

UNIVERSIDAD NACIONAL DE FRONTERA

Facultad de Ingeniería de Industrias Alimentarias y Biotecnología

Escuela Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias



**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERÍA DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

**TITULO: “Efecto del tratamiento con ultrasonido en
zumo de mango ciruelo (*Spondias mombin*) sobre las
propiedades fisicoquímicas, inactivación enzimática y
contenido de vitamina C”**

Autor: Br. Guido Martín Gomez Zapata

Asesora: MsC. Milagros del Pilar Espinoza Delgado

Coasesora: Mg. Zury Mabell Sócola Juárez

Registro: PY-EPIIA-049

Sullana- Perú

2022

DEDICATORIA

En primer lugar, a Dios por estar conmigo en todo momento, por ser mi guía para encaminar nuevos propósitos en mi existencia y poder culminar con éxito la tesis. A mis adorados padres María Elena y Guido Gomez por ser partícipe de cada uno de mis logros y apoyo incondicional.

A mi hermana Maryuri Gomez y mi abuela Celia Medina por ser fuente de inspiración por sus consejos de aliento.

A mi abuelo papá Justo Mauricio, no ha sido nada fácil para mí desde tu partida, recuerdo siempre todos tus consejos que me brindaste en vida, Dios te tenga en su gloria, eres un ángel para mí, gracias por llevarme en tus oraciones siempre. Gracias, por tanto.

“Pon en manos todas tus obras y tus proyectos se cumplirán”. Proverbios 16.3.

Br. Guido Martin Gomez Zapata

AGRADECIMIENTO

A mi casa superior de estudios Universidad Nacional de Frontera por las experiencias y los años de aprendizaje y a mi estimada profesora MsC. Milagros del Pilar Espinoza Delgado como asesora, por todo su apoyo incondicional y haberme brindado la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento científico en el trascurso de la investigación y elaboración de la presente tesis.

Asimismo, agradezco al programa “Financiamiento de investigaciones conducentes al grado académico de bachiller o título profesional de la Universidad Nacional de Frontera - 2022”, por la subvención para la ejecución de la tesis.

De igual manera mi más sincero agradecimiento a mi Coasesora Mg. Zury Mabell Sócola Juárez por el apoyo en el análisis estadístico de las muestras en base a su experiencia y sabiduría. Al Dr. Eduardo Chávez con su gran calidad científica y humana contestar muchas cuestiones y ofrecerme su apoyo en todo momento.

A mis amigos, Mónica Saavedra, Luis Ruiz, Kateryn Purizaca, Diego Espinoza, Emanuel Rosas, y Nayeli Juárez por todo el apoyo y motivación. Finalmente agradezco a quien lee este apartado y más de la presente tesis, por permitir a conocimiento e investigaciones incurrir a su repertorio de información mental.

VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS

Los docentes de la Universidad Nacional de Frontera, Mg. MILAGROS DEL PILAR ESPINOZA DELGADO asesor, y Mg. ZURY MABELL SOCOLA JUÁREZ co-asesora, designados según resolución N° 193-2021- UNF-VPAC/FIIA, hacemos constar que hemos asesorado la tesis titulada **“Efecto del tratamiento con ultrasonidos en zumo de mango ciruelo (*Spondias mombin*) sobre las propiedades fisicoquímicas, inactivación enzimática y contenido de vitamina C”**, del bachiller **Guido Martin Gomez Zapata** de la Facultad de Ingeniería de Industrias Alimentarias y Biotecnología, escuela profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias.

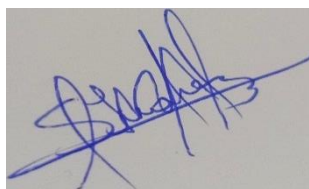
Los suscritos dan visto bueno del informe de investigación previo a la evaluación del jurado evaluador y posterior obtención de la constancia de aprobación por parte de las autoridades de la Facultad de Ingeniería de Industrias Alimentarias y Biotecnología.

Sullana, 15 de noviembre del 2022



.....
Mg. Milagros del Pilar Espinoza Delgado

Asesor



.....
Mg. Zury Mabel Socola Juárez

Co- asesor (a)

Jurado Evaluador



Dr. Luis Alfredo Espinoza Espinoza

Presidente



MSc. Karina Silvana Gutiérrez Valverde

Secretaria



MSc. Milagros del Pilar Espinoza Delgado

Vocal



UNIVERSIDAD NACIONAL DE FRONTERA

Acta de Evaluación de Sustentación del Informe de Tesis

Siendo las 11:30 horas del día martes 29 de noviembre del año 2022 se reunieron en la sala virtual https://meet.google.com/tnx-xgyb-awf de la Universidad Nacional de Frontera, los miembros del Jurado de Tesis para evaluar el Informe de Tesis, denominado: "Efecto del tratamiento con ultrasonidos en zumo de mango ciruelo (Spondias mombin), sobre las propiedades fisicoquímicas, inactivación enzimática y contenido de vitamina C" Siendo sustentado en sesión pública por el autor Br. Guido Martin Gomez Zapata, como requisito para obtener el Título Profesional de Ingeniero en Industrias Alimentarias

Terminada la sustentación, se procedió a la defensa del Informe de Tesis, etapa en que los miembros del Jurado de Tesis formularon sus inquietudes y preguntas de manera individual, las que fueron respondidas por el sustentante.

Seguidamente, el Jurado se retiró a sala virtual https://meet.google.com/xsm-mmvh-gbp ; el Jurado de Tesis determinó la calificación concedida a la sustentación del Informe de Tesis para la Obtención de Título Profesional, en términos de:

Aprobado con el calificativo de Muy Bueno - dieciocho (18), levantándose la sesión a las 12:40 horas del mismo día. Se concluye el acto de sustentación, suscribiendo el acta.

[Signature of Dr. Luis Alfredo Espinoza Espinoza]

Presidente
Dr. Luis Alfredo Espinoza Espinoza

[Signature of Dra. Karina Silvana Gutiérrez Valverde]

Secretario
Dra. Karina Silvana Gutiérrez Valverde

[Signature of Mg. Milagros del Pilar Espinoza Delgado]

Vocal
Mg. Milagros del Pilar Espinoza Delgado

Table with 4 columns: No., DESCRIPCIÓN, SI, NO. Rows 1-5 describe recommendations for events, publication, patent, merit, and laureate.

Código: TI - EPIIA - 049

Informe de similitud del evaluador

DATOS DEL EVALUADOR	
Facultad / dependencia	Ingeniería de Industrias Alimentarias y Biotecnología
Nombre del evaluador	Milagros del Pilar Espinoza Delgado
Cargo del evaluador	Asesor de tesis
DATOS DEL DOCUMENTO EVALUADO	
Tipo de documento	Informe de tesis
Título del documento	"Efecto del tratamiento con ultrasonidos en el zumo de mango ciruelo (<i>Spondias mombin</i>), sobre las propiedades fisicoquímicas, inactivación enzimática y contenido de vitamina C"
Autor (es)	Guido Martin Gomez Zapata
Fecha de presentación	06/12/2022

DE LA EVALUACIÓN DE SIMILITUD			
Fecha de revisión	06/12/2022	¿Se aplicaron exclusiones?	<input checked="" type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO
Detalle de las exclusiones			
ITEM	%	JUSTIFICACIÓN	
Referencias bibliográficas	12	Conforme a lo establecido en el literal "f" del numeral 6.2 de la Directiva para el uso del software de similitud (RCO N° 442-2021-UNF/CO)	
Frases cortas que no superan las 10 palabras	8	Conforme a lo establecido en el literal "f" del numeral 6.2 de la Directiva para el uso del software de similitud (RCO N° 442-2021-UNF/CO)	
Comentarios / observaciones			

RESUMEN DE LA EVALUACIÓN

% similitud inicial (sin exclusiones)	21
% de exclusiones	13
% de similitud final	8

% DE REFERENCIA¹

Aceptable	≤ 15%
Con observaciones	> 15 % y ≤ 50%
No aceptable	> 50 %

CONCLUSIÓN

X	Documento conforme a los criterios de originalidad, sin observaciones. Se otorga Visto Bueno para continuar con los trámites.
	Documento conforme a los criterios de originalidad, con observaciones. Se recomienda que el autor realice las subsanaciones correspondientes.
	Documento NO conforme a los criterios de originalidad, se rechaza el documento.

Se adjunta reporte de similitud del software Turnitin.



Firma del Evaluador

INDICE

Dedicatoria.....	2
Agradecimiento	3
Visto bueno del asesor de tesis.....	4
Resumen	14
Abstract.....	15
1. Introducción	16
1.1. Técnica ultrasonido	16
1.2. Generalidades.....	18
1.3. Mecanismo de acción.....	19
1.4. Mango ciruelo (spondias mombin)	20
1.4.1. Origen del fruto	20
1.4.2. Clasificación taxonómica	20
1.4.3. Composición nutricional del mango ciruelo.....	21
1.4.4. Determinaciones biometricas y promedio de analisis proximal del mango ciruelo de 100 gr de pulpa fresca	20
1.4.5. Descripción botánica	23
1.4.6. Producción mundial.....	24
1.4.7. Producción nacional y local.....	25
1.5. Enzimas en los alimentos.....	27
1.6. Antecedentes	27
1.7. Objetivos de la investigación.....	27
1.7.1. Objetivo general	23
1.7.2. Objetivos específicos.....	29
2. Materiales y métodos.....	32
2.1. Material biológico.....	32
2.1.1. Materiales	33
2.1.2. Reactivos	33
2.1.3. Equipos e instrumentos de laboratorio	33
2.1.4. Método experimental.....	34
2.1.5. Métodos de análisis	37

2.1.5.1.	Análisis fisicoquímicos.....	37
2.1.6.	Análisis de datos.....	37
3.	Resultados	48
3.1.	Acidez titulable	48
3.1.1.	Efectos del ultrasonido en tiempo de exposición y frecuencia	48
3.2.	pH (potencial de hidrógeno)	47
3.3.	Colorimetría.....	51
3.3.1.	Coordenada a*	51
3.3.2.	Coordenada b*	50
3.3.3.	Luminosidad	52
3.4.	Sólidos solubles	53
3.5.	Inactivación enzimática	57
3.5.1.	Polifenol oxidasa (ppo).....	57
3.5.2.	Peroxidasa (pod).....	57
3.6.	Vitamina c (ácido ascorbico)	58
3.7.	Determinación del tratamiento óptimo en la evaluación de las variables sobre las propiedades fisicoquímicas, inactivación enzimática y contenido de vitamina c	61
3.7.1.	Optimización en base a función de deseabilidad en la aplicación de ultrasonido en el zumo de mango ciruelo (<i>spondias mombin</i>)	68
4.	Discusiones.....	69
5.	Conclusiones	76
6.	Recomendaciones.....	77
7.	Referencias bibliograficas.....	78
8.	Anexos.....	84

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Composición nutricional de mango ciruelo por 100 gamos.....	21
Tabla 2: Sinónimos según el país, idioma o lugar de cultivo del mango ciruelo	22
Tabla 3: Resultados de análisis proximal y determinaciones biométricas de mango ciruelo	22
Tabla 4: Producción nacional de mango ciruelo en toneladas del año (2014- 2019).....	25
Tabla 5: Producción nacional de mango ciruelo del año 2019.....	26
Tabla 6: Plan experimental en el zumo tratado con ultrasonido, sobre las características fisicoquímicas, inactivación enzimática y contenido de vitamina C	45
Tabla 7: Prueba Anova para los valores de acidez titulable en el zumo tratado con ultrasonido	48
Tabla 8: Prueba Anova para los valores de pH en zumo con exposición al ultrasonido	49
Tabla 9: Prueba Anova para los valores de la coordenada a* en zumo con exposición al ultrasonido	51
Tabla 10: Prueba Anova para los valores de coordenada b* en zumo con exposición al ultrasonido	52
Tabla 11: Prueba Anova para los valores de luminosidad en zumo con exposición al ultrasonido	54
Tabla 12: Prueba Anova para los valores de sólidos solubles en zumo con exposición al ultrasonido	55
Tabla 13: Prueba Anova para los valores de inactivación enzimática de polifenol oxidasa en zumo con exposición al ultrasonido.....	57
Tabla 14: Prueba Anova para los valores de inactivación enzimática de peroxidasa en zumo con exposición al ultrasonido	60
Tabla 15: Prueba Anova para los valores de vitamina C en zumo con exposición al ultrasonido	60
Tabla 16: Análisis de varianza (ANOVA), y prueba Tukey en la muestra control y tratamientos planteados en el zumo de mango ciruelo tratado con ultrasonido	60
Tabla 17: Parámetros aplicados en el equipo de ultrasonido en tiempo y frecuencia	66
Tabla 18: Optimización de resultados de cada una de las variables aplicadas	66

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Equipo de ultrasonido para la industria alimentaria.....	17
Figura 2: Comportamiento de las burbujas durante cavitación	18
Figura 3: Intervalo de frecuencias de ondas de sonido.....	19
Figura 4: Mango ciruelo	20
Figura 5: Árbol de mango ciruelo (Spondias mombin) proveniente de los campos de cultivo del distrito de Marcavelica- Sullana	23
Figura 6: Producción mundial de frutas tropicales 2015- 2014.....	24
Figura 7: Producción vs tasa de variación porcentual	26
Figura 8: Diagrama de una proteína peroxidasa hemo-dependiente	27
Figura 9: Mecanismo del daño celular por ultrasonido	28
Figura 10: Localización geográfica de campos de cultivo de Marcavelica.....	32
Figura 11: Esquema de desarrollo experimental para evaluar el efecto del ultrasonido en el zumo de Mango ciruelo	35
Figura 12: Diagrama de flujo para la obtención de pulpa de Mango ciruelo (Spondias mombin) y su tratamiento con la tecnología de ultrasonido.....	36
Figura 13: Curva de calibración para cuantificar contenido de vitamina C en el zumo de mango ciruelo	42
Figura 14: Mediciones de absorbancias en el espectrofotómetro UV- Visible a longitud de onda de 521nm.....	42
Figura 15: Diagrama de Pareto del tiempo, frecuencia e interacción de frecuencia*tiempo en acidez titulable	48
Figura 16: Gráfico de interacción del tiempo y frecuencia en acidez titulable.	49
Figura 17: Diagrama de Pareto del tiempo, frecuencia e interacción de frecuencia*tiempo en pH.....	50
Figura 18: Gráfico de interacción en tiempo y frecuencia en el contenido de pH.	50
Figura 19: Diagrama de Pareto del tiempo, frecuencia e interacción de frecuencia*tiempo en colorimetría por coordenada a+ en el zumo de mango ciruelo tratado por ultrasonido. .	51
Figura 20: Gráfico de interacción en tiempo y frecuencia de la coordenada a* por colorimetría.....	52

Figura 21: Diagrama de Pareto del tiempo, frecuencia e interacción de frecuencia*tiempo en coordenada b* por colorimetría	53
Figura 22: Gráfico de interacción en tiempo y frecuencia de la coordenada b* en el zumo de mango ciruelo sometido al ultrasonido	53
Figura 23: Diagrama de Pareto del tiempo, frecuencia e interacción de frecuencia*tiempo en luminosidad por colorimetría en el zumo de mango ciruelo tratado por ultrasonido	54
Figura 24: Gráfico de interacción en tiempo y frecuencia en luminosidad en el zumo de mango ciruelo sometido al ultrasonido	55
Figura 25: Diagrama de Pareto del tiempo, frecuencia e interacción de frecuencia*tiempo en sólidos solubles en el zumo de mango ciruelo tratado por ultrasonido.	56
Figura 26: Gráfico de interacción en tiempo y frecuencia en sólidos solubles en el zumo de mango ciruelo sometido al ultrasonido	56
Figura 27: Diagrama de Pareto del tiempo, frecuencia e interacción de frecuencia*tiempo en polifenol oxidasa en el zumo de mango ciruelo tratado por ultrasonido	57
Figura 28: Gráfico de interacción en tiempo y frecuencia en la enzima polifenol oxidasa en el zumo de mango ciruelo sometido al ultrasonido.	58
Figura 29: Diagrama de Pareto del tiempo, frecuencia e interacción de frecuencia*tiempo en peroxidasa (POD) en el zumo de mango ciruelo tratado por ultrasonido	59
Figura 30: Gráfico de interacción en tiempo y frecuencia de la enzima peroxidasa en el zumo de mango ciruelo sometido al ultrasonido	59
Figura 31: Diagrama de Pareto del tiempo, frecuencia e interacción de frecuencia*tiempo en contenido de vitamina C (ácido ascórbico) en el zumo de mango ciruelo tratado por ultrasonido	60
Figura 32: Gráfico de interacción en tiempo y frecuencia del contenido de vitamina C en el zumo de mango ciruelo sometido al ultrasonido	61
Figura 33: Gráfica de superficie respuesta del tiempo y frecuencia al zumo tratado con ultrasonido en acidez titulable	63
Figura 34: Gráfica de superficie respuesta del tiempo, frecuencia al zumo con ultrasonido en pH.....	63
Figura 35: Gráfica de superficie respuesta de la frecuencia y tiempo al ultrasonido en coordenada a*	64

Figura 36: Gráfica de superficie respuesta de la frecuencia y tiempo en la coordenada b* en la muestra de mango ciruelo tratada con ultrasonido	64
Figura 37: Gráfica de superficie respuesta de la frecuencia y tiempo en la luminosidad en la muestra de mango ciruelo tratada con ultrasonido	65
Figura 38: Gráfica de superficie respuesta de la frecuencia y tiempo en los sólidos solubles en la muestra de mango ciruelo tratado con ultrasonido	65
Figura 39: Gráfica de superficie respuesta de la frecuencia y tiempo en la enzima polifenol oxidasa en la muestra de mango ciruelo tratada con ultrasonido	66
Figura 40: Gráfica de superficie respuesta de la frecuencia y tiempo en la enzima peroxidasa en la muestra de mango ciruelo tratada con ultrasonido	66
Figura 41: Gráfica de superficie respuesta de la frecuencia y tiempo en el contenido de vitamina C en la muestra de mango ciruelo tratada con ultrasonido	67

Resumen

En este estudio se evaluó el efecto del tratamiento con ultrasonidos en zumo de mango ciruelo, sobre las propiedades fisicoquímicas, inactivación enzimática y contenido de vitamina C. Se aplicó el efecto de dos tiempos 20 y 30 min de exposición al ultrasonido, como frecuencias 37 y 80 kHz, así mismo, una temperatura de 40°C. Aquellas muestras fueron contenidas en frascos de vidrio de 100 mL. Se aplicó como plataforma Statgraphics Centurión XVII para analizar los datos de las muestras y pruebas de normalidad. Por consiguiente, la prueba Anova indicó diferencias significativas ($p < 0.05$) en acidez titulable, sólidos solubles, colorimetría, inactivación enzimática y contenido de vitamina C, mientras que para el pH y luminosidad no existió efecto significativo. Los resultados obtenidos mostraron que el mejor tiempo de exposición y frecuencia para inactivación enzimática fue a 80 kHz a un tiempo de 30 min, desnaturalizándose de 81.19% en la enzima peroxidasa y oxidasa en 82.64%, al igual que la acidez titulable demostró un aumento de 0.721%. A su vez, el mayor contenido de vitamina C, fue al aplicar una frecuencia de 37 kHz por 30 min, oscilando un valor de 42.2 mg/ 100gr. Sin embargo, el color (L^* , a^* y b^*) en coordenada a^* disminuyó a un menor tiempo de 20 min a 0.373. Con respecto al contenido de sólidos solubles obtuvo valor de 15.40% a una frecuencia de 37 kHz por 20 min. El estudio ha demostrado avances en la aplicación de tecnologías no emergentes en la conservación de los alimentos.

Palabras claves: Ultrasonido, inactivación enzimática, vitamina C, tiempo, propiedades fisicoquímicas.

ABSTRACT

This study evaluated the effect of ultrasound treatment on plum mango juice on physicochemical properties, enzymatic inactivation and vitamin C content. The effect of two ultrasound exposure times of 20 and 30 min, frequencies 37 and 80 kHz, as well as a temperature of 40°C were applied. Those samples were contained in 100 mL glass bottles. Statgraphics Centurion XVII was applied as a platform to analyze the sample data and normality tests. Consequently, the Anova test indicated significant differences ($p < 0.05$) in titratable acidity, soluble solids, colorimetry, enzyme inactivation and vitamin C content, while for pH and luminosity there was no significant effect. The results obtained showed that the best exposure time and frequency for enzyme inactivation was at 80 kHz at a time of 30 min, denaturation of 81.19% in the peroxidase enzyme and oxidase at 82.64%, as well as titratable acidity showed an increase of 0.721%. In turn, the highest vitamin C content was obtained when a frequency of 37 kHz was applied for 30 min, with a value of 42.2 mg/ 100gr. However, the color (L^* , a^* and b^*) in coordinate a^* decreased at a shorter time of 20 min to 0.373. With respect to the soluble solids content, it obtained a value of 15.40% at a frequency of 37 kHz for 20 min. The study has demonstrated advances in the application of non-emerging technologies in food preservation.

Key words: Ultrasound, enzymatic inactivation, vitamin C, time, physicochemical properties.

I. INTRODUCCION

En la industria de alimentos el método de ultrasonido es un campo de creciente interés, esta tecnología emergente se utiliza en las áreas de control de calidad, análisis de alimentos para lograr mejorar los zumos de frutas, ya que en los últimos años ha brindado una alta tendencia de consumo de bebidas naturales y saludables (Priyadarshini & Priyadarshini, 2018). Obteniendo términos de selectividad y rendimiento, así mismo, es una de las técnicas que conserva, intensifica los sabores ya que produce un efecto de cavitación gaseosa, ya que de esta manera se origina la implosión de micro burbujas liberando energía produciendo diferentes cambios químicos, físicos en el micro entorno de aquellos productos procesados por ultrasonido mejorando sus atributos de calidad. (Robles & Ochoa, 2012).

Por lo tanto, durante estos últimos años se ha logrado aplicar la importancia en el campo de la tecnología alimentaria a zumos de frutas logrando involucrar que estos alimentos sean seguros y obtengan mejor calidad al consumidor. Ponce, S. (2019).

Así mismo, la tecnología generalmente más utilizada para lograr la esterilización de alimentos es la creciente aplicación de tratamientos térmicos como método de pasteurización, ya que ocasionaría la inactivación enzimática y evitaría la proliferación de microorganismos (Swamy et al., 2018). Sin embargo, se sabe que estas enzimas son muy resistentes al calor; por lo cual, no solamente generaría reducir los contenidos de nutrientes, sino también, perjudicaría muchas propiedades organolépticas del alimento. (Tomadoni et al., 2017).

Esta indagación ha dado como beneficio alternativas promisoras de gran importancia para el proceso de alimentos, lo cual ha generado que el método físico como el baño de ultrasonido, entre otros (microondas, luz blanca, pulsos eléctricos, irradiaciones), brindan mucho la preservación de las características fisicoquímicas y organolépticas del producto permitiendo efectuar operaciones de estabilidad sin acrecentar la temperatura de la técnica. (Gonzales, G. 2005).

1.1. Técnica de ultrasonido (US)

El ultrasonido es una técnica de gran importancia en la ciencia y tecnología de alimentos. Dependiendo del servicio utilizado (potencia) se utiliza en análisis no invasivos con estimación de la composición de alimentos, detección de impurezas metálicas, control de las propiedades físico químicas y estructurales, seguimiento durante el procesamiento, aceleración o inactivación de la actividad enzimática, almacenamiento y otros. (Campoli et al., 2018).

Asimismo, se considera una tecnología emergente, por lo cual, estudios afirman que la sonicación es una técnica novedosa e innovadora para lograr mejorar los procesos alimentarios obteniendo la mejor calidad en los zumos de frutas. Una de las ventajas es que no consume de mucha energía, reduce el tiempo del proceso y es una tecnología cuidadosa con el medio ambiente. (Muhammad et al., 2013).

Figura 1

Equipo de ultrasonido para la industria alimentaria



Nota: Tecnología innovadora de ultrasonido para la industria de alimentos.
Adaptado: Muhammad et al., 2013.

Por otro lado, al ser sometidos los zumos de frutas en esta tecnología logran reducir hasta 5 log logrando cumplir lo dispuesto por la FDA (administración de

medicamentos y alimentos) en la población microbiana. (Salleh, M & Roberts, 2007) sin que se generen efectos adversos en la calidad del zumo de frutas.

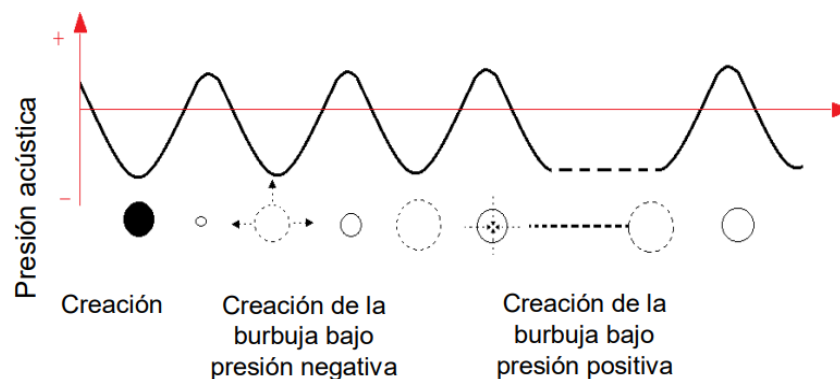
1.2. Generalidades

El ultrasonido se especifica como ondas inaudibles en alta frecuencia de 20 kHz, lo cual al ser aplicados en los alimentos para su conservación resulta ser más eficaz las ondas ultrasónicas de menor frecuencia (18-100 kHz; $\lambda=145\text{mm}$), así mismo existe de mayor intensidad (10-1000 W/cm).

El efecto de ultrasonido en la industria alimentaria trae consigo a los fenómenos complejos de cavitación gaseosa, que manifiestan la evolución y generación de micro burbujas en un medio líquido. La implosión de la burbuja se origina en distintas zonas de presión lo que ocasiona presión hasta (1000atm) y temperaturas altas hasta (5000°C). (Mukhopadhyay & Ramaswamy, 2012). Así mismo, la cavitación se genera en esas zonas de un líquido que se hallan sometidas a amplitud de presiones altas que alternan inmediatamente. A lo largo de la mitad negativa del periodo de presión, el líquido está sometido a una energía tensional y a lo largo de la mitad positiva del periodo experimenta una compresión. (Herrero & Romero, 2006). Por consiguiente, es una tecnología segura y no toxica, tienen un poder oxidativo que logran que estos microorganismos presentes en los zumos se dañen completamente su ADN, cuya extensión es fragmentada y se rompe. (São José et al., 2014).

Figura 2

Comportamiento de las burbujas durante cavitación



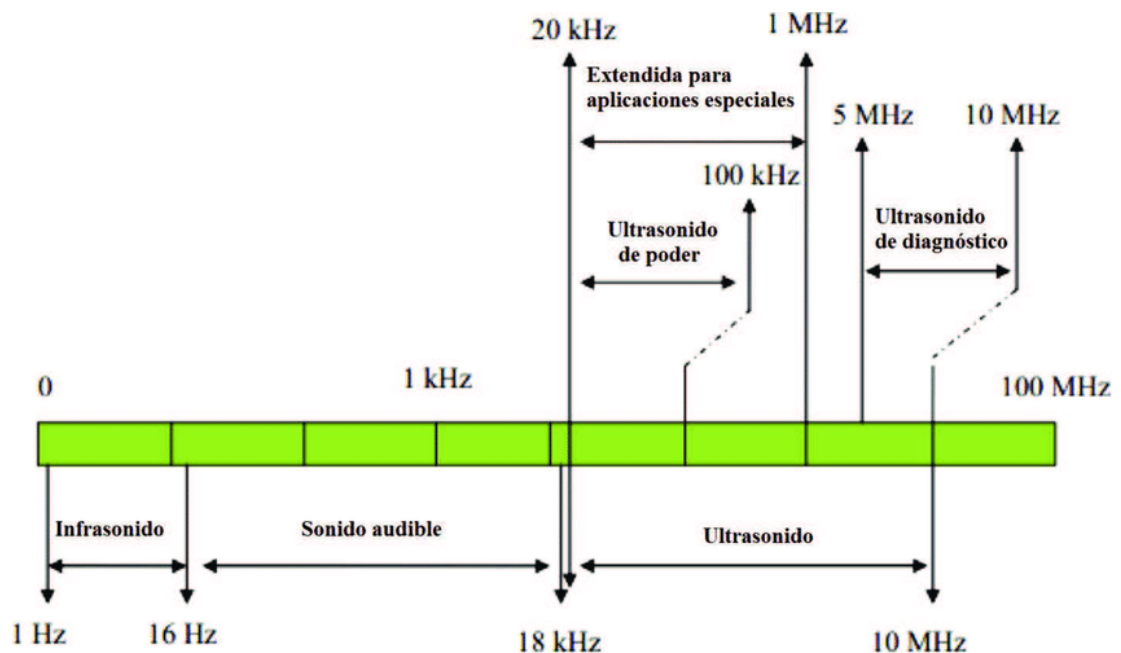
Nota: Adaptado de Ulloa, et al., 2013.

1.3. Mecanismo de acción

Cuando las ondas sonoras se propagan longitudinalmente en un medio líquido, se producen ciclos alternos de compresión y expansión. Esto se debe a que la presión negativa dentro del líquido creada por los ciclos alternos de expansión es baja como para sobrepasar las potencias intermoleculares (de tensión), creando micro burbujas pequeñas.

Figura 3

Intervalo de frecuencias de ondas de sonido



Nota: El gráfico muestra las diferentes frecuencias que presenta el equipo de ultrasonido.

Adaptado: Cheng, et al., 2019

1.4. Mango Ciruelo (*Spondias mombin*)

1.4.1. Origen del fruto

Su origen florece en las islas Society del Sur del Pacífico (Oceanía); pudiéndose encontrar hasta 70 m.s.n.m en los lugares trópicos, además llegaría hasta América entre los años 1782 al 1792. Así mismo, este fruto crece y florece en el departamento de Piura en valles agrícolas y es conocido como Mango Ciruelo, siendo solamente un pariente cercano al mango (*Mangifera indica L.*)

Figura 4

Mango ciruelo



Nota: Conocido como taperiba, hobo, jobo, yuplon y/o mango ciruelo proviene de la familia Anacardiaceae, nativa de las indias occidentales. Natural en partes de Indonesia, África, India. Así mismo; florece en el departamento de Piura de sus valles agrícolas es rica en fibra y vitaminas.

Adaptado: Alburquerque, C. (2015)

1.4.2. Clasificación Taxonómica

Según Alburquerque, C. (2015) mencionado por Sáenz (2005), muestra la clasificación y taxonomía:

- Familia: Anacardiáceas
- Nombre botánico: *Spondiascytherea*
- Género: *Spondias*

- Orden: Sapindales
- Nombre común: Taperiba (selva de Perú) y Mango ciruelo (Norte de Perú).

1.4.3. Composición nutricional del mango ciruelo

Según Bellido, R. Es una fruta que contiene vitaminas, tales como el ácido ascórbico (vitamina C), es un nutriente que el cuerpo necesita para formar cartílagos, músculos, vasos sanguíneos y colágeno en los huesos, así mismo, contiene vitamina A, fósforo y calcio en baja proporción de hierro, aquellos oligoelementos que son necesarios para conservar el organismo. La corteza contiene ácidos fijos fuertes y débiles, fenoles simples, flavanonas, esteroides, flavonoles, antranoles, saponinas, catequinas, leucoantocianidinas, heterósidos cianogénicos y taninos pirogálicos. (2013, p. 12)

Tabla 1

Composición nutricional de mango ciruelo por 100 gramos

Nutrientes	Cantidad
Energía (Kcal)	56
Proteína (g)	0.60
Carbohidratos (g)	14.2
Grasa total (g)	0.30
Glúcidos (g)	14.20
Fibra (g)	0.60
Riboflavina (mg)	0.19
Fósforo (mg)	27
Niacina (mg)	0.67
Hierro (mg)	0.70
Calcio (mg)	39
Ácido ascórbico (mg)	5.90

Nota: Los datos son proporcionados por la base de datos internacional de composición de alimentos. **Adaptado:** FAO/INFOODS, 2019

El mango ciruelo tiene sinónimos diferentes según el lugar, idioma o país donde se cultiva, en la tabla 2 menciona sus sinónimos:

Tabla 2

Sinónimos según el país, idioma o lugar de cultivo del mango ciruelo

Idioma	Nombre
Español	Ciruela dulce/Mango ciruelo
Inglés	Ambarella (Bailey)
Francés	Evi (Tahití – Sargot) Pomme cythere (Sagot – Dybowki)
Holandés	Kedongdong (ochse) Fransi mope (Surinam)
Portugués	Cajá – manga (Brazil)
Aleman	Cytherea (Schrwald) Suszze Mombinpfalume (Rosenthal)

Nota: En el Perú se ubica en la zona de Iquitos, Chachamayo (Junín), Pucallpa (Loreto), Huánuco, Ucayali, San Martín, Chulucanas y Sullana (Piura). *Adaptado:* Letona, C. (2013).

1.4.4. Determinaciones biométricas y promedio de análisis proximal del mango ciruelo de 100gr de pulpa fresca

Tabla 3

Resultados de análisis proximal y determinaciones biométricas de mango ciruelo

Componente	Promedio (%)
Humedad	85.59
Carbohidratos	3.67
Grasas	0.64
Proteína	3.68
Ceniza	2.98
Fibra cruda	3.44
Largo (cm)	6.4
Ancho (cm)	5.8
Peso (g)	124.4

Nota: Adaptado de refrigeración y congelación de alimentos. Bellido, R. (2013), p. 12. Lima, Perú.

1.4.5. Descripción Botánica

Según Guzmán E. Su nombre científico es *Spondias mombin* perteneciente a la familia de las Anarcadiáceas. El árbol puede medir hasta 20 metros de altura con copa redondeada y el tronco recto, macizo, cilíndrico, sus hojas son de color verde oscuro a verde amarillento, así mismo, sus flores son pequeñas, bisexuales de forma espiral aglomeradas en las puntas de las ramas que al estrujarlas tiende un olor fuerte a mango. Sus frutos se disponen en grupos colgantes de 3 por 15 cm, la cascara presenta lenticelas pequeñas y finas de color café negro que generalmente es un poco áspera. La pulpa es gruesa, carnosa y jugosa con un aroma resinoso, tiene el endocarpio fuertemente lignificado y duro, tienen ramificaciones a través del mesocarpio que al ingerirlo es incómodo. (2015, p. 7)

Figura 5

Árbol de mango ciruelo (Spondias mombin) proveniente de los campos de cultivo del distrito de Marcavelica- Sullana



Nota: Elaboración propia

1.4.6. Producción mundial

Debido a que el mango ciruelo es conocido con distintos nombres a nivel mundial e incluso en un mismo país se le puede conocer con diferentes nombres) tal como se menciona en la figura 6. La situación actual del mango ciruelo en el mundo para una mejor información sobre su situación actual, es conveniente agruparlo dentro de las frutas tropicales entre los años 1995 al 2014, agrupados en periodos de 4 años.

Figura 6

Producción mundial de frutas tropicales 2015- 2014

	1995-1999	2000-2004	2005-2009	2010-2014
Banana	60,89	70,27	90,82	104,11
India	13,15	14,45	23,28	26,80
China	3,44	5,75	7,77	10,46
Filipinas	4,31	5,25	7,66	9,25
Mango	23,20	27,06	34,18	42,01
India	10,78	10,96	12,99	15,47
China	2,23	3,27	3,86	4,38
Tailandia	1,20	1,80	2,21	2,65
Ananá	13,44	15,94	19,24	23,22
Tailandia	2,06	2,01	2,38	2,59
Brasil	1,54	2,13	2,46	2,45
Filipinas	1,61	1,65	2,01	2,39
Palta	2,28	2,97	3,62	4,38
México	0,83	0,93	1,14	1,30
Indonesia	0,14	0,20	0,23	0,29
Estados Unidos	0,16	0,20	0,22	0,23
Mamón	6,20	8,27	9,56	12,00
India	1,50	2,15	3,01	4,92
Brasil	1,21	1,57	1,79	1,66
Nigeria	0,70	0,80	0,76	0,78
Frutas Tropicales Secundarias	12,55	16,03	18,49	20,55
India	3,07	2,89	3,49	4,43
Filipinas	3,17	3,20	3,31	3,31
Indonesia	1,37	2,19	2,80	3,11

Nota: Adaptado de Carrillo, et al (2016).

1.4.7. Producción nacional y local

El mango ciruelo es un fruto que se cultiva en la zona norte del país, como en el departamento de Piura, así mismo se cosecha en grandes cantidades en la selva peruana como Pucallpa e Iquitos (Departamento de Loreto), departamentos de San Martín, Ucayali y Huánuco, departamento de Junín, tales como: Satipo, Chanchamayo y el departamento de Piura (Sullana y Chulucanas).

A continuación, en la presente tabla 4, se aprecia la producción nacional entre los años 2014 al 2019 y la tasa de variación porcentual de cada año:

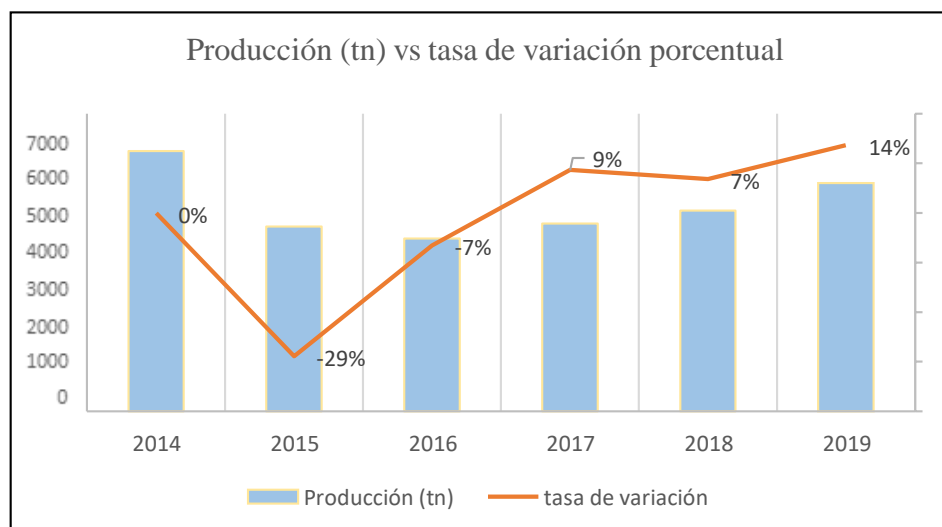
Tabla 4

Producción nacional de mango ciruelo en toneladas del año (2014-2019)

Año	Producción (tn)	Tasa de variación respecto al año anterior
2014	6131	-
2015	4356	-29%
2016	4070	-7%
2017	4424	9%
2018	4727	7%
2019	5375	14%

Nota: Adaptado de Minagri, 2019.

Por consiguiente, en la siguiente figura 7, se detallan los datos del anterior cuadro (tabla 4), lo cual se puede observar la producción del fruto de mango ciruelo y su evolución en los últimos años.

Figura 7*Producción vs tasa de variación porcentual**Nota:* Adaptado de Carrillo, et al (2020)

En los años de 2014 a 2016 se logra observar aquella disminución aproximadamente de 2000 toneladas, sin embargo, en el año 2014 su tendencia de producción fue creciente acercándose al pico de producción. Según Minagri. (2019), realizaron un análisis de la producción a nivel nacional del mango ciruelo lo cual fue de 5375 toneladas, a continuación, en la tabla 5 se detalla la distribución de su cosecha.

Tabla 5*Producción nacional de mango ciruelo del año 2019*

Región	Producción (tn)	Superficie (ha)	Rendimiento (kg/ha)
Nacional	5,375	725	7,414
Loreto	1,031	177	5,825
Piura	87	10	9,158
Ucayali	2,129	272	7,827
San Martín	253	17	15,339

Nota: Como se detalla en la tabla 5, el departamento de Ucayali su distribución de cosecha del mango ciruelo es mayor a nivel nacional oscilando en (2,129 tn), seguidamente Loreto con (1,031 tn), San Martín (253 tn) y por último el departamento de Piura con (87 tn) en el año 2019. Adaptado de: Minagri, 2019.

1.5. Enzimas en los alimentos

Las enzimas son moléculas de proteínas que tienen la capacidad de facilitar y acelerar las reacciones químicas que tienen lugar en los tejidos vivos. Su estudio en la industria alimentaria es sumamente primordial debido a que son responsables de algunos cambios químicos que sufren los alimentos, cambios que son favorables brindando beneficios como la maduración de las frutas o perjuicios (oscurecimiento enzimático, oxidación de ácidos grasos).

Es por ello para alargar la vida útil de estos productos alimenticios, como los zumos de frutas para evitar su oscurecimiento enzimático, la técnica de ultrasonido es un proceso de gran importancia para lograr la desnaturalización, así como aumentar la actividad enzimática minimizando el daño al producto. Además, estudios afirman que la energía emitida por el ultrasonido depende de la sonicación e intensidad. (Rayo, B. 2013).

La peroxidasa y oxidasa se encuentran en los grupos de óxido-reductasas, lo cual también juegan un rol muy importante en la fisiología de las plantas, como también predominan en los zumos vegetales, los cuales ocasionan su deterioro. Estas enzimas son de gran beneficio en la tecnología de los alimentos, debido a la influencia sobre la calidad de frutas y vegetales crudos y procesados. (2013, p. 115).

Figura 8

Diagrama de una proteína peroxidasa hemo-dependiente

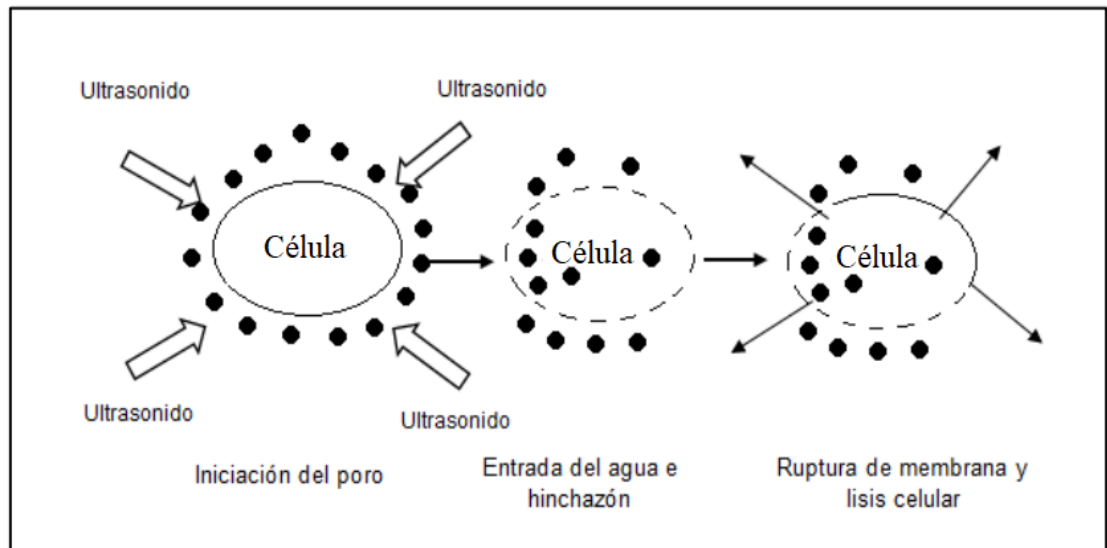


Nota: Adaptado de Jawahar Swaminathan, 2019.

Por otro lado, la esterilización térmica y pasteurización son aplicadas para la inactivación de bacterias presentes en los alimentos. Sin embargo, estos dichos métodos mencionados solicita de tratamientos a altas temperaturas y largos tiempos de exposición causando deterioro de los valores nutritivos, características sensoriales y propiedades funcionales de los alimentos. A raíz de esta problemática que existe, la técnica de ultrasonido ha brindado beneficio a los zumos de frutas como la minimización de pérdidas de sabor, mayor homogeneidad. Así mismo, causando ruptura de estructuras celulares para evitar la sedimentación de estos zumos de frutas. (Porras, et al., 2011).

Figura 9

Mecanismo del daño celular por ultrasonido



Nota: Adaptado de Porras, et al., 2011.

1.6. Antecedentes

Ríos et al. (2017). Evaluaron el impacto del jugo de camote y naranja en el tratamiento con ultrasonidos sobre sus parámetros fisicoquímicos tales como fenólico total y b- caroteno, asimismo su actividad antioxidante (ORAC y tociato férrico), además su actividad enzimática residual (polifenol oxidasa, peroxidasa). Demostraron que el jugo fue sonicado en 5 tiempos (2,4,6,8, y 10 min) aplicando una intensidad ultrasónica de 0,24 y 0,66W cm⁻². Como resultado el contenido de caroteno fue de 57% y contenido total de polifenoles entre 14.35% y 4.88, asimismo dieron a conocer que la actividad antioxidante por ORAC obtuvo un resultado de 29,55 mmol. En conclusión, afirmaron que el tratamiento del ultrasonido (US) mostró una inactivación de 28,38 % y 46,28% en peroxidasa y polifenol oxidasa.

Por otro lado, Ponce de León, S. (2019). Determinó el efecto de exposición con ultrasonido en el contenido de acidez, sólidos solubles, contenido de ácido ascórbico, y recuento de mesófilos en la pulpa de Camu Camu (*Myrciaria dubia*) aplicando 40 kHz en ultrasonido con 4 tiempos (0 control, 15, 30, 45 y 60 min). Aquellos análisis mostraron que el tiempo de exposición obtuvieron un efecto significativo ($\alpha=0.05$) sobre sus propiedades. Así mismo, al aplicar 30 min de tiempo de exposición lograron tener efectos más significativos en % de acidez, recuento de mesófilos, vitamina C y sólidos solubles, sin embargo, al aplicar el tiempo de 45 y 60 min se demostró un incremento en contenido de sólidos solubles (57%), un descenso de vitamina C al (50%) mientras que no encontraron diferencias significativas en mesófilos y aerobios.

Pérez, C. (2019), demostró el efecto del tiempo de exposición al ultrasonido y la temperatura en las propiedades fisicoquímicas, contenido de vitamina C y microbiológicas de la pulpa de zarzamora (*Rubus floribundus kunth*), lo cual evaluó el efecto de exposición al ultrasonido en dos tiempos (30 y 45 min) así mismo, dos temperaturas (25°C y 40°C) sobre el contenido de vitamina C, acidez titulable, sólidos solubles, recuento de levaduras y mohos. La aplicación de ultrasonido fue de 40 kHz las cuales lograron obtener un efecto significativo ($p<0.005$), respecto al pH, sólo existió efecto significativo con el tiempo de exposición. La prueba Duncan afirmó que el tiempo de exposición al ultrasonido de 30 min y T° de 40°C mantuvieron un

menor índice de acidez titulable, recuento de levaduras y mohos, sólidos solubles, pH. En conclusión, la menor variación en el contenido de la vitamina C fue de 30 min, a una temperatura de 25°C, así mismo, se comprobó que el mejor tratamiento pertenece a una temperatura (40°C) y tiempo de exposición (30min).

Arévalo Cruz y colaboradores (2018), evaluaron en jugo de piña con espinaca a bajas frecuencias sometidos al ultrasonido sobre sus propiedades organolépticas, microbiológicas y nutricionales como métodos alternativos a la pasteurización. Aplicaron 2 tiempos de exposición durante 20 y 25 min a 42 kHz a una temperatura de 35 °C. Los parámetros evaluados fueron vitamina C, vitamina A, color, compuestos fenólicos, capacidad antioxidante, clorofila y actividad enzimática de la bromelina. Los autores afirman que el jugo presentó resultados favorables en un tiempo de exposición de 25 min ya que lograron conservar los niveles de vitamina C y otros parámetros evaluados.

A raíz de los antecedentes revisados, la presente investigación gira entorno a la siguiente interrogante. **¿El efecto del tratamiento con ultrasonido beneficiará al zumo de mango ciruelo (*Spondias mombin*), sobre las propiedades fisicoquímicas, inactividad enzimática residual y contenido de vitamina C?**

La respuesta de esta interrogante de investigación abre la posibilidad de mejorar las características fisicoquímicas, organolépticas de los zumos de frutas, ideal para obtener productos altamente inocuos y de calidad para el consumidor. Ya que se hace mención que el Perú tiene grandes variedades de frutos nativos y especies vegetales, la mayoría no están sometidos a procesos para su industrialización, en ese sentido logra constituir una fuente alternativa para la aplicación de ultrasonidos. (Leyva, et al. 2008). Una de ellas es el mango ciruelo (*Spondias mombin*), que presenta un bajo índice de desarrollo en la exportación y consumo de estos últimos años en el mercado nacional e internacional. Así mismo, tiene diversos usos medicinales: protege infecciones, fortalece el sistema inmunológico, ayuda a controlar la presión arterial y la formación de colágeno. Su fruto es comestible, ácido y contiene alto índice de vitamina C, posee de propiedades antioxidantes, carbohidratos, proteínas y minerales. Esta situación es una razón para aplicar métodos alternativos de gran interés para su almacenamiento y conservación.

1.7. Objetivos de la investigación

1.7.1. Objetivo general

Evaluar el efecto del tratamiento con ultrasonidos (37 kHz y 80 kHz) en el zumo de mango ciruelo (*Spondias mombin*), en dos tiempos de exposición de (20 y 30 min) y a temperatura de 40°C, sobre las propiedades fisicoquímicas, inactivación enzimática y contenido de vitamina C.

1.7.2. Objetivos específicos

- Aplicar los tratamientos con ultrasonidos en zumo de mango ciruelo (*Spondias mombin*), mediante combinaciones de frecuencia y tiempo de exposición.
- Comparar cada uno de los tratamientos de ultrasonido en el zumo de mango ciruelo (*Spondias mombin*) sobre las propiedades fisicoquímicas, inactivación enzimática y contenido de vitamina C.
- Determinar el tratamiento óptimo en la evaluación de las variables sobre las propiedades fisicoquímicas, inactivación enzimática y contenido de vitamina C.

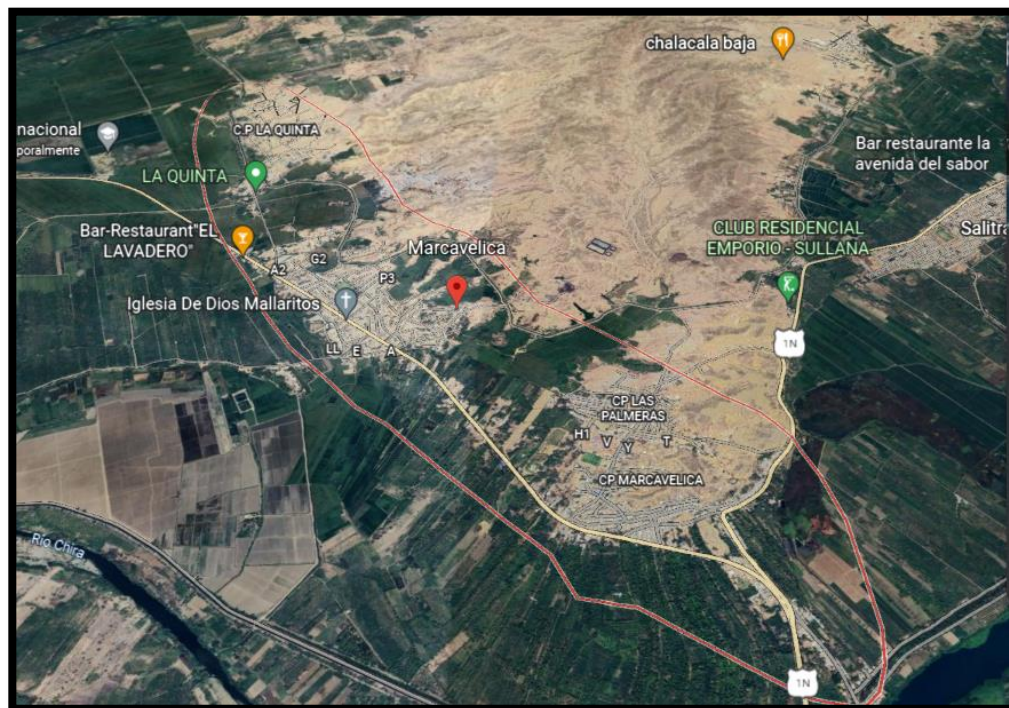
II. MATERIALES Y METODOS

2.1. Material biológico

La fruta de mango ciruelo (*Spondias mombin*) fueron adquiridos en los campos de cultivo ubicados en Av. Panamericana Norte cuadra 8 en el distrito de Marcavelica, provincia de Sullana, departamento de Piura (figura 10), zona donde se obtuvo la materia prima obteniendo en un estado fresco sin presencia de efectos internos y externos por calidad e inocuidad. Las frutas fueron elegidas según su nivel de maduración, pH, grados °Brix y estado fitosanitario.

Figura 10

Localización geográfica de campos de cultivo de Marcavelica



Nota: Google (s.f.). Indicaciones de Google Maps para conducir de Sullana a Marcavelica. Recuperado de <https://viasatelital.com/peru/>.

2.1.1. Materiales

- Tubos de ensayo de 5 mL
- Envases de vidrio de 250 mL
- Tubos de centrifuga de 15 mL
- Colador de acero inoxidable
- Cubetas de cuarzo para espectrofotómetro
- Cuchillo
- Vasos precipitados de 100-250 mL
- Bandejas térmicas

2.1.2. Reactivos

- Fenoltaleína
- Na OH 0.1 N
- 2,4 dinitrofenilhidrazina
- Tiourea al 10%
- Ácido ascórbico
- Agua de bromo
- Catecol
- Buffer de fosfato de potásico (0,2 M, pH 6,8)
- Buffer de fosfato de potasio (100nM, pH 6,0)
- Agua oxigenada (0,50%)
- Pirogalol
- Ácido sulfúrico 85%

2.1.3. Equipos e instrumentos de laboratorio

- Equipo de ultrasonido Elma Schmidbauer GmbH, capacidad de tanque 3.0 litros, frecuencia de 37 KHz y 80 KHz.
- Refractómetro marca HANNA HI96801 de 0-85% °Brix
- Centrifuga marca ISOLAB GmbH capacidad para 15 tubos.
- Espectrofotómetro UV- visible, Genesys 150.

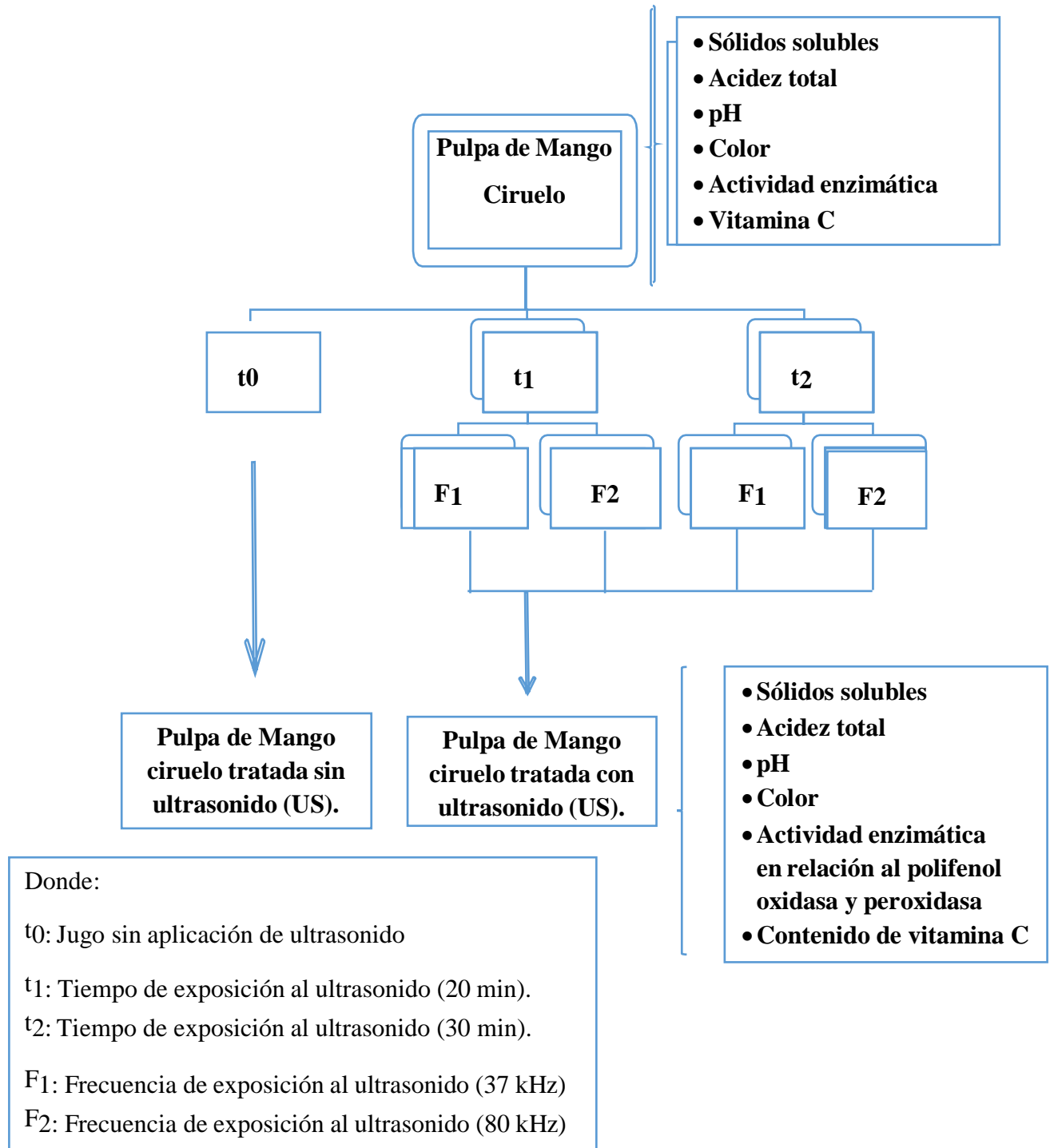
- Micropipetas de 100-1000ul.
- Balanza analítica, Marca Metter Toledo. Capacidad 0-210 g. sensibilidad aprox. 0.0001 g.
- Incubadora digital de 53 litros USAMED DNP- 9052A.
- Colorímetro WR10QC, con apertura de 0.157.
- Agitador magnético con calentamiento MS7-H550-S, 500 rpm.
- Agitador digital Vortex Mixer.
- Potenciómetro marca HANNA.
- Licuadora Oster de tres velocidades.

2.1.4. Método experimental

La presente investigación de tesis tuvo como variables independientes a la frecuencia, tiempo y temperatura del ultrasonido; así mismo, sus variables dependientes como sus propiedades fisicoquímicas (Sólidos solubles, acidez total, pH, color, análisis de inactivación de enzimática: en relación a la actividad de polifenol oxidasa y peroxidasa) y contenido de vitamina C”, las cuales se detallan en la siguiente figura 11:

Figura 11

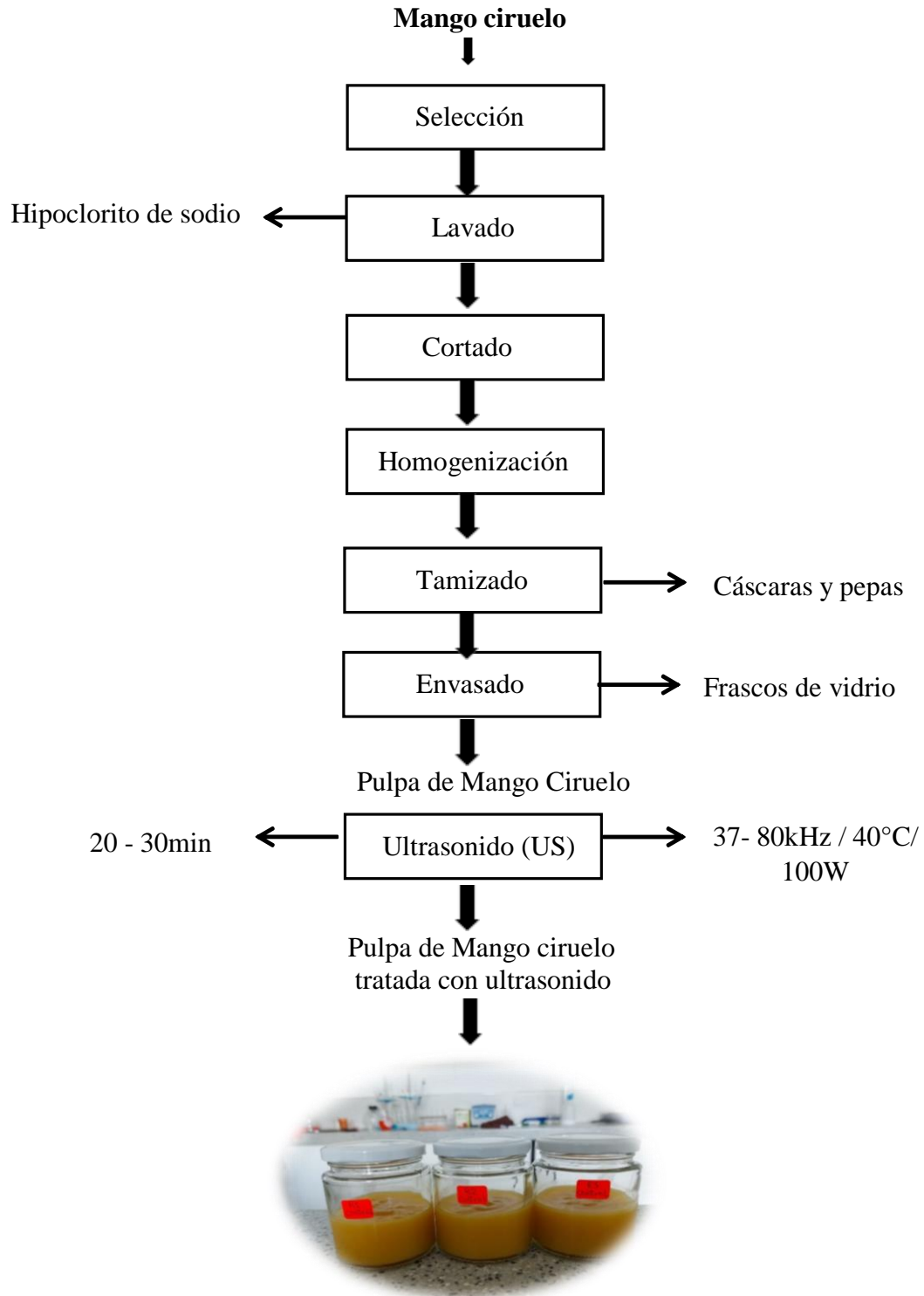
Esquema de desarrollo experimental para evaluar el efecto del ultrasonido en el zumo de Mango ciruelo



Fuente: Elaboración propia

Figura 12

Diagrama de flujo para la obtención de pulpa de Mango ciruelo (Spondias mombin) y su tratamiento con la tecnología de ultrasonido



2.1.5. Métodos de análisis

2.1.5.1. Análisis fisicoquímicos

- **Determinación de acidez titulable**

La acidez titulable se mide por el método volumétrico logrando neutralizar los extractos de frutas o jugos con una base fuerte. Representa la cantidad de ácidos orgánicos libres presentes en un determinado residuo líquido o cuerpo de agua. El resultado fue expresado en % de ácido cítrico (0.064%). AOAC (Association of Official Analytical Chemists) (2002) 942.15.

Se tomó 10 gramos de zumo de mango de ciruelo, lo cual se añadió en vasos de precipitados de 100ml, diluyendo hasta 50 mL con agua destilada, obteniendo una mezcla completamente homogénea. Se continuó añadiendo 3 gotas de fenolftaleína como agente indicador. Luego se añadió NaOH 0,1N en una bureta para su respectiva titulación agitando constantemente hasta obtener una coloración rosa, hasta alcanzar en un pH de 8,3 aproximadamente. Se tomó nota del consumo de gasto para su determinación de acidez, se repitió el proceso por triplicado.

La acidez se determinó mediante la siguiente fórmula:

$$\%AT = \frac{VNE}{10A} 100$$

Donde:

AT= Acidez Titulable (%)

V: Gasto de NaOH en la titulación (mL)

N: Normalidad del NaOH

E: Mili equivalente (factor)

A: Gramos de muestra

- **Determinación de grados °Brix**

Los grados °Brix son el porcentaje de sólidos solubles presentes en alguna sustancia. En frutas, este valor indica la cantidad de azúcar (sacarosa) presente en el fruto. Se determinó mediante un refractómetro digital en un rango de 0 a 85%, previamente limpio con algodón impregnado en alcohol. La calibración del equipo se realizó agregando agua destilada en el prisma y verificando que el valor sea 0. Después se colocó 2 gotas del zumo de mango ciruelo. Finalmente se realizó su respectiva lectura de forma sencilla y rápida.

- **Determinación de pH (Potencial de hidrógeno)**

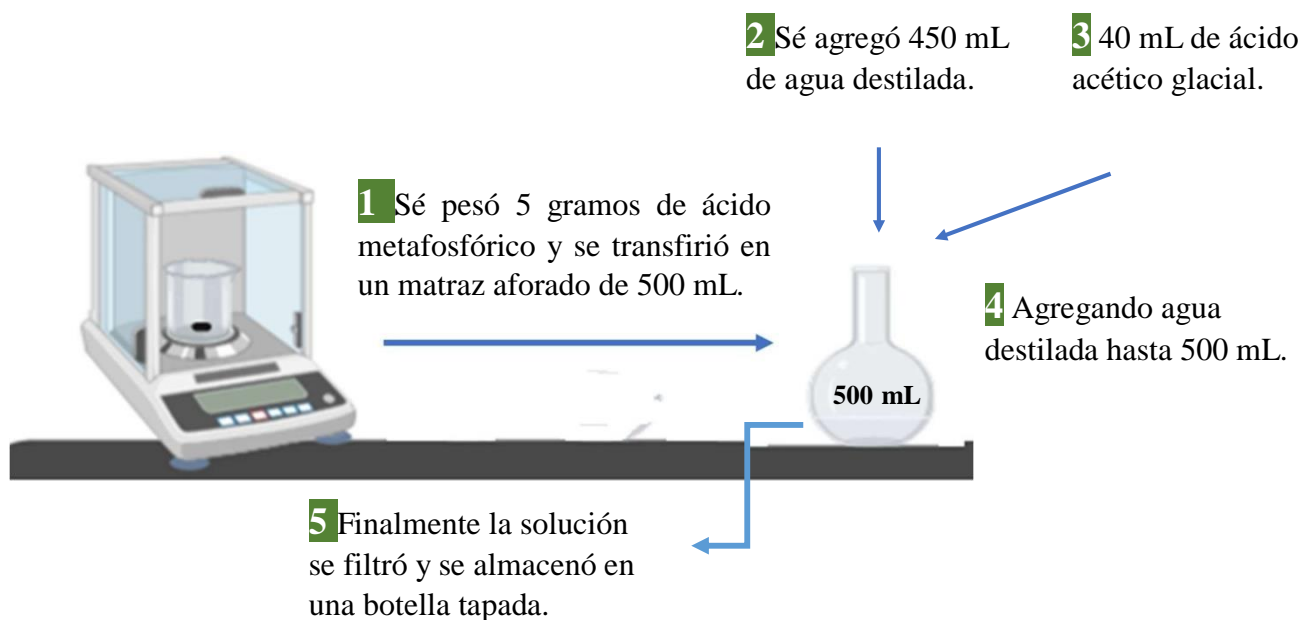
El pH o potencial de hidrógeno mide la alcalinidad o acidez de una sustancia o solución. Así mismo, se define como el logaritmo negativo de base 10 de la actividad de los iones de hidrógeno expresada por moles/litro, especificando de esta manera su nivel de concentración. Para la determinación de pH, se tomó 50 mL de zumo de mango ciruelo en un vaso de precipitado y se introdujo el potenciómetro en la muestra tratada por ultrasonido y la muestra sin ultrasonido. Finalmente se tomó la lectura con el equipo previamente calibrado con soluciones buffer. (Método AOAC 981.12).

- **Determinación de color**

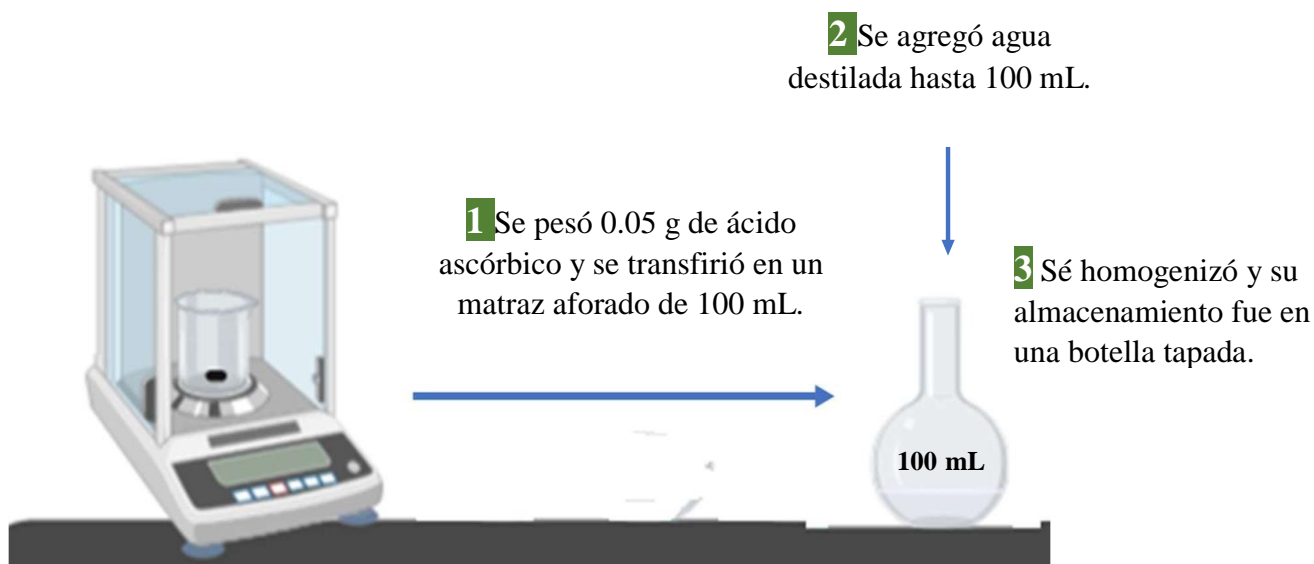
El colorímetro es un equipo que se emplea para determinar la concentración de una solución al medir su absorbancia en una longitud de onda específica de luz. Esta técnica permitió determinar compuestos coloreados en una solución, lo cual para su respectiva medición se expresó con coordenadas ($L^* A^* B^*$). Para ello se colocó 5 gramos de muestra en cubetas de cuarzo, y se introdujo el colorímetro para su respectiva lectura.

- **Determinación cuantitativa de Vitamina C total por espectrofotometría UV**

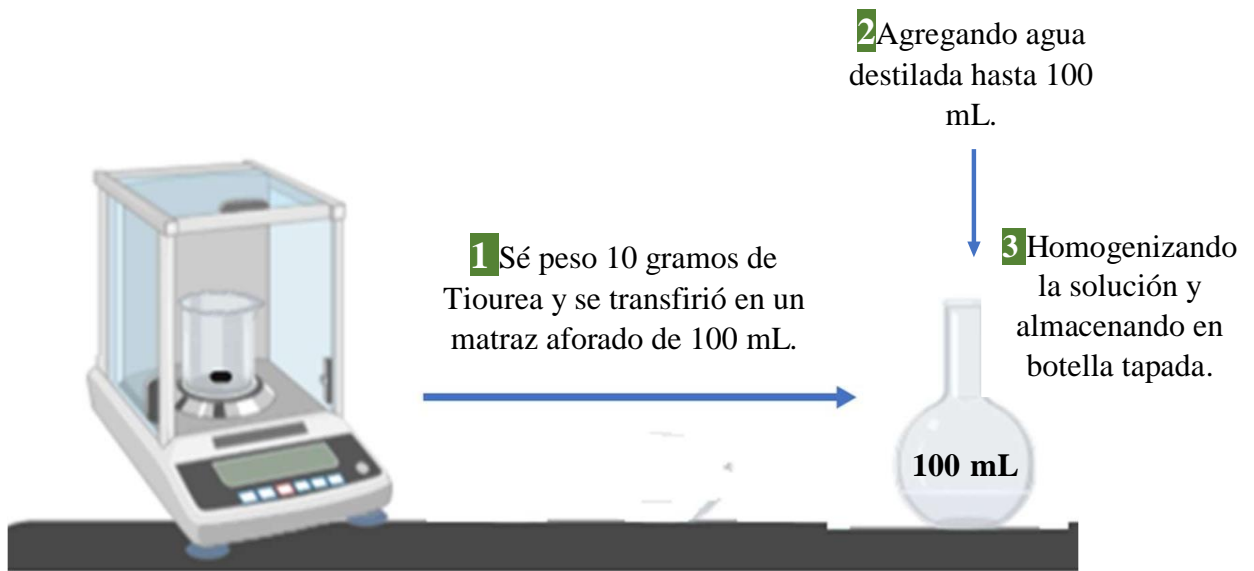
La metodología empleada para cuantificación de vitamina C fue propuesta por Mizanur et al. (2007), el contenido de ácido ascórbico fue expresado en mg/100g de muestra. Para ello se llevó primeramente a cabo la preparación de reactivos de ácido metafosfórico al 5% m/v en medio de ácido acético 10% v/v.



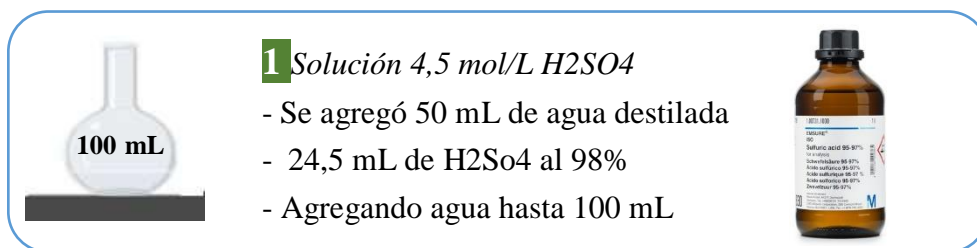
- **Estándar de vitamina C (Ácido ascórbico) 500mg/L**



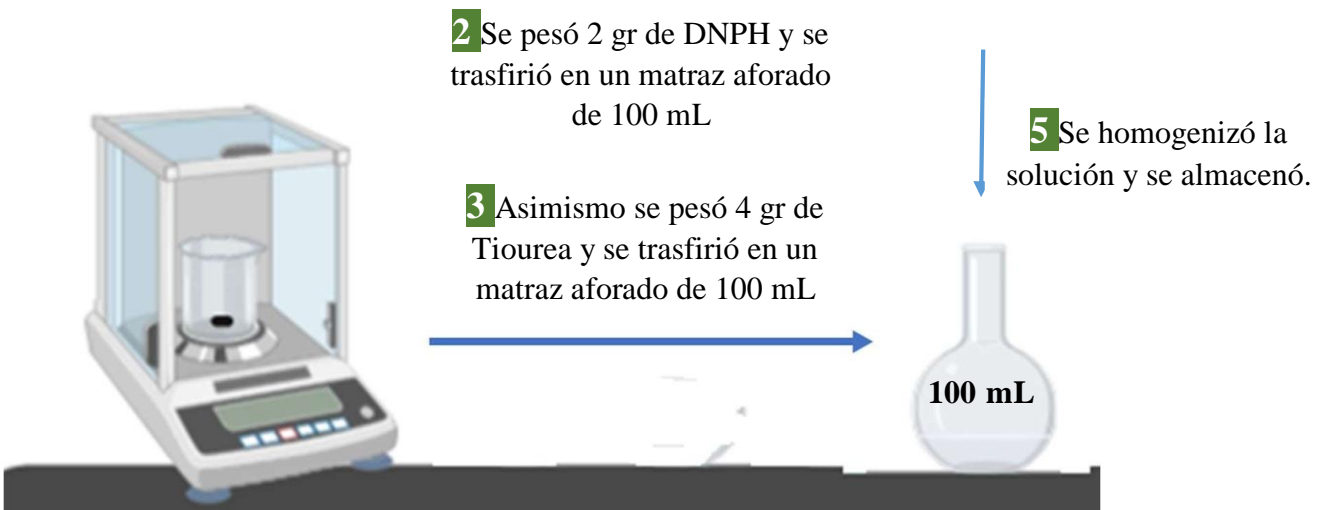
- Solución de Tiourea al 10% m/v



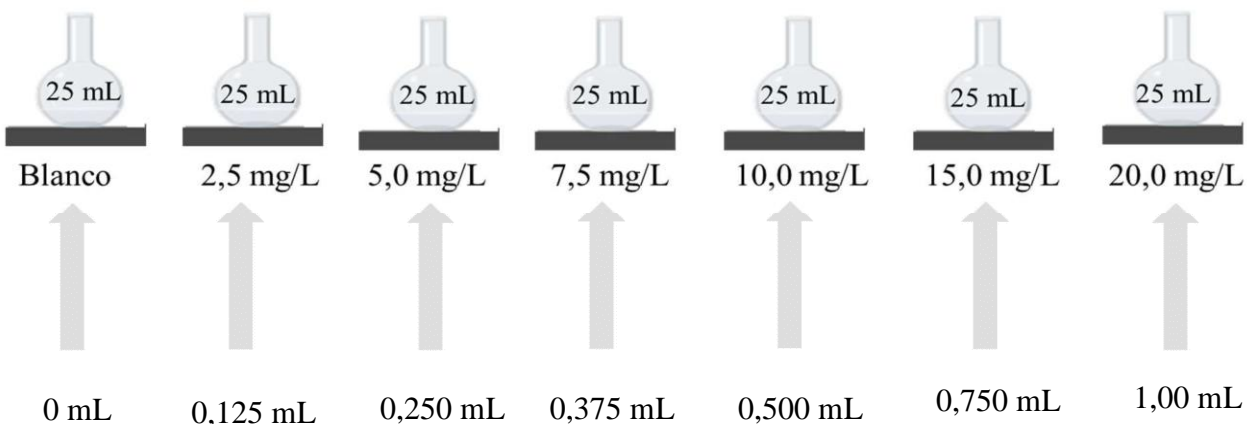
- Solución de 2,4 dinitrofenilhidrazina (2,4 DNPH)



4 Posteriormente se añadió 4.5 mol de H_2SO_4 preparada hasta 100 mL



Así mismo, estas soluciones fueron principales y necesarias para la curva de calibración y para la cuantificación de ácido ascórbico en las muestras.



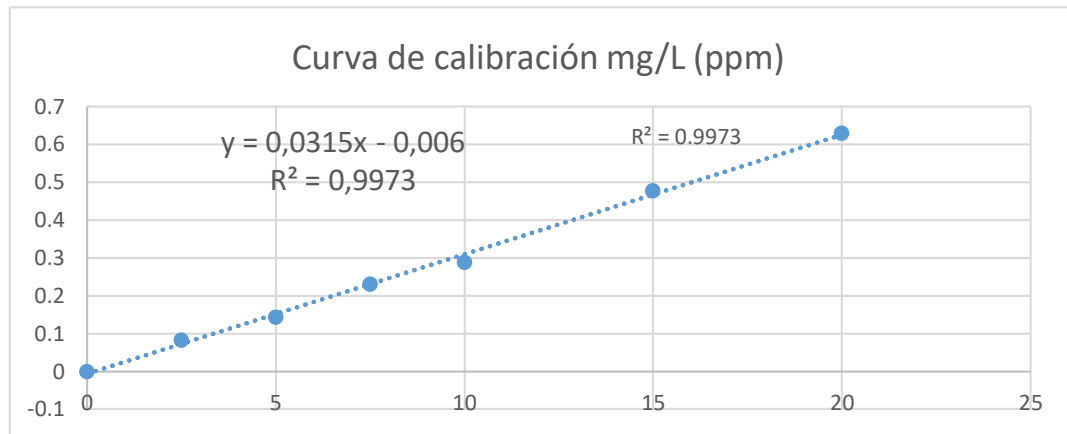
1. Sé identificó los matraces volumétricos con el blanco y las concentraciones.
2. Agregando en cada en matraz el siguiente volumen de la solución estándar de ácido ascórbico (500 mg/L).
3. Sé agregó en cada matraz 10 mL de agua destilada y después 1 mL de solución de 2,4-DNPH.
4. Se mantuvieron los matraces a 37°C de temperatura durante 3 horas en un baño de agua (termostático).
5. Una de cada vez, se enfriaron los matraces en un baño de hielo y se agregó 5 mL de H₂SO₄ al 85% con agitación constante.
6. El volumen fue aforado con agua destilada hasta 25 mL.
7. Reserva para análisis en UV-Vis en espectrofotómetro a una longitud de onda de 521nm.

- **Análisis por UV-Vis**

1. Se midió a 521 nm la absorbancia blanca de los estándares de calibración y se registran los valores, así mismo, las demás absorbancias de las muestras. Se trazó el gráfico de absorbancia versus concentración, obteniendo la ecuación de la recta para para calcular la concentración de vitamina C (ácido ascórbico).

Figura 13

Curva de calibración para cuantificar contenido de vitamina C en el zumo de mango ciruelo

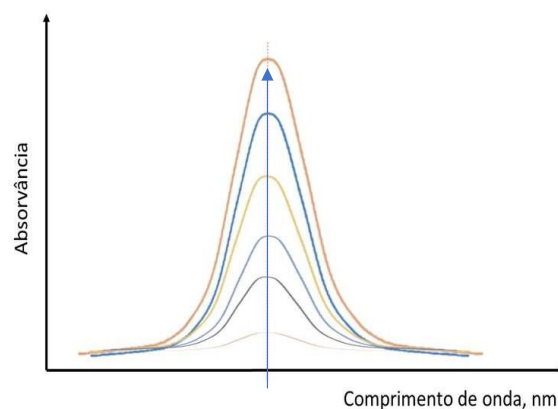


Nota: Concentración de ácido ascórbico (ppm)

Fuente: Elaboración propia

Figura 14

Mediciones de absorbancias en el espectrofotómetro UV- Visible a longitud de onda de 521nm



Nota: Elaboración propia.

- Extracción de ácido ascórbico en zumo de mango ciruelo

1 Sé pesó 1 gr de muestra



2

Añadiendo el gramo de zumo a tubos de centrifuga y agregando hasta 10 mL de ácido metafosfórico al 5%.



3

Siendo llevados a una centrifuga a 45 rpm por 20 min extrayendo el líquido de sobrenadante.



4



Añadiendo en tubos de ensayo 1 mL de líquido sobrenadante de mango ciruelo y 2 mL de ácido metafosfórico al 5%.

5

Así mismo, se añadió 150 ul de agua de bromo para oxidar al ácido ascórbico, Tiourea 80ul al 10%, solución 2,4 DNPH 200ul.

6



Agitando en un Vortex a 1000 rpm por 1 min. Las muestras fueron incubadas a una T° de 37°C por 3 horas.



Por consiguiente, se enfriaron los tubos de ensayo en un baño de hielo



7



Agregando 1 mL de ácido sulfúrico (H_2SO_4) al 85%, agitándolo constantemente.

8

Así mismo, se agregó agua destilada hasta completar 5 mL (570ul), ya que el volumen final por cada concentración es de 5 mL



9

Agitándolos en un Vortex a 1400 rpm por 1 min, hasta que se aprecie una fase homogénea.

10



Finalmente, se dio la lectura en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 521 nm.

11

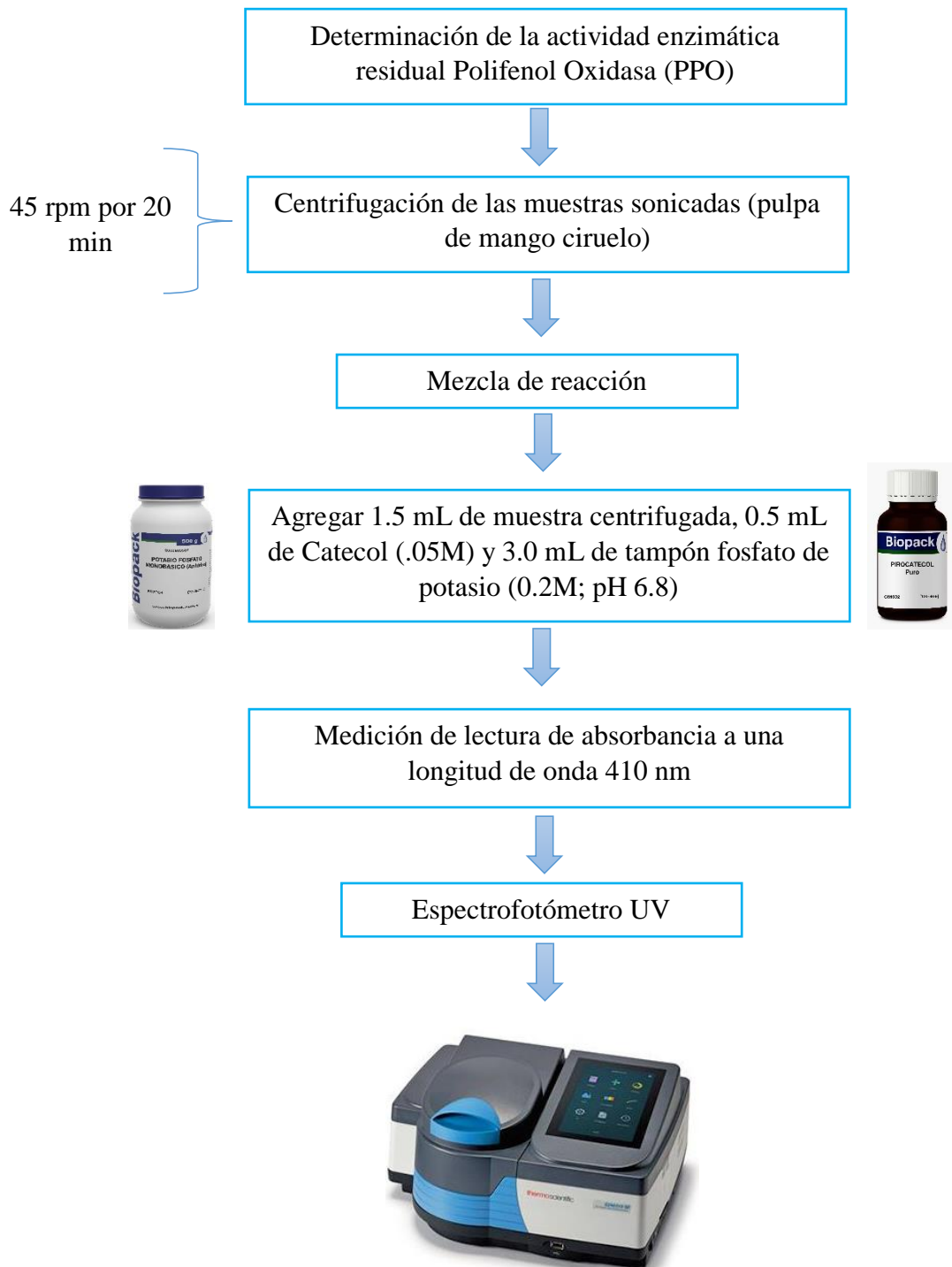
Tomando nota de sus respectivas mediciones de absorbancias

12

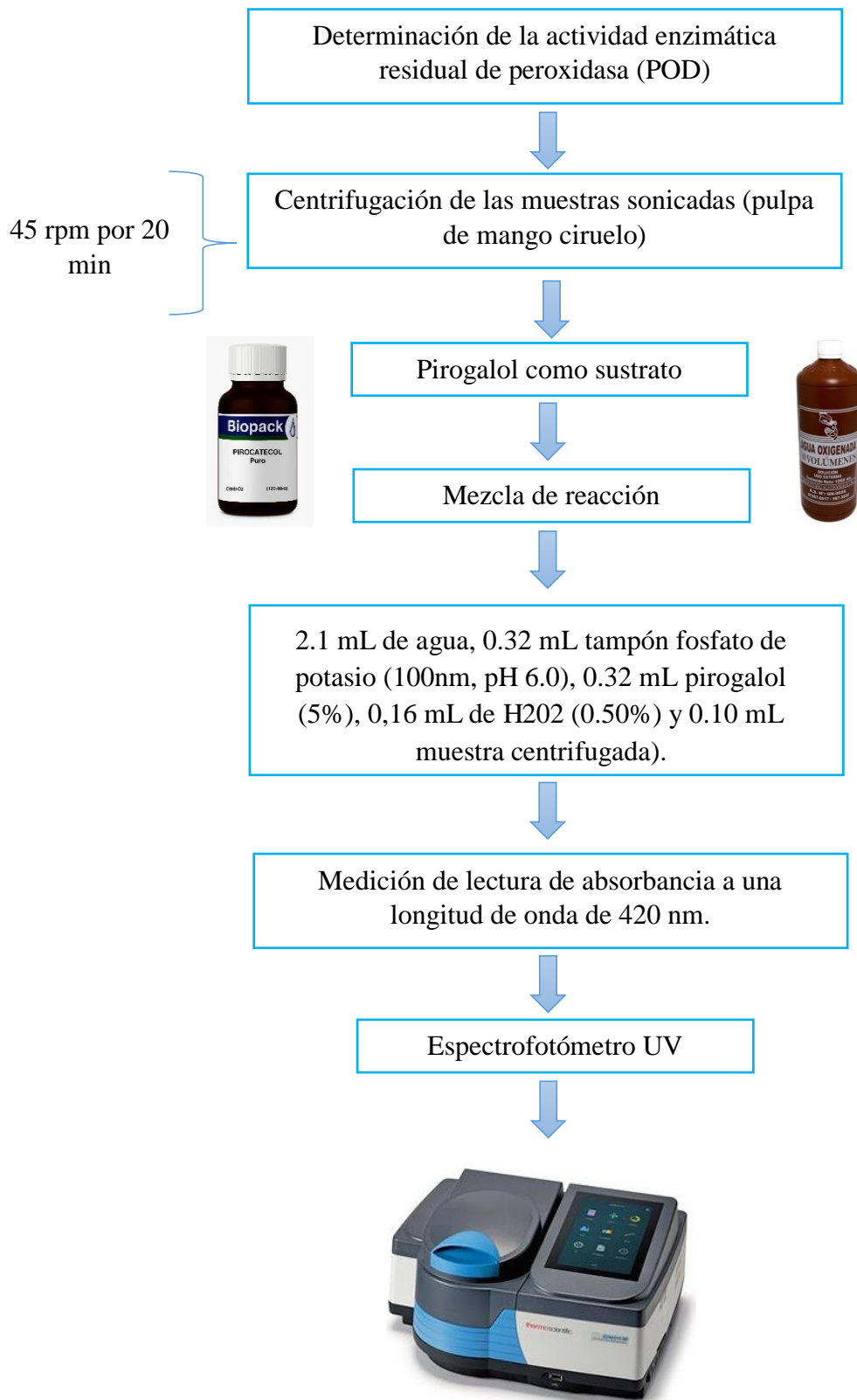


- **Inactivación enzimática (polifenol oxidasa)**

La determinación de inactivación enzimática residual fue realizada según la descripción por Ríos, E., et al (2018). Para eso se planificó la siguiente metodología:



- **Inactivación enzimática (peroxidasa)**



2.1.6. Análisis de datos

Para el desarrollo de esta presente investigación se empleó un diseño estadístico de arreglo factorial de tipo 2 x 2; el factor frecuencia (37- 80 kHz) y el factor de tiempo de exposición al ultrasonido (20 min- 30 min). Como se muestra en la presente tabla 6

Tabla 6

Plan experimental en el zumo tratado con ultrasonido, sobre las características fisicoquímicas, inactivación enzimática y contenido de vitamina C.

Tratamiento	Frecuencia (kHz)	Tiempo (min)
T1	37 kHz	20 minutos
T2	37 kHz	30 minutos
T3	80 kHz	20 minutos
T4	80 kHz	30 minutos

Nota: Cada tratamiento se realizó por triplicado; y se expresaron tomando los promedios. Los datos que fueron obtenidos en la experimentación fueron analizados utilizando el análisis de varianza (*ANOVA*); debido que cumplieron con los supuestos requeridos por la teoría para utilizar los métodos paramétricos, lo que permitió establecer efecto significativo entre los tratamientos. Las diferencias entre las medias se analizaron mediante una prueba Tukey, con un nivel de significancia de $\alpha=0.05$. Se utilizó el Software especializado Statgraphics Centurión XVI.

3. RESULTADOS

3.1. Acidez Titulable

3.1.1. Efectos del ultrasonido en tiempo de exposición y frecuencia

Tabla 7

Prueba Anova para los valores de acidez titulable en el zumo tratado con ultrasonido

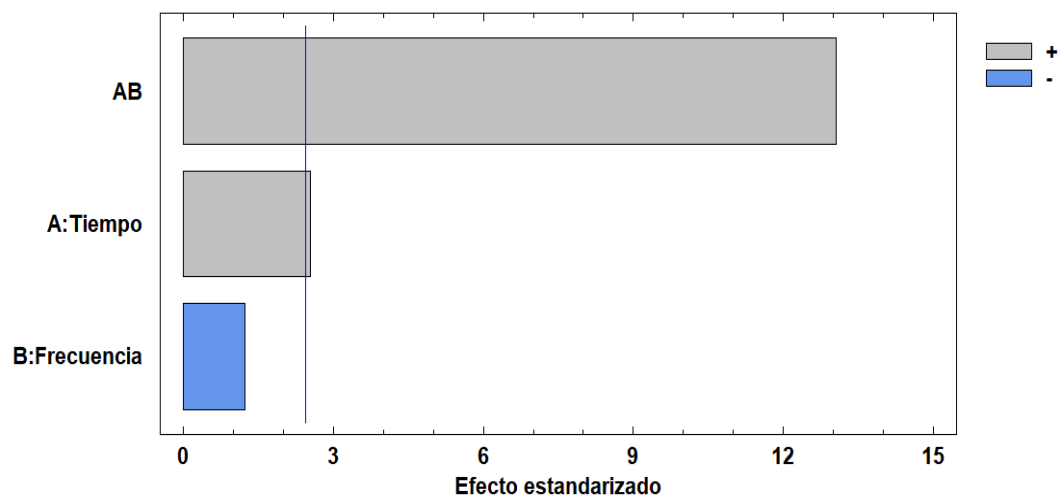
F.V	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Frecuencia	.001	1	.001	1.142	.316
Tiempo	.003	1	.003	4.878	.058
Frecuencia * Tiempo	.086	1	.086	128.330	.000
Error	.005	8	.001		
Total	4.824	12			

R al cuadrado = ,999 (R al cuadrado ajustada = ,998)

Nota: Se ha realizado un análisis de varianza a un 95% de nivel de confianza obteniendo un p- valor mayor al 0.05, es decir las variables independientes no producen efecto en la acidez titulable, sin embargo se evidencia que la interacción factor frecuencia y tiempo (A*B) presenta diferencia significativa.

Figura 15

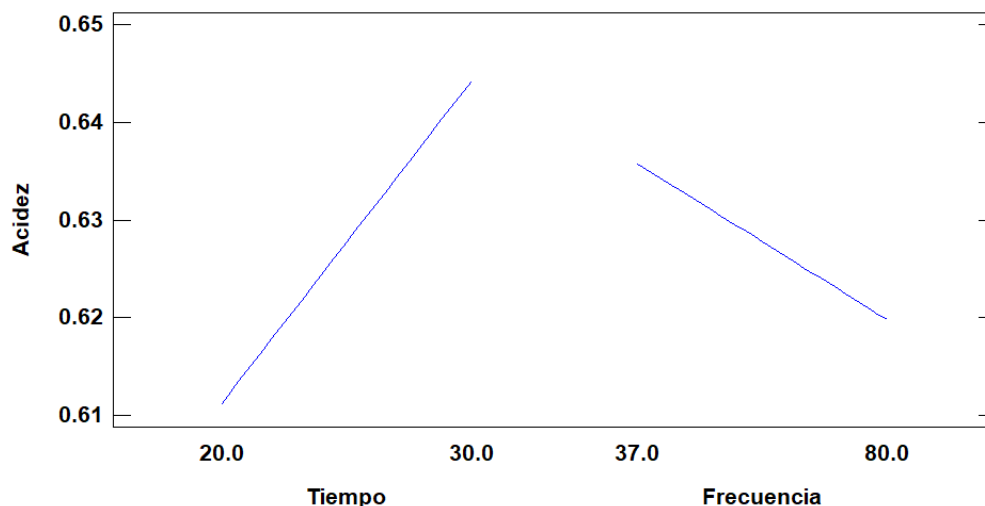
*Diagrama de Pareto del tiempo, frecuencia e interacción de frecuencia*tiempo en acidez titulable*



Nota: En la figura 15 se determina que existe mayor efecto en la interacción del factor tiempo y frecuencia respecto al contenido de la acidez titulable en el zumo tratado con ultrasonido.

Figura 16

Gráfico de interacción del tiempo y frecuencia en acidez titulable.



Nota: En la figura 16 evidencia que, al aplicar más tiempo de exposición en el ultrasonido, la acidez del zumo tratado con el mismo tiende a aumentar, sin embargo, al aplicar la frecuencia de 80 kHz el contenido de acidez titulable decrece.

3.2. pH (Potencial de hidrogeno)

Tabla 8

Prueba Anova para los valores de pH en zumo con exposición al ultrasonido

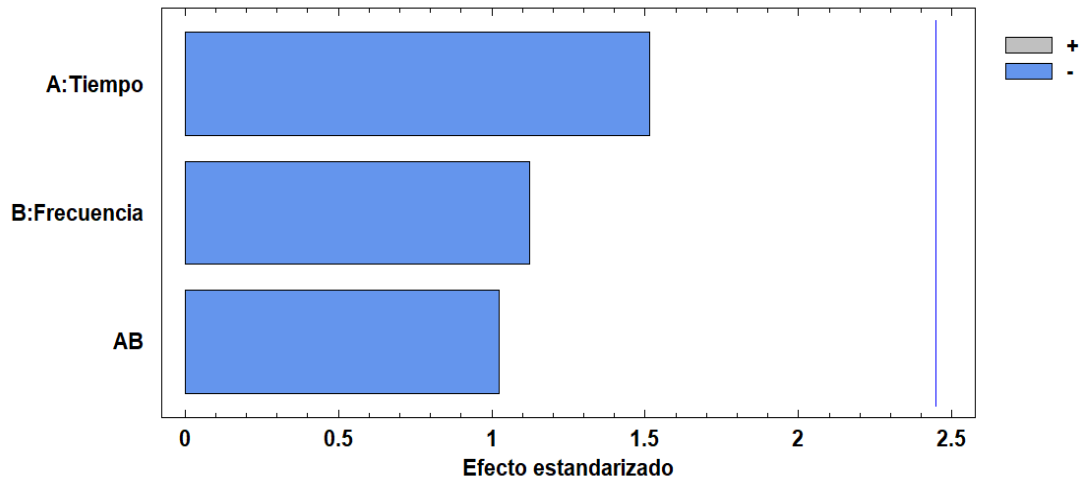
F.V	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Frecuencia	.001	1	.001	.205	.662
Tiempo	.016	1	.016	3.975	.081
Frecuencia * Tiempo	.010	1	.010	2.374	.162
Error	.032	8	.004		
Total	125.771	12			

a. R al cuadrado = 1,000 (R al cuadrado ajustada = 1,000)

Nota: En la tabla 8 muestra que el pH del zumo tratado con ultrasonido, las variables independientes e interacción (Frecuencia*Tiempo), no producen efecto significativo, dado que; los valores son superiores a p- valor de 0.05.

Figura 17

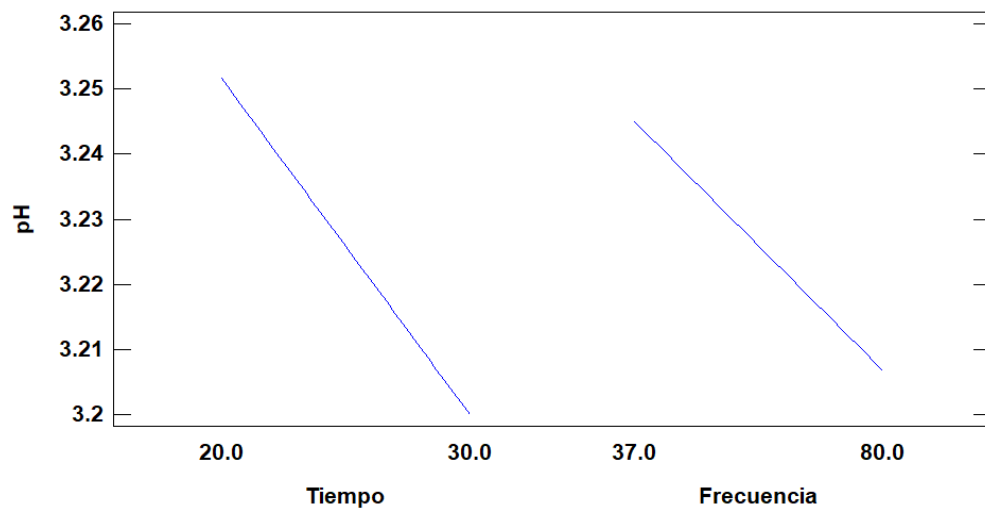
*Diagrama de Pareto del tiempo, frecuencia e interacción de frecuencia*tiempo en pH*



Nota: La figura 17, se evidencia que las variables independientes e interacción (A*B), no generan efecto del pH en el zumo del mango ciruelo tratado con ultrasonido.

Figura 18

Gráfico de interacción en tiempo y frecuencia en el contenido de pH.



Nota: La figura 18 demuestra la tendencia del pH en el zumo de mango ciruelo tratado con ultrasonido, es decir, al aplicar mayor frecuencia y tiempo de exposición el contenido de pH disminuye sus promedios.

3.3. Colorimetría

3.3.1. Coordenada a*

Tabla 9

Prueba Anova para los valores de la coordenada a en zumo con exposición al ultrasonido*

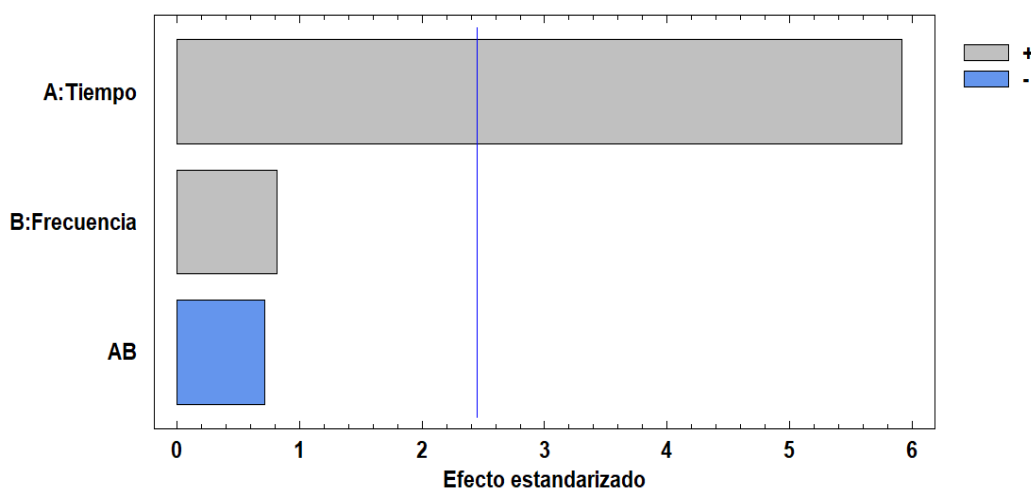
F.V	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Frecuencia	.002	1	.002	.486	.506
Tiempo	.126	1	.126	25.427	.001
Frecuencia * Tiempo	.002	1	.002	.378	.556
Error	.040	8	.005		
Total	3.200	12			

a. R al cuadrado = ,988 (R al cuadrado ajustada = ,981)

Nota: En tabla 9 se expone que existió efecto del ultrasonido en los diferentes niveles del factor tiempo, dado que, el valor de la Sig. es menor a 0.05 mientras que, en los niveles de la frecuencia y la interacción de los factores no hubo efecto en la coordenada a* por colorimetría en el zumo de mango ciruelo tratado con ultrasonido.

Figura 19

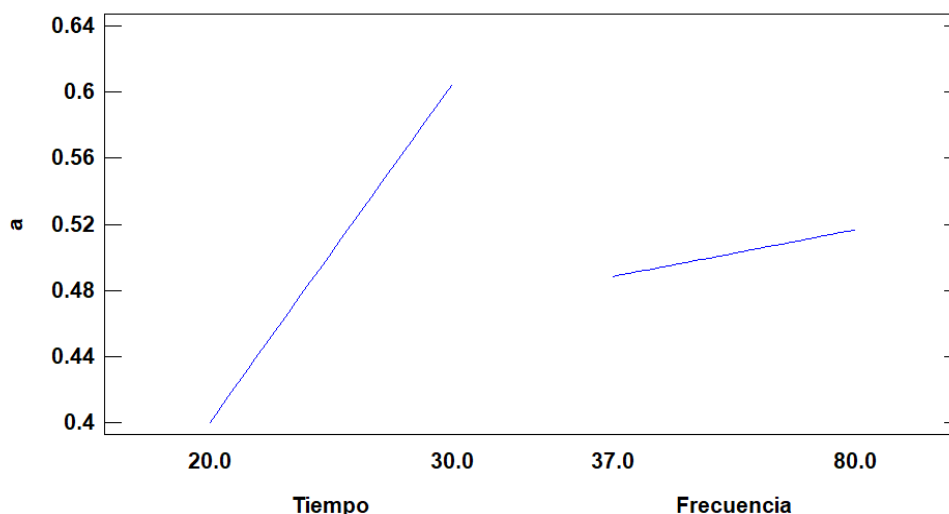
*Diagrama de Pareto del tiempo, frecuencia e interacción de frecuencia*tiempo en colorimetría por coordenada a+ en el zumo de mango ciruelo tratado por ultrasonido.*



Nota: La figura 19 evidencia que el factor tiempo de exposición al ultrasonido es el que produce efecto en la coordenada a* por colorimetría, mientras que, el factor frecuencia y la interacción de ambos, no producen efecto significativo.

Figura 20

Gráfico de interacción en tiempo y frecuencia de la coordenada a por colorimetría*



Nota: La figura 20, se evidencia que a mayor tiempo sometido al baño de ultrasonido el color tiende a aumentar, sin embargo, al aplicar una frecuencia de 37 kHz logra disminuir.

3.3.2. Coordenada B

Tabla 10

Prueba Anova para los valores de coordenada b en zumo con exposición al ultrasonido*

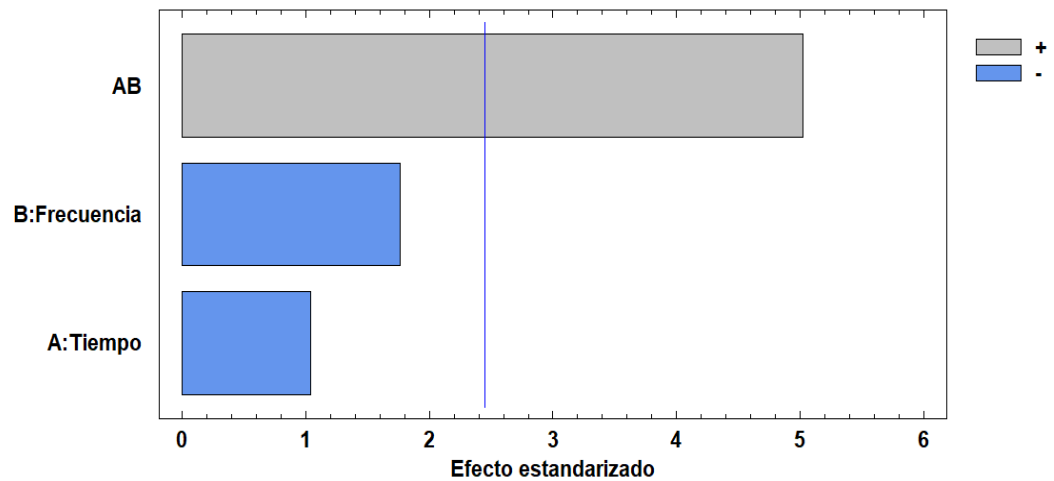
F.V	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Frecuencia	1.172	1	1.172	4.705	.062
Tiempo	.407	1	.407	1.634	.237
Frecuencia*Tiempo	9.487	1	9.487	38.088	.000
Error	1.993	8	.249		
Total	2370.943	12			

a. R al cuadrado = ,999 (R al cuadrado ajustada = ,999)

Nota: La tabla 10, evidencia que las variables de forma independiente no son significantes, sin embargo, en la interacción de Frecuencia* Tiempo si existe diferencia significativa ($p < 0.05$) en la coordenada b* por colorimetría en el zumo de mango ciruelo tratado con ultrasonido.

Figura 21

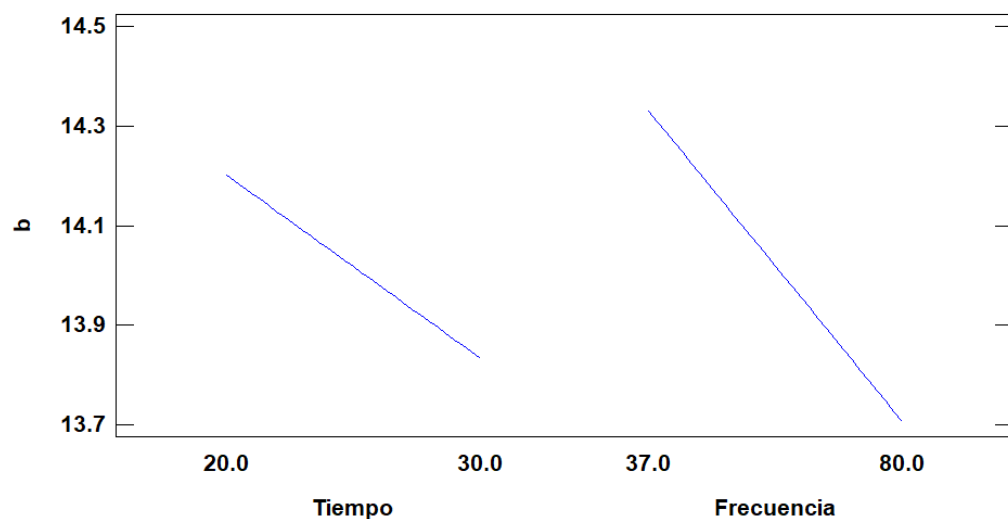
*Diagrama de Pareto del tiempo, frecuencia e interacción de frecuencia*tiempo en coordenada b* por colorimetría*



Nota: En la figura 21, demuestra que la coordenada b* existe efecto significativo en el factor interacción de frecuencia* tiempo (A*B), lo cual genera cambio de viraje de color amarillo en el zumo de mango ciruelo, sin embargo, las variables independientes no producen efecto significativo.

Figura 22

Gráfico de interacción en tiempo y frecuencia de la coordenada b en el zumo de mango ciruelo sometido al ultrasonido*



Nota: En la figura 22, se evidencia que a un mayor tiempo de exposición de 20 min la coordenada b* por colorimetría tiende a disminuir el viraje de color amarillo, así mismo, esta sucede a una mayor frecuencia de 80 kHz.

3.3.3. Luminosidad

Tabla 11

Prueba Anova para los valores de luminosidad en zumo con exposición al ultrasonido

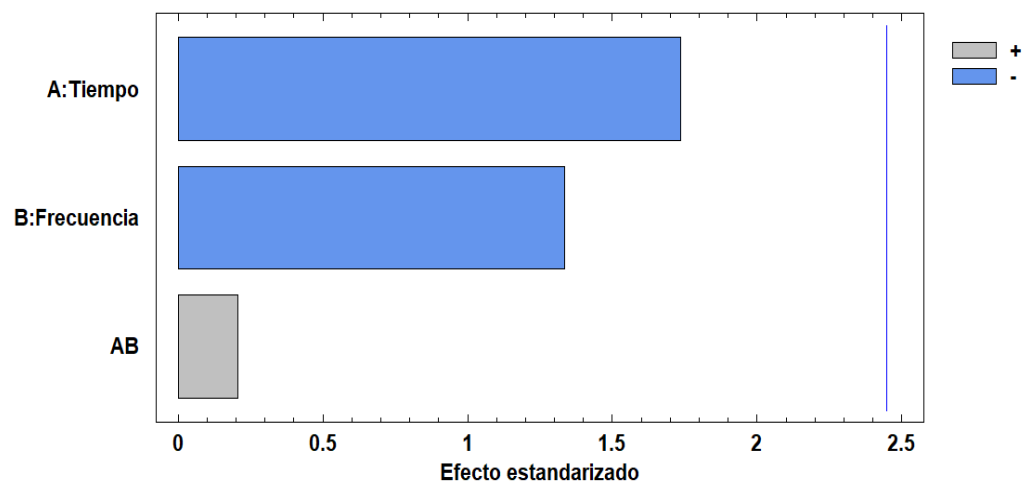
F.V	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Frecuencia	1.191	1	1.191	2.176	.178
Tiempo	2.017	1	2.017	3.686	.091
Frecuencia* Tiempo	.028	1	.028	.051	.827
Error	4.378	8	.547		
Total	23433.617	12			

a. R al cuadrado = 1,000 (R al cuadrado ajustada = 1,000)

Nota: En la tabla 11 muestra que no existió efecto significativo en ninguna de las variables aplicadas tanto de manera independiente e interacción (A*B), los valores de significancia mostraron ser superiores al valor ($p < 0.05$), por lo tanto, indica que la luminosidad no ha sido afectada en el zumo de mango ciruelo tratado con ultrasonido.

Figura 23

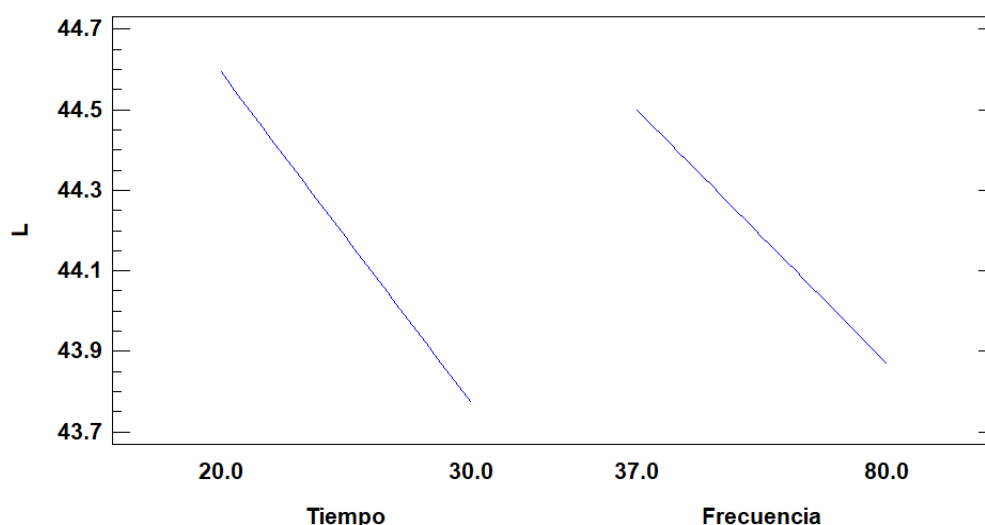
*Diagrama de Pareto del tiempo, frecuencia e interacción de frecuencia*tiempo en luminosidad por colorimetría en el zumo de mango ciruelo tratado por ultrasonido*



Nota: En la figura 23 demuestra que la luminosidad del zumo de mango ciruelo no existió efecto significativo en ninguna de las variables aplicadas, tanto de manera independiente como factor interacción.

Figura 24

Gráfico de interacción en tiempo y frecuencia en luminosidad en el zumo de mango ciruelo sometido al ultrasonido



Nota: En la figura 24, se evidencia que estas tendencias del gráfico son similares y ajustadas no siendo significantes; por lo tanto, se observa que a mayor frecuencia y tiempo de exposición la luminosidad tiende a aumentar oscilando un valor de 44.6 % de luminosidad en el zumo tratado con ultrasonido.

3.4. Sólidos solubles

Tabla 12

Prueba Anova para los valores de sólidos solubles en zumo con exposición al ultrasonido

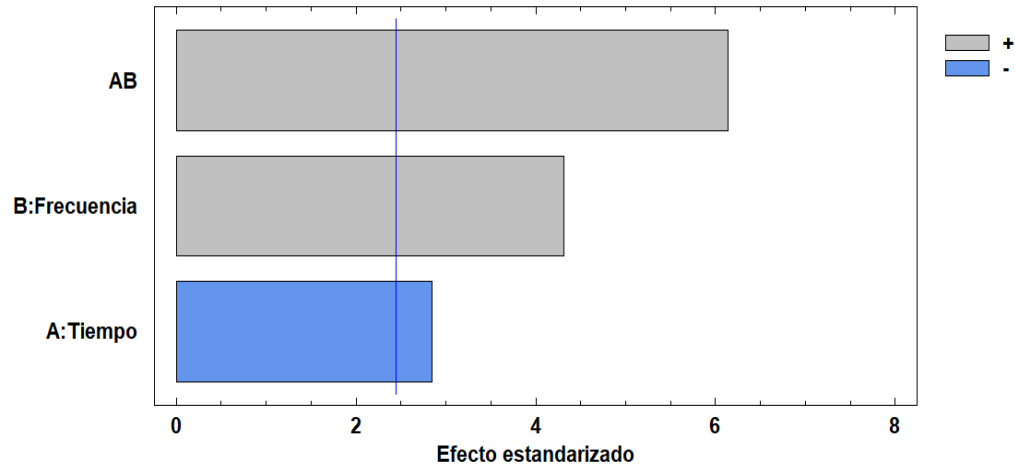
F.V	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Frecuencia	1.841	1	1.841	12.480	.008
Tiempo	.801	1	.801	5.429	.048
Frecuencia * Tiempo	3.741	1	3.741	25.362	.001
Error	1.180	8	.148		
Total	2698.570	12			

a. R al cuadrado = 1,000 (R al cuadrado ajustada = ,999)

Nota: En la tabla 12, se detalla el cuadro Anova de sólidos solubles en el zumo de mango ciruelo tratado con ultrasonido, lo cual las tres variables aplicadas presentaron ser inferiores a un p valor < 0.05 siendo significantes, es decir; las variables independiente e interacción factor frecuencia y tiempo (A*B), si existió diferencia significativa en contenido de grados °Brix.

Figura 25

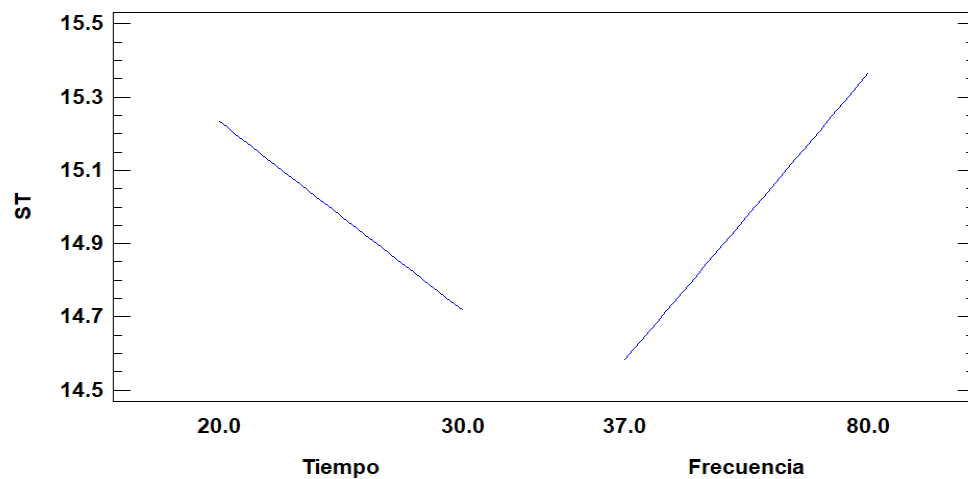
*Diagrama de Pareto del tiempo, frecuencia e interacción de frecuencia*tiempo en sólidos solubles en el zumo de mango ciruelo tratado por ultrasonido.*



Nota: En la figura 25, presenta que existió diferencia significativa en las variables de frecuencia, tiempo e interacción factor A*B, por lo cual, indica que estas al mezclarse de manera independiente también logran generar un efecto significativo en sólidos solubles.

Figura 26

Gráfico de interacción en tiempo y frecuencia en sólidos solubles en el zumo de mango ciruelo sometido al ultrasonido



Nota: En la figura 26 muestra que el tiempo de exposición al ultrasonido a un mayor tiempo de 30 min, existe disminución de contenido de sólidos totales fluctuando entre 14.7%, sin embargo; el factor frecuencia a 37 kHz aumenta sus grados °Brix hasta un 15.5%.

3.5. Inactivación enzimática

3.5.1. Polifenol Oxidasa (PPO)

Tabla 13

Prueba Anova para los valores de inactivación enzimática de polifenol oxidasa en zumo con exposición al ultrasonido.

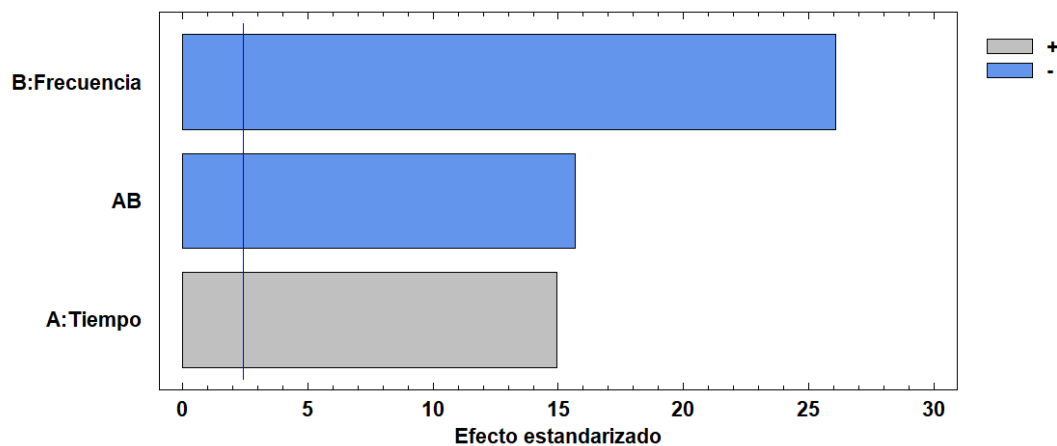
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Tiempo	0.0233	1	0.0233	223.22	0.0000
Frecuencia	0.0709	1	0.0709	679.55	0.0000
Frecuencia*Tiempo	0.0256	1	0.0256	245.70	0.0000
Error total	0.0006	6	0.0001		
Total (corr.)	0.1207	11			

R-cuadrada = 99.4807 (R-cuadrada ajustada por g.l. = 99.0479) por ciento

Nota: En la tabla 13, demuestra que produjo efecto significativo en inactivación enzimática de polifenol oxidasa en el zumo de mango ciruelo tratado con ultrasonido, es decir; las tres variables aplicadas de manera independiente e factor interacción de ambas variables presentaron valores inferiores a un p valor < 0.05, generando efecto significativo.

Figura 27

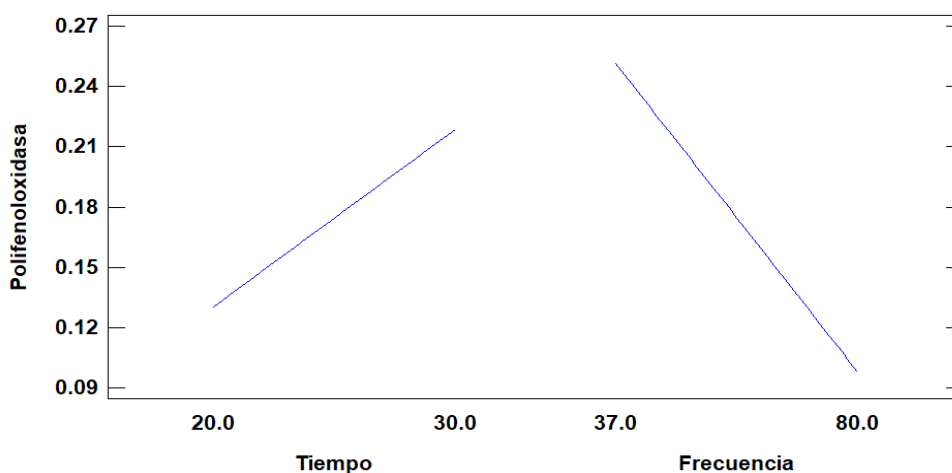
*Diagrama de Pareto del tiempo, frecuencia e interacción de frecuencia*tiempo en polifenol oxidasa en el zumo de mango ciruelo tratado por ultrasonido*



Nota: Tal como se muestra en la figura 27 las variables de manera independiente e factor de interacción son significantes, por lo cual; existió efecto en la enzima polifenol oxidasa en el zumo tratado con ultrasonido.

Figura 28

Gráfico de interacción en tiempo y frecuencia en la enzima polifenol oxidasa en el zumo de mango ciruelo sometido al ultrasonido.



Nota: La figura 28, muestra las tendencias en función al tiempo de exposición y frecuencia, lo cual se evidencia que el factor tiempo de exposición de 30 min al ultrasonido sus niveles de absorbancias aumentan, sin embargo, al aplicar frecuencia de 80 kHz la enzima polifenol oxidasa tiende a disminuir, por ende; logra desnaturalizarse.

3.5.2. Peroxidasa (POD)

Tabla 14

Prueba Anova para los valores de la enzima peroxidasa en zumo con exposición al ultrasonido

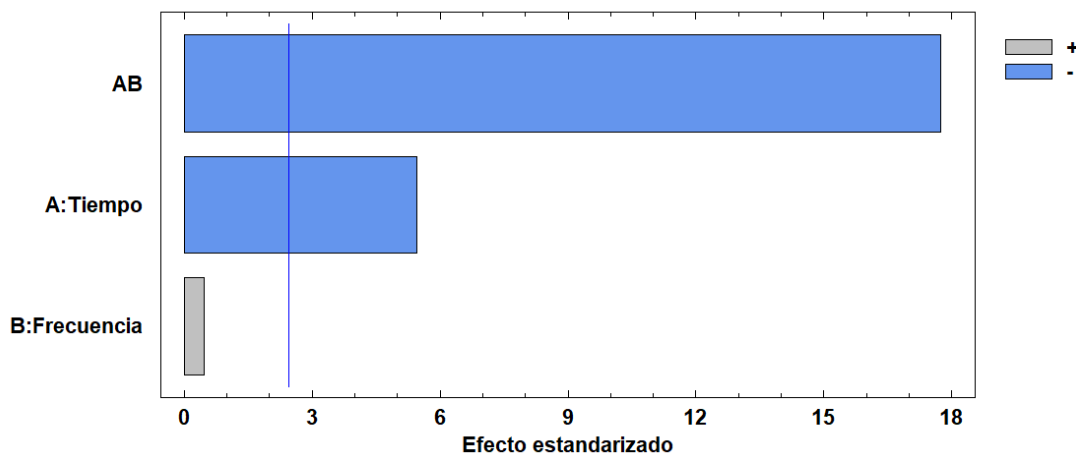
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Tiempo	0.1026	1	0.1026	29.87	0.0016
Frecuencia	0.00073	1	0.00073	0.21	0.6598
Tiempo*Frecuencia	1.0812	1	1.0812	314.58	0.0000
Error total	0.02062	6	0.00343		
Total (corr.)	1.20662	11			

R-cuadrada = 98.2909 (R-cuadrada ajustada por g.l. = 96.8667) porciento

Nota: La tabla 14, muestra la prueba Anova, lo cual; evidencia que existió efecto significativo, obteniendo un p valor mayor al 0.05 en la variable frecuencia. Sin embargo, en la combinación factor frecuencia y tiempo (A*B) y el tiempo de exposición presenta diferencia significativa en inactivación enzimática residual de peroxidasa en el zumo de mango ciruelo tratado con ultrasonido.

Figura 29

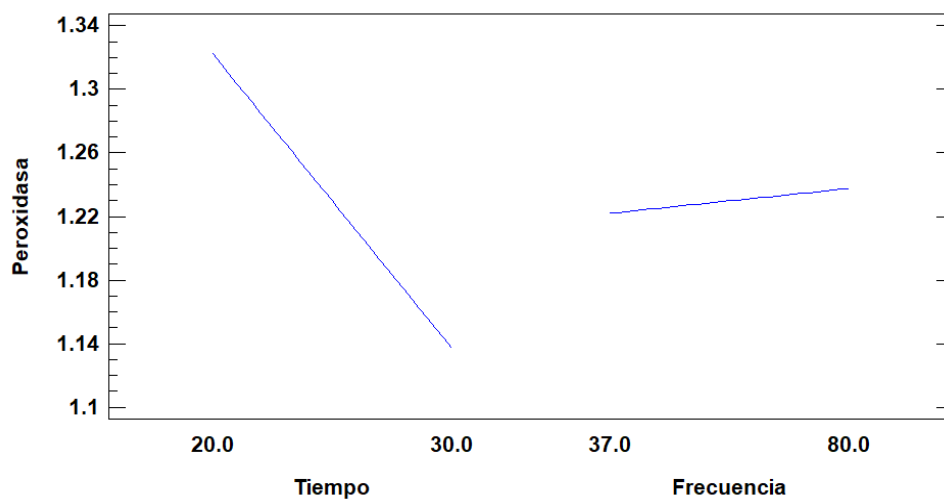
*Diagrama de Pareto del tiempo, frecuencia e interacción de frecuencia*tiempo en peroxidasa (POD) en el zumo de mango ciruelo tratado por ultrasonido*



Nota: La figura 29 muestra el efecto en el tiempo de exposición y la combinación de ambas (Frecuencia* Tiempo) siendo significativas, lo cual; existió variación en las mediciones de absorbancias en la enzima peroxidasa en el zumo de mango ciruelo tratado con ultrasonido, sin embargo, el factor frecuencia de manera independiente no ejerce un efecto significativo como tal.

Figura 30

Gráfico de interacción en tiempo y frecuencia de la enzima peroxidasa en el zumo de mango ciruelo sometido al ultrasonido



Nota: La figura 30 evidencia que el ultrasonido al ser expuesto en un tiempo de 30 min y una frecuencia de 80 kHz, tiende a disminuir, es decir la enzima peroxidasa logra obtener actividad residual menor.

3.6. Vitamina C (ácido Ascórbico)

Tabla 15

Prueba Anova para los valores de vitamina C en zumo con exposición al ultrasonido

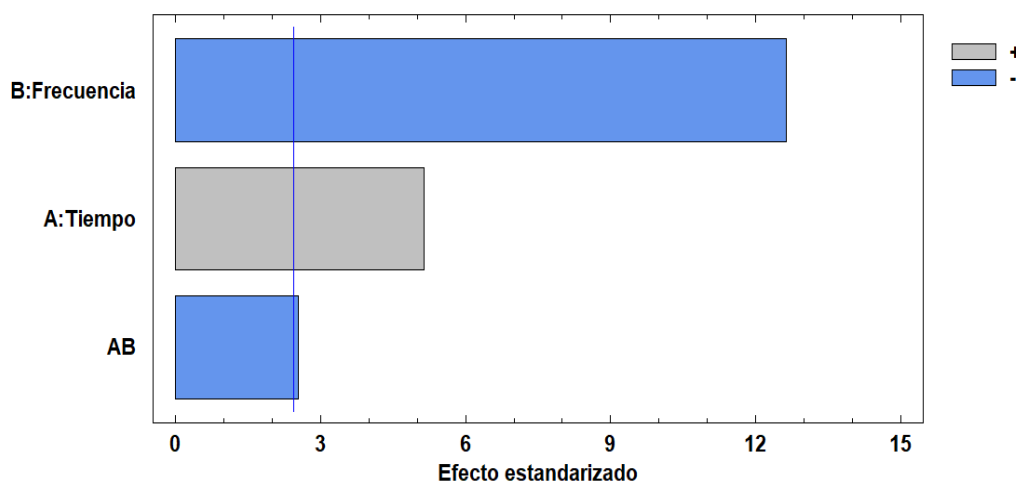
F.V	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Frecuencia	316.111	1	316.111	183.088	.000
Tiempo	52.375	1	52.375	30.335	.001
Frecuencia* Tiempo	12.751	1	12.751	7.385	.026
Error	13.812	8	1.727		
Total	13983.593	12			

a. R al cuadrado = ,999 (R al cuadrado ajustada = ,999)

Nota: La tabla 15, detalla las variables independientes e factor interacción frecuencia y tiempo (A*B), indicando que producen efecto significativo en el contenido de vitamina C en el zumo tratado con ultrasonido dado que los valores son inferiores a p- valor < 0.05.

Figura 31

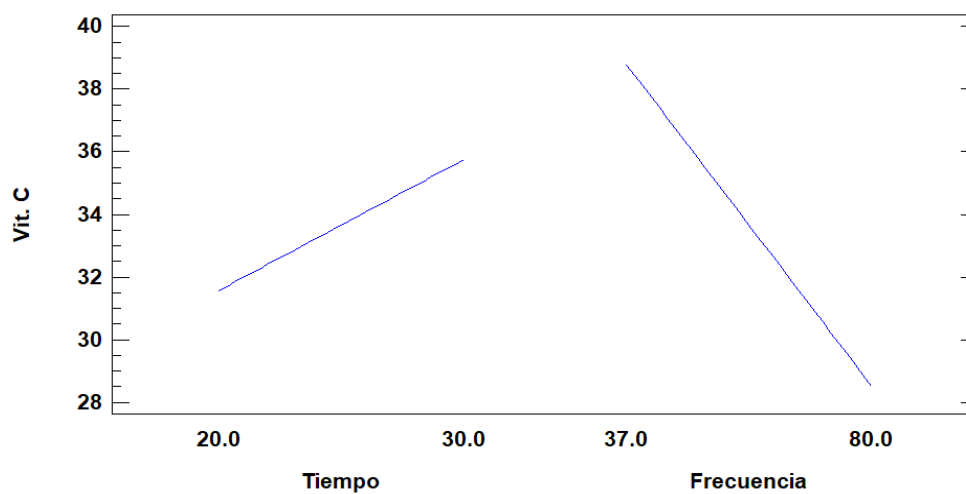
*Diagrama de Pareto del tiempo, frecuencia e interacción de frecuencia*tiempo en contenido de vitamina C (ácido ascórbico) en el zumo de mango ciruelo tratado por ultrasonido*



Nota: La figura 31 evidencia que existió efecto en cada uno de los factores de manera independiente y combinación de ambas (Frecuencia*tiempo) en el contenido de vitamina C en el zumo de mango ciruelo tratado con ultrasonido. Así mismo, resalta que el factor frecuencia logra un mayor efecto significativo.

Figura 32

Gráfico de interacción en tiempo y frecuencia del contenido de vitamina C en el zumo de mango ciruelo sometido al ultrasonido



Nota: La figura 32 muestra a una función de mayor tiempo de exposición de 30 min al ultrasonido el contenido de vitamina C en el zumo de mango ciruelo tratado con ultrasonido aumenta, sin embargo; a una frecuencia de 80 kHz decrece.

Tabla 16

Análisis de varianza (ANOVA), y prueba Tukey en la muestra control y tratamientos planteados en el zumo de mango ciruelo tratado con ultrasonido.

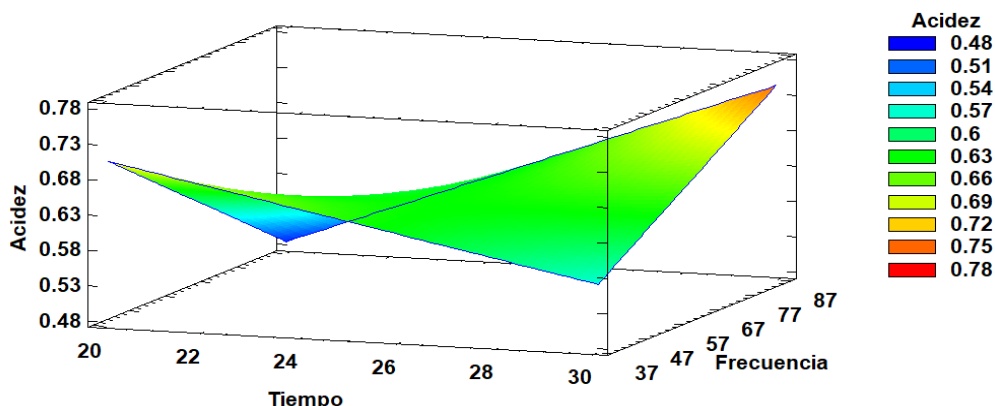
Variables	Control	T1	T2	T3	T4	p valor
Acidez T. (%)	0.619 ± 0.00 ^{ab}	0.704 ± 0.00 ^a	0.567 ± 0.04 ^{bc}	0.518 ± 0.00 ^c	0.721 ± 0.01 ^a	0.00
pH	3.22 ± 0.02 ^a	3.25 ± 0.07 ^a	3.24 ± 0.08 ^a	3.25 ± 0.00 ^a	3.16 ± 0.02 ^a	0.19
Grados °Brix (%)	15.09 ± 0.146 ^{ab}	15.40 ± 0.10 ^a	13.76 ± 0.15 ^b	15.06 ± 0.11 ^{ab}	15.66 ± 0.73 ^a	0.01
Luminosidad (%)	42.96 ± 0.500 ^a	44.95 ± 0.45 ^a	44.04 ± 0.98 ^a	44.23 ± 0.92 ^a	43.50 ± 0.38 ^a	0.00
Coordenada a* (%)	0.5816 ± 0.04 ^a	0.373 ± 0.05 ^a	0.603 ± 0.07 ^a	0.427 ± 0.08 ^a	0.607 ± 0.07 ^a	0.01
Coordenada b* (%)	14.225 ± 0.26 ^{ab}	15.40 ± 0.41 ^a	13.25 ± 0.75 ^b	13.00 ± 0.67 ^b	14.41 ± 0.30 ^{ab}	0.00
Pol. Oxidasa (%)	0.1374 ± 0.00 ^c	0.161 ± 0.00 ^b	0.342 ± 0.02 ^a	0.100 ± 0.00 ^c	0.095 ± 0.00 ^c	0.00
Peroxidasa (%)	1.210 ± 0.02 ^c	1.014 ± 0.01 ^d	1.430 ± 0.09 ^b	1.630 ± 0.05 ^a	0.800 ± 0.00 ^e	0.00
Vitamina C (mg/ 100gr)	29.63 ± 0.46 ^c	35.66 ± 1.02 ^b	41.90 ± 1.45 ^a	27.46 ± 1.14 ^c	29.58 ± 1.57 ^c	0.03

Nota: En la tabla 16 se observan los valores promedios ± desviación estándar, en 5 subconjuntos homogéneos ^{a, b, c, d, e} resultantes a la prueba Tukey, es decir, los tratamientos que no comparten letra de manera estadística son diferentes. El p valor < 0.05 indica diferencia estadística entre los tratamientos, según características fisicoquímicas, inactivación enzimática (Oxidasa, Peroxidasa) = expresada en mediciones de absorbancias, contenido de vitamina C y acidez titulable expresado en ácido cítrico. Así mismo, los resultados del p valor evidencian que los tratamientos producen el mismo efecto, en la variable pH y la variable luminosidad (%).

3.7. Determinación del tratamiento óptimo en la evaluación de las variables sobre las propiedades fisicoquímicas, inactivación enzimática y contenido de vitamina C.

Figura 33

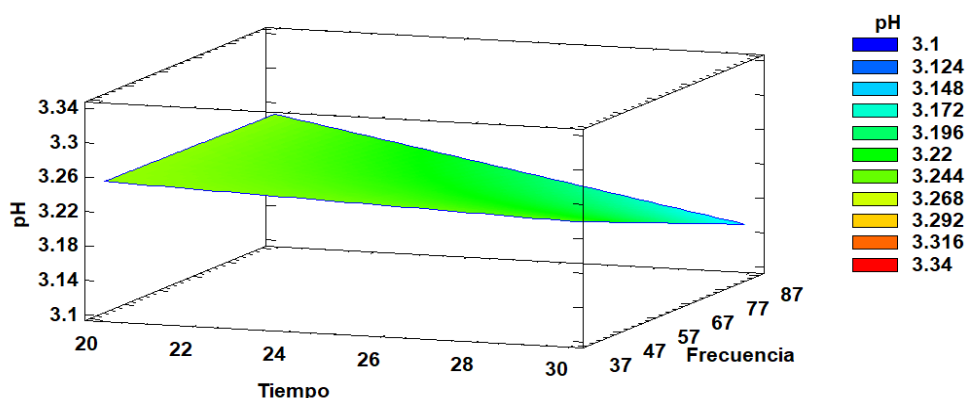
Gráfica de superficie respuesta del tiempo y frecuencia al zumo tratado con ultrasonido en acidez titulable



Nota: La figura 33 evidencia los valores de acidez titulable fluctuando entre 0.48% a 0.78%, lo cual, al aplicar una frecuencia de 37 kHz a un tiempo de 20 min, obtuvo una acidez titulable a 0.704%, así mismo, al ser sometido a una frecuencia de 80 kHz por 30 min, tiende a aumentar a 0.721%, siendo el tratamiento óptimo (T2). Sin embargo, la acidez titulable disminuye en función a una frecuencia de 37 kHz por 30 min oscilando a 0.57 %, por último, la frecuencia de 80 kHz por 20 min también demostró una disminución de 0.518% respectivamente.

Figura 34

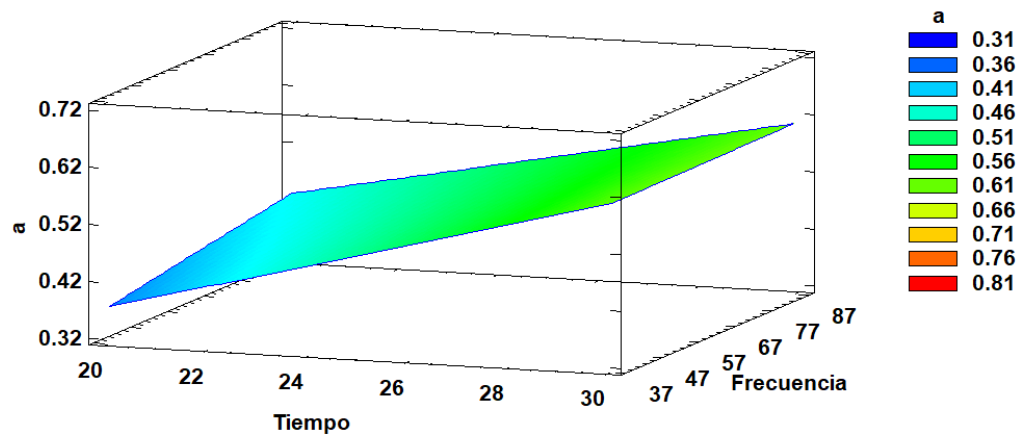
Gráfica de superficie respuesta del tiempo, frecuencia al zumo con ultrasonido en pH



Nota: La figura 34 muestra el contenido de pH, las muestras tuvieron un valor mínimo de 3.1 y máximo de 3.34. De modo que, al aplicar la frecuencia de 37 kHz y tiempo de exposición 20 min al ultrasonido obtuvo un pH de 3.24, sin embargo, a la frecuencia de 80 kHz y tiempo de exposición de 30 min este valor disminuyó a 3.16.

Figura 35

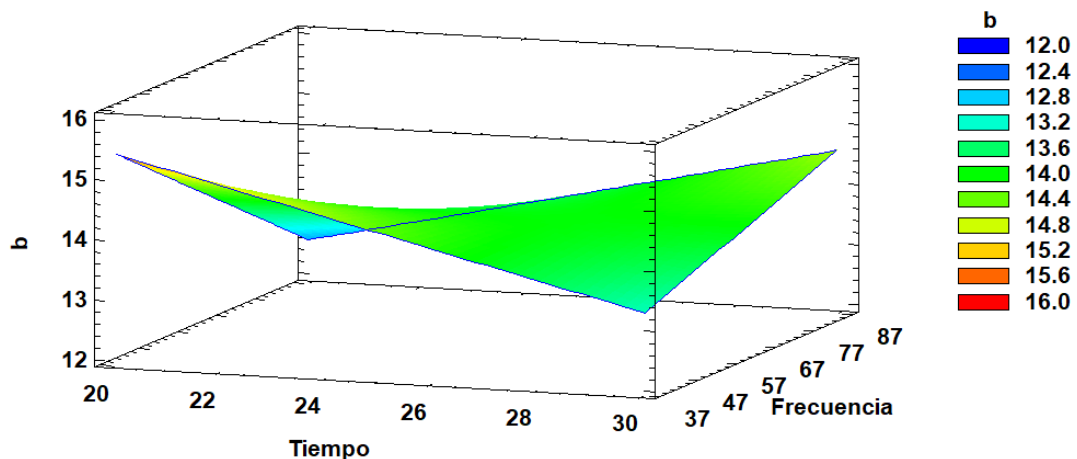
*Gráfica de superficie respuesta de la frecuencia y tiempo al ultrasonido en coordenada a**



Nota: La figura 35 muestra la coordenada a* por colorimetría lo cual detalla que al aplicar frecuencias de 37 kHz y 80 kHz en un tiempo de 20 min el viraje de color amarillo disminuye en 0.37% y 0.42% respectivamente, sin embargo, al aplicar un tiempo de 30 min a una frecuencia de 80 kHz el viraje de color amarillo aumenta a 0.61% siendo el más óptimo (T4). Por último, la frecuencia de 37 kHz por 30 min preserva su viraje de color amarillo en el zumo de mango ciruelo oscilando a 0.603%.

Figura 36

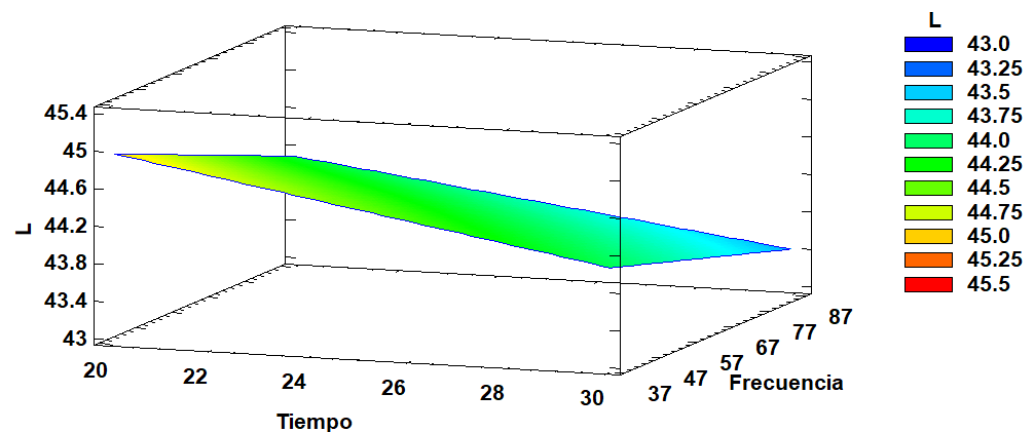
Gráfica de superficie respuesta de la frecuencia y tiempo en la coordenada b en la muestra de mango ciruelo tratada con ultrasonido*



Nota: La figura 36 evidencia que el valor de la coordenada b* a una frecuencia de 37 kHz por un tiempo de exposición de 20 min logra aumentar hasta 15.2% siendo el tratamiento óptimo indicado (T1), sin embargo, al aplicar un tiempo de 30 min logra disminuir a 13.2%. Posteriormente, al ser sometido a una frecuencia de 80 kHz en determinados tiempos de 20 y 30 min los valores fluctuaron entre 13.6% y 14.4% reduciendo el viraje de color amarillo.

Figura 37

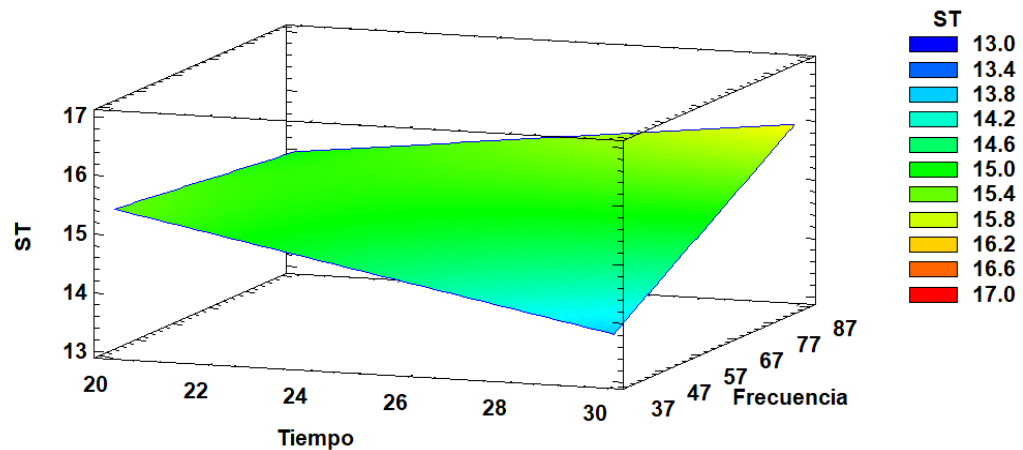
Gráfica de superficie respuesta de la frecuencia y tiempo en la luminosidad en la muestra de mango ciruelo tratada con ultrasonido



Nota: La figura 37 muestra que los valores de luminosidad oscilaron entre 43.5 % y 45.5 % ligeramente. Lo cual, evidencia que al someter el zumo de mango ciruelo a la frecuencia de 37 kHz y 30 min de exposición, se obtuvo el máximo valor y el mínimo, al aplicar la frecuencia de 80 kHz por 30 min de exposición.

Figura 38

Gráfica de superficie respuesta de la frecuencia y tiempo en los sólidos solubles en la muestra de mango ciruelo tratado con ultrasonido

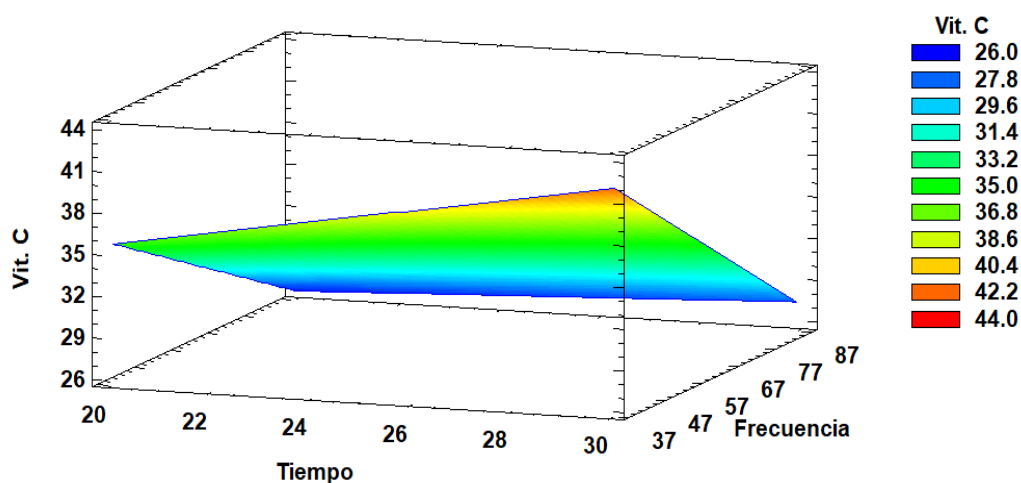


Nota: La figura 38 muestra que el tiempo de exposición al ultrasonido en un tiempo de 30 min y frecuencia de 37 kHz decreció a 13.8 % de contenido de grados °Brix, sin embargo, la variable frecuencia de 80 kHz en los dos determinados tiempos de 20 y 30 minutos, presentó mejor resultado en los valores, fluctuando entre 15.4 y 15.8% (T4), siendo este último, el tratamiento óptimo para la variable sólidos totales en el zumo de mango ciruelo tratado con ultrasonido.

Nota: La figura 40, demuestra que al ser sometido el zumo de mango ciruelo a la frecuencia de 37 kHz y 20 min de exposición, logra obtener una medición de absorbancia de 1.019 UA en el espectrofotómetro UV- visible, es decir; una actividad residual de 103.93%, mientras que, al aumentar el tiempo de exposición a 30 min, esta aumentó a 108.84%. Por otro lado, la absorbancia a la frecuencia de 80 kHz por 20 min se elevó a 1.60 UA y a 107.27% de actividad residual. Finalmente, se logra identificar que la frecuencia de 80 kHz a un tiempo de exposición de 30 min (T4) la enzima peroxidasa obtuvo una medición menor de absorbancia a 0.85 UA en el espectrofotómetro; dando como resultado una desnaturalización de 81.19% de actividad residual, siendo el parámetro óptimo en el zumo de mango ciruelo tratado con ultrasonido.

Figura 41

Gráfica de superficie respuesta de la frecuencia y tiempo en el contenido de vitamina C en la muestra de mango ciruelo tratada con ultrasonido



Nota: La figura 41, muestra los valores de contenido de vitamina C, lo cual la frecuencia de 37 kHz juega un rol importante en el zumo tratado con ultrasonido, ya que al ser sometido a un tiempo de exposición de 30 min (T2), logró obtener un contenido de vitamina C más alto a 42.2 mg/ 100gr de muestra, sin embargo, sometiendo el zumo al baño de ultrasonido con un tiempo de exposición de 20 min logró disminuir a 35.66 mg/ 100 gr de muestra. Por otro lado, la frecuencia de 80 kHz en un tiempo de exposición de 20 min produjo la menor cantidad de vitamina C a 27.46 mg/100gr

3.7.1. Optimización en base a función de deseabilidad en la aplicación de ultrasonido en el zumo de mango ciruelo (*Spondias mombin*)

Tabla 17

Parámetros aplicados en el equipo de ultrasonido en tiempo y frecuencia

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Tiempo	20.0	30.0	20.0
Frecuencia	37.0	80.0	37.0

Nota: La tabla 17 muestra el tiempo de exposición (20 min) y la frecuencia óptima (37 kHz), para obtener mejores resultados en el zumo de mango ciruelo sometido al ultrasonido.

Tabla 18

Optimización de resultados de cada una de las variables aplicadas

Respuesta	Óptimo
Acidez	0.704
Luminosidad	44.9567
Peroxidasa	1.01433
Polifenoloxidasa	0.161
Sólidos solubles	15.4
Vitamina C	35.6614

Nota: La tabla 18 evidencia los valores de la mayor eficiencia en la aplicación de 37 kHz por 20 min de tiempo exposición (T1) en la aplicación de ultrasonido en el zumo de mango ciruelo. Acidez titulable expresado en ácido cítrico, luminosidad, sólidos solubles en porcentaje (%), así mismo; enzima peroxidasa, oxidasas en mediciones de absorbancias, por último, el contenido de ácido ascórbico (Vit C) expresado en mg/ 100gr.

4. DISCUSIONES

Durante la determinación de la acidez titulable en el zumo de mango ciruelo sometido al ultrasonido, los valores mostrados en la figura 33 oscilaron entre 0.52% a 0.72% respectivamente, similar a la muestra control. Estos hallazgos demuestran valores similares a Santhirasegaram, et al. (2013), en su investigación sometieron el zumo de mango al equipo de ultrasonido a una frecuencia de 40 kHz y 25°C en temperatura, en tiempos de exposición de 15, 30 y 60 min, lo cual su porcentaje de acidez se estabilizó en 0.19%, equivalente a la muestra control.

Así mismo, en su investigación Cheng & otros (2017), elaboraron zumo de guayaba fresca sometiendo al equipo de ultrasonido a temperatura ambiente de 15 °C y 20 °C a una frecuencia de 35 kHz en un determinado tiempo de 30 min respectivamente, lo cual aquellos valores resultaron ser similares a la muestra control con un porcentaje de 0,46%. Por otro lado, Aadil, et al (2013). La acidez titulable del jugo de toronja en un sonicador tipo baño a una temperatura de 20 °C y a una frecuencia de 28 kHz en un tiempo de 30, 60 y 90 min, se mantuvieron sus valores al 0.16% equivalente a la muestra control. El efecto amortiguador al aplicar el ultrasonido es constante ya que ejercen componentes en la fruta (ácido citrato/ ácido cítrico) motivo por el cual equilibran el contenido de acidez en el zumo (Cheng, et al 2007).

Por otro lado, estos resultados de la presente investigación son similares a Pérez, C. (2019), lo cual analizó la acidez titulable en la pulpa de zarzamora sometido al ultrasonido en dos determinados tiempos de 20 y 45 min, a una frecuencia de 40 kHz, analizó estadísticamente con la prueba Duncan afirmando que el mejor tratamiento fue a un tiempo de exposición de 30 min y 40°C de temperatura, obteniendo un porcentaje de acidez al 2.68% respectivamente. Indicando que la temperatura juega un rol muy importante en esta aplicación, debido que a menor temperatura de 25°C esta tiende a disminuir su acidez titulable de la fruta.

Por consiguiente, en la figura 15 detalla cómo evoluciona en efecto significativo en la acidez de manera independiente en un gráfico de Pareto, identificando que la acidez aumenta significativamente en tiempo y la interacción de la frecuencia* tiempo. Dado que estos resultados demuestran ser similares a Porras, G (2011), donde realizó un estudio en el zumo de mango, determinando el efecto de la aplicación de las ondas del ultrasonido, la acidez titulable de la pulpa de mango obtuvieron un efecto significativo ($p < 0,05$) en el tiempo de exposición y la frecuencia de operación. Concluyendo que a un tiempo máximo de 60 min y una frecuencia de 45 kHz esta logró obtener una variación hasta un 43% en acidez titulable. Por ende, afirma que el aumento de acidez titulable en el zumo de mango se debe a la micro evaporación del agua, con la constante concentración del ácido cítrico que esta contiene.

Cabe mencionar, que la acidez titulable es una fuente primordial a tener en cuenta, debido a su efecto acidificante del ultrasonido, para una posible industrialización. Cheng, C. (2007). Investigó el efecto de carbonación y la sonicación del zumo de guayaba fresca en un tiempo de 30 min a una frecuencia de 25 kHz, presentando una concentración de acidez máxima, lo cual atribuyen posiblemente durante el proceso de cavitación que produce las ondas del baño de ultrasonido, esto logra degradar el oxígeno disuelto del zumo.

En un estudio de determinación de pH en pulpa de zarzamora demostraron que no existió diferencia significativa, esto concuerda con la presente tesis de tratamiento con ultrasonido en el mango ciruelo, como se detalla en la tabla 7 en el cuadro Anova, estos valores fluctuaron entre 3.31 a 3.34. Pérez, C. (2019) afirma que a igual temperatura el contenido de pH aumenta con el tiempo de exposición, lo cual hizo referencia sus valores desde 1.14 a 1.52 en la pulpa de zarzamora.

Hiraoka, et al (2005). Realizó una investigación de las consecuencias de irradiaciones ultrasónicas en las formaciones de los radicales libres, afirmó que al primer minuto de sonicación esta demostró la visión de radicales libres, así mismo, a los 5 min de irradiación alcanzó una formación mayor de hidroxilo (radicales OH⁻). En este sentido, asegura que el ligero aumento de contenido de pH se debe a la disminución de ácido ascórbico.

Zou, Y & Jiang, A. (2016), analizaron el efecto del tratamiento con ultrasonidos en 4 tiempos (0, 20, 40 y 60 min) y una frecuencia de 40 kHz en el zumo de zanahoria, demostró que su valor de contenido de pH en el tiempo de 60 min obtuvo un 5,25 mayor, mientras que a un menor tiempo esta logra disminuir a un valor de 5,21 en un tiempo de 20 min.

Así mismo, Rivas, C. (2007). Aplicó la técnica de ultrasonido en leche, determinando el efecto del contenido de pH, demostró que al ser sometido a una frecuencia de 22 kHz y a una temperatura de 30°C y al variar los tiempos de exposición de tiempo 0 a 35 min, sus valores fluctuaron entre 6,7 a 6,58 respectivamente.

Según Kharizov y Ortiz. (2005) la disminución de pH se debe a que la sonólisis genera disociación en grupos OH⁻ y H⁺ de las moléculas de agua, logrando liberar iones hidrogeniones al medio. El pH además de ser una medida de la intensidad del sabor ácido de un producto, es primordial controlar el crecimiento de la población microbiana y la actividad del sistema enzimático. Medina, M & Pagano, F. (2003).

Con respecto a los sólidos solubles (ver figura 25), si existe diferencia significativa tanto en la frecuencia, tiempo y factor interacción dando como resultado de 13° a 17° grados °Brix. Estos resultados concuerdan con la investigación de Rodríguez, et al (2015), determinando las características fisicoquímicas tales como sólidos solubles en el zumo de chirimoya, exponiéndolo a 4 diferentes tiempos de exposición de 15, 30, 45 y 60 min, así mismo, a una frecuencia ultrasónica de 40 kHz, sus valores de sólidos solubles aumentaron en un tiempo mayor de 60 minutos de exposición dando como resultado un 5.76%.

Por otro lado, Perdomo, V. (2016), en su investigación en pulpa de mango, emplea frecuencia ultrasónica de 40 kHz, en cuatro diferentes tiempos de exposición (0, 15, 30, 45 y 60 minutos), el mejor resultado de alto contenido de grados °Brix fue al someter un tiempo de 60 min, observando un incremento hasta en 18.50%, lo cual significa que a mayor tiempo de exposición los sólidos solubles tienden a aumentar. En manera de resumen y forma generalizada como muestra la figura 38 en la gráfica de superficie respuesta, al aplicar mayor tiempo de 30 min

de exposición al ultrasonido y a frecuencia de 80 kHz, logró aumentar hasta en 16.2 °Brix en el zumo de mango ciruelo tratado con ultrasonido.

Además, Zou, Y & Jiang, A. (2016), encontraron un efecto significativo en el jugo de zanahoria en el contenido de sólidos solubles, declarando que sus valores de azúcares totales se excedieron de 14.42 a 14.82 g/l, así mismo, los sólidos solubles aumentaron de 4.04 a 4.19 °Brix respectivamente.

A diferencia la presente investigación del zumo tratado con ultrasonidos en el zumo de mango ciruelo los valores obtuvieron cambios significativos, así mismo de manera semejante Perdomo, V (2016) y otros, consideran que debido al incremento de sólidos solubles conforme avanza el tiempo de exposición es debidamente por la micro evaporación del agua ya que esta es generada por la cavitación que ejerce el equipo de ultrasonido. (Porrás, G. 2011). Simultáneamente, Rosero & Sarmiento (2006), testifican que existió incremento de sólidos solubles en el zumo de mango a un mayor tiempo de exposición al ultrasonido de 60 min.

En términos de colorimetría, la luminosidad (L^*), obtuvieron valores de 43.3 a 45.5 ligeramente (ver figura 37), estas tendencias fueron equitativas sin mostrar efecto significativo como tal. Hallazgos similares fueron reportados por, Perdomo, V. (2016), realizando un análisis por colorimetría en el zumo de mango tratado con ultrasonido, reportando que los valores de luminosidad oscilaron entre 40.19 y 41.42 sin que presente diferencia significativa, ni mostrar una tendencia determinada.

Similarmente, en la coordenada a^* declaró obtener valores entre 0.37 a 0.53 ligeramente sin que está presente una tendencia definida, algo semejante ocurre en la presente investigación (ver figura 35), que a mayor tiempo de exposición de 30 min aumenta el viraje del color hasta en 0.62 del zumo de mango ciruelo tratado con ultrasonido.

En los últimos años pocos estudios han investigado el efecto en el color que evidencia las muestras que son tratadas mediante baños de ultrasonido, ya que es de suma importancia identificar como se ha ido influenciando el color conforme a

las longitudes de ondas del ultrasonidos a diferentes tiempos de proceso, el color de los frutos se debe a la presencia de carotenoides, clorofila, antocianinas como también los pigmentos, los cuales confieren obtener virajes de color anaranjados, morados, rojos, verdes y amarillos. (Gonzales, I. 2010)

En la coordenada b^* Perdomo, V (2016), mostró tener valores de 10.40 y 14.17, de modo que, asegura no tener una tendencia determinada, su mejor tiempo de exposición fue llevado a cabo en un promedio de 45 min a una frecuencia de 40 kHz. Donde se infiere que esta no existió efecto significativo. Del mismo modo, se muestra el caso similar en la evaluación de esta determinación en el zumo de mango ciruelo (ver figura 36), donde se obtuvo un valor de 14.4 a una frecuencia de 80 kHz por 30 min, lo cual detalla que logró obtener una diferencia significativa en la interacción de la frecuencia* tiempo.

Cabe indicar que el color está sujeto a tres determinaciones indicando que la coordenada a^* comprende del color verde al rojo lo cual mide el espectro de la luz visible, así mismo, el eje b^* se comprende del viraje de color azul al amarillo, por último, el eje L^* (luminosidad) determina el brillo y claridad desde un punto cero (negro) a cien (blanco). (Application, H. 2009).

Otro punto es, la determinación del contenido de vitamina C (ácido ascórbico), realizaron estudios similares tales como Martínez, et al. (2017), lo cual afirma en su investigación de muestras de zumo de aguaymanto (*Physalis peruviana L.*) estas se encontraron disminuciones significativas con el tiempo de exposición, dado que, a un mayor tiempo de 40 minutos, el contenido de vitamina C, fue el más elevado alcanzando un 78.81%, sin embargo, en un tiempo de 10 minutos logró disminuir hasta un 25.45%. Así mismo, al aplicar un tiempo neutro de 20 minutos obtuvo un valor de 56.50% respectivamente del contenido de ácido ascórbico, dada la frecuencia establecida a 42 kHz a una temperatura de 30°C. Aquellos resultados concuerdan con la investigación dado que las mediciones de absorbancias en el espectrofotómetro UV- visible aumentaban hasta en 0.268 UA, lo que significa que conforme al tiempo de exposición en la figura 41, existe un aumento de contenido de vitamina C en el zumo de mango ciruelo en 42.2 mg/100g, exponiendo a una frecuencia de 37 kHz en un lapso de 30 minutos de

exposición al ultrasonido. En síntesis, detalla que a un menor tiempo de 20 minutos el contenido de vitamina C disminuye niveles de mediciones de absorbancias en 0.167 UA, revelando obtener una reducción de vitamina C de 27.8 mg/ 100gr en una frecuencia de 80 kHz a una temperatura de 40° C.

En consonancia con Santhirasegaram, et al (2013), sometió muestras de zumo de mango Chok anan, a tratamiento térmicos y baño con ultrasonido en 3 diferentes tiempos de exposición de 15, 30 y 60 min, observaron una disminución de vitamina C en comparación con la muestra control (8,91 mg/100ml), aplicaron una temperatura de 25 °C y 40 kHz en el equipo ultrasónico. En cuanto a la muestra tratada por tratamiento térmico, afirma que obtuvo una degradación mayor de 65% del contenido de ácido ascórbico. Además, sus valores fluctuaron entre 7,74 a 6,43 mg/ 100ml respectivamente en el baño con ultrasonido.

Por otra parte, los hallazgos de Arévalo, et al (2018), sostiene que el zumo de piña sometido al ultrasonido a un tiempo de 20 y 25 min de exposición y a su vez aplicando una temperatura de 35 °C y frecuencia de 42 kHz, presentó las mejores propiedades microbiológicas, nutricionales y organolépticas. Sus parámetros analizados fueron actividad enzimática residual de bromelina, compuestos fenólicos totales, vitamina C, capacidad antioxidante, asegura que estos parámetros aplicados lograron preservar niveles de contenido de ácido ascórbico en piña.

Gamboa, J. et al (2014). Hace mención que la disminución del contenido de vitamina C en los zumos tratados con ultrasonidos se atribuye a la formación de micro canales durante la cavitación lo cual proporcionan penetración de oxígeno y especialmente nutrientes solubles, lo cual significa que es uno de los factores principales en la degradación de las vitaminas.

Para concluir, la inactividad enzimática según Ríos, et al (2018), afirma que obtuvo una desnaturalización de enzimas en su investigación en el zumo de camote pulpa anaranjada, lo cual sometió al proceso de sonicación en 4 diferentes tiempos de exposición (2, 4, 6, 8 minutos), analizando sus características fisicoquímicas tales como actividad antioxidante, b caroteno, fenólicos totales y las enzimas (peroxidasa, polifenol oxidasa), demostró que al ser aplicado al ultrasonido a una

intensidad de 0.66 w cm^{-2} logró obtener una desnaturalización enzimática residual en 71.62% respectivamente de la polifenol oxidasa, mientras que la oxidasa su valor residual fue de 53.72%. De la misma manera que, en el presente estudio se presentó una desnaturalización de enzimas (ver figura 39), al ser sometido a una frecuencia de 80 kHz por 30 min, se evidenció una actividad residual de 82.94% de polifenol oxidasa, así mismo, también se ha demostrado una desnaturalización por la oxidasa obteniendo un valor de hasta 81.19% de actividad residual. Cabe señalar, que las mediciones de absorbancias en el espectrofotómetro UV- visible fueron menores (0.095), que la muestra control (0.115) respectivamente. Comparativamente con Hemar, et al (2015), reportó un incremento de la enzima polifenol oxidasa, exponiéndolo en condiciones de 375 W cm^{-2} en 10 min de tiempo de exposición, por esta razón; su incremento de actividad residual aumento hasta 187.8% respectivamente en el puré de aguacate. Lo mencionado anteriormente se relaciona con Cheng, et (2007), dado que sus hallazgos de las muestras de zumo de guayaba fresca al ultrasonido en tiempo de 30 min a una frecuencia de 35 kHz, hace manifiesto que se encontraron niveles altos de actividad residual de la enzima oxidasa.

Finalmente, Earnshaw et al (1995); asegura que estos cambios de desnaturalización de las enzimas en muestras tratadas con ultrasonidos se deben a los radicales libres y el colapso de las burbujas de cavitación formados durante la sonolisis del agua. Así mismo, el incremento de la actividad residual en un menor tiempo de exposición se trata del ultrasonido que genera rompimientos de células, lo que provoca que se libere en el medio líquido la enzima intracelular, aumentando su contenido porcentual de actividad enzimática. (Tiwari, et al 2009).

5. CONCLUSIONES

Se aplicó los tratamientos con ultrasonidos en el zumo de mango ciruelo (*Spondias mombin*), mediante combinaciones de frecuencia (37 kHz y 80 kHz), y tiempo de exposición al ultrasonido (20 y 30 minutos).

Existió diferencia significativa en la frecuencia y tiempo de exposición al ultrasonido en el zumo de mango ciruelo, sobre la acidez titulable, colorimetría, sólidos solubles, actividad residual de polifenol oxidasa, peroxidasa y vitamina C. Respecto al pH y luminosidad no existieron diferencia significativa.

Estos hallazgos demostraron que la frecuencia de 80 kHz a un tiempo de exposición 30 min la acidez titulable osciló un aumento de 0.721%, así mismo, existió desnaturalización de las enzimas polifenol oxidasa y peroxidasa, alcanzando un 82.94% (PPO) y 81.19% (POD), es decir; que las mediciones de absorbancias en el espectrofotómetro UV- visible, fluctuaron entre 0.855 UA y 0.092 UA. El contenido de vitamina C a 37 kHz por 30 min de exposición (T2) obtuvo el mejor resultado de 42.2 mg/ 100gr de muestra. Por otro lado, el viraje de color amarillo de coordenada b* por colorimetría permitió obtener el mejor color (L*, a*, b*) de 15.2 (T1), sometiendo el zumo de mango ciruelo al ultrasonido a 37 kHz por 20 min de exposición. Finalmente, se concluye que el contenido de grados °Brix osciló a 15.4% (T1) respectivamente.

6. RECOMENDACIONES

- ✓ Evaluar y comparar el efecto de la técnica con ultrasonidos en diferentes zumos de pulpas a mayores temperaturas para la inactivación enzimática con el método de pasteurización para identificar la reducción de la actividad residual enzimática y características organolépticas como fisicoquímicas, logrando tener una vida útil más prolongada.
- ✓ Por su alto contenido de vitamina C del mango ciruelo y demás, realizar un estudio de mercado para lograr verificar su factibilidad al mercado peruano e internacional por sus propiedades benéficas que contiene.
- ✓ Evaluar el efecto del tratamiento con ultrasonidos a diferentes potencias en zumos o frutas deshidratadas verificando sus características microbiológicas (E. Coli, S. aureus) y estructuras microscópicas.
- ✓ Evaluar la pulpa de mango ciruelo a 80 kHz por 30 min a una temperatura de 40°C sometido al ultrasonido y su comportamiento en refrigeración.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Aadil, R.M., Zeng, X., Han, Z. y Sun, D. 2015. Combined effects of sonication and pulsed electric field on selected quality parameters of grapefruit juice. *LWT - Food Science and Technology*, 62: 890-893.

Alburqueque, C. 2015. *Evaluación de la proporción de pulpa de mango ciruelo (Spondias dulcis parkinson) en la aceptabilidad sensorial de un néctar tropical edulcorado con Stevia (Stevia rebaudiana). Tesis para optar el título de ingeniero agroindustrial e industrias alimentarias.* Extraído de <https://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/UNP/638/IND-ALB-ESP-15.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Arévalo, J., Lira, A., Pascual, S., Trejo, M. & Moreno, C. (2018). *Aplicación de irradiación UV-C, ozono y ultrasonido de baja frecuencia como métodos alternativos a la pasteurización en jugo de piña con espinaca.* Universidad nacional autónoma de México. Vol. 3 (2018) 547-553. <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume3/4/9/91.pd>.

Bellido, R & Letona, C. (2013). *Pulpa congelada de mango ciruelo (Spondia cytherea soon).* Editorial refrigeración y congelación de alimentos. Universidad Nacional del Callao, facultad de Ingeniería pesquera y alimentos.

Bellido, R. 2013. Optimización del proceso de concentración de pulpa de mango ciruelo (*Spondia cytherea soon*) aplicando los métodos de Taguchi y Superficie de respuesta. Tesis-UNALM; 2012; Lima-Perú

Bi X., Hemar Y., Balaban M.O., Liao X. 2015. The effect of ultrasound on particle size, color, viscosity and polyphenol oxidase activity of diluted avocado puree. *Ultrasonics Sonochemistry* 27, 567-575.

Campoli, S. S., Rojas, M. L., Amaral, J. E. P. G., Canniatti-Brazaca, S. G., & Augusto, P. E. D. (2018). Ultrasound processing of guava juice: Effect on structure, physical properties and lycopene in vitro accessibility. *Food Chemistry*, 268, 594–601. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.06.127>

Carrillo, et al. 2020. Diseño de una planta de producción de Néctar de Mango Ciruelo en el departamento de Piura. Trabajo de Investigación para el curso de Proyectos del Programa de Ingeniería Industrial y de Sistemas. Obtenido de:

https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/4730/PYT_Informe_Final_Proyecto_Mango_Ciruelo.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Cheng, L. H., Soh, C. Y., Liew, S. C. y Teh, F. F. 2007. Effects of sonication and carbonation on guava juice quality. *Food Chemistry*, 104, 1396–1401.

Cheng, L., Bi, X., Guo, D., Xing, Y., & Che, Z. (2019). The effect of high-power ultrasound on the quality of carrot juice. *Food Science and Technology International*, 25(5), 394–403. <https://doi.org/10.1177/1082013219825736>.

Earsnshar, R. G., J. Appleyard and R.M. Hurst. 1995. Understanding physical inactivation processes: combined preservation opportunities using heat, ultrasound and pressure. *Int. J. Food Microbiol.* 28:197P 209.

Gamboa-Santos, J.; Montilla, A.; Cortijo Soria, A.; Carcel Carrión, J.A.; García Pérez, J.V. y Villamiel, M. 2014. Impact of power ultrasound on chemical and physicochemical quality indicators of strawberries dried by convection. *Food Chemistry*, 161:40-46.

Gonzáles, I. (2010). Caracterización química del color de diferentes variedades de guayaba (*Psidium guajava* L.) colombiana. Universidad Nacional de Colombia.

González G. 2005. Aplicación de Ultrasonidos para la estabilización de sistemas alimentarios. En: II Congreso de Desarrollo Agroindustrial. Instituto Universitario de la Paz UNIPAZ. Barrancabermeja. 1-5.

Guzmán, E. 2015. Estudio de la extracción y almacenaje de pulpa de taperibá y elaboración de Néctar (*Spondia cytherea* soon); Tesis-UNALM; 1974; Lima-Perú.

Herrero, A. y Romero de Ávila M. (2006). Innovaciones en el procesado de alimentos: Tecnologías no térmicas. *Rev. Med. Univ. Navarra*, 50(4): 71-74.

Hiraoka, W., Honda, H., Feril, L, Kudo, N. y Kondo, T. 2005. Comparison between sonodynamic effect and photodynamic effect with photosensitizers on free radical formation and cell killing. *Ultrasonics Sonochemistry*, 6: 1-8.

Jawahar, S. (2019). On the Function and Mechanism of action of Peroxidases. *Coordination Chemistry Reviews*, 19, 187–251. Obtenido de: <https://www.lifeder.com/peroxidadas/>

Latorre, M. E., M. F. de Escalada Plá, A. M. Rojas, L. N. Gerschenson, “Blanching of red beet (*Beta vulgaris* L. var. *conditiva*) root, Effect of hot water or microwave radiation on cell wall characteristics”, doi:10.1016/j.lwt.2012.06.004, *LWT - Food Science and Technology*, 50 (1), 193-203 (2013)

Leiva, S., Zapata, M., Gayoso, G., Lezama, P. y Leyva, V. 2008. Algunos frutales silvestres de solanáceas endémicas del Perú. *Arnaldoa*, 15(1): 153 – 163.

Martinez-Cruz, N., Arévalo-Niñok., Verde Star, M., Rivas-Morales, C., Oranday-Cárdenas, A., Núñez-González, A. y Morales-Rubio, E. 2011. Antocianinas y actividad antoradicales libres de *Rubus adenotrichus* Schltld (zarzamora). *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, 42(04): 66-71. Recuperado de: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rmcf/v42n4/v42n4a7.pdf>

Medina, M. y Pagano, F. (2003). Caracterización de la pulpa de la guayaba (*Psidium guajava* L.) tipo Criolla Rojall. *Rev. Fac. Agron. (Luz)* 20: 72–86.

MINAGRI. (2019). SIEA. Obtenido de siesa.minagri.gob.pe: <http://siesa.minagri.gob.pe/siesa/?q=produccion-agricola>.

Mizanur, M., Rahman, M. y Mazedul, M. (2007). Analysis of Vitamin C (ascorbic acid) Contents in Various Fruits and Vegetables by UV-spectrophotometry. *Bangladesh Journal Science Industrial Research*. 42(4), 417-424

Muhammad, A., Xin, Zeng., Zhong, Han. & Da, W. (2013). Effects of ultrasound treatments on quality of grapefruit juice. *Food chemistry* 141 (2013) 3201- 3205. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.06.008>.

Mukhopadhyay, S., & Ramaswamy, R. (2012). Application of emerging technologies to control Salmonella in foods: A review. *Food Research International*, 45(2), 666–677. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.05.016>.

Organización mundial de las naciones unidas para la alimentación y agricultura. (2019). Composición nutricional del mango ciruelo (taperiba) P.C por 100 gramos. Extraído de: <https://www.fao.org/infoods/infoods/tablas-y-bases-de-datos/bases-de-datos-faoinfoods-de-composicion-de-alimentos/es/>

Oxford University Press will be the publisher of the *Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL*™ (OMA). Pricing for 2023 is listed below.

Perdomo Del Águila, V. & Pérez Azahuanche, F.R. (2016). Efecto del tiempo de exposición al ultrasonido (40 kHz) en las características fisicoquímicas, recuento de bacterias aerobias mesófilas y aceptabilidad general de la pulpa de mango (*Mangifera indica* L.) variedad Edward. *Pueblo Continente*, 27(2): 385-396.

Pérez, C. (2019). Efecto del tiempo de exposición al ultrasonido y temperatura en las propiedades fisicoquímicas, contenido de vitamina C y microbiológicas de la pulpa de

zarzamora (*Rubus floribundus* Kunth). Editorial universitaria. Antenor Orrego Trujillo. Extraído de: <https://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/5156>.

Ponce de León, S. (2019). Efecto del tiempo de exposición con ultrasonido en el contenido de vitamina C, sólidos solubles, acidez y recuento de mesófilos en la pulpa de Camu Camu (*Myrciaria dubia*). Editorial universitaria. Repositorio nacional digital Alicia. Extraído de: <https://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/4947>.

Ponce, S. 2019. Evaluación del uso potencial de la tecnología de ultrasonido sobre la calidad microbiológica y fisicoquímica de la pulpa de aguacate. *Vitae*, 23 (1): 774-778.

Porras, O., González, G., Castellanos, A., Ballesteros, J. y Pacheco, M. 2011. Efecto de la aplicación de ondas de ultrasonido sobre las propiedades fisicoquímicas, reológicas y microbiológicas de pulpa de mango (*Mangifera indica* L.) variedad común. *Alimentos hoy*, 20 (23).

Priyadarshini, A., & Priyadarshini, A. (2018). Market dimensions of the fruit juice industry. In G. Rajauria & B. K. Tiwari (Eds.), *Fruit juices: Extraction, composition, quality and analysis* (pp. 15–32). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802230-6.00002-3>.

Rayo, B. (2014). Intensificación de procesos mediante la aplicación de ultrasonidos de potencia. Implicaciones sobre la calidad del producto. Obtenido de: https://dspace.uib.es/xmlui/bitstream/handle/11201/1145/TFG_QUIMICA_RayoAguilarBeatriz.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Ríos, E., Ochoa, L., Morales, J., Bello, L., Quintero, A. & Gallegos, J. (2017). Ultrasound in orange sweet potato juice: Bioactive compounds, antioxidant activity, and enzymatic inactivation. *Journal of food processing and preservation*. Institute of Food science technology. [https:// DOI: 10.1111/jfpp.1363](https://doi.org/10.1111/jfpp.1363).

Rivas Cerna, I.M. 2007. Tesis para optar el grado de Maestra en Ciencias en Desarrollo Sostenible. Recuperado de: [file:///C:/Documents%20and%20Settings/TEMP.USER19AA132630.002/Mis%20documentos/Downloads/DocsTec_6339%20\(1\). Pdf](file:///C:/Documents%20and%20Settings/TEMP.USER19AA132630.002/Mis%20documentos/Downloads/DocsTec_6339%20(1).Pdf).

Robles-Ozuna, L.E. y Ochoa-Martínez, L.A. 2012. Ultrasonido y sus aplicaciones en el procesamiento de alimentos. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 13(2): 109-122.

Rodríguez, F., Pérez, F., Obregón, M., Barraza, G., Vega, M. y Ferradas, A. 2015. Efecto del tiempo de exposición al ultrasonido sobre las características fisicoquímicas,

reológicas y microbiológicas en la pulpa de chirimoya *Annona cherimola* Mill (Annonaceae). *Arnaldo*, 22(2): 367 – 380.

Rosero, C. y Sarmiento, M. (2006). Determinación del efecto de tratamiento de ultrasonido sobre la estabilidad reológica de la pulpa de mango (*Mangifera indica* L.) y estudio de factibilidad para su exportación a la comunidad europea. Programa de ingeniería de producción agroindustrial y de ingeniería. Facultad de Ingeniería Industrial. Universidad De La Sabana. Bogotá. Colombia.

Saenz, 2005. Estudio de la determinación de los parámetros técnicos para la obtención del néctar a partir del mango ciruelo (*Spondiacytherea soon*); Tesis de ingeniería Agroindustrial e industrias alimentarias; 2005; Piura-Perú

Salleh, M. & Roberts, J. (2007). Ultrasound pasteurization: The effects of temperature, soluble solids, organic acids and pH on the inactivation of *Escherichia coli* ATCC 25922. *Science Direct Ultrasonics Sonochemistry* 14 (2007) 323-329. doi:10.1016/j.ultsonch.2006.07.004.

Santhirasegaram, V., Razali, Z. y Somasundram, C. 2013. Effects of thermal treatment and sonication on quality attributes of Chokanan mango (*Mangifera indica* L.) juice. *Ultrasonics Sonochemistry*, 20(5), 1276-1282.

Santhirasegaram, V., Razali, Z. y Somasundram, C. 2013. Effects of thermal treatment and sonication on quality attributes of Chokanan mango (*Mangifera indica* L.) juice. *Ultrasonics Sonochemistry*, 20(5), 1276-1282.

São José, J. F. B., De, Andrade, N. J., De, Ramos, A. M., Vanetti, M. C. D., Stringheta, P. C., & Chaves, J. B. P. (2014). Decontamination by ultrasound application in fresh fruits and vegetables. *Food Control*, 45, 36–50. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.04.015>

Swamy, G. J., Muthukumarappan, K., & Asokapandian, S. (2018). Ultrasound for fruit juice preservation. In G. Rajauria & B. K. Tiwari (Eds.), *Fruit juices: Extraction, composition, quality and analysis* (pp. 451–462). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802230-6.00023-0>

Tiwari, B., O'Donnell, C., Patras, A., Brunton, N., & Cullen, P. (2009). Stability of anthocyanins and ascorbic acid in sonicated strawberry juice during storage. *European Food Research and Technology*, 228, 717–724.

Tomadoni, B., Cassani, L., Viacava, G., Moreira, M. D. R., & Ponce, A. (2017). Effect of ultrasound and storage time on quality attributes of strawberry juice. *Journal of Food Process Engineering*, 40(5), 5. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12533>

Zou, Y. y Jiang, A. 2016. Effect of ultrasound treatment on quality and microbial load of carrot juice. *Food Science and Technology. Food Sci. Technol, Campinas*, 36(1): 111-115.

8. ANEXOS

Anexo 1: Fotografías de la ejecución de la presente tesis:

Figura 39: Muestra de mango ciruelo sometido a Ultrasonido



a) Muestra de mango ciruelo 100ml



b) Aplicación 37- 80 kHz/ 20- 30min/ 40°C

Figura 40: Caracterización de las muestras



a) Determinación de acidez titulable

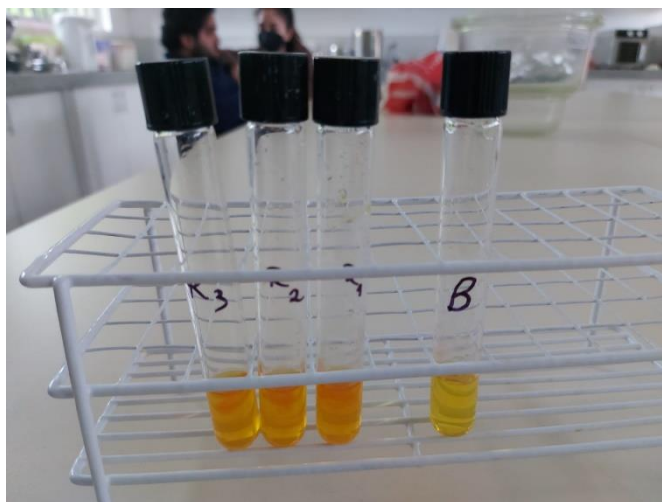
Figura 41: Determinación de contenido de vitamina C



a) Adicionamiento de reactivos



b) Incubación de muestras



c) Solución blanco y muestras para determinación cuantitativa de vitamina C.



d) Espectrofotómetro UV- visible



e) Medición de absorbancias

Figura 42: Determinación de color en zumo de mango tratado con ultrasonido



a) Colorímetro WR10QC, con apertura de 0.157.

Figura 43: Determinación de inactivación enzimática residual en zumo tratado con ultrasonido



a) Solución blanco y adición de reactivos para inactivación enzimática



b) Lectura en el espectrofotómetro para mediciones de absorbancias.