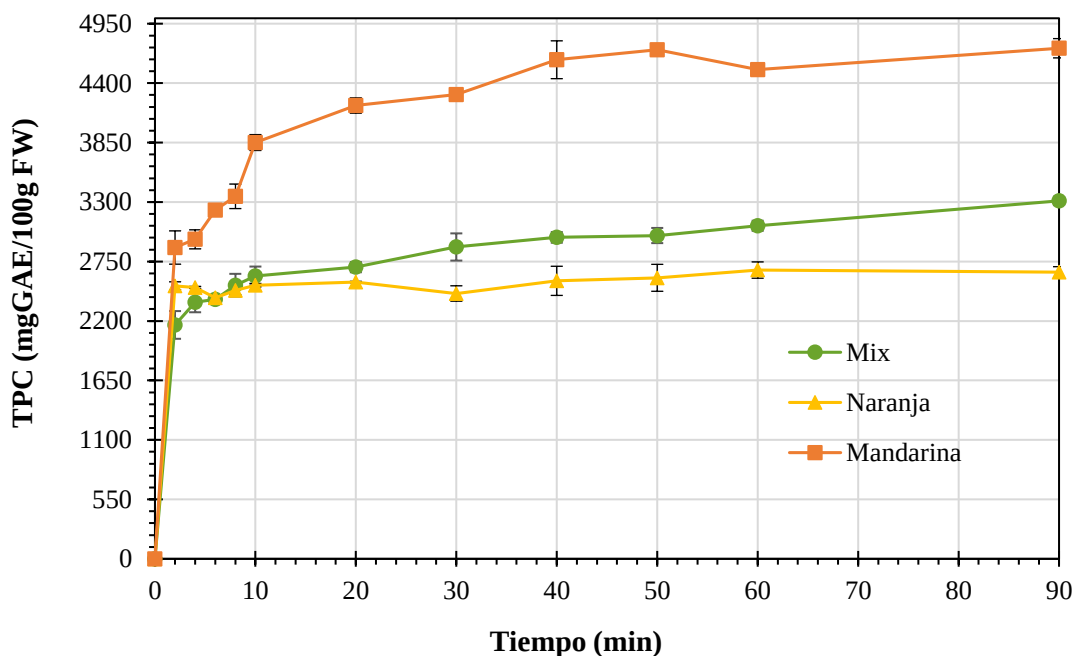
8.3. Evaluación de la influencia de la frecuencia, tiempo y relación solido/solvente con EAU de polifenoles (TPC) y flavonoides (TFC) presentes en residuos cítricos

Se presentan las figuras de cinéticas asistidas con ultrasonido a 37 KHz y 80 KHz, de residuos secos de mandarina (*Citrus reticulata*) y naranja (*Citrus sinensis*) y su mezcla (1:1).

8.3.1. Cinéticas de extracción asistidas con ultrasonido para mandarina, naranja y su mezcla (1:1) a 37 kHz.

Figura 12

Cinéticas de extracción de polifenoles totales (TPC) de residuos de mandarina (Citrus reticulata), naranja (Citrus sinensis) y mezcla de naranja y mandarina (1:1) asistidas con ultrasonido a 37 KHz

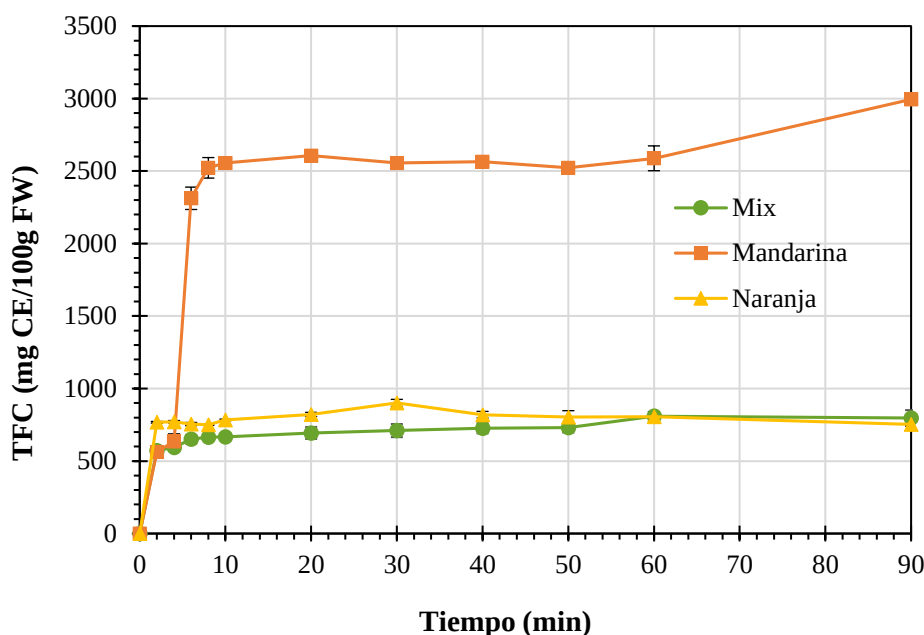


Los resultados indican (Figura 12) que la extracción asistida por ultrasonidos es beneficiosa para el proceso de extracción de compuestos biactivos en los cítricos. En las cinéticas de TPC, las extracciones percibidas presentan una pendiente mayor en los primeros 2 minutos luego se estabiliza desde el minuto 30 hasta el minuto 60 y al minuto 90 se obtiene la mayor concentración alcanzando 4722,61 mgGAE/100g FW para mandarina, 2650,8 mgGAE/100g FW para naranja y 3311,26 mgGAE/100g FW para la mezcla (1:1). El aumento inicial (2 minutos) en las curvas de cinéticas obtenidas puede ser por la transferencia de masa, debido a que inicialmente la fuerza motriz del gradiente de concentración de polifenoles entre el sólido y el solvente fue alta, y en tanto la extracción continúa la transferencia de masa se redujo hasta que la fuerza motriz tendió a cero (Chemat *et al.*, 2017; Treybal, 1980) luego la concentración de polifenoles en el solvente se mantuvo (30 a 60 minutos) y después el rendimiento de TPC pasó por un máximo (90 minutos) antes de la degradación de los compuestos bioactivos presentes en residuos cítricos.

El contenido total de polifenoles de la presente investigación es mayor al reportado por Safdar *et al.* (2017) en piel de mandarina obteniendo 2439 mgGAE/100g FW y Kamran *et al.* (2010) en naranja alcanzando 275,8 mgGAE/100g FW, en sus estudios aplicaron factores de extracción iguales al presente estudio, sin embargo los valores de relación sólido:liquido, temperatura y tiempo de extracción fueron más bajos.

Figura 13

Cinéticas de extracción de flavonoides totales (TFC) de residuos de mandarina (Citrus reticulata), naranja (Citrus sinensis) y mezcla de naranja y mandarina (1:1) asistidas con ultrasonido a 37 KHz



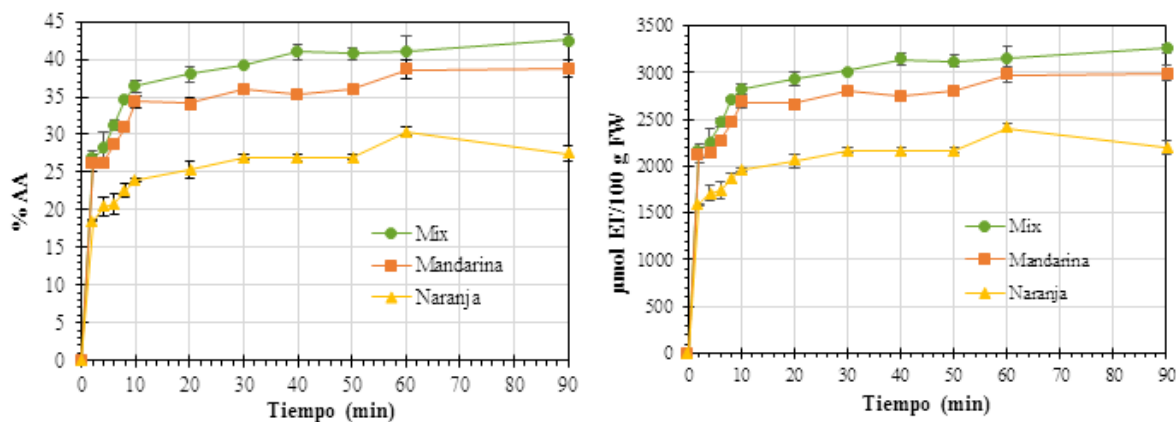
Fuente: La presente investigación (2022).

En las cinéticas de TFC, las extracciones percibidas presentan una pendiente mayor en los primeros 2 minutos en mandarina, naranja y su mezcla (1:1) esto debido a la transferencia de masa, después se inician a estabilizar desde el minuto 20 hasta el minuto 50. La mayor concentración se logra al minuto 60 en naranja con 753,2 mg CE/100g FW y para la mezcla (1:1) con 796,4 mg CE/100g FW y en mandarina se obtiene al minuto 90 con 2994,5 mg CE/100g FW. Esto puede presentarse porque la pared celular de mandarina es más resistente a la ruptura por las ondas sonoras necesitando un tiempo considerable para penetrar el solvente y disponer de los polifenoles. El contenido total de flavonoides obtenido en mandarina es mayor al conseguido por Anticono *et al.* (2021) ya que los parámetros de extracción son menores a los reportados en

la presente investigación, con frecuencia de 20 kHz, tiempo de extracción de 30 min, y relación solido: liquido 1:10 (p/v). Con respecto a la relación solido: volumen resulta mejor trabajar con relaciones que involucren mayor volumen de solvente para evitar la saturación y densidad conforme se extraigan los compuestos en la extracción.

Figura 14

Cinéticas de extracción de actividad antioxidante con método DPPH de mandarina (Citrus reticulata), naranja (Citrus sinensis), y mezcla de naranja y mandarina (1:1) asistidas con ultrasonido a 37 KHz



Fuente: La presente investigación (2022).

Para naranja la mayor concentración se presentó al minuto 80 con 2408,23 μmol ET/100gFW que inhibe al radical DPPH en 30,41%. El valor en % de inhibición del radical DPPH es similar al reportado por Sicari *et al.* (2016) en naranja ,logrando 38 % de inhibición puesto que las condiciones de extracción como solventes y relación solido: solvente son similares a las trabajadas en la investigación.

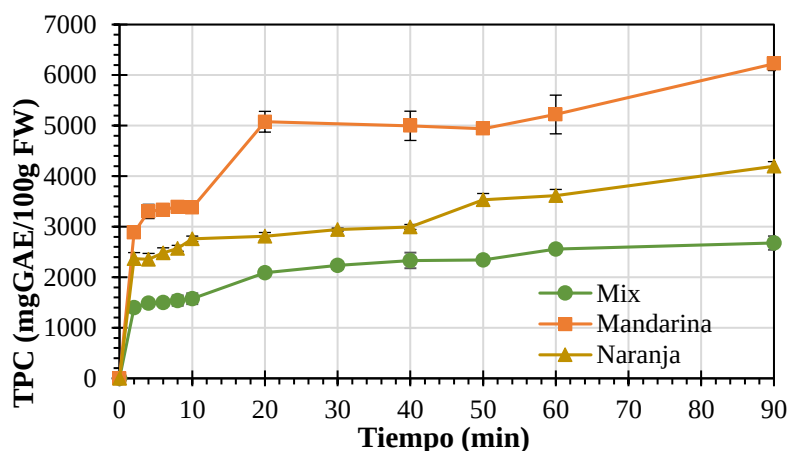
Para mandarina la mayor concentración se presentó al minuto 90 con 2994,91 μmol ET/100gFW que inhibe al radical DPPH en 38,87 %. Los resultados reportada por Anticono *et*

al. (2021), son menores con 1220 $\mu\text{mol TE}/100\text{g FW}$, en este caso utilizaron condiciones de EAU menores como etanol al 80% v/v, relación solido : liquido 1:10 (p/v), tiempo de 30 minutos y frecuencia de 20 Khz . De igual forma, con un porcentaje de actividad antioxidante de 29,8%. Ordoñez *et al.* (2018), reportan valores mayores esto se debe a que posiblemente utilizaron 1,5 g de muestra en 30 mL de solución metanólica (80:20 metanol:agua).

8.3.2. Cinéticas de extracción asistidas con ultrasonido para mandarina, naranja y su mezcla (1:1) a 80 kHz.

Figura 15

Cinéticas de extracción de polifenoles totales (TPC) de residuos de mandarina (Citrus reticulata), naranja (Citrus sinensis) y mezcla de naranja y mandarina (1:1) asistidas con ultrasonido a 80 KHz



Fuente: La presente investigación (2022).

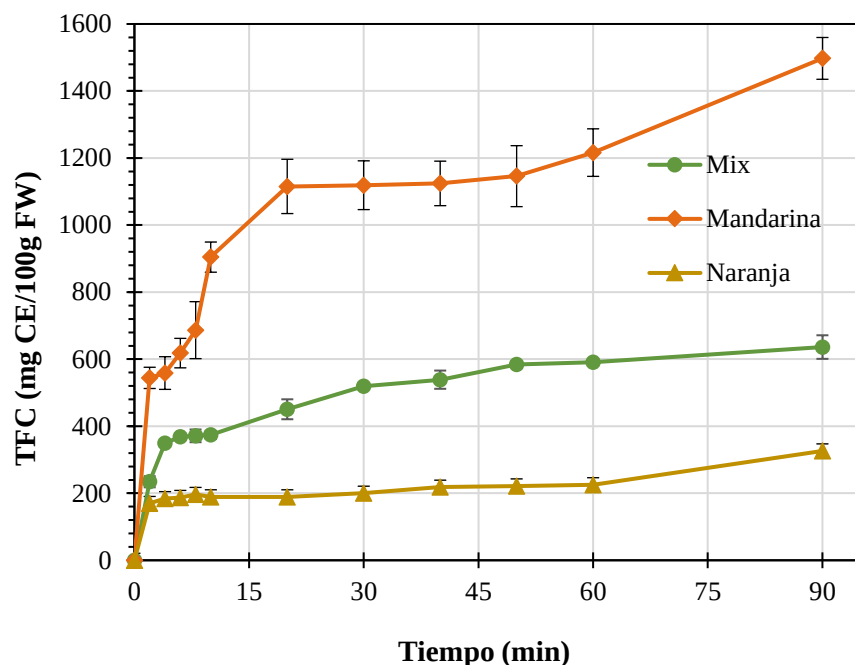
En las cinéticas de TPC, las extracciones percibidas presentan una pendiente mayor en los primeros 2 minutos luego se estabiliza desde el minuto 20 hasta el minuto 50 y al minuto 90 se obtiene la mayor concentración logrando 6223,77 mgGAE/100g FW para mandarina, 4195,99 mgGAE/100g FW para naranja y 2678,8 mgGAE/100g FW para la mezcla (1:1). El aumento

inicial (2 minutos) en las curvas de cinéticas obtenidas puede ser por la transferencia de masa, debido a que inicialmente la fuerza motriz del gradiente de concentración de polifenoles entre el sólido y el solvente fue alta, y en tanto la extracción continúa la transferencia de masa se redujo hasta que la fuerza motriz tendió a cero (Chemat *et al.*, 2017; Treybal, 1980), además se produce el fenómeno denominado lavado, donde se presenta una rápida disolución de los compuestos fácilmente accesibles de la superficie de las partículas del soluto en el disolvente (Bucić-Kojić *et al.*, 2013). Algunos autores como (Tao *et al.*, 2014; Hossain *et al.*, 2012) mencionan que más del 90% de los compuestos bioactivos se recuperan después de 10 - 20 minutos de sonicación, lo que confirma los resultados de la presente investigación donde a partir del minuto 20 se inicia a estabilizar la concentración hasta el minuto 60 . También mencionan que luego de 60 minutos de sonicación la magnitud del aumento de los rendimientos de extracción, aunque es pequeña, el rendimiento total de fenoles es aún significativo y mayor que después de 10 - 20 minutos de extracción. De igual forma se presentan las mismas condiciones de transferencia de masa, los fenómenos y tiempo de extracción en el TFC (Figura 16).

El contenido total de polifenoles obtenido en mandarina y naranja, en este estudio es mayor al reportado por Londoño *et al.*, (2010) , ya que aplicaron parámetros de extracción menores, como frecuencia de 60 kHz, tiempo de extracción de 30 min y temperatura de 40 °C, en la mezcla es menor esto puede presentarse por que los metabolitos no se potencializan o la combinación de estas sustancias resultaron antagónicas (Efferth y Koch, 2011).

Figura 16

Cinéticas de extracción de flavonoides totales (TFC) de residuos de mandarina (Citrus reticulata), naranja (Citrus sinensis) y mezcla de naranja y mandarina (1:1) asistidas con ultrasonido a 80 KHz

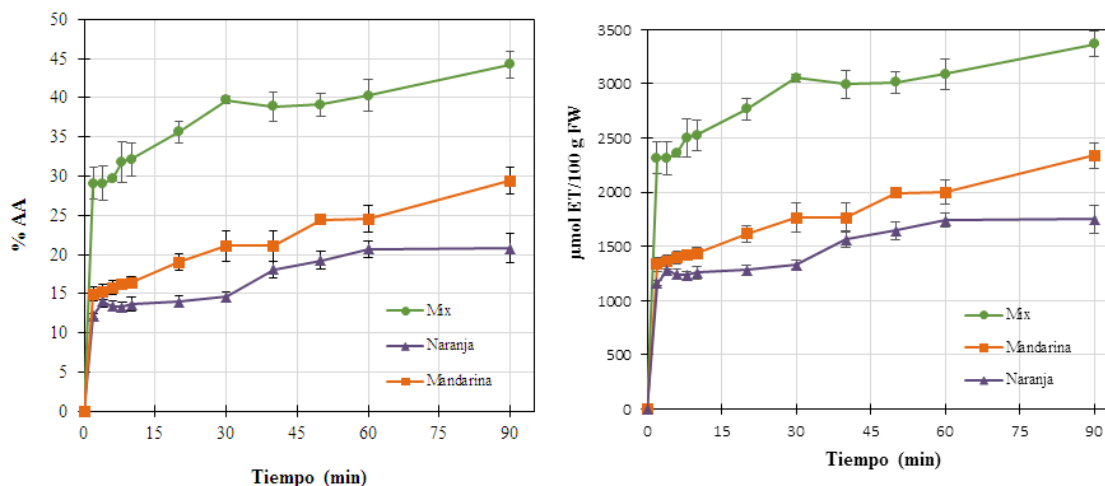


Fuente: La presente investigación (2022).

El contenido total de flavonoides obtenido en mandarina y naranja, en este estudio es mayor al reportado por Londoño et al., (2010), ya que los parámetros óptimos de extracción aplicados son menores, con frecuencia de 60 kHz, tiempo de extracción de 30 min y temperatura de 40 °C, en la mezcla es mayor que naranja esto puede presentarse por que los metabolitos se alcanzan a potencializar o la combinación de estas sustancias resultaron algo más aditivas (Efferth y Koch, 2011) que en los resultados de TPC.

Figura 17

Cinéticas de extracción de actividad antioxidante con método DPPH de mandarina (Citrus reticulata), naranja (Citrus sinensis) y mezcla de naranja y mandarina (1:1) asistidas con ultrasonido a 80 KHz



Fuente: La presente investigación (2022).

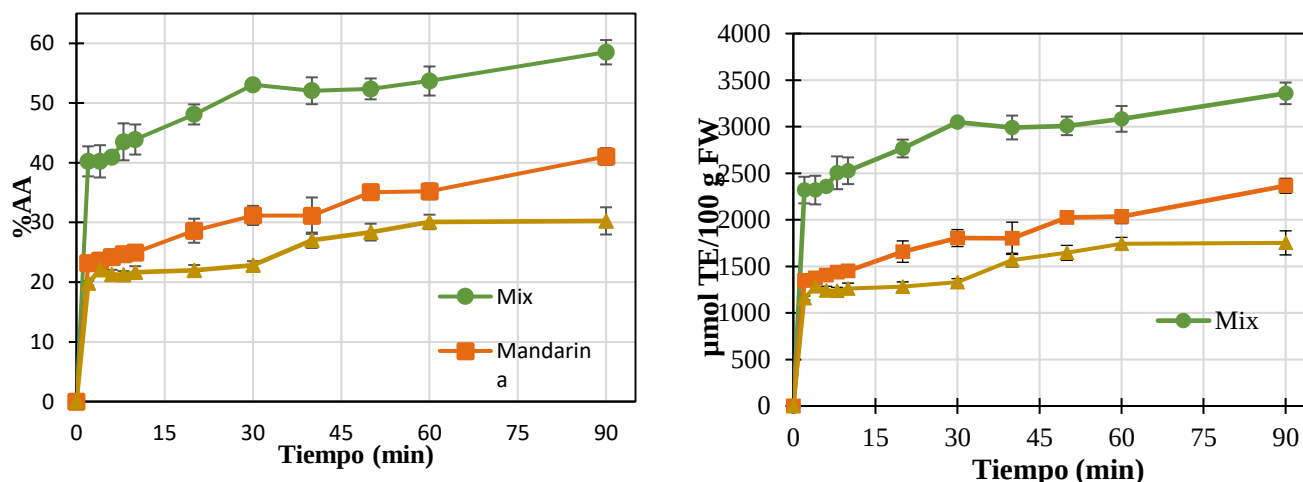
La capacidad antioxidante de los residuos de mandarina, naranja y su mezcla (1:1) se evaluó mediante DPPH y ABTS. En mandarina el porcentaje mayor de inhibición del radical DPPH se presenta al minuto 90 con un porcentaje de 29.4%. El porcentaje de inhibición obtenido es menor al reportado por Singanusong *et al.* (2014) pues utilizan concentraciones de solventes y relación peso / volumen más altas que las presentadas por la investigación. En naranja el porcentaje mayor de inhibición del radical DPPH se presenta al minuto 90 con un valor de 20.8%.

El mayor porcentaje de inhibición se presenta en la mezcla de mandarina y naranja (1:1) (Figura 6), la muestra tiene una concentración de 3366,40 mmol TE/100g FW que inhibe al radical DPPH en 44,2%. Este porcentaje frente a la estabilización del radical DPPH muestra

mayor efectividad que al trabajarlos unitariamente. Esto puede pasar porque el efecto de la sinergia en la mezcla de dos metabolitos presentes en las frutas cítricas, interaccionan positivamente y cuya funcionalidad no se ve afectada en el tiempo mejorando así su actividad antioxidante. El sinergismo es similar al reportado por Jaramillo *et al.* (2017) que trabajaron con más de dos muestras de plantas altamente utilizadas por las comunidades indígenas del mundo en la cura de diferentes enfermedades, estas fueron *Mollinedia lanceolata*, *Siparina sessiliflora* y *Croton leptostachyus* logrando una combinación efectiva.

Figura 18

Cinéticas de extracción de actividad antioxidante con método ABTS de mandarina (Citrus reticulata), naranja (Citrus sinensis) y mezcla de naranja y mandarina (1:1) asistidas con ultrasonido a 80 KHz



Fuente: La presente investigación (2022).

Para mandarina la mayor concentración se presenta al minuto 90 con 2364, 96 μmol TE/100g FW que inhibe al radical ABTS en 41 %. La capacidad antioxidante detectada por el método ABTS en el presente estudio es menor al reportado por Mahdi *et al.* (2019) en *Citrus*

medica L con relación peso / volumen (1:40) con frecuencia de 40 KHz y 70 ° C posiblemente la temperatura mejoro el movimiento y la solubilidad del soluto en la extracción.

El mayor porcentaje de inhibición del radical ABTS se presenta al minuto 90 para la mezcla de mandarina y naranja (1:1) con un valor de 58%. El valor del porcentaje de inhibición obtenido es superiores al reportado por Sicari et al., (2016) esto puede ser porque utilizaron el jugo de naranja y en la investigación se aprovechó la totalidad de la fruta. El mayor porcentaje de actividad antioxidante se presenta en la mezcla de mandarina y naranja (1:1), siendo este valor el más alto en comparación con naranja y mandarina esto se puede presentar por la interacción sinérgica de mandarina y naranja en la mezcla, donde se potencializa su actividad antioxidante (Jaramillo *et al.*, 2017).

Se tuvo en cuenta como parámetro principal la inhibición del radical DPPH por lo tanto se eligió la mezcla de naranja y mandarina (1:1) asimismo la frecuencia donde se obtuvo el mayor porcentaje total de TPC y TFC en la extracción fue a 80 KHz, esto puede ser porque al utilizar bajas frecuencias (20 - 100KHz) prevalecen los efectos físicos del ultrasonid, que determinan la extracción efectiva de los compuestos del material vegetal, debido a un incremento en la tranferencia de masa sin que haya degradación de los metabolitos presentes (Rodríguez Riera *et al.*, 2013).

8.3.3. Análisis estadístico

A una frecuencia de 80 KHz en la mezcla de naranja y mandarina (1:1) se recuperó un 95% del TPC y 92,9 % del TFC y a 37 KHz se recuperó el 93 % del TPC y 90,6 % del TFC por lo tanto se eligió la cinética de extracción a 80 KHz. Tao *et al.* (2014) mencionan que durante la EAU más del 90 % de los compuestos fenólicos se recuperan en los primeros 10 minutos, y se

percibe un aumento leve del porcentaje hasta los 60 minutos. Lo que confirman los resultados de la presente investigación.

Además teniendo en cuenta los tiempos de extracción de la cinética se aplicó el método de Tukey para polifenoles y flavonoides (Tabla 2), donde se agruparon en columnas aquellos grupos que no difieren significativamente (Lara, 2015). Dado que entre los minutos 60 y 90 no hay diferencias significativas. Se eligió el minuto 60 para disminuir el gasto energético, de recursos y tiempo en la EAU.

8.3.4. Modelamiento matemático para la extracción de TPC y TFC a frecuencia de 80 KHZ

El modelamiento matemático permitió predecir los resultados en cuanto al rendimiento o concentración de polifenoles y flavonoides en un tiempo establecido, facilitando la toma de decisiones en el proceso de extracción asistida con ultrasonido. El modelo matemático más adecuado fue el modelo matemático de cinética de extracción de primer orden, como se indica en la ecuación 8.

$$Y_t = Y_s(1 - e^{-kt}) \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde,

Y_t = rendimiento o concentración de extracción de compuestos bioactivos en cualquier tiempo (t)
(*mg compuesto / 100 g dw*).

Y_s = rendimiento o concentración de extracción de compuestos bioactivos en saturación (equilibrio)
(*mg compuesto / 100 g dw*).

k = constante de velocidad de extracción de primer orden (min^{-1}).

Se utilizó el software MATLAB ® R2021a (The MathWorks Inc., Natick, MA, USA) a través del Toolbox Curve Fitting para determinar los parámetros cinéticos asociados al modelo. El modelo matemático presentó un alto valor para el coeficiente de determinación (R^2) y menor

valor para raíz del error cuadrático medio (RMSE) (Tabla 5) indicando que el modelo se ajusta a los datos obtenidos en la cinética de extracción.

Tabla 3

Parámetros cinéticos y estimados del modelamiento matemático de la EAU a frecuencia de 80 KHz para TPC Y TFC

Modelo	Parámetros		
	cinéticos y estimados	Polifenoles	Flavonoides
Ecuación 8	Y_s (mg GAE /100 g FW)	2494	594,1
	k (min^{-1})	0,09	0,080
	R^2	0,98	0,98
	R^2 Ajustado	0,98	0,97
	RMSE	116,40	31,54

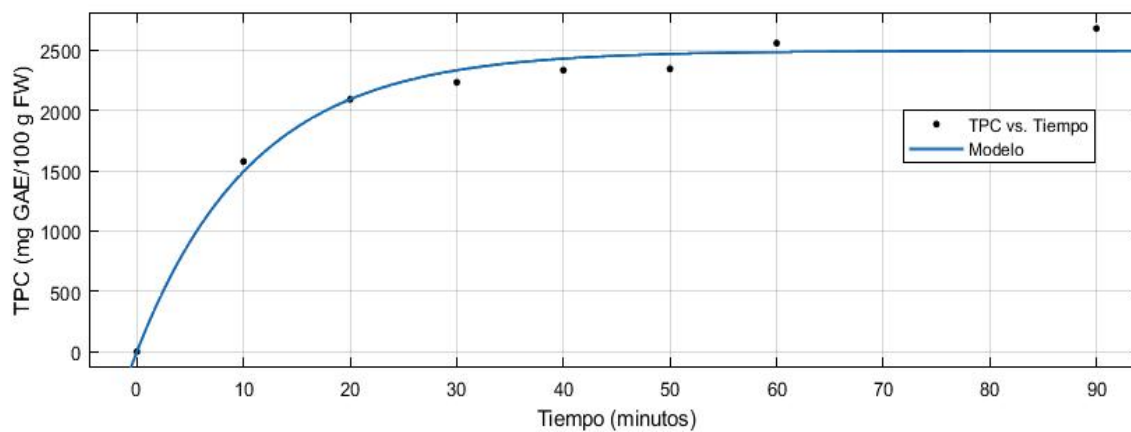
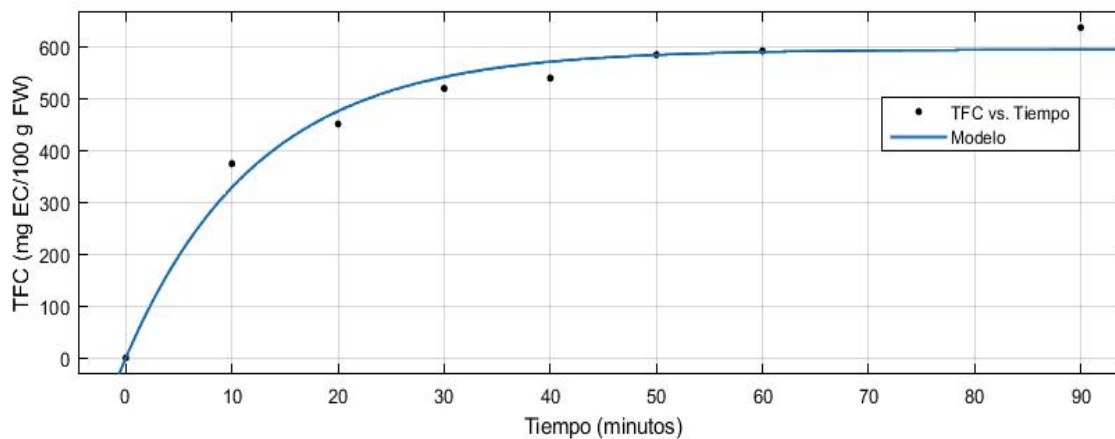
Fuente: La presente investigación (2022).

El ajuste de la curva en la cinética de extracción a diferentes tiempos y a 40°C se indica en las figuras 8A y 8B. En estas Figuras se observa que el modelo matemático se ajusta de forma adecuada a los datos cinéticos, presentando un buen R^2 ajustado para polifenoles con 0,981 y flavonoides con 0,972.

El modelo matemático describió el comportamiento de la cinética de extracción, presentó un valor alto para el coeficiente de determinación (R^2) y menor valor para la raíz del error cuadrático medio (RMSE).

Figura 19

Modelamiento matemático de primer orden para la cinética de EAU de la mezcla de mandarina (Citrus reticulata) y naranja (Citrus sinensis) (1 :1) a frecuencia de 80 KHz para TPC (A) y TFC (B)

A)**B)**

Fuente: La presente investigación (2022).

La concentración máxima en la extracción de polifenoles en saturación es 2494 mg GAE/100 g de FW y para flavonoides es 594,1 mg CE/100 g de FW. La concentración de extracción de compuestos bioactivos en saturación obtenidos en esta investigación son mayores respecto a 1155 mg GAE/ 100 g dw de bagazo de zumo de uva alcanzado con etanol al 50%, una relación solido: solvente de 1g : 50 mL y a 25°C reportados por Sant'Anna *et al.*, (2012). Asimismo, Katsampa *et al.* (2015) obtuvieron 90,07 mg de GAE/ g FW de residuos de cebolla logrado con glicerina, una relación solido: solvente 1g : 90 mL a 50°C. También Rakshit *et al.* (2020) han alcanzado valores altos con 139,221 mg GAE/g dw en casacara de granada, con 80% de etanol y una relación solido: solvente 1g : 50mL. Esto puede presentarse por que el aumento de los valores k está relacionado con el incremento de la energía interna de las moléculas y con la reducción de la viscosidad dinámica del disolvente (Cacace y Mazza, 2003), mejorando también el rendimiento de la extracción de TPC y TFC y disminuyendo el tiempo necesario para extraerlos de la matriz.

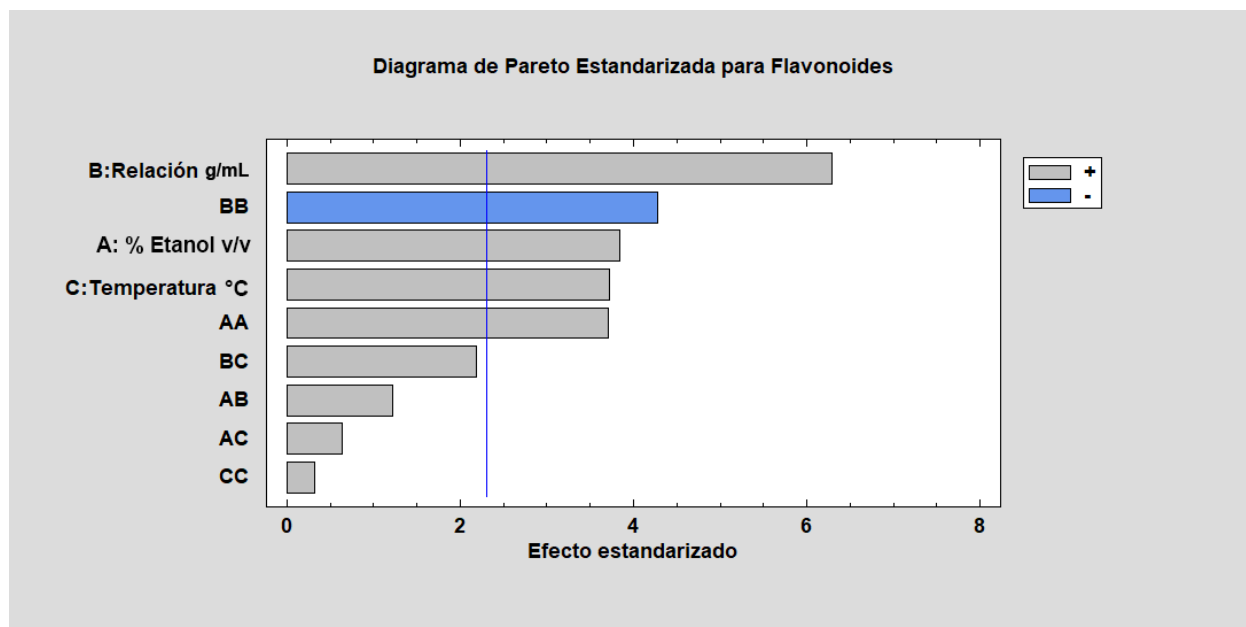
8.3.5. Metodología de Superficie de Respuesta, Diseño Central Compuesto (DCC)

Las condiciones experimentales de las corridas del DCC diseñadas con Design Expert 11 -2019 se muestran en la Tabla B. El análisis de varianza (ANOVA) de un solo factor (Tabla C) indica que la temperatura (25-55°C), relación sólido: solvente (1:20 – 1:60 g: mL) y la concentración del solvente (30 - 70 %) son estadísticamente significativos ($p < 0.05$) e influyen en el contenido total de polifenoles y el contenido total de flavonoides presentes en la mezcla de residuos de naranja y mandarina (1:1) por la EAU. Además el efecto de las variables independientes, sobre las variables de respuesta se representa en los gráficos tridimensionales (sección 7.4.6.3.), que se obtuvieron a partir de las ecuaciones del modelo cuadrático (Ecuación 110 y 11).

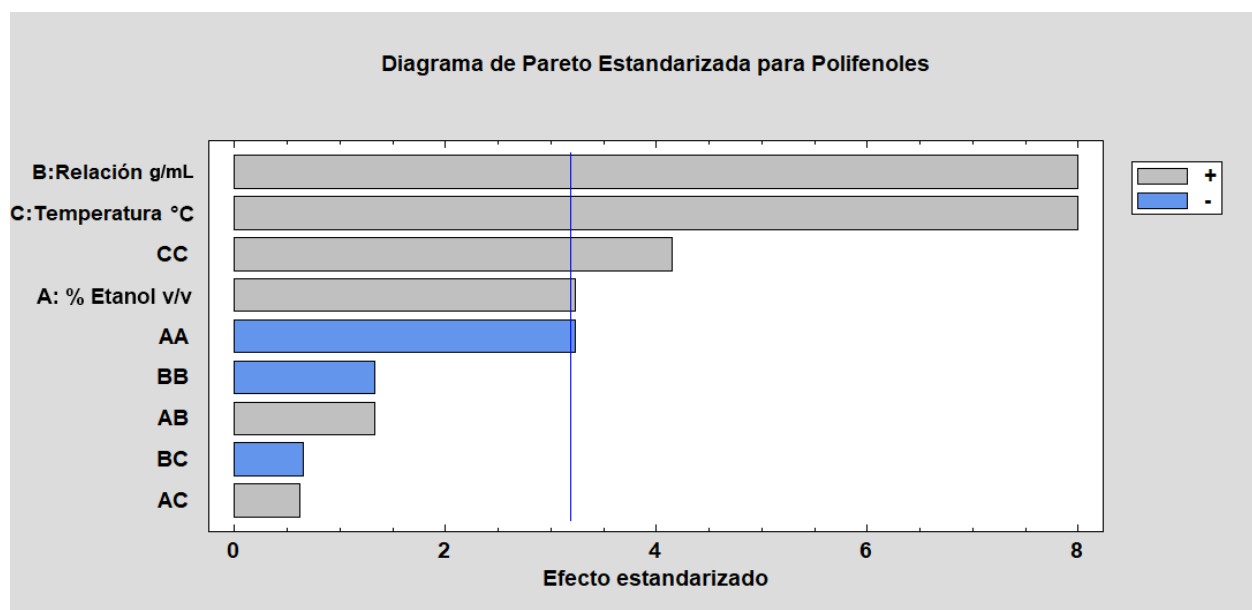
Figura 20

Diagramas de Pareto para las variables de respuesta: a) contenido total de polifenol, y b) contenido total de flavonoides

A)



B)



Fuente: La presente investigación (2022).

Además, se presentan los diagramas de Pareto (Figura 20A), los factores significativos ($p < 0.05$) que definen el comportamiento de la variable de respuesta TPC fueron la relación solido/sovente (B), la temperatura (C) y su efecto cuadrático y el efecto del solvente (A) presentaron un efecto positivo y directamente proporcional. El efecto cuadrático de la temperatura C indicó una relación no lineal entre este factor y la variable de respuesta. A diferencia del efecto cuadrático de los factores AA y BB y BC tuvieron un efecto negativo e inversamente proporcional para esta variable de respuesta, sin mostraron significación estadística ($p < 0,05$), lo que indica que esta variable de respuesta depende en mayor medida de la variación individual de cada factor. Shehata *et al.* (2021) reporta un comportamiento similar en el estudio de la extracción de compuestos bioactivos de la naranja en cuanto a los factores temperatura, relación sólido: solvente y la concentración del solvente siendo estos estadísticamente significativos ($p < 0,05$).

Los factores significativos ($p < 0.05$) que definen el comportamiento del contenido total de flavonoides (Figura 20 b) fueron la relación solido/solvente (B), la temperatura (C), el solvente (A) y el efecto cuadrático del solvente A. El factor temperatura para mandarina en el estudio realizado por Carranza et al., (2016) es estadísticamente significativo ($p < 0,05$) como se reporta en este estudio.

8.3.6. Optimización de la extracción asistida por ultrasonido del contenido total de polifenoles y flavonoides presentes en la mezcla de naranja y mandarina (1:1)

8.3.6.1 Modelo Polinomial de Segundo Orden. Los datos experimentales se analizaron y ajustaron a tres modelos polinomiales a fin de identificar qué modelo elegir en el estudio. El software sugirió el modelo cuadrático (Tabla 7) porque el R^2 se ajusta en un 93,63% a los datos y

el R^2_{ajustado} representa en un 86 % la efectividad de las variables independientes sobre las variables de respuesta.

Tabla 4

Resumen del modelo estadístico analizados en la optimización de la EAU para la TPC y TFC presentes en la mezcla de residuos de naranja y mandarina (1:1)

Variable de respuesta	Modelo	Des. Estándar	R^2	R^2_{Ajustado}	R^2_{Predicho}
TPC	Cuadrático	186,78	0,936	0,862	0,503
TFC	Cuadrático	95,14	0,935	0,864	0,574

Nota. Contenido total de polifenoles (TPC), contenido total de flavonoides (TFC)

Fuente: La presente investigación (2022).

El modelo matemático cuadrático propuesto para TPC (Ecuación 9) y TFC (Ecuación 10) presentó el coeficiente R^2 igual a 0,966 y 0,935. Por lo tanto, estos resultados indicaron que el modelo es adecuado para describir los datos de la extracción asistida por ultrasonido del contenido total de polifenoles y flavonoides presentes en la mezcla de residuos de naranja y mandarina (1:1).

$$\text{TPC} = 1757,48 + 24,69*A + 24,48*B - 31,95*C + 0,15*(A*B) + 0,09*(A*C) - 0,10*(B*C) - 0,28*A^2 - 0,11*B^2 + 0,65 * C^2 \quad \text{Ecuación 9}$$

$$\text{TFC} = 934,16 - 26,79*A + 15,99*B - 10,08*C + 0,10*(A*B) + 0,07*(A*C) + 0,24*(B*C) + 0,25*A^2 - 0,28*B^2 + 0,04*C^2 \quad \text{Ecuación 10}$$

8.3.6.2. Adecuación del modelo cuadrático. La figura 21 A y B muestran una satisfactoria correlación entre los datos experimentales y los predichos calculados a partir de la ecuación 9 y 10 en relación con el TPC y TFC del extracto de la mezcla de mandarina y naranja

(1:1) obtenido por la EAU. Se puede observar que los datos predichos calculados a partir del modelo están en buena concordancia con los datos experimentales en el rango de condiciones de operación. Además, los puntos cercanos alrededor de la diagonal que indica el óptimo del modelo, determinan que la desviación entre dichos valores fue mínima.

8.3.6.3. Figuras de superficie respuesta (RMS) de las interacciones de los factores, A concentración de solvente (% etanol v/v), B (Relación solido: solvente) y C (Temperatura °C) con las variables de respuesta TPC y TFC. Los factores B y C son estadísticamente significativos ($p < 0.05$) en la EAU y su efecto representa el mayor contenido de TPC. En la figura 22 A, se observa el efecto de la temperatura y la relación solido: solvente sobre el TPC de los residuos de la mezcla de naranja y mandarina (1:1). El TPC aumentó con el incremento de la temperatura y la relación solido: solvente. Con una temperatura de 50 a 70°C y una relación solido : solvente de 1 : 60 a 1g: 75mL, se obtienen 4074,64 mg de GAE/100 g de FW, esto posiblemente se debió a que el aumento de temperatura puede mejorar la extracción de los compuestos fenólicos provocando el ablandamiento de los tejidos vegetales, la disminución de la viscosidad del disolvente, acelerando el flujo del disolvente, aumentando así la solubilidad de los compuestos y la ruptura de ciertos enlaces químicos por lo tanto, puede ayudar a liberar los compuestos sometidos de la muestra evaluada (Setford *et al.*, 2017; Gironi y Piemonte, 2011). Los resultados son similares a los reportados por Savic *et al.* (2022) quienes explican un efecto semejante en la influencia de los factores relación (B) y temperatura (C) sobre la variable de respuesta TPC.

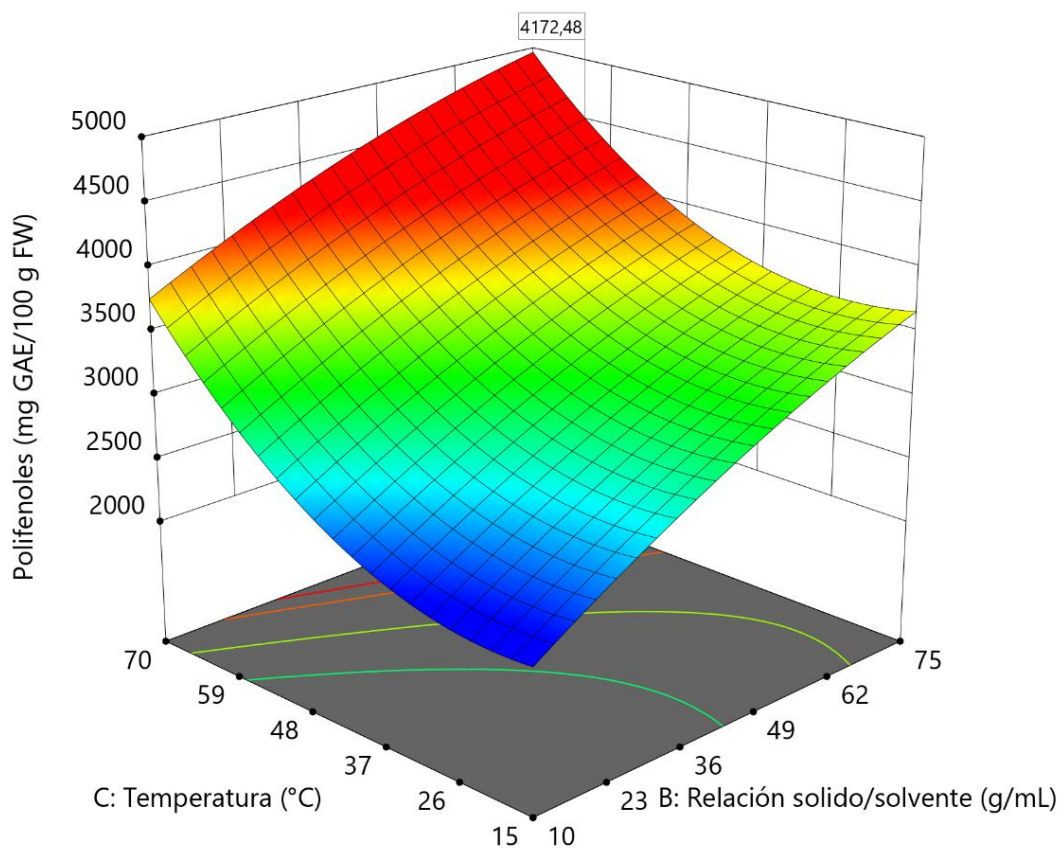
En la figura 22 B se presenta el efecto de los factores B (relación solido/solvente) y A (% etanol v/v) y en la imagen 22 C, el factor C (temperatura °C) y el factor A (concentración de etanol % v/v) a pesar de que son significativos ($P < 0,05$) en el proceso de extracción, la mayor

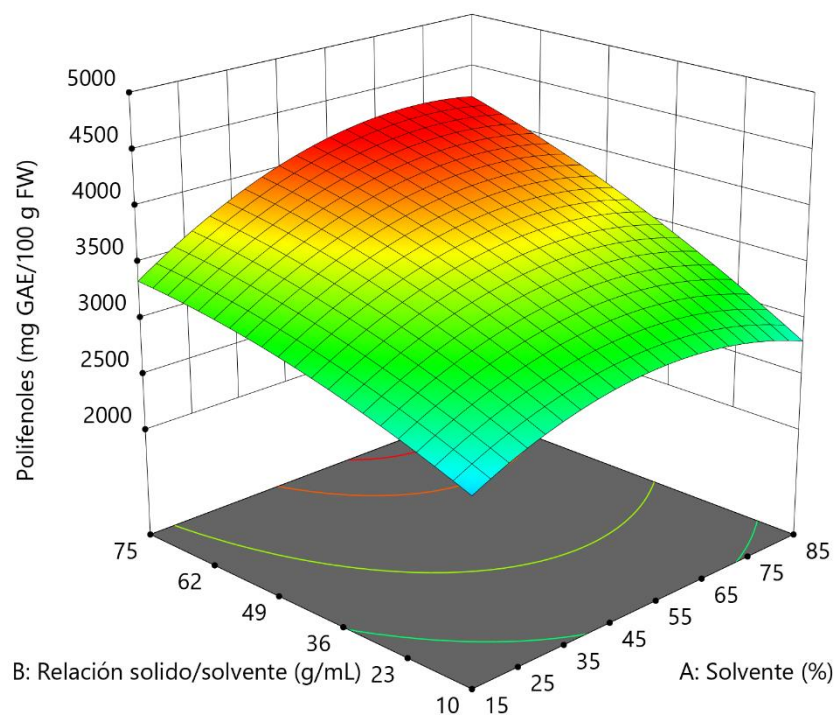
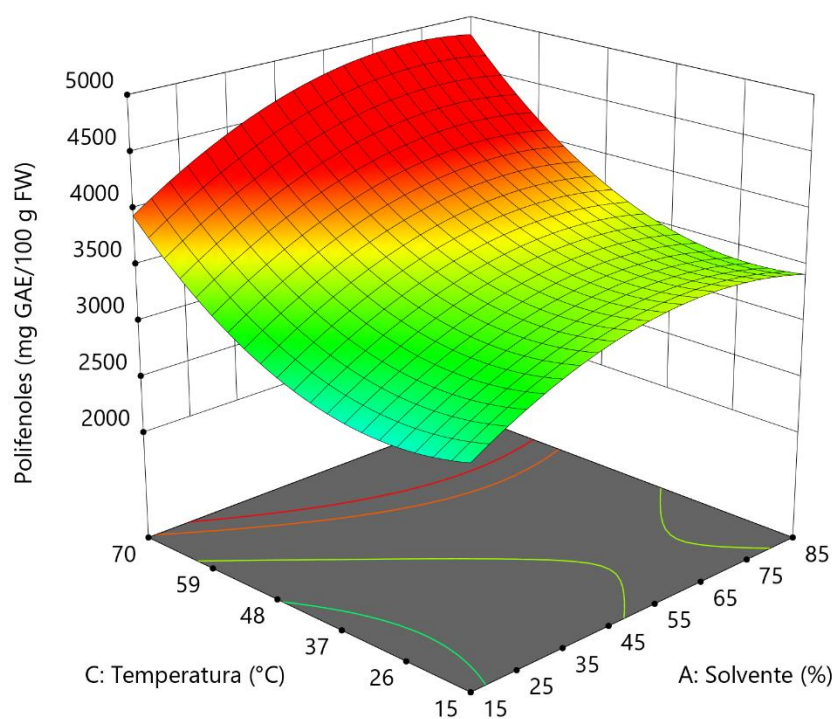
concentración se presenta con el efecto de los factores **C y B** (Figura 22A). obteniendo 4172,78 mg de GAE / 100 g FW.

Figura 21

Superficie de respuesta para el TPC de la mezcla de naranja y mandarina (1:1) en función de la temperatura, relación solido/solvente y concentración de solvente (% etanol v/v)

A)



B)**C)**

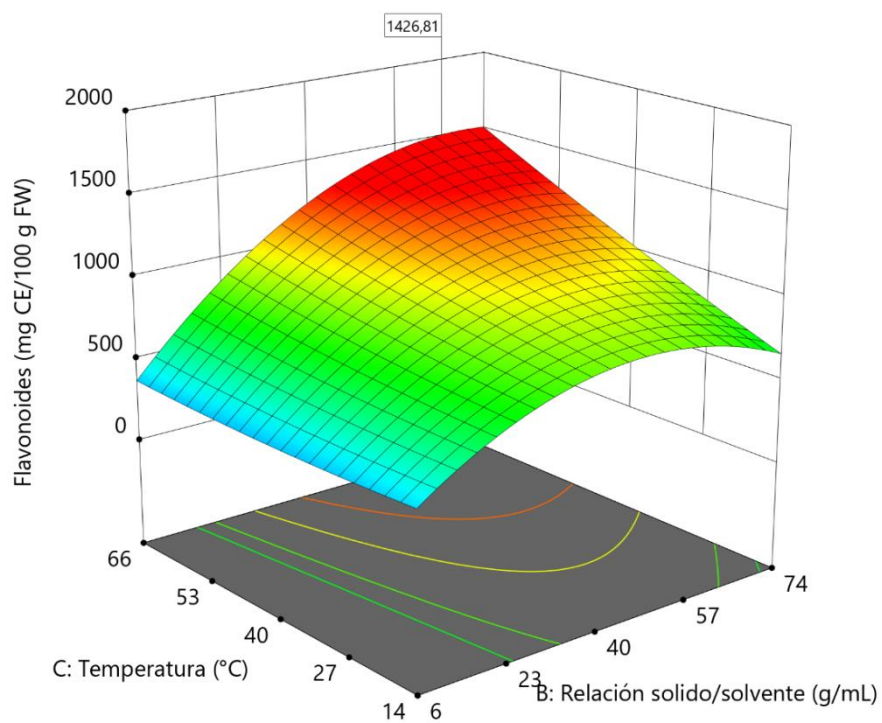
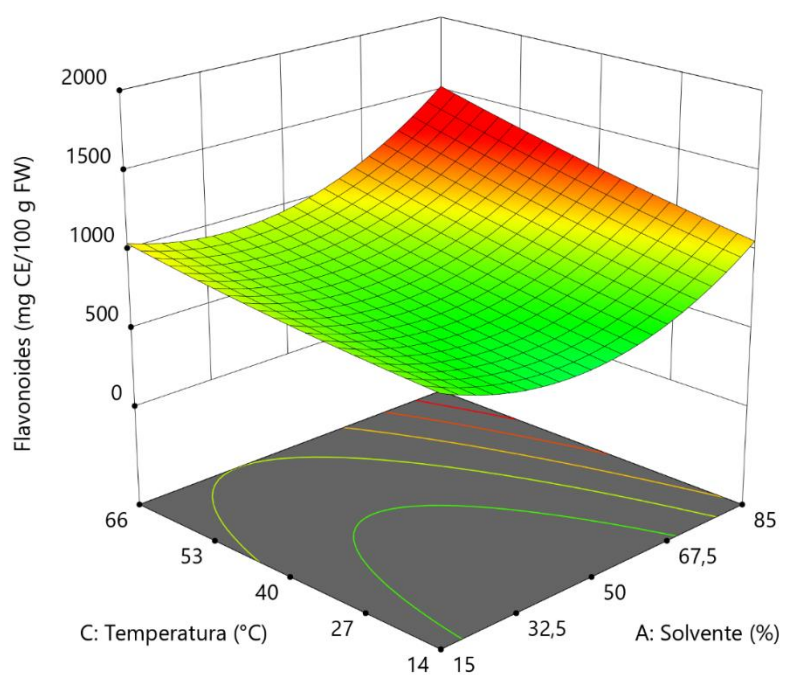
Fuente: La presente investigación (2022).

Con respecto a TFC (Figura 23) el efecto de la relación sólido/solvente y el efecto de temperatura incrementó, el TFC conde 1426,97 mg CE/100 g de FW. El comportamiento obtenido (Figura 23 A) para la temperatura y relaciones sólido / solvente empleadas es esperado, debido a que los procesos de extracción son más eficientes cuando la cantidad de disolvente es elevada. Generalmente grandes cantidades de solvente pueden disolver los constituyentes más eficientemente, conduciendo a un aumento del rendimiento de extracción. De igual manera, el gradiente de concentración que es considerada la fuerza impulsora de la transferencia de masa, es mayor cuando se utilizó una mayor relación sólido /Solvente, lo que resultó en un aumento de la tasa de difusión hasta que se alcanzó el equilibrio (Nour *et al.*, 2016). Aunque un uso excesivo de solvente podría extraer la mayoría de los compuestos bioactivos, puede hacer que el extracto sea demasiado diluido, lo que requiere una etapa de concentración adicional, y una cantidad insuficiente de disolvente puede conducir a una extracción insuficiente (Jakobek *et al.*, 2015; Valachovic *et al.*, 2001). Los resultados coinciden con los de Prasad *et al.* (2012), que obtuvieron un mayor rendimiento de TPC en el extracto de mango a una mayor relación líquido/sólido y una alta concentración de solvente.

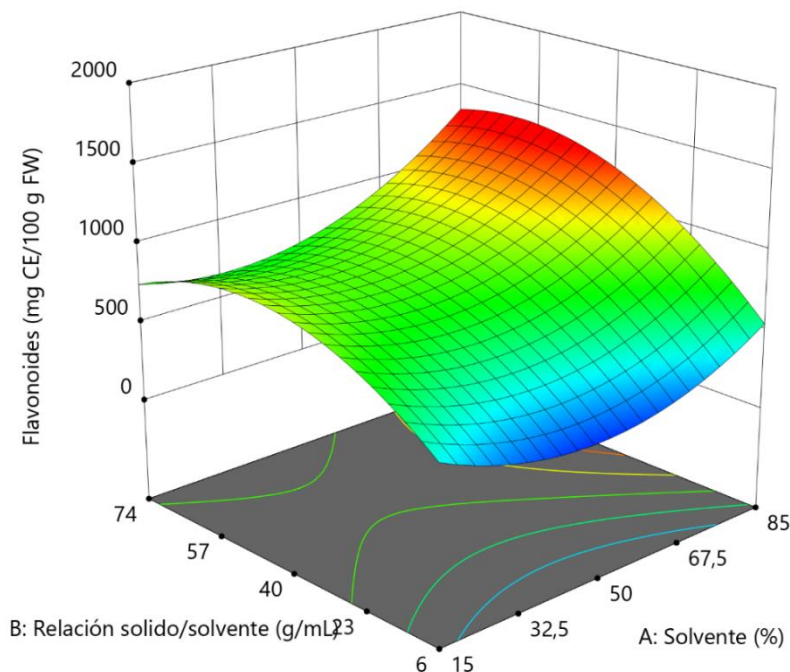
Los factores C (temperatura °C) y A (% etanol v/v) Figura 23 B son estadísticamente significativos ($p < 0,05$) en la extracción asistida con ultrasonido sin embargo el efecto conlleva a una concentración de TFC menor que la obtenida con los factores B (relación sólido:solvente) y C (temperatura °C). De igual firma se presenta con los efectos de B (relación sólido/solvente) y A (% etanol v/v) (Imagen 23C). El efecto del factor A posiblemente influya más en la EAU ya que la concentración de etanol mayor o igual a 60% favorece la extracción de TFC, ya que al mezclarse con agua incrementa la polaridad de la solución mejorando así la solubilidad de los compuestos bioactivos (Valachovic *et al.*, 2001).

Figura 22

Superficie de respuesta para el TFC de la mezcla de naranja y mandarina (1:1) en función de la temperatura, relación sólido/solvente y concentración de solvente (% etanol v/v)

A)**B)**

C)



Fuente: La presente investigación (2022).

8.3.6.4. Condiciones óptimas en la obtención de TPC y TFC y validación e idoneidad del Método. La optimización numérica múltiple predijo que la mezcla del extracto de cáscara, pulpa y semilla de naranja y mandarina (1:1) más deseable puede obtenerse con las condiciones óptimas de 72,80 % de solvente, para la relación sólido:solvente de 1:67,97 (g:mL) y temperatura de 56,23 °C.

Se aplicó las condiciones óptimas de extracción de EAU sugeridas y se llevó a cabo una validación experimental, como se indica en la tabla 8. Se observó una diferencia inferior al 6% entre los valores predichos y los experimentales para la extracción de TPC y TFC. Por lo tanto, la optimización de las respuestas múltiples fue adecuada y reproducible. En el estudio de Dumitrascu *et al.* (2019) el valor predicho de TPC es similar con 4318,9 mg GAE/100 g de DW debido a que los factores estadísticamente significativos para optimizar la EAU fueron la temperatura, concentración de etanol (%) y relación solido / solvente. Por otro lado Poyraz *et al.*

(2021) en su estudio optimizaron las condiciones de extracción para TPC y TFC de (*Citrus unshiu*) obteniendo, 90 min, 56% de amplitud y 50 °C, en este caso el valor de la temperatura optima se asemeja a la conseguida en esta investigación. Nishad *et al.* (2019) validaron los resultados óptimos obteniendo valores de TPC igual a 2116,71 mg GAE/100 g y 276,53 mg CE/100 g de TFC con una diferencia porcentual del 1% en TPC y TFC en 2 % , siendo más bajos que la los reportados ya que la relación solido: solvente fue de 1 g : 39,63 mL. De igual forma Van et al., (2020) encontraron condiciones óptimas mediante EAU de TPC y TFC, como intensidad de ultrasonido 40 KHZ, relación solido / liquido 1g : 40 mL y tiempo de 60 minutos. En la presente investigación se obtuvo una relación de 1 g: 67,97 mL obteniendo mayor concentración de compuestos bioactivos esto puede ser porque los procesos de extracción son más eficientes cuando la cantidad de disolvente es elevada. Generalmente grandes cantidades de disolvente pueden disolver constituyentes más eficientemente, conduciendo a un aumento del rendimiento de extracción.

Tabla 5

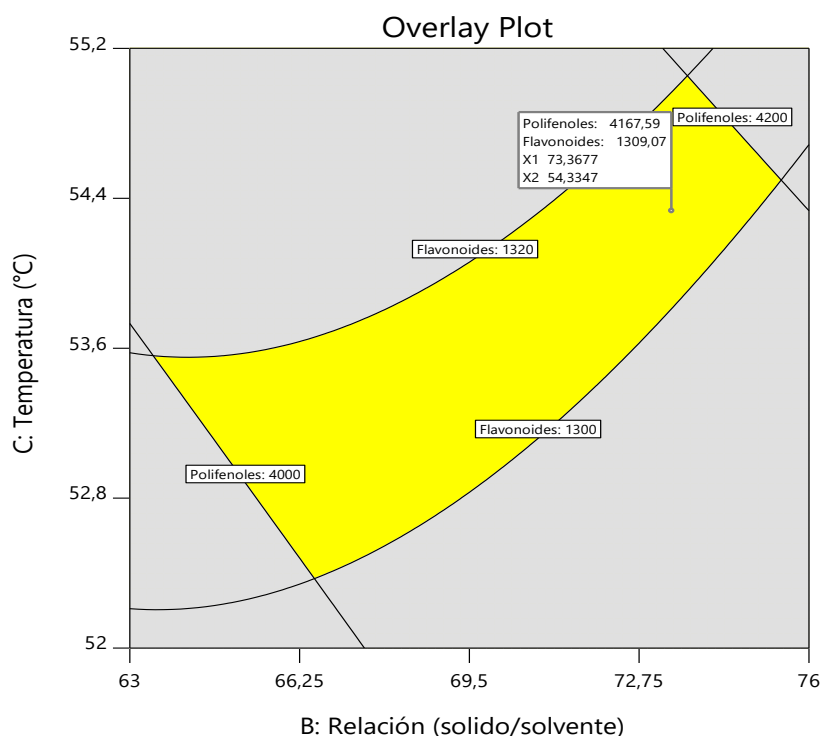
Comparación de valor experimental y predicho para el TPC y TFC de la mezcla de residuos de mandarina y naranja (1:1) bajo las condiciones optimas

Caso	Variable de respuesta	Valor experimental	Valor predicho	Diferencia porcentual (%)
1	TPC	4074,64 ± 49,02	4173,78	2,37
	mg GAE/100 g FW			
2	TFC	1426,97 ± 59,76	1357,59	5,11
	mg CE/100 g FW			

Nota. Contenido total de polifenoles (TPC), contenido total de flavonoides (TFC), equivalente de ácido gálico (GAE), equivalente de catequina (CE), base húmeda (FW).

Figura 23

Superposición de contornos para la EAU del TPC y TFC presentes en la mezcla de naranja y mandarina (1:1)



Fuente: La presente investigación (2022).

Teniendo en cuenta las figuras de superficie de respuesta y los efectos significativos ($p < 0,05$) de los factores de la EAU sobre el contenido total de polifenoles y flavonoides se indican en el gráfico de contorno superpuesto múltiple (Figura 24). El área amarilla en el gráfico representa el rango adecuado de factores experimentales que conducen a las variables de respuesta deseables.

8.3.7. Determinación de la capacidad antioxidante (DPPH) utilizando las variables optimizadas

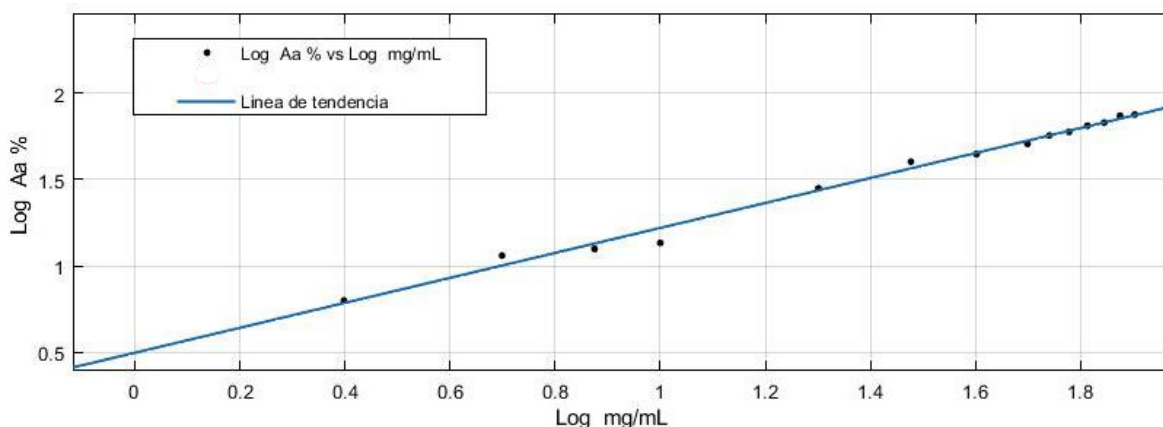
Con las variables optimas de EAU se determinó la capacidad antioxidante del extracto por el método DPPH obteniendo 2859,93 $\mu\text{mol ET}/100\text{g FW}$. Este valor de actividad antioxidante fue mayor a los valores obtenidos por Barbosa *et al.* (2018), quienes reportaron valores de actividad antioxidante por el método DPPH de 1103,5 $\mu\text{mol TE}/100\text{ g dw}$ puesto que trabajaron con semillas, bagazo y piel de naranja. Por otro lado Castello *et al.* (2015) obtuvieron 3190 $\mu\text{mol ET}/100\text{g dw}$ en *Citrus paradisi L.*, con etanol, y a 55 °C . El valor obtenido en el estudio mencionado es mayor al mostrado en esta investigación, debido a la alta concentración de etanol como solvente y a la temperatura que favorece el movimiento de las partículas y por ende la actividad antioxidante.

8.4. Determinación de la actividad antioxidante efectiva EC₅₀ de los extractos obtenidos a partir de los residuos de frutos cítricos

Con la ecuación lineal 11, se determinó la concentración que alcanza la mezcla del extracto de naranja y mandarina (1:1) correspondiente al 50% de la actividad antioxidante (EC₅₀). La figura 25 muestra el ajuste para la ecuación lineal con un coeficiente R² de 0,991 y los datos se ajustan a una tendencia lineal. La concentración para alcanzar el 50% (EC₅₀) es igual a 46,18 mg/mL. Los valores de la presente investigación fueron menores a los reportados por Silva *et al.*, (2018) en *Citrus máxima* con 303,8 $\mu\text{g/ml}$. Por otra parte Guimarães *et al.*, (2010) obtuvieron 95,67 mg/mL en extracto concentrado de cáscara de naranja.

Figura 24

Estimación de la actividad antioxidante efectiva (CE50) en las condiciones óptimas de extracción EAU



$$F(x) = p1 * x + p2$$

Ecuación 11

Donde,

P1= 0,721

P2= 0,498

Fuente: La presente investigación (2022).

La concentración para alcanzar el 50% (EC₅₀) también se reporta con 3766,74 µmol ET/100g FW. Este valor es similar al logrado por *Nishad et al.* (2019) con 4663,00 µmol ET/100g FW en extracto de cascara de naranja rotaevaporado a 50 °C y EAU utilizando como solvente etanol, relación solido : liquido de 1g :40 mL y 35 minutos. Es importante tener en cuenta que al concentrar el extracto, este presenta una mayor inhibición de radicales libres siendo más efectivo.

Para garantizar una actividad antioxidante efectiva se debe utilizar un extracto de la mezcla de mandarina (*citrus reticulata*) y naranja (*citrus sinensis*) con una concentración (mg/ml) superior a la EC₅₀.

9. Conclusiones

Los valores de la caracterización fisicoquímica de la naranja y mandarina se encuentran en los rangos reportados por la literatura, por lo tanto, el estado de madurez de los cítricos obtenidos en las plazas de mercados es apropiado para la extracción de compuestos bioactivos.

La técnica de extracción asistida por ultrasonido en la obtención de TPC y TFC de naranja y mandarina reduce el impacto al medio ambiente, ya que utiliza bajos volúmenes de solvente, tiempos y reducción de consumo energético, siendo más eficaz que otras técnicas convencionales de extracción.

La aplicación de la optimización en la extracción asistida por ultrasonido (EAU) permitió utilizar la menor cantidad de recursos obteniendo un alto contenido de antioxidantes naturales que se pueden implementar en diferentes industrias como alimentaria, farmacéutica y cosmética, o reemplazar los antioxidantes sintéticos por naturales en los productos alimentarios, la estabilización de las grasas, el desarrollo de alimentos funcionales y en los ingredientes cosméticos para el tratamiento de los trastornos relacionados con la piel y la minimización de las arrugas.

El aprovechamiento integral de los residuos de naranja, mandarina y su mezcla (1:1) generados en las plazas de mercado se constituyen como una fuente importante de compuestos bioactivos que pueden ser utilizados como antioxidantes naturales, más aún si se trabajan en mezcla por su efecto de sinergia, contribuyendo con el bienestar humano y la disminución de la contaminación ambiental generada por la acumulación de estos materiales.

10. Difusión

Los resultados del estudio dentro del proyecto “EXTRACCIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE COMPUESTOS BIOACTIVOS A PARTIR DE FRUTOS CÍTRICOS MANDARINA (*Citrus reticulata*), Y NARANJA (*Citrus sinensis*). GENERADOS EN LA PLAZA DE MERCADO “EL POTRERILLO” DE LA CIUDAD DE PASTO”, se presentó como ponencia oral titulada “Valorización de residuos de plazas de mercado para la obtención de compuestos bioactivos” en el 34 CONGRESO LATINOAMERICANO DE QUIMICA CLAQ 2020 realizado en la ciudad de Cartagena de Indias, Colombia, del 11 al 15 de octubre de 2021 y como modalidad poster titulado “Modelamiento matemático de la extracción asistida con ultrasonido de compuestos bioactivos presentes en residuos cítricos de plazas de mercado” en el XXXIII CONGRESO IBEROAMERICANO DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS, CIBIA 2022 realizado en la ciudad de Medellin, Colombia, del 15 al 18 de marzo de 2022.

11. Recomendaciones

Se recomienda evaluar más factores que influyan en la extracción asistida con ultrasonido por ejemplo la potencia o porcentaje de amplitud y así comparar los resultados y determinar el posible incremento en la cantidad de polifenoles y flavonoides además incluir una variable de respuesta adicional como el radical DPPH para considerar el incremento o disminución de la inhibición del extracto.

Se recomienda utilizar otros solventes como el agua que favorecería la EAU de polifenoles y flavonoides debido a su polaridad, disponibilidad, economía y a su afinidad con el medio ambiente.

Referencias

- Agudelo, K., & Villada, K. (2018). *Grado de sensibilidad de la rentabilidad frente a las variaciones del precio de la naranja. caso: villa del sol*. Universidad Católica de Colombia.
- Aguilar, P., Escobar, M. J., & Pássaro, C. (2012a). Situación actual de la cadena de cítricos en Colombia: limitantes y perspectivas. In Corporación Universitaria Lasallista (Ed.), *Serie Lasallista Investigación y Ciencia*.
- Aguilar, P., Escobar, M., & Pássaro, C. (2012b). Cítricos: cultivo, poscosecha e industrialización. In *Corporación Universitaria Lasallista* (Jovany Arl).
<https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/13022>
- Alcaldía de Santiago de Cali. (2016). *Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS)*.
- Aliakbarian, B., Fathi, A., Perego, P., & Dehghani, F. (2012). Extraction of antioxidants from winery wastes using subcritical water. *Journal of Supercritical Fluids*.
<https://doi.org/10.1016/j.supflu.2012.02.022>
- Anticon, M., Blesa, J., Malo, D., Frigola, A., & Esteve, J. (2021). Food Bioscience Effects of ultrasound-assisted extraction on physicochemical properties , bioactive compounds , and antioxidant capacity for the valorization of hybrid Mandarin peels. *Food Bioscience*, 42.
<https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101185>
- Arroyo, R., & León, R. (2014). *Densidad de carga y método de extracción en el rendimiento y calidad de aceite esencial de los flaveados de dos variedades de naranja (citrus sinensis)*.
- Association of Official Analytical Chemists. (2005). *Official Methods of Analysis of AOAC International* (15 th). <https://www.pdfdrive.com/aoac-official-methods-of-analysis-d63790994.html>
- Barbosa, P. de P. M., Ruviaro, A. R., & Macedo, G. A. (2018). Comparison of different

- Brazilian citrus by-products as source of natural antioxidants. *Food Science and Biotechnology*, 27. <https://doi.org/10.1007/s10068-018-0383-4>
- Benavides, R., Revelo, Y., Arango, O., & Osorio, O. (2020). Extracción asistida con ultrasonido de compuestos fenólicos de dos variedades de papas (*Solanum phureja*) nativas andinas y evaluación de su actividad antioxidante. *Información Tecnológica*, 31. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642020000500043>
- Bucić-Kojić, A., Sovová, H., Planinić, M., & Tomas, S. (2013). Temperature-dependent kinetics of grape seed phenolic compounds extraction: Experiment and model. *Food Chemistry*, 136(3–4). <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.09.087>
- Cacace, J., & Mazza, G. (2003). Mass transfer process during extraction of phenolic compounds from milled berries. *Journal of Food Engineering*, 59(4). [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(02\)00497-1](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(02)00497-1)
- Campos, R., Razo, Ó., Almaraz, I., Ramírez, E., Soriano, R., Salinas, J., Arias, L., & González, S. (2018). Bioconversión de desperdicios vegetales a biogás a partir de microorganismos ruminales. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. <https://doi.org/10.20937/rica.2018.34.01.13>
- Carranza, H., Sosa, Á., Beltrán, G., Cruz, N., Jiménez, C., & Velasco, O. (2016). Optimization of Antioxidant Compounds Extraction from Fruit By-Products: Apple Pomace, Orange and Banana Peel. *Journal of Food Processing and Preservation*, 40(1). <https://doi.org/10.1111/jfpp.12588>
- Castello, G., Lopez, R., Mayor, L., Ballesteros, R., Conidi, C., & Cassano, A. (2015). Optimization of conventional and ultrasound assisted extraction of flavonoids from grapefruit (*Citrus paradisi* L.) solid wastes. *Food Science and Technology*, 64(2).

<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.07.024>

CCA. (2017). *Caracterización y gestión de los residuos orgánicos en América del Norte*.

Chemat, F., Rombaut, N., Sicaire, A. G., Meullemiestre, A., Fabiano-Tixier, A. S., & Abert-

Vian, M. (2017). Ultrasound assisted extraction of food and natural products. Mechanisms, techniques, combinations, protocols and applications. A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 34. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.06.035>

CONPES 3874. (2016). Política Nacional para la gestión integral de residuos sólidos. In *Consejo nacional de política económica y social*.

<https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Económicos/3874.pdf>

Coulter, T. (2016). Food: The Chemistry of Its Components. In *Royal Society of Chemistry (RSC)* (Vol. 4). <https://pubs.rsc.org/en/content/ebook/978-1-84973-880-4>

DANE. (2019). Sistema de Información de Precios y Abastecimiento del Sector Agropecuario (SIPSA). In *Departamento Administrativo Nacional de Estadística*.

https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Bol_mensual_jul_2019.pdf

Djekic, I., Mujčinović, A., Nikolić, A., Režek, A., Papademas, P., Hailu, A., Kansou, K.,

Thomopoulos, R., Briesen, H., Kavallieratos, N. G., Athanassiou, C. G., Silva, C. L. M.,

Sirbu, A., Mihnea, A., Tomasevic, I., Vrabič, U., Charalambides, M., & Tonda, A. (2019).

Cross-European initial survey on the use of mathematical models in food industry. *Journal of Food Engineering*, 261. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.06.007>

Dumitrascu, L., Enachi, E., Stănciuc, N., & Aprodu, I. (2019). Optimization of ultrasound assisted extraction of phenolic compounds from cornelian cherry fruits using response surface methodology. *CYTA - Journal of Food*, 17(1).

<https://doi.org/10.1080/19476337.2019.1659418>

Efferth, T., & Koch, E. (2011). Complex Interactions between Phytochemicals. The Multi-Target Therapeutic Concept of Phytotherapy. *Current Drug Targets*, 12, 122–132.

<https://doi.org/10.2174/138945011793591626>

Escamilla, A. (2020). *Obtención de extractos bioactivos a partir de un subproducto del café, empleando técnicas de extracción verdes* [Universidad Nacional de Colombia].

[https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/78519/Obtención de extractos bioactivos a partir de un subproducto del café%2C empleando técnicas de extraccion verdes.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/78519/Obtención%20de%20extractos%20bioactivos%20a%20partir%20de%20un%20subproducto%20del%20café%20empleando%20técnicas%20de%20extracción%20verdes.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

FAO. (1993). *Prevención de pérdidas de alimentos poscosecha: frutas, hortalizas, raíces y tuberculos*. Biblioteca David Lubin.

Galván, L., Vauchel, P., Przybylski, R., Chataigné, G., & Iordan, N. (2013). Integrated preprocess extraction-adsorption for selective recovery on antioxidant phenolics from Aronia melanocarpa berries. *Separation and Purification Technology*.

<https://doi.org/10.1016/j.seppur.2013.09.027>

Gao, M., & Liu, C. (2005). Comparison of techniques for the extraction of flavonoids from cultured cells of Saussurea medusa Maxim. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, 21. <https://doi.org/10.1007/s11274-005-6809-1>

Gironi, F., & Piemonte, V. (2011). Temperature and solvent effects on polyphenol extraction process from chestnut tree wood. *Chemical Engineering Research and Design*, 89(7).

<https://doi.org/10.1016/j.cherd.2010.11.003>

Grajales, A., Tello, J. P., Verdugo, O., & Portilla, G. (2018). *Diseño, proceso y aprovechamiento de residuos de frutas*.

- Guadarrama, Á., & Peña, Y. (2013). Actividad respiratoria vs. variaciones físicas y químicas en la maduración de frutos de naranjita china (*Citrus x microcarpa* Bunge). *Bioagro*.
- Guevara, A., & Cancino, K. (2008). Metodos apropiados para inactivar o controlar el deterioro microbiológico en alimentos. In *Metodos de Conservación de Alimentos* (Vol. 2).
- Guimarães, R., Barros, L., Barreira, J. C. M., Sousa, M. J., Carvalho, A. M., & Ferreira, I. C. F. R. (2010). Targeting excessive free radicals with peels and juices of citrus fruits : Grapefruit , lemon , lime and orange. *Food and Chemical Toxicology*, 48(1).
<https://doi.org/10.1016/j.fct.2009.09.022>
- Gutiérrez Zavala, Á., Ledesma Rivero, L., García García, I., & Grajales Castillejos, O. (2007). Capacidad antioxidante total en alimentos convencionales y regionales de Chiapas, México. *Revista Cubana de Salud Pública*, 33.
- Hossain, M., Brunton, N., Patras, A., Tiwari, B., O'Donnell, C. P., Martin-Diana, A. B., & Barry-Ryan, C. (2012). Optimization of ultrasound assisted extraction of antioxidant compounds from marjoram (*Origanum majorana* L.) using response surface methodology. *Ultrasonics Sonochemistry*, 19(3). <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2011.11.001>
- Hou, J., Liang, L., Su, M., Yang, T., Mao, X., & Wang, Y. (2021). Variations in phenolic acids and antioxidant activity of navel orange at different growth stages. *Food Chemistry*, 360.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129980>
- ICONTEC. (1999a). *Productos de frutas y verduras. Determinación de la acidez titulable*.
<https://baixardoc.com/documents/ntc4623-productos-de-frutas-y-verduras--5c8816e4a3b61>
- ICONTEC. (1999b). *Productos de frutas y verduras. Determinación del pH*.
https://kupdf.net/download/ntc-4592-ph_59de20d808bbc55168e657de_pdf
- Jakobek, L., Boc, M., & Barron, A. (2015). Optimization of ultrasonic-assisted extraction of

phenolic compounds from apples. *Food Analytical Methods*.

<https://doi.org/10.1007/s12161-015-0161-3>

Jaramillo, C., Peralta, W., Arango, W., & Arteaga, J. (2017). Acción antioxidante conjunta de extractos etanólicos de *Mollinedia lanceolata*, *Croton leptostachyus* y *Siparuna sessiliflora*. *Ciencias Químicas*, 41, 64–70. <https://doi.org/dx.doi.org/10.18257/raccefyn.425>

Kamran, M., Abert Vian, M., Fabiano Tixier, A. S., Dangles, O., & Chemat, F. (2010).

Ultrasound-assisted extraction of polyphenols (flavanone glycosides) from orange (*Citrus sinensis* L.) peel. *Food Chemistry*, 119(2). <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.08.046>

Katsampa, P., Valsamedou, E., Grigorakis, S., & Makris, D. (2015). A green ultrasound-assisted extraction process for the recovery of antioxidant polyphenols and pigments from onion solid wastes using Box-Behnken experimental design and kinetics. *Industrial Crops and Products*, 77. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.09.039>

Khemakhem, I., Hussam, M., Barraón, E., & Micol, V. (2016). Kinetic improvement of olive leaves bioactive compounds extraction by using power ultrasound in a wide temperature range. *Ultrasonics Sonochemistry*. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.06.010>

Kosar, M., Dorman, H., & Hiltunen, R. (2005). Effect of an acid treatment on the phytochemical and antioxidant characteristics of extracts from selected Lamiaceae species. *Food Chemistry*. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.06.029>

Lara, A. (2015). Diseño estadístico de experimentos. In Universidad de Granada (Ed.), *Diseño de experimentos*.

Londoño, Julian. (2012). Antioxidantes: importancia biológica y métodos para medir su actividad. *Corporación Universitaria Lasallista*.

<http://repository.unilasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/133/3/9.129-162.pdf>

- Londoño, Julián, Rodrigues de Lima, V., Lara, O., Gil, A., Crecsynski Pasa, T. B., Arango, G. J., & Ramirez Pineda, J. (2010). Clean recovery of antioxidant flavonoids from citrus peel : Optimizing an aqueous ultrasound-assisted extraction method. *Food Chemistry*, 119(1).
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.05.075>
- Mahato, N., Sinha, M., Sharma, K., Koteswararao, R., & Chao, M. (2019). Modern Extraction and Purification Techniques for Obtaining High Purity Food-Grade Bioactive Compounds and Value-Added Co-Products from Citrus Wastes. *Foods*, 8.
<https://doi.org/10.3390/foods8110523>
- Mahdi, A. A., Rashed, M. M. A., Ansi, W. Al, & Ahmed, M. I. (2019). Enhancing bio-recovery of bioactive compounds extracted from Citrus medica L . Var . sarcodactylis : optimization performance of integrated of pulsed-ultrasonic / microwave technique. *Springer Science*.
<https://doi.org/10.1007/s11694-019-00083-x>
- Martínez, A., Marcela, M., Quintero, P., & Jelen, C. (2017). Estado actual de los desperdicios de frutas y verduras en Colombia Current status of fruit and vegetable residues in Colombia. *Portal de Revistas Académicas UTP (Universidad Tecnológica de Panamá)*.
<https://core.ac.uk/download/pdf/234021142.pdf>
- Martínez, H. J., Espinal G, C., & Peña, Y. (2006). *La cadena de cítricos en Colombia. Una mirada global de su estructura y dinamica 1991-2005* (M. de A. y D. R.- MINAGRICULTURA (ed.)).
- Multari, S., Licciardello, C., Caruso, M., & Martens, S. (2020). Monitoring the changes in phenolic compounds and carotenoids occurring during fruit development in the tissues of four citrus fruits. *Food Research International*, 134.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109228>

- Naturally Postharvest. (2018). *Procesos de cambio durante la maduración de la fruta*.
<https://www.deccoiberica.es/procesos-cambio-maduracion-de-la-fruta/>
- Nishad, J., Saha, S., Dubey, A. K., Varghese, E., & Kaur, C. (2019). Optimization and comparison of non-conventional extraction technologies for *Citrus paradisi* L. peels: a valorization approach. *Journal of Food Science and Technology*, 56.
<https://doi.org/10.1007/s13197-019-03585-0>
- Nour, V., Trandarf, I., & Cosmulescu, S. (2016). Optimization of ultrasound-assisted hydroalcoholic extraction of phenolic compounds from walnut leaves using response surface methodology. *Pharmaceutical Biology*.
<https://doi.org/10.3109/13880209.2016.1150303>
- Ordoñez, E., Reátegui, D., & Villanueva, J. (2018). Total polyphenols and antioxidant capacity of peel and leaves in twelve citrus. *Scientia Agropecuaria*, 9.
<https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.01.13>
- Ordoñez Gomez, G. (2020). *Desarrollo e implementación de estrategias para el aprovechamiento de residuos agroindustriales en la plaza de mercado “El Potrerillo” de la ciudad de San Juan de Pasto*.
- Ordúz, J., & Mateus, D. (2012). *Generalidades de los cítricos y recomendaciones agronómicas para su cultivo en Colombia*. Cítricos: Cultivo, Poscosecha e Industrialización.
<https://agriperfiles.agri-d.net/display/n114192>
- Ormaechea, E. (2019). *Radicales libres*. Salud Canales Mapfre.
<https://www.salud.mapfre.es/nutricion/reportajes-nutricion/radicales-libres/>
- Pantasico, E. B. (1981). Postharvest Physiology, Handling, and Utilization of Tropical and Subtropical Fruits and Vegetables. In A. P. Company (Ed.), *Universidad de Wisconsin -*

Madison (Vol. 1).

Patthamakanokporn, O., Puwastien, P., Nitithamyong, A., & Sirichakwal, P. P. (2008). Changes of antioxidant activity and total phenolic compounds during storage of selected fruits.

Journal of Food Composition and Analysis, 21. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2007.10.002>

Poma, E., Camones, M., Pardo, J., & Norabuena, E. (2015). Evaluación de la técnica 2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo (DPPH) para determinar capacidad antioxidante. *Horizonte Médico*, 15.

<https://doi.org/10.24265/horizmed.2015.v15n1.08>

Poyraz, C., Kücükıldız, G., Kırbaslar, S. İ., Cigeroglu, Z., & Sahin, S. (2021). Valorization of Citrus unshiu biowastes to value-added products: an optimization of ultrasound-assisted extraction method using response surface methodology and particle swarm optimization.

Biomass Conversion and Biorefinery. <https://doi.org/10.1007/s13399-021-01329-9>

Prakash, M., Manikadan, S., & Chandrasekar, V. (2017). Ultrasound assisted extraction of bioactive compounds from *Nephelium lappaceum* L. fruit peel using central composite face centered response surface design. *Journal of Chemistry*.

<https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2013.02.007>

Prasad, N., Kong, W., Ramanan, R. N., Azlan, A., & Ismail, A. (2012). Determination and Optimization of Flavonoid and Extract Yield from Brown Mango using Response Surface Methodology. *Separation Science and Technology*, 47(1).

<https://doi.org/10.1080/01496395.2011.606257>

Rakshit, M., Srivastav, P., & Bhunia, K. (2020). Kinetic modeling of ultrasonic-assisted extraction of punicalagin from pomegranate peel. *Journal of Food Process Engineering*,

43(11). <https://doi.org/10.1111/jfpe.13533>

Ramón, C., & Gil-Garzón, M. (2021). Efecto de los parámetros de operación de la extracción

- asistida por ultrasonido en la obtención de polifenoles de uva: una revisión. *Instituto Tecnológico Metropolitano*. <https://doi.org/10.22430/22565337.1822>
- Re, R., Pellegrinia, N., Proteggentea, A., Pannalaa, A., Yanga, M., & Rice, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*. [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00315-3)
- Reynertson, K., Basile, M., & Kennelly, E. (2005). Antioxidant Potential of Seven Myrtaceous Fruits. *Ethnobotany Research & Applicatios*. <https://doi.org/10.17348/era.3.0.25-36>
- Rodríguez Arzave, J. A., Florido Aguilar, A. L., & Hernández Torres, M. A. (2020). Determinación de parámetros fisicoquímicos en jugos de frutas cítricas. *Investigación y Desarrollo En Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 5, 233–238. <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume5/5/3/47.pdf>
- Rodríguez Riera, Z., Robaina mesa, M., Jáuregui haza, U., & Blanco, A. (2013). Empleo de la radiación ultrasónica para la extracción de compuestos bioactivos provenientes de fuentes naturales . Estado actual y perspectivas. *CENIC Ciencias Químicas*.
- Safdar, M., Kausar, T., Jabbar, S., Mumtaz, A., Ahad, K., & Saddozai, A. (2017). Extraction and quantification of polyphenols from kinnow (*Citrus reticulate* L.) peel using ultrasound and maceration techniques. *Journal of Food and Drug Analysis*, 25(3). <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2016.07.010>
- Sant'Anna, V., Brandelli, A., Marczak, L. D. F., & Tessaro, I. C. (2012). Kinetic modeling of total polyphenol extraction from grape marc and characterization of the extracts. *Separation and Purification Technology*, 100. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2012.09.004>
- Savic, I., Savic, I., Milovanovic, M., Zerajic, S., & Gajic, D. (2022). Optimization of Ultrasound-Assisted Extraction and Encapsulation of Antioxidants from Orange Peels in Alginate-

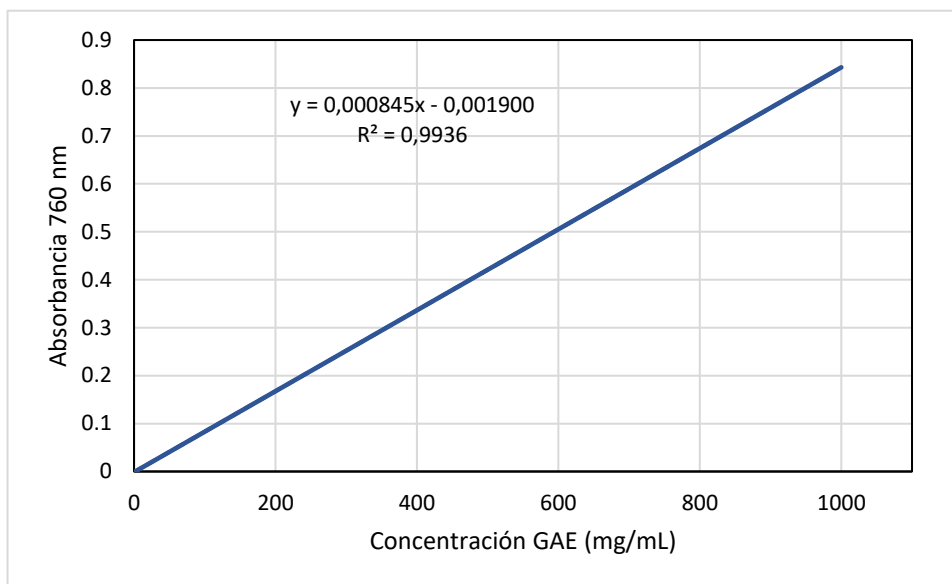
- Chitosan Microparticles. *Antioxidants*, 11(2). <https://doi.org/10.3390/antiox11020297> c
- Setford, P., Jeffery, D., Grbin, P., & Muhlack, R. (2017). Factors affecting extraction and evolution of phenolic compounds during red wine maceration and the role of process modelling. *Trends in Food Science & Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.09.005>
- Shafiya, R., Rajkumari, K., S.A., S., Nadia, B., Fiza, N., & Gulzar Ahmad, N. (2016). Citrus peel as a source of functional ingredient: A review. *King Saud University*. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2016.07.006>
- Shehata, M., Abd, N., Youssef, M., & Sohaimy, S. (2021). Optimization conditions of ultrasound-assisted extraction of phenolic compounds from orange peels using response surface methodology. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(10). <https://doi.org/10.1111/jfpp.15870>
- Sicari, V., Pellicano, T., Giuffre, A., Zappia, C., & Capocasale, M. (2016). Bioactive compounds and antioxidant activity of citrus juices produced from varieties cultivated in Calabria. *Food Measure*. <https://doi.org/10.1007/s11694-016-9362-8>
- Silva, E., Oliveira, B., Pereira, A., Pimentel, E., Pezzuto, J., Lenz, D., Kondratyuk, T., Andrade, T., Fronza, M., Scherer, R., Maia, J., Romão, W., Alves, F., Ventura, J., & Endringer, D. (2018). Induction of NAD (P)H: Quinone reductase 1 (QR1) and antioxidant activities in vitro of ‘Toranja Burarama’ (Citrus maxima [Burm.] Merr.). *WILEY*, 32(10). <https://doi.org/10.1002/ptr.6149>
- Singanusong, R., Nipornram, S., Tochampa, W., & Rattanatraiwong, P. (2014). Low Power Ultrasound-Assisted Extraction of Phenolic Compounds from Mandarin (Citrus reticulata Blanco cv . Sainampueng) and Lime (Citrus aurantifolia) Peels and the Antioxidant. *Food Anal. Methods*. <https://doi.org/10.1007/s12161-014-9992-6> Low

- Tao, Y., Wu, D., Zhang, Q. A., & Sun, D. W. (2014). Ultrasound-assisted extraction of phenolics from wine lees: Modeling, optimization and stability of extracts during storage. *Ultrasonics Sonochemistry*, 21(2). <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2013.09.005>
- Treybal, R. (1980). *Operaciones de Transferencia de Masa* (2nd ed.) (McGraw-Hill (ed.)).
- Urbina, J., Escobedo, M., & Zavaleta, B. (2018). Estudio experimental para el diseño y evaluación de un secador de bandejas móvil. *Big Bang Faustiano*.
- Valachovic, P., Pechova, A., & Mason, T. J. (2001). Towards the industrial production of medicinal tincture by ultrasound assisted extraction. *Ultrasonics Sonochemistry*, 8(2). [https://doi.org/10.1016/S1350-4177\(00\)00066-3](https://doi.org/10.1016/S1350-4177(00)00066-3)
- Vallejo-Catillo, V., Muñoz-Mera, J., Pérez-Bustos, M. F., & Rodríguez-Stouvenel, A. (2019). Recovery of antioxidants from papaya (*Carica papaya* L.) peel and pulp by Microwave - Assisted extraction. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 19(1). <https://doi.org/10.24275/rmiq/alim593>
- Van, P., Yen, N., Ting, L., & Lan, N. (2020). Chemical Composition and Biological Activities of Extracts from Pomelo Peel By-Products under Enzyme and Ultrasound-Assisted Extractions. *Journal of Chemistry*. <https://doi.org/10.1155/2020/1043251>
- Villalba, L., Herrera, A., & Orduz, J. (2021). Parámetros de calidad en la etapa de desarrollo y maduración en frutos de dos variedades y un cultivar de mandarina (*Citrus reticulata* Blanco). *Instituto de Investigaciones de La Orinoquia Colombiana*, 18.
- Wang, L., y Weller, C. (2006). Recent advances in extraction of nutraceuticals from plants. *Trends in Food Science & Technology*, 17. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2005.12.004>
- Wong, J., y Aguilar, P. (2020). Impacto de las tecnologías de extracción verdes para la obtención de compuestos bioactivos de los residuos de frutos cítricos. *TIP Revista Especializada En*

- Ciencias Químico-Biológicas*, 23. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2020.0.255>
- Yang, J., Martinson, T., & Liu, R. (2009). Phytochemical profiles and antioxidant activities of wine. *Food Science and Biotechnology*. <https://doi.org/10.1007/s10068-012-0215-x>
- Yfran, E., Ruiz, J., Ortiz, M., Fuentes, M., & Michellod, M. (2019). Análisis de plaguicidas y calidad de frutos cítricos en el mercado interno de Corrientes- Argentina. *Cultivos Tropicales*, 40(3).
- Zamora, J. (2007). Antioxidantes: micronutrientes en lucha por la salud. *Revista Chilena de Nutrición*, 34. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182007000100002>

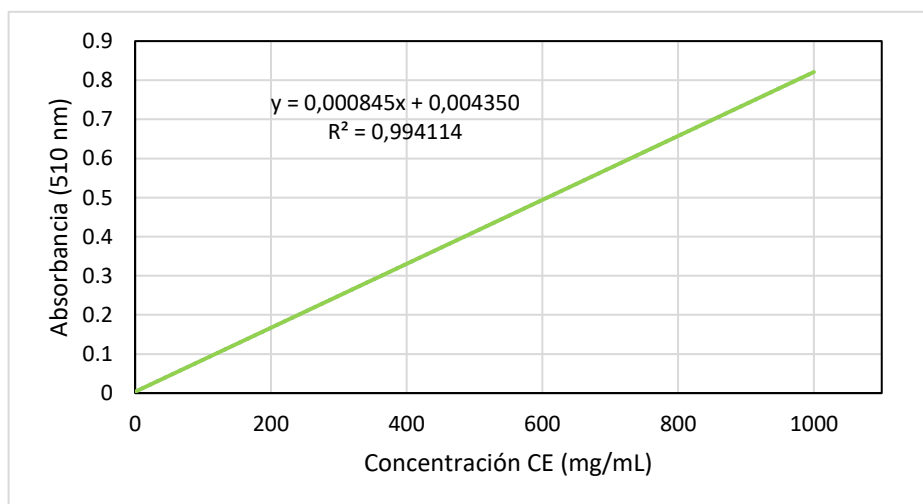
Anexos

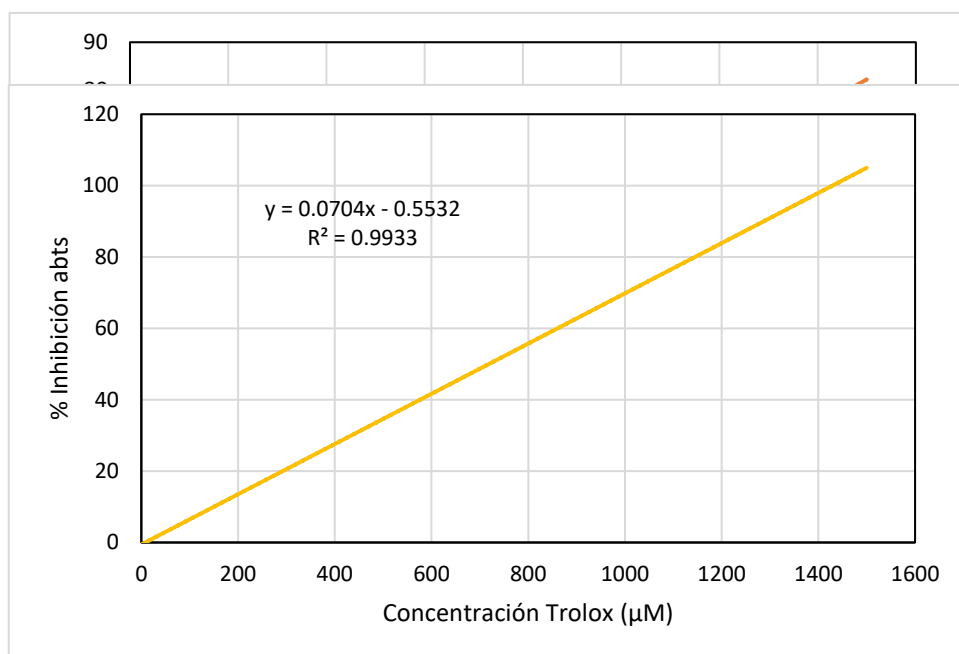
Anexo 1. Curva de calibración de ácido gálico para TPC (A), curva de calibración de catequina para TFC (B)



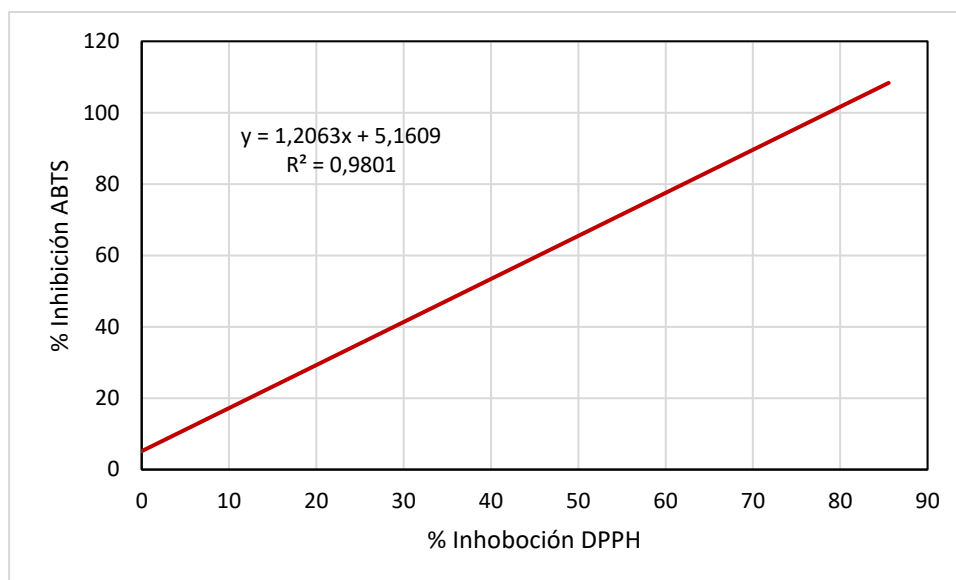
A)

B)



Anexo 2. Curva de calibración radical DPPH (A), curva de calibración radical ABTS (B)**A)****B)**

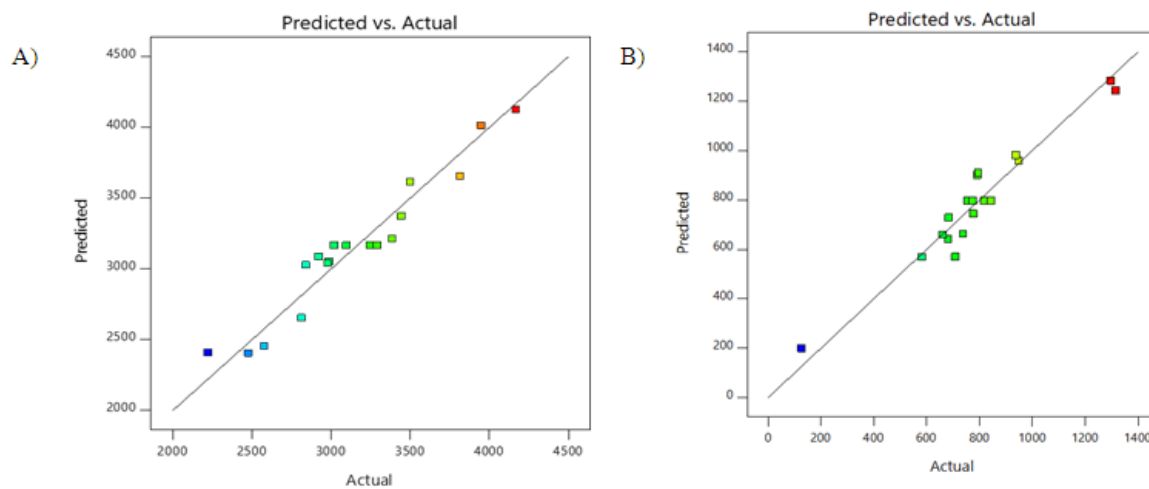
Anexo 3. Curva de correlación entre los radicales DPPH y ABTS



Figura

Valores predichos por el modelo cuadrático vs actuales observados en relación con A) TPC y

B) TFC



**Anexo 4. Tablas de cinética de EAU a 37 y 80 KHz para TPC y TFC en naranja,
mandarina y su mezcla (1:1)**

Tabla A

Medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos del contenido de TPC (A) y TFC (B) en la cinética de extracción

A)

HSD de Tukey^a

Tiempo	N	Subconjunto para $\alpha = 0.05$				
		1	2	3	4	5
2,00	3	1400,0483				
4,00	3	1485,7181				
6,00	3	1501,2944				
8,00	3	1538,6776				
10,00	3	1576,0607				
20,00	3		2091,6371			
30,00	3		2233,3816	2233,3816		
40,00	3		2333,0701	2333,0701	2333,0701	
50,00	3			2343,9735	2343,9735	
60,00	3				2557,3692	2557,3692
90,00	3					2678,8645
Sig.		,337	,061	,869	,100	,795

B)

HSD de Tukey^a

Tiempo	N	Subconjunto para $\alpha = 0.05$					
		1	2	3	4	5	6
2,00	3	234,3261					
4,00	3		349,6414				
6,00	3		368,3802				
8,00	3		371,2631				
10,00	3		373,9658				
20,00	3			450,5423			
30,00	3				519,0108		
40,00	3				538,8306	538,8306	
50,00	3					583,8757	583,8757
60,00	3					591,0829	591,0829
90,00	3						636,1279
Sig.		1,000	,876	1,000	,962	,074	,074

Tabla B

Condiciones experimentales de las variables o factores de estudio para el DCC en TPC y TFC

Corrida	Solvente (% Etanol v/v)	Relación (g:mL)	Temperatura (°C)	TPC (mg GEA/100 g FW)	TFC (mg CE/100 g FW)
1	30	60	55	3501,94	948,79
2	70	20	25	2578,53	681,29
3	50	40	14,77	2979,49	661,35
4	50	40	65,23	4167,96	937,03
5	70	60	55	3950,54	1297,44
6	50	40	40	3248,96	753,85
7	50	40	40	3097,87	843,43
8	16,36	40	40	2814,38	794,69
9	50	73,64	40	3816,08	776,33
10	70	60	25	3445,87	792,03
11	30	20	55	2990,26	708,15
12	30	60	25	2922,50	737,98
13	50	40	40	3021,54	818,11
14	50	6,36	40	2225,09	126,81
15	70	20	55	3387,46	683,29
16	50	40	40	3292,57	774,87
17	83,64	40	40	2842,42	1315,41
18	30	20	25	2479,62	583,12

Nota. Contenido total de polifenoles (TPC), contenido total de flavonoides (TFC), equivalente de ácido gálico (GAE), equivalente de catequina (CE).

Tabla C

ANOVA del Diseño Central Compuesto (DCC) para las ecuaciones cuadráticas TPC (A) y TFC

A)

Variable	SC	GL	MC	F - valor	P - valor	
Modelo	4,104E+06	9	4,560E+05	13,07	0,0007	Significant
A – Solvente	1,681E+05	1	1,681E+05	4,82	0,0594	
B- Relación	1,875E+06	1	1,875E+06	53,75	< 0,0001	
C - Temperatura	1,419E+06	1	1,419E+06	40,68	0,0002	
AB	28304,95	1	28304,95	0,8113	0,3940	
AC	6245,16	1	6245,16	0,1790	0,6834	
BC	6929,87	1	6929,87	0,1986	0,6676	
A ²	1,681E+05	1	1,681E+05	4,82	0,0595	
B ²	28320,09	1	28320,09	0,8118	0,3939	
C ²	2,780E+05	1	2,780E+05	7,97	0,0224	

Residual	2,791E+05	8	34886,34			
Lack of Fit	2,307E+05	5	46136,20	2,86	0,0582	Not significant
Pure Error	48409,73	3	16136,58			

Nota. Suma de cuadrados (SC), grados de libertad (GL), media de cuadrados (MC).

B)

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F - value	P - value	
Modelo	1,045E+06	9	1,161+05	12,83	0,0007	Significant
A – Solvente	1338E+05	1	1338E+05	14,78	0,0049	
B- Relación	3,585E+05	1	3,585E+05	39,61	0,0002	
C - Temperatura	1,251E+05	1	1,251E+05	13,82	0,0059	
AB	13563,19	1	13563,19	1,50	0,2557	
AC	3679,29	1	3679,29	0,4065	0,5416	
BC	43392,26	1	43392,26	4,79	0,0600	
A ²	1,242E+05	1	1,242E+05	13,72	0,0060	
B ²	1,652E+05	1	1,652E+05	18,25	0,0027	
C ²	940,43	1	940,43	0,1039	0,7555	
Residual	72411,79	8	9051,47			
Lack of Fit	4951,52	5	13492,05	8,17	0,0570	Not significant
Pure Error	48409,73	3	16136,58			

Nota. Suma de cuadrados (SC), grados de libertad (GL), media de cuadrados (MC).

Tabla D*Cinetica de EAU a 37 KHz para TPC y TFC en naranja*

Tiempo (min)	TPC				TFC			
	Absorbancia Prom	mg GAE/100g Fw	D.E	% C.V	Absorbancia Prom	Prom CE/100g Fw	D.E	% C.V
2	0,53	2524,65	37,38	1,48	0,14	767,65	5,40	0,70
4	0,53	2510,64	9,34	0,37	0,14	771,26	8,25	1,07
6	0,51	2414,84	16,35	0,67	0,14	755,04	11,25	1,49
8	0,52	2484,16	42,14	1,69	0,14	751,44	5,40	0,71
10	0,53	2530,88	16,41	0,64	0,15	783,87	5,40	0,69
20	0,54	2559,70	7,00	0,27	0,15	821,71	14,30	1,74
30	0,52	2454,56	70,71	2,88	0,17	900,99	24,37	2,70
40	0,54	2571,38	134,78	5,24	0,15	819,91	22,50	2,74
50	0,55	2599,42	124,60	4,79	0,15	803,69	43,69	5,43
60	0,56	2671,07	75,10	2,81	0,15	805,49	35,44	4,40
90	0,56	2650,82	51,40	1,93	0,26	753,24	8,25	1,09

Nota. Contenido total de polifenoles (TPC), contenido total de flavonoides (TFC), equivalente de ácido gálico (GAE), equivalente de catequina (CE), base húmeda (FW), coeficiente de variación (CV), desviación estándar (D.E).

Tabla E*Cinetica de EAU a 37 KHz para la inhibición del radical DPPH en naranja*

DPPH							
Tiempo (min)	Absorbancia Prom	% Aa	D.E	% C.V	μmol Trolox/100 g FW	D.E	% C.V
2	0,33	18,59	0,12	0,66	1587,99	8,54	0,53
4	0,32	20,36	1,21	5,96	1710,46	84,29	4,92
6	0,32	20,76	1,35	6,50	1738,37	93,70	5,39
8	0,31	22,66	0,88	3,91	1869,95	61,61	3,29
10	0,30	23,89	0,24	1,03	1955,39	17,08	0,87
20	0,30	25,36	1,07	4,23	2057,92	74,48	3,61
30	0,29	26,97	0,36	1,37	2168,99	25,63	1,18
40	0,29	26,84	0,49	1,83	2160,45	34,17	1,58
50	0,29	27,01	0,37	1,39	2171,84	26,10	1,20
60	0,28	30,41	0,61	2,02	2408,23	42,72	1,77
90	0,29	27,46	1,10	4,03	2203,17	76,89	3,49

Nota. Actividad antioxidante (Aa), equivalente de catequina (CE), base húmeda (FW), coeficiente de variación (CV), desviación estándar (D.E).

Tabla F*Cinetica de EAU a 37 KHz para TPC Y TFC en Mandarina*

Tiempo (min)	Absorbancia Prom	TPC			Absorbancia Prom	TFC		
		mg GAE/100g Fw	D.E	% C.V		Prom CE/100g Fw	D.E	% C.V
2	0,54	2879,37	153,77	5,34	0,11	562,04	23,36	4,15
4	0,55	2955,04	88,04	2,98	0,13	635,25	52,10	8,20
6	0,60	3224,41	2,70	0,08	0,16	2312,29	77,20	3,33
8	0,62	3353,24	113,56	3,38	0,17	2522,57	70,55	2,79
10	0,71	3850,54	73,38	1,90	0,17	2555,28	28,03	1,09
20	0,78	4192,88	70,34	1,68	0,18	2606,68	16,18	0,62
30	0,80	4293,78	59,54	1,38	0,17	2555,28	28,03	1,09
40	0,86	4616,30	174,90	3,78	0,17	2564,63	8,09	0,31
50	0,87	4708,20	37,83	0,80	0,17	2522,57	16,18	0,64
60	0,84	4526,21	39,84	0,88	0,17	2587,99	85,65	3,31
90	0,88	4722,61	89,20	1,89	0,20	2994,53	35,28	1,17

Nota. Contenido total de polifenoles (TPC), contenido total de flavonoides (TFC), equivalente de ácido gálico (GAE), equivalente de catequina (CE), base húmeda (FW), coeficiente de variación (CV), desviación estándar (D.E).

Tabla G*Cinetica de EAU a 37 KHz para la inhibición del radical DPPH en mandarina*

DPPH							
Tiempo (min)	Absorbancia Prom	% Aa	D.E	% C.V	□mol Trolox/100 g FW	D.E	% C.V
2	0,28	28,66	1,18	4,12	2286,67	81,96	3,58
4	0,28	28,87	0,35	1,29	2301,13	26,01	1,13
6	0,27	31,12	0,37	1,20	2457,23	26,01	1,05
8	0,26	33,62	0,12	0,37	2630,67	8,67	0,33
10	0,25	36,83	0,76	2,07	2853,26	52,98	1,85
20	0,25	36,66	0,62	1,71	2841,70	43,64	1,53
30	0,24	38,62	0,12	0,32	2977,56	8,67	0,29
40	0,24	37,87	0,12	0,33	2925,53	8,67	0,29
50	0,24	38,62	0,12	0,32	2977,56	8,67	0,29
60	0,23	40,25	0,25	0,62	3090,30	17,34	0,56
90	0,25	37,62	0,12	0,33	2908,19	8,67	0,29

Nota. Actividad antioxidante (Aa), equivalente de catequina (CE), base húmeda (FW),
coeficiente de variación (CV), desviación estándar (D.E).

Tabla H

Cinetica de EAU a 37 KHz para TPC Y TFC en la mezcla de naranja y mansarina (1:1)

Tiempo (min)	Absorbancia Prom	TPC			Absorbancia Prom	TFC		
		mg GAE/100g Fw	D.E	% C.V		Prom CE/100g Fw	D.E	% C.V
2	0,45	2163,28	128,17	5,92	0,11	571,26	3,12	0,54
4	0,50	2373,56	92,79	3,90	0,11	592,88	16,51	2,78
6	0,50	2400,04	25,73	1,07	0,12	650,54	29,77	4,57
8	0,53	2530,88	105,14	4,15	0,13	664,95	16,21	2,43
10	0,55	2616,55	86,83	3,31	0,13	666,75	8,25	1,23
20	0,57	2697,55	46,72	1,73	0,13	693,78	41,28	5,95
30	0,61	2884,47	125,73	4,35	0,13	710,00	45,33	6,38
40	0,63	2973,25	49,23	1,65	0,14	726,21	35,17	4,84
50	0,63	2990,39	70,14	2,34	0,14	729,82	32,88	4,50
60	0,65	3080,73	46,72	1,51	0,15	809,10	29,77	3,67
90	0,70	3311,26	39,74	1,20	0,15	796,48	54,68	6,86

Nota. Contenido total de polifenoles (TPC), contenido total de flavonoides (TFC), equivalente de ácido gálico (GAE), equivalente de catequina (CE), base húmeda (FW), coeficiente de variación (CV), desviación estándar (D.E).

Tabla I

Cinetica de EAU a 37 KHz para la inhibición del radical DPPH en la mezcla de naranja mansarina (1:1)

DPPH							
Tiempo (min)	Absorbancia Prom	% Aa	D.E	% C.V	□mol Trolox/100 g FW	D.E	% C.V
2	0,41	26,52	0,10	0,38	2138,14	7,05	0,33
4	0,44	22,00	0,30	1,38	1824,64	21,15	1,15
6	0,42	24,94	0,61	2,47	2028,21	42,89	2,11
8	0,42	25,17	0,70	2,79	2044,50	48,85	2,39
10	0,41	26,46	0,26	1,01	2134,07	18,68	0,87
20	0,42	26,05	0,17	0,67	2105,57	12,21	0,58
30	0,41	26,29	2,49	9,47	2121,86	172,88	8,14
40	0,43	24,17	2,84	11,77	1975,28	197,45	9,99
50	0,41	27,58	1,86	6,76	2211,43	129,45	5,85
60	0,38	33,04	1,46	4,43	2590,08	101,70	3,92
90	0,42	25,23	1,69	6,70	2048,57	117,36	5,72

Nota. Actividad antioxidante (Aa), equivalente de catequina (CE), base húmeda (FW), coeficiente de variación (CV), desviación estándar (D.E).

Tabla J*Cinetica de EAU a 80 KHz para TPC Y TFC en naranja*

TPC					TFC			
Tiempo (min)	Absorbancia Prom	Prom	D.E	% C.V	Absorbancia Prom	Prom	D.E	% C.V
		mg GAE/100g Fw				mg CE/100g Fw		
2	0,50	2368,89	119,35	5,038	0,03	169,46	11,25	6,64
4	0,49	2353,31	118,79	5,048	0,04	183,87	5,40	2,93
6	0,52	2482,60	99,45	4,006	0,04	187,47	8,25	4,40
8	0,54	2572,94	58,42	2,271	0,04	196,48	16,51	8,40
10	0,58	2759,86	55,74	2,020	0,04	189,28	21,62	11,42
20	0,59	2808,14	77,39	2,756	0,04	189,28	21,62	11,42
30	0,62	2943,66	28,16	0,957	0,04	200,09	21,62	10,80
40	0,63	2995,06	49,08	1,639	0,04	218,11	8,25	3,78
50	0,75	3530,88	126,28	3,577	0,048	221,71	5,40	2,43
60	0,76	3618,11	119,22	3,295	0,049	225,31	6,24	2,77
90	0,89	4195,99	91,84	2,189	0,06	326,21	8,25	2,53

Nota. Contenido total de polifenoles (TPC), contenido total de flavonoides (TFC), equivalente de ácido gálico (GAE), equivalente de catequina (CE), base húmeda (FW), coeficiente de variación (CV), desviación estándar (D.E).

Tabla K*Cinetica de EAU a 80 KHz para la inhibición del radical DPPH en naranja*

Tiempo (min)	Absorbancia Prom	% Aa	DPPH				
			D.E	% C.V	μmol Trolox/100 g FW	D.E	% C.V
2	0,41	12,17	0,32	2,66	1142,35	22,50	1,97
4	0,40	14,01	0,76	5,46	1270,01	53,11	4,18
6	0,41	13,37	0,63	4,76	1225,82	44,19	3,60
8	0,41	13,30	0,53	4,01	1220,91	37,07	3,03
10	0,41	13,65	0,85	6,28	1245,46	59,53	4,78
20	0,40	13,94	0,74	5,34	1265,10	51,73	4,08
30	0,40	14,65	0,56	3,83	1314,20	38,97	2,96
40	0,39	18,11	1,06	5,89	1554,79	74,13	4,76
50	0,38	19,25	1,16	6,07	1633,35	81,12	4,96
60	0,37	20,66	1,00	4,85	1731,55	69,61	4,02
90	0,37	20,80	1,88	9,07	1741,37	130,92	7,51

Nota. Actividad antioxidante (Aa), equivalente de catequina (CE), base húmeda (FW),
coeficiente de variación (CV), desviación estándar (D.E).

Tabla L*Cinetica de EAU a 80 KHz para TPC Y TFC en Mandarina*

Tiempo (min)	TPC				TFC			
	Absorbancia Prom	mg GAE/100g Fw	D.E	% C.V	Absorbancia Prom	Prom CE/100g Fw	D.E	% C.V
2	0,611	2881,36	10,79	0,37	0,10	544,23	31,67	5,82
4	0,701	3301,92	140,60	4,25	0,11	558,65	48,74	8,72
6	0,708	3334,63	60,26	1,80	0,12	618,11	44,02	7,12
8	0,720	3390,70	48,63	1,43	0,13	686,58	84,95	12,37
10	0,717	3376,68	28,55	0,84	0,17	904,59	45,01	4,97
20	0,538	5077,36	204,96	4,03	0,21	1115,40	80,96	7,29
30	0,529	4996,36	289,77	5,80	0,21	1119,01	72,72	6,49
40	0,523	4940,28	110,71	2,24	0,21	1124,41	66,42	5,91
50	0,553	5220,66	383,21	7,34	0,22	1146,03	90,93	7,93
60	0,661	6223,77	132,93	2,13	0,23	1216,30	70,89	5,83
90	0,611	2881,36	10,79	0,37	0,28	1497,38	62,34	4,16

Nota. Contenido total de polifenoles (TPC), contenido total de flavonoides (TFC), equivalente de ácido gálico (GAE), equivalente de catequina (CE), base húmeda (FW), coeficiente de variación (CV), desviación estándar (D.E).

Tabla M

Cinetica de EAU a 80 KHz para la inhibición del radical DPPH en mandarina

DPPH							
Tiempo (min)	Absorbancia Prom	% Aa	D.E	% C.V	□mol Trolox/100 g FW	D.E	% C.V
2	0,40	14,93	0,88	5,91	1333,84	61,32	4,59
4	0,39	15,28	0,97	6,36	1358,39	67,50	4,96
6	0,39	15,78	0,85	5,43	1392,76	59,53	4,27
8	0,39	16,20	0,61	3,78	1422,22	42,52	2,99
10	0,39	16,41	0,74	4,54	1436,95	51,73	3,60
20	0,38	19,00	1,05	5,53	1616,16	72,91	4,51
30	0,37	21,12	1,95	9,23	1763,46	135,40	7,67
40	0,37	21,12	1,95	9,23	1763,46	135,40	7,67
50	0,35	24,41	0,60	2,46	1991,78	41,66	2,09
60	0,23	24,52	1,651	6,73	1999,14	114,57	5,73
90	0,25	29,40	1,651	5,61	2337,93	114,57	4,90

Nota. Actividad antioxidante (Aa), equivalente de catequina (CE), base húmeda (FW), coeficiente de variación (CV), desviación estándar (D.E).

Tabla N*Cinetica de EAU a 80 KHz para TPC Y TFC en la mezcla de naranja y mansarina (1:1)*

Tiempo (min)	Absorbancia Prom	TPC			Absorbancia Prom	TFC		
		mg GAE/100g Fw	D.E	% C.V		Prom CE/100g Fw	D.E	% C.V
2	0,29	1400,04	25,73	1,83	0,05	234,32	16,51	7,04
4	0,31	1485,71	54,56	3,67	0,07	349,64	6,24	1,78
6	0,31	1501,29	23,36	1,55	0,07	368,38	5,44	1,47
8	0,32	1538,67	102,48	6,66	0,08	371,26	18,98	5,11
10	0,33	1576,06	107,07	6,79	0,08	373,96	12,18	3,25
20	0,44	2091,63	19,45	0,93	0,09	450,54	29,77	6,60
30	0,47	2233,38	72,44	3,24	0,10	519,01	5,40	1,04
40	0,49	2333,07	154,06	6,60	0,11	538,83	27,20	5,04
50	0,49	2343,97	49,52	2,11	0,11	583,87	10,81	1,85
60	0,54	2557,36	58,55	2,29	0,12	591,08	8,25	1,39
90	0,56	2678,86	134,54	5,02	0,12	636,12	35,17	5,52

Nota. Contenido total de polifenoles (TPC), contenido total de flavonoides (TFC), equivalente de ácido gálico (GAE), equivalente de catequina (CE), base húmeda (FW), coeficiente de variación (CV), desviación estándar (D.E).

Tabla O

Cinetica de EAU a 80 KHz para la inhibición del radical DPPH en la mezcla de naranja y mansarina (1:1)

DPPH							
Tiempo (min)	Absorbancia Prom	% Aa	D.E	% C.V	□mol Trolox/100 g FW	D.E	% C.V
2	0,36	29,07	2,08	7,17	2149,71	2315,21	144,73
4	0,36	29,07	2,24	7,71	2337,58	2315,21	155,53
6	0,36	29,65	0,40	1,35	2324,16	2355,47	27,93
8	0,35	31,78	2,56	8,08	2605,96	2503,08	178,19
10	0,35	32,10	2,09	6,51	2565,71	2525,45	145,15
20	0,33	35,59	1,39	3,91	2874,35	2767,00	96,76
30	0,31	39,71	0,48	1,22	3089,06	3053,28	33,77
40	0,31	38,87	1,86	4,79	3048,80	2995,13	129,41
50	0,31	39,13	1,45	3,70	3008,55	3013,02	100,72
60	0,30	40,23	2,01	5,01	2995,13	3089,06	140,10
90	0,28	44,23	1,69	3,82	3464,80	3366,40	117,24

Nota. Actividad antioxidante (Aa), equivalente de catequina (CE), base húmeda (FW), coeficiente de variación (CV), desviación estándar (D.E).

Tabla P

Cinetica de EAU a 80 KHz para la inhibición del radical ABTS en la mezcla de naranja y mansarina (1:1)

ABTS						
Tiempo (min)	% Aa	D.E	% C.V	□mol Trolox/100 g FW	D.E	% C.V
2	40,23	2,51	6,25	2318,98	143,07	6,17
4	40,23	2,70	6,72	2318,98	153,74	6,63
6	40,93	0,48	1,18	2358,77	27,61	1,17
8	43,50	3,09	7,12	2504,68	176,14	7,03
10	43,89	2,52	5,75	2526,79	143,48	5,67
20	48,09	1,68	3,49	2765,56	95,65	3,45
30	53,07	0,58	1,10	3048,54	33,38	1,09
40	52,06	2,25	4,32	2991,06	127,92	4,27
50	52,37	1,75	3,34	3008,74	99,55	3,30
60	2,43	4,53	5,01	3083,91	138,48	4,49
90	2,03	3,48	3,82	3358,05	115,89	3,45

Nota. Actividad antioxidante (Aa), equivalente de catequina (CE), base húmeda (FW), coeficiente de variación (CV), desviación estándar (D.E).

Anexo 5. Certificados ponencias



El comité científico del 34° Congreso Latinoamericano de Química CLAQ 2020, el XVIII COLACRO, el X COCOCRO, el II SPAE y el IV C2B2.

Certifican que el trabajo titulado:

“Valorización de residuos de plazas de mercado para la obtención de compuestos bioactivos”

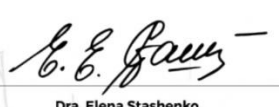
Fue presentado por: WILLIAM ALEXANDER DIAZ-LOPEZ VLADIMIR ERNESTO VALLEJO-CASTILLO ESTEBAN HERNAN ARTEAGA-CABRERA KIMBERLY YARITTZA VALLEJO-ESCOBAR GREGORY ORDOÑEZ-GOMEZ OSWALDO OSORIO-MORA

Presentado en modalidad oral

En el marco del 34° Congreso Latinoamericano de Química CLAQ 2020.

Llevado a cabo en la ciudad de Cartagena, Colombia del 11 al 15 de octubre de 2021.


 Dr. Harold Ardila
 Presidente Comité organizador


 Dra. Elena Stashenko
 Presidente Comité Científico
 CLAQ 2020, XVIII COLACRO, X COCOCRO, II SPAE


 Dra. Maricela Viola
 Presidente Comité Científico IV C2B2



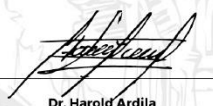
Los organizadores del 34° Congreso Latinoamericano de Química CLAQ 2020, el XVIII COLACRO, el X COCOCRO, el II SPAE y el IV C2B2.

Certifican que:

KIMBERLY YARITTZA VALLEJO ESCOBAR

con número de identificación 1.085.326.139

Asistió al Congreso llevado a cabo en la ciudad de Cartagena Colombia en modalidad híbrida, del 11 al 15 de octubre de 2021.


 Dr. Harold Ardila
 Presidente Comité organizador


 Dra. Elena Stashenko
 Presidente Comité Científico
 CLAQ 2020, XVIII COLACRO, X COCOCRO, II SPAE


 Dra. Maricela Viola
 Presidente Comité Científico IV C2B2



CIBIA XIII | 2022

CONGRESO IBEROAMERICANO
DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS

La Facultad de Ciencias Farmacéuticas y Alimentarias de la Universidad de Antioquia

Certifica que el trabajo científico:

**Modelamiento Matemático De La Extracción Asistida Con Ultrasonido De Compuestos
Bioactivos Presentes En Residuos Cítricos De Plazas De Mercado**

Modalidad Poster

Vallejo-Escobar, Yarittza, Arteaga-Cabrera, Esteban, Díaz- López, William,
Ordoñez-Gómez, Gregory, Osorio-Mora, Oswaldo, Vallejo-Castillo, Vladimir

Fue presentado en el XIII Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Alimentos,
CIBIA 2022, realizado del 15 al 18 de marzo de 2022, con una intensidad de 39 horas.

Oscar Alfonso Vega Castro
Co-Presidente

Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Alimentos - CIBIA XIII



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

Facultad de Ciencias
Farmacéuticas y Alimentarias

Anexo 6. Evidencia divulgación

LISTADO DE ASISTENCIA

Martes 19 de octubre de 2019
10:00 am

Laboratorio en conservación y calidad de alimentos

Las ponencias socializadas son las siguientes "Evaluación de la actividad antifúngica de los aceites esenciales de tomillo (*Thymus vulgaris*) y limón (*Citrus lemon*) contra *Botrytis* sp. causante del moho gris en uchuva (*Physalis peruviana* L.) a cargo de Angie Cecilia Vaca Portillo, "Recuperación de compuestos bioactivos presentes en residuos vegetales generados en plazas de mercado" a cargo de Gregory Ordoñez Gomez y "Valorización de residuos de plazas de mercado para la obtención de compuestos bioactivos" a cargo de Kimberly Yaritza Vallejo Escobar.

CÓDIGO	NOMBRE	SEMESTRE	FIRMA
219035101	Angela Karina Delgado Bastidas	5	<i>[Firma]</i>
219035104	Maria Alexander Delgado	5	<i>[Firma]</i>
219035118	David Alfonso Margot Luna	5	<i>[Firma]</i>
218549013	Christian Guzmán Bernasconi	4	<i>[Firma]</i>
215035043	Angie Paola Bastidas Legarda	10	<i>[Firma]</i>
215035367	Luis Julian Palma Malland	10	<i>[Firma]</i>
215035156	William Cuatin	10	<i>[Firma]</i>
218549025	Esteban Adriano Caloreu	4	<i>[Firma]</i>
216035082	Ange Roxana Figueroa Benavides	10	<i>[Firma]</i>
216035102	Yuliy Vanezu Legarda N.	10	<i>[Firma]</i>
215035725	Angela López Simier	9	<i>[Firma]</i>