

**UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS**  
**ALIMENTARIAS**



**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)**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

**CARLA VANESSA PÉREZ RODRÍGUEZ**

**TRUJILLO, PERÚ**

**2019**

La siguiente tesis ha sido revisada y aprobada por el siguiente Jurado:



---

Ing. Dr. Fernando Rodríguez Ávalos

PRESIDENTE



---

Ing. Ms. Luis Márquez Villacorta

SECRETARIO



---

Ing. Ms. Ana Cecilia Ferradas Horna

VOCAL



---

Ing. Dr. Fredy Romel Pérez Azahuanche

ASESOR

## DEDICATORIA

Mi tesis va dedicada con todo mi amor a las personas que son todo en mi vida.

Mis padres: Fredy Pérez Azahuanche y Georgina Rodríguez Vargas hoy quiero darles las gracias por todo el apoyo incondicional que siempre me dieron, aunque en el trayecto de mi carrera tome la decisión de ser madre del cual no me arrepiento, ustedes nunca me dieron la espalda al contrario siempre me ayudaron, sobre todo tu mamá que me ayudaste con mis hijos y estuviste siempre en el momento que más necesitaba de un consejo para ser una buena madre, hija, esposa y profesional; te amo madre eres la mejor. Papito gracias por creer en mí, por brindarme una palabra de aliento, enseñándome que la persistencia elimina muchas barreras en la vida, eres lo máximo, lo más importante en mi vida, mi héroe, el mejor padre, el mejor ser humano, te amo viejito.

Mis hijos Massimo, Thiago y Georgeth que son todo para mí, lo que más amo en la vida, por los cuales me esfuerzo para ser un buen ejemplo y que ellos sean unas personas de bien en el futuro. Ellos son los que me dan la fuerza para poder eliminar cualquier obstáculo que se pueda presentar en mi vida y seguir adelante, persistiendo en ser mejor cada día, para que se sientan orgullosos mí

Mis hermanos Fredy y Eduardo, que siempre han estado apoyándome con un consejo o compartiendo mis alegrías y penas, sobre todo tu mi Edu que eres como mi hijo porque siempre me has acompañado.

Mis abuelitos, en especial a mi abuelita Yolanda Azahuanche Azabache que siempre creyó en mí cuando muchas personas me dieron la espalda y dudaron de mi capacidad en cambio tú siempre me dices que yo voy a lograr muchas metas y que seré una persona de éxito, gracias por que

ahora dios me da la oportunidad de que tu compartas mis logros. Te quiero mucho.

Mi esposo Carlos Manuel Velezmoro Trujillo por darme unos hijos hermosos y una familia muy unida que son mi fuente de inspiración, querido este grado profesional nos ayudara mucho para cumplir nuestros proyectos.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios todopoderoso por haberme dado fortaleza, salud y sobre todo perseverancia para poder lograr mis objetivos y cumplir la meta que me trace; para dar la satisfacción a mis padres de verme realizada profesionalmente.

También quiero agradecer a mis docentes por haberme transmitido los conocimientos en cada clase teórica y práctica en el transcurso de etapa de estudiante.

A mi asesor Fredy Romel Pérez Azahuanche por enseñarme el interés a la innovación y desarrollo de investigación, optando por nuevos proyectos para confrontarlos experimentalmente y buscar una mejora en el desarrollo de la humanidad.

# ÍNDICE

	Pág.
CARATULA.....	i
APROBACIÓN POR EL JURADO DE TESIS.....	ii
DEDICATORIA .....	iii
AGRADECIMIENTO .....	v
ÍNDICE .....	vi
ÍNDICE DE CUADROS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
I. INTRODUCCION .....	1
II. REVISIÓN DE BIBLIOGRAFIA .....	5
2.1. Ultrasonido.....	5
2.1.1. Definición .....	5
2.1.2. Fuentes de ultrasonido .....	6
2.1.3. Parámetros de ultrasonido .....	7
2.1.4. Cavitación .....	8
2.1.5. Efecto microbiológico .....	10
2.1.6. Aplicaciones en la industria de alimentos .....	10
2.1.7. Principios y aplicaciones del ultrasonido de alta frecuencia (baja energía).....	10
2.1.8. Principios y aplicaciones del ultrasonido de baja frecuencia (alta energía).....	14

2.2. Zarzamora.....	19
2.2.1. Generalidades.....	19
2.2.2. Clasificación botánica .....	22
2.2.3. Fenología y fisiología .....	22
2.2.4. Flor y fruto.....	22
2.2.5 Estacionalidad.....	23
2.2.6 Propiedades nutricionales de la zarzamora .....	23
III. MATERIALES Y METODOS .....	25
3.1. Lugar, materia prima, equipos e instrumentos .....	25
3.1.1.Lugar de ejecución.....	25
3.1.2.Materia prima .....	25
3.1.3.Materiales .....	25
3.1.4.Reactivos .....	25
3.1.5.Equipos e instrumentos de laboratorio.....	26
3.2. Método experimental .....	26
3.2.1.Esquema experimental para la evaluación del efecto del tiempo de exposición al ultrasonido y la temperatura en la pulpa de zarzamora ( <i>Rubus floribundus</i> Kunth).....	26
3.2.2.Procedimiento experimental para la obtención de pulpa de zarzamora ( <i>Rubus floribundus</i> Kunth) y su tratamiento con ultrasonido .....	28
3.3. Método de análisis .....	29
3.3.1.Análisis fisicoquímicos .....	29
3.3.2.Vitamina C .....	30
3.3.3.Recuento de mohos y levaduras.....	30
3.4. Método estadístico.....	30

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	31
4.1. Acidez titulable.....	31
4.2. pH .....	34
4.3. Sólidos solubles .....	37
4.4. Vitamina C .....	41
4.5. Recuento de mohos y levaduras.....	45
V. CONCLUSIONES.....	52
VI. RECOMENDACIONES .....	53
VII. BIBLIOGRAFÍA .....	54
VIII.ANEXOS .....	61

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Composición fisicoquímica del fruto de zarzamora.....	24
Cuadro 2.	Prueba de Levene modificada para los valores de acidez titulable en zarzamora con exposición al ultrasonido y temperatura .....	33
Cuadro 3.	Prueba de ANVA para los valores de acidez titulable en zarzamora con exposición al ultrasonido y temperatura.....	33
Cuadro 4.	Prueba de Duncan para los valores de acidez titulable en zarzamora con exposición al ultrasonido y la temperatura ....	34
Cuadro 5.	Prueba de Levene para los valores de pH en zarzamora con exposición al ultrasonido y la temperatura .....	36
Cuadro 6.	Prueba de ANVA para los valores de pH en zarzamora con exposición al ultrasonido y la temperatura.....	36
Cuadro 7.	Prueba de Duncan para los valores de pH en zarzamora con exposición al ultrasonido y temperatura.....	37
Cuadro 8.	Prueba de Levene para los valores de °Brix en zarzamora con exposición al ultrasonido y la temperatura .....	39
Cuadro 9.	Prueba de ANVA para los valores de °Brix en zarzamora con exposición al ultrasonido y temperatura.....	39
Cuadro 10.	Prueba de Duncan para los valores de °Brix en zarzamora con exposición al ultrasonido y temperatura.....	40
Cuadro 11.	Prueba de Levene modificada para los valores de vitamina C en zarzamora con exposición al ultrasonido y temperatura .....	43
Cuadro 12.	Prueba de ANVA para los valores de vitamina C en zarzamora con exposición al ultrasonido y temperatura.....	43

Cuadro 13. Prueba de Duncan para los valores de vitamina C en zarzamora con exposición al ultrasonido y temperatura.....	44
Cuadro 14. Prueba de Levene para los valores de recuentos de mohos en zarzamora con exposición al ultrasonido y temperatura .....	47
Cuadro 15. Prueba de ANVA para los valores de recuento de mohos en zarzamora con exposición al ultrasonido y temperatura...	47
Cuadro 16. Prueba de Duncan para los valores de recuento de mohos en zarzamora con exposición al ultrasonido y temperatura...	48
Cuadro 17. Prueba de Levene para los valores de recuento de levaduras en zarzamora con exposición al ultrasonido y la temperatura .....	50
Cuadro 18. Prueba de ANVA para los valores de recuento de levaduras en zarzamora con exposición al ultrasonido y la temperatura .....	50
Cuadro 19. Prueba de Duncan para los valores de recuento de levaduras en zarzamora con exposición al ultrasonido y la temperatura .....	51

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Comportamiento de las burbujas durante la cavitación .....	9
Figura 2.	Mecanismo del daño celular inducido por ultrasonido .....	18
Figura 3.	<i>Rubus floribundus</i> Kunth “zarzamora”. Ramas floríferas .....	20
Figura 4.	Esquema del desarrollo experimental para evaluar el efecto del tiempo de exposición al ultrasonido y la temperatura en la acidez titulable, el pH, el contenido de sólidos solubles, contenido de vitamina C y recuento de mohos y levaduras de la pulpa de zarzamora ( <i>Rubus floribundus</i> Kunth).....	27
Figura 5.	Diagrama de flujo para la obtención de pulpa de zarzamora ( <i>Rubus floribundus</i> Kunth) y su tratamiento con ultrasonido .....	28
Figura 6.	Efecto del ultrasonido y la temperatura en la acidez titulable (% de ácido isocítrico) de la pulpa de zarzamora ...	31
Figura 7.	Efecto del ultrasonido y la temperatura en el pH de la pulpa de zarzamora .....	35
Figura 8.	Efecto del ultrasonido y la temperatura en los °Brix de la pulpa de zarzamora .....	38
Figura 9.	Efecto del ultrasonido y la temperatura en el contenido de vitamina C de la pulpa de zarzamora .....	41
Figura 10.	Efecto del ultrasonido y temperatura en el recuento de mohos de la pulpa de zarzamora.....	45
Figura 11.	Efecto del ultrasonido y temperatura en el recuento de levaduras de la pulpa de zarzamora.....	49

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1.	Resumen resultados experimentales de tiempo de exposición al ultrasonido y temperatura en pulpa de fruto de zarzamora.....	61
Anexo 2.	Data y cálculos obtenidos en los resultados experimentales de tiempo de exposición al ultrasonido y temperatura en pulpa de fruto de zarzamora.....	62
Anexo 3.	Fotografías .....	70

## RESUMEN

Se evaluó el efecto de dos tiempos (30 y 45 min) de exposición al ultrasonido y dos temperaturas (25 y 40 °C) sobre la acidez titulable, el pH, el contenido de sólidos solubles, contenido de vitamina C y recuento de mohos y levaduras de la pulpa de zarzamora (*Rubus floribundus* Kunth). Se aplicó ultrasonido de frecuencia 40 kHz con un equipo de ultrasonido de baño Branson Modelo 5800 serie CPXH, en muestras de pulpa de zarzamora contenidas en frascos de vidrio. Los resultados mostraron que el tiempo de exposición al ultrasonido y la temperatura tuvieron efecto significativo ( $p < 0.005$ ) sobre la acidez titulable, contenido de sólidos solubles, contenido de vitamina C, recuento de mohos y levaduras; respecto al pH, sólo existió efecto significativo con el tiempo de exposición. La prueba de Duncan indicó que el tiempo de exposición de 30 min al ultrasonido y la temperatura de 40 °C mantienen una menor variación de la acidez titulable, el pH, el contenido de sólidos solubles y menor recuento de mohos y levaduras, en la pulpa de zarzamora (*Rubus floribundus* Kunth). El tiempo de exposición de 30 min y 25 °C produjo la menor variación en el contenido de vitamina C. En conclusión, el mejor tratamiento corresponde a un tiempo de exposición de 30 min al ultrasonido y temperatura de 40 °C.

## ABSTRACT

The effect of two times (30 and 45 min) of exposure to ultrasound and two temperatures (25 and 40 °C) on titratable acidity, pH, soluble solids content, vitamin C content and mold count was evaluated. Yeasts of the blackberry pulp (*Rubus floribundus* Kunth). 40 kHz frequency ultrasound was applied with a Branson Model 5800 series CPXH bath ultrasound machine in blackberry pulp samples contained in glass jars. The results showed that the time of exposure to ultrasound and temperature had a significant effect ( $p < 0.005$ ) on titratable acidity, content of soluble solids, vitamin C content, mold and yeast count; regarding pH, there was only significant effect with the exposure time. Duncan's test indicated that the exposure time of 30 min to the ultrasound and the temperature of 40 °C keep a lower variation of the titratable acidity, the pH, the content of soluble solids and lower mold and yeast count, in the pulp of blackberry (*Rubus floribundus* Kunth). The exposure time of 30 min and 25 ° C produced the smallest variation in vitamin C content. In conclusion, the best treatment corresponds to an exposure time of 30 min to ultrasound and a temperature of 40 °C.

## I. INTRODUCCION

El procesamiento de alimentos se encuentra en constante evolución en respuesta a los retos y necesidades que la sociedad actual plantea. Los cambios en los gustos de los consumidores, así como, la necesidad de producir alimentos inocuos y de alta calidad, son los principales elementos responsables de la evolución de los procesos alimentarios establecidos o del desarrollo de nuevos procesos. En este sentido, la introducción de nuevas tecnologías es importante para reducir el tiempo de procesamiento de los alimentos o el mejoramiento de las condiciones de operación de dichos materiales (Majid y otros, 2015).

Por siglos, la aplicación de tratamientos térmicos ha sido la tecnología más comúnmente utilizada para la estabilización de alimentos debido a su capacidad de destrucción de microorganismos e inactivación de enzimas. Sin embargo, se sabe que el calor puede no solamente perjudicar muchas de las propiedades organolépticas del alimento, sino también reducir los contenidos y/o la biodisponibilidad de algunos nutrientes (Porras y otros, 2011).

Los tratamientos físicos como el ultrasonido, entre muchos otros (pulsos eléctricos, irradiaciones, microondas, luz blanca), se convierte en una alternativa muy promisoría para el procesamiento de alimentos, por cuanto permiten realizar operaciones de estabilización sin incrementar drásticamente la temperatura del sistema y, por lo tanto, preservan mucho mejor las características sensoriales del producto (González, 2005).

El ultrasonido es una tecnología emergente en la ciencia y tecnología de los alimentos. Según la potencia usada se aplica en el análisis no invasivo con estimación de la composición de los alimentos, control de propiedades fisicoquímicas y estructurales, detección de contaminantes metálicos, preservación, monitoreo durante el procesamiento y

almacenamiento, inactivación o aceleración de la actividad enzimática, inactivación microbiana y otros (Awad y otros, 2012).

El procesamiento con ultrasonido se aplica a una variedad de mezclas líquidas y bebidas. Mejora la emulsificación y homogeneización con reducción del tamaño de partículas. En sistemas lácteos, incrementa la formación de crema en el proceso conocido como fraccionamiento. En los jugos de frutas se logra la retención o mejora de los parámetros de calidad al tiempo que aumentan los niveles de compuestos bioactivos. La esterilización de líquidos, con actividad microbiana, es una característica del tratamiento ultrasónico en una gama de jugos de frutas, observándose una mayor estabilidad y una disminución del deterioro en el almacenamiento (Paniwnyk, 2017).

El ultrasonido tiene ventaja sobre los procesos tradicionales, al reducir tiempos de proceso y mantener atributos de calidad. Además de ser una tecnología limpia y con potencial de aplicación en procesos como secado, congelado, descongelado, extracción, entre otros (Robles-Ozuna y Ochoa-Martínez, 2012).

En 2014, según la FAO (2017), Irán lideró con 313 880 t en producción de bayas de *Rubus* en todo el mundo, seguido por México con 152 922 y Vietnam con 136 529 t, en tanto que en 2016, se produjeron 110 453 t de blackberries en Colombia (Agronet 2017). Estos indicadores demuestran la gran importancia que producir estas especies vegetales, cuyos frutos tienen demanda en los mercados internacionales debido a su sabor, color y sus propiedades terapéuticas.

El Perú posee una gran biodiversidad de especies vegetales y frutos nativos, la mayoría de ellos no industrializados, constituyéndose en fuentes alternativos a los frutos comercializados internacionalmente (Leiva y otros, 2008).

La zarzamora (*Rubus floribundus* Kunth) es una especie nativa del Perú y tiene diversos usos medicinales: para tratar resfríos, ira, dolor de cuerpo, susto, tos, colesterol, bronquitis, garganta seca y diabetes (Bussmann y Sharon, 2007). Su fruto es comestible, dulce y es una fuente de compuestos fenólicos, cuya capacidad antioxidante sugiere que su consumo puede desempeñar un papel importante en la atenuación del daño ocasionado por los radicales libres en ciertas situaciones patológicas (Mártínez-Cruz y otros, 2011).

La comercialización de las ramas florales de zarzamora (*Rubus floribundus* Kunth) es solo local y el modo de su conservación es a través del secado a la sombra. El fruto no es comercializado ni conservado para prolongar su periodo de vida útil.

Existen pocos trabajos relacionados a la conservación de frutos nativos con ultrasonido en nuestro país y en especial con la zarzamora (*Rubus floribundus* Kunth).

El problema planteado para esta investigación fue:

¿Cuál es el efecto de dos tiempos (30 y 45 min) de exposición al ultrasonido, a 40 kHz, y dos temperaturas (25 y 40 °C) sobre la acidez titulable, el pH, el contenido de sólidos solubles, contenido de vitamina C y recuento de mohos y levaduras de la pulpa de zarzamora (*Rubus floribundus* Kunth)?

Los objetivos planteados fueron:

Evaluar el efecto del tiempo de exposición al ultrasonido, a 45 kHz, durante 30 y 45 minutos a temperaturas de 25 y 40 °C sobre la acidez titulable, el pH, el contenido de sólidos solubles, contenido de vitamina C y recuento de mohos y levaduras de la pulpa de zarzamora (*Rubus floribundus* Kunth).

Determinar el tiempo de exposición al ultrasonido y la temperatura que produzca una menor variación de acidez titulable, el pH, el contenido de sólidos solubles, contenido de vitamina C y menor recuento de mohos y levaduras de la pulpa de zarzamora (*Rubus floribundus* Kunth).

## II. REVISIÓN DE BIBLIOGRAFIA

### 2.1. Ultrasonido

#### 2.1.1. Definición

El ultrasonido se define como ondas de sonido con frecuencia que exceden el límite auditivo del oído humano (~ 20 kHz). Es una de las tecnologías emergentes que se ha desarrollado para minimizar el tiempo de procesamiento, maximizar la calidad y garantizar la seguridad de los productos alimenticios. Se aplica para impartir efectos positivos en el procesamiento de alimentos, tales como la mejora en la transferencia de masa, conservación, análisis y reducción de la intensidad de los tratamientos térmicos y manipulación de la textura (Knorr y otros, 2011).

El ultrasonido, según los intervalos de frecuencia de sonido utilizados, se divide en ultrasonido de diagnóstico o de alta frecuencia (>1 MHz) y ultrasonido de poder o de baja frecuencia (20 - 100 kHz) (Kentish y Feng, 2014).

El ultrasonido de diagnóstico o de alta frecuencia se efectúa cuando un pulso de sonido es liberado a través de un medio y la detección de un "eco" de este sonido regresa después de reflejar en la superficie de un objeto sólido, el límite de una fase o de otra interfaz. El ultrasonido de diagnóstico se utiliza para proveer información sobre las propiedades fisicoquímicas, como la estructura, composición, estado físico y velocidad de flujo (Kentish y Feng, 2014).

El ultrasonido de potencia se puede aplicar de tres maneras: 1) Aplicación directa al producto, 2) acoplada a un dispositivo y 3) sumergido en un baño ultrasónico (Chemat y otros 2011). De los tres, los baños de ultrasonidos posiblemente sean la aplicación más popular; además de su uso en la limpieza de equipos de laboratorio y para acelerar los procesos de transferencia de materia en medios líquidos.

Usan transductores colocados en la base de un recipiente de acero inoxidable y con un sistema de generación que controla la potencia que suministra al medio, variación del campo acústico dentro del baño y control de la temperatura (Bendicho y otros, 2012).

Para que la tecnología de ultrasonido se aplique en procesos alimentarios, se considera que el criterio de mayor importancia es la cantidad de energía del campo generador de sonido. El ultrasonido de potencia o de baja frecuencia provoca el fenómeno de cavitación, el cual puede alterar las propiedades físicas y químicas de los alimentos, en la cristalización de grasas y azúcares, inhibición de enzimas, alteraciones de reacciones químicas, oxidaciones, congelación y ablandamiento de carne entre otros. Otro efecto importante es que causa daños en la pared celular de microorganismos, logrando inhibirlos o destruirlos (Kentish y Feng, 2014).

### **2.1.2. Fuentes de ultrasonido**

El ultrasonido es generado por una corriente eléctrica que es transformada a energía de sonido por medio de diferentes transductores. Existen tres tipos de transductores ultrasónicos principales (Porras y otros, 2011).

- **Transductores conducidos por líquido.** Son aquellos en los que un líquido es forzado a atravesar por una lámina muy delgada causando que la lámina vibre. Para cada momento de vibración la cara principal de la lámina produce una presión de onda mientras que la cara posterior genera cavitación en el líquido. Esta generación continua de presión y cavitación del líquido produce una fuente de energía suficiente para generar ondas de sonido.
- **Transductores de magneto rígida.** Son dispositivos electromecánicos que utilizan materiales ferromagnéticos, es decir, materiales que cambian de tamaño como respuesta a la presencia de un campo

magnético. Pero, tienen dos desventajas: 1) el intervalo de frecuencia es menor que 100 kHz y 2) los sistemas son eléctricamente eficientes.

- **Transductores piezoeléctricos.** Son los transductores más utilizados para la generación de ultrasonido, utilizan cerámicas que contienen materiales piezoeléctricos como el titanato de bario o metaniobato de plomo. Los transductores cerámicos son muy quebradizos, por lo que se sujetan entre bloques metálicos. Esto sirve para proteger el delicado material cristalino, así como, para prevenir que se sobrecaliente. Estos transductores son más de los 95% eficientes, eléctricamente y pueden operar en todo el intervalo ultrasónico.

La tecnología ultrasónica actual proviene del aprovechamiento de dos propiedades que poseen ciertos materiales: la piezoelectricidad y la magneto estricción. Un generador de ultrasonidos piezoeléctrico se basa en la generación de oscilaciones eléctricas, de una frecuencia determinada, que un material con propiedades piezoeléctricas transforma en oscilaciones mecánicas (transductor). Otro método para producir vibraciones ultrasónicas es mediante el uso de transductores magneto estRICTIVOS. El funcionamiento de estos dispositivos se basa en las deformaciones mecánicas que experimentan ciertos materiales al someterlos a un intenso campo magnético (Orozco y otros, 2012).

### 2.1.3. Parámetros de ultrasonido

Hay tres parámetros ampliamente utilizados en experimentos con ultrasonido y que están relacionados con las propiedades físicas de alimentos como la composición, la estructura y el estado físico (Gómez y López, 2009):

- **Velocidad de onda (c).** Es la velocidad con la que viaja una onda de ultrasonido a través de un material.

- **Coefficiente de atenuación.** Es la medida de la disminución en la amplitud de una onda de ultrasonido al viajar por un medio y va a depender de la naturaleza del fluido, de la temperatura del medio y de la frecuencia de la onda.
- **Impedancia acústica.** Es la relación entre la porción de la onda reflejada y la porción de onda transmitida, cuando la onda incide en la interfaz de dos materiales diferentes.

La velocidad de onda ( $c$ ) puede ser calculada por dos formas:

$$C = \lambda * f$$

$$C = \frac{d}{t}$$

Donde:

$\lambda$ : Longitud de onda

$f$ : Frecuencia del ultrasonido

$d$ : Distancia

$t$ : Tiempo para que una onda viaje una distancia ( $c$ ) conocida

#### 2.1.4. Cavitación

La cavitación se produce en las regiones de un líquido que se encuentran sometidas a presiones de variada amplitud de onda que alternan rápidamente. Las microburbujas que alcanzan un tamaño crítico implosionan o colapsan violentamente para volver al tamaño original. La implosión supone liberación de toda la energía acumulada, ocasionando incrementos de temperatura instantáneos y focales, que se disipan sin una elevación de temperatura sustancial del líquido tratado. La energía liberada y el choque mecánico asociadas al fenómeno de implosión afectan la estructura de los materiales situados en el microentorno.

Cuando el ultrasonido pasa a través de un medio líquido, la interacción entre las ondas del ultrasonido, el líquido y el gas disuelto

conduce a un fenómeno de excitación conocido como cavitación acústica (Figura 1), caracterizado por la generación y evolución de microburbujas en el medio líquido (Ulloa y otros, 2013).

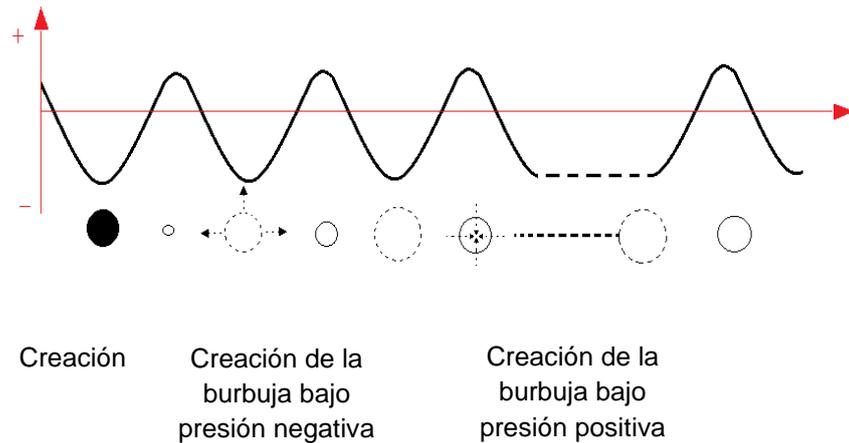


Figura 1. Comportamiento de las burbujas durante la cavitación  
Fuente: Ulloa y otros (2013)

El mismo autor considera que de acuerdo a como es producida la cavitación existen 4 tipos:

- **Cavitación hidrodinámica.** Producida por las variaciones de presión en el flujo del líquido debidas a la geometría del sistema.
- **Cavitación acústica.** Debida a la propagación de longitudes de onda producidas por las variaciones de presión en un líquido.
- **Cavitación óptica.** Producida por fotones de luz de alta intensidad que atraviesan a un líquido.
- **Cavitación de partícula.** Producida por cualquier tipo de partícula finas y ultrafinas en suspensiones.

Los factores que afectan la cavitación son: las propiedades físicas del solvente, la temperatura, frecuencia de irradiación, presencia de gases disueltos, limpieza del sistema de reacción, frecuencia del

ultrasonido, presión hidrostática, tensión superficial y potencia de irradiación (Parada y otros, 2012).

#### **2.1.5. Efecto microbiológico**

Los microorganismos que producen esporas son más resistentes a tratamientos con calor. El daño microbiológico al aplicar diferentes amplitudes de onda de ultrasonido va a depender de factores críticos como el tiempo de contacto con el microorganismo, el tipo de microorganismo, la cantidad y composición de alimento, y la temperatura del tratamiento (Majid y otros, 2015).

Algunos microorganismos son más susceptibles al tratamiento con ultrasonido que otros. En general, se ha visto que las células largas o más grandes son más sensibles al ultrasonido. Con el incremento en el área de superficie, las células de mayor tamaño son más bombardeadas por la presión producida por la cavitación, haciéndolas más vulnerables al tratamiento (Gómez y López, 2009).

#### **2.1.6. Aplicaciones en la industria de alimentos**

De manera general, la aplicación de la energía de ultrasonido en el campo de los alimentos podría resumirse en dos grandes áreas: a) análisis y control de calidad y b) procesamiento, conservación e inocuidad. Sin embargo, las aplicaciones del ultrasonido en alimentos, dependen del rango de frecuencia del mismo, la que, a su vez, genera ultrasonido de alta o baja potencia (Ulloa y otros, 2013).

#### **2.1.7. Principios y aplicaciones del ultrasonido de alta frecuencia (baja energía)**

Según Robles y Ochoa (2012) el sonido se propaga a través de los materiales alimenticios como ondas mecánicas que causan compresiones y descompresiones alternantes. Esas ondas ultrasónicas

tienen longitudes de onda, velocidad, frecuencia, presión y periodos característicos. La interacción de las ondas del sonido con la materia altera la velocidad y atenuación de las ondas del sonido, vía mecanismos de absorción o dispersión. La velocidad del sonido es el producto de la frecuencia y longitud de onda, por lo tanto el sonido de alta frecuencia tiene longitudes de onda corta, en tanto que las ondas de baja frecuencia tienen longitud de onda larga. La velocidad del ultrasonido (US) está determinada por la densidad ( $\rho$ ) y la elasticidad ( $E$ ) del medio de acuerdo con la ecuación de Newton-Laplace:

$$US = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

Esta ecuación implica que la velocidad del ultrasonido de un material sólido es más grande que el de su forma líquida (por ejemplo chocolate sólido y fundido). Para el análisis de materiales alimenticios, la velocidad del sonido es muy sensitiva a la organización molecular e interacciones intramoleculares, lo cual hace a las mediciones de la velocidad del ultrasonido idóneas para determinar la composición, estructura, estado físico, así como, en diversos procesos moleculares (tales como transición de fase y cinéticas de cristalización en grasas a granel, emulsiones y nanopartículas lipídicas sólidas) y para la detección de cuerpos extraños en alimentos procesados y envasados (Gómez y López, 2009).

La impedancia acústica es el producto de la densidad y la velocidad del sonido que pasa a través de las fronteras de los diferentes materiales, lo cual afecta el coeficiente de reflexión. Los materiales con diferentes densidades tendrán diferentes impedancias acústicas, lo cual provoca reflexiones de las fronteras o límites entre dos materiales con diferente impedancia acústica. A continuación, se señala las principales aplicaciones del ultrasonido de baja energía en distintos materiales alimenticios (Ulloa y otros, 2013).

**A. Carne y productos cárnicos.** En la industria de la carne, el ultrasonido de baja energía se ha utilizado como una tecnología rápida, reproducible y confiable, particularmente para la estimación de la acumulación de grasa, músculo y composición corporal, porcentaje de grasa intramuscular y características de la canal. Este tipo de ultrasonido también se ha utilizado ampliamente en tiempo real para la estimación de la composición química corporal y del canal de corderos en crecimiento (Ulloa y otros, 2013).

**B. Frutas y vegetales.** Las principales aplicaciones del ultrasonido en este tipo de alimentos están relacionadas con el control de calidad de frutas y vegetales frescos, a nivel precosecha y postcosecha, debido a que varios cambios fisicoquímicos y fisiológicos (firmeza, harinosidad, porcentaje de peso seco, contenido de aceite, sólidos solubles totales y acidez) que suceden durante el crecimiento y maduración, así como, en el curso del periodo de cosecha, almacenamiento y vida de anaquel, están vinculados con mediciones del ultrasonido, lo que permite la evaluación indirecta del tiempo de cosecha, periodo de almacenamiento o vida de anaquel. Como la amplitud de las ondas del sonido transmitido a través de la superficie de las frutas se incrementa cuando el color cambia de verde a amarillo, se ha encontrado una buena correlación entre la madurez y la atenuación acústica, por lo que el ultrasonido también puede aplicarse para valorar el estado de madurez con base en dicha propiedad. Las mediciones de la velocidad del ultrasonido también se utilizan para determinar el contenido de azúcares en bebidas y jugos de frutas (Awad y otros, 2012).

**C. Productos de cereales.** También se ha demostrado que el ultrasonido tiene grandes aplicaciones en el control de calidad de los procesos de producción de alimentos derivados de los cereales, especialmente durante la elaboración de productos de panificación, dada su

correlación (velocidad de atenuación) con las propiedades reológicas de los productos intermedios y finales. Dentro de las aplicaciones particulares del ultrasonido en este campo, se encuentran registradas las siguientes: evaluación de la calidad de la masa de productos de panificación en procesos en línea, caracterización de la fase de fermentación en productos de panificación, monitoreo en los cambios en la consistencia de la masa de harina de trigo inducida por las proteínas y gelificación del almidón, evaluación de las propiedades texturales de los productos de panificación, evaluación de las propiedades estructurales y mecánicas (densidad, porosidad superficial, fuerza mecánica) de productos porosos, evaluación de propiedades físicas (densidad, viscosidad, reología, volumen, simetría, índice de volumen) de productos como panqueques, donas, bizcochos y pasteles (Ulloa y otros, 2013).

**D. Productos grasos y emulsiones.** El ultrasonido de baja intensidad es una técnica analítica poderosa para la caracterización de aceites y grasas comestibles y para la evaluación de propiedades físicas y químicas, tales como las temperaturas de cristalización y fusión, contenido de grasa sólida, dureza, contenido y composición del aceite. Otra de las aplicaciones del ultrasonido de baja intensidad es el monitoreo de la cristalización de emulsiones, lo cual es importante para la calidad de muchos productos en forma de emulsiones alimenticias tales como la mantequilla, margarina, crema batida y helados (Robles y Ochoa, 2012).

La cristalización y fusión de la fase grasa en una emulsión están acompañadas de cambios en su estructura interna, propiedades morfológicas y empaquetamiento molecular. Sobre la base de la diferencia en la velocidad del sonido a través de los sólidos y líquidos, las mediciones de velocidad de sonido se han utilizado exitosamente para monitorear la transición de fase y cristalización de varias

formulaciones de emulsiones aceite-agua. Otra aplicación de la medición de la velocidad del ultrasonido es para la evaluación de la estabilidad de la emulsión y para el estudio de la cinética de cristalización (Ulloa y otros, 2013).

**E. Miel de abeja.** Es un endulzante natural popular con alto valor nutricional y medicinal. La miel también se usa como aditivo alimenticio funcional y como conservador, debido a sus actividades antioxidantes y antimicrobianas. El valor funcional de la miel es altamente dependiente de las concentraciones de sus componentes que incluyen carbohidratos, aminoácidos, minerales, sustancias aromáticas, ceras y granos de polen. Sin embargo, la miel puede ser fácilmente adulterada añadiéndole sacarosa, glucosa, almidón, gelatina, agua y otras sustancias. Para asegurar la calidad y detectar fraudes, se utilizan una gran variedad de técnicas analíticas para determinar la composición de la miel, a los cuales se ha sumado la medición de la velocidad del ultrasonido, lo que ha resultado efectivo para detectar productos de miel adulterados o para asegurar la autenticidad de productos naturales de miel (Ulloa y otros, 2013).

#### **2.1.8. Principios y aplicaciones del ultrasonido de baja frecuencia (alta energía)**

La propagación del ultrasonido a través de materiales biológicos induce compresiones y descompresiones (rarefacciones) de las partículas del medio, lo cual genera mucha energía. El ultrasonido de alta energía tiene efectos mecánicos, químicos y bioquímicos, que se utilizan para modificar las propiedades fisicoquímicas y mejorar la calidad de sistemas alimenticios durante su procesamiento. Algunas de los efectos mecánicos del ultrasonido de alta frecuencia son la extracción de sabores, desgasificación, destrucción de espumas, mejoramiento de la cristalización y modificación del polimorfismo. Por otra parte, los efectos químicos y bioquímicos son herramientas efectivas para la esterilización

de equipos, prevención de contaminación de superficies de procesamiento de alimentos por microorganismos patógenos o biopelículas bacterianas (Robles y Ochoa, 2012).

A continuación, se presentan algunas de las aplicaciones del ultrasonido de alta energía en el campo de la ciencia y tecnología de alimentos:

**A. Sonocristalización.** La cristalización es un proceso importante en muchas industrias como la del chocolate, mantequilla, margarina, crema batida y helados. Para obtener productos alimenticios con atributos sensoriales específicos (por ejemplo, textura, dureza, suavidad, sensación en la boca), se deben controlar la cristalización de grasa mediante temperatura, velocidad de enfriamiento y aplicación de cortes o ultrasonido. La energía de ultrasonido en el rango de 20 o más kHz se considera una herramienta efectiva para promover la cristalización de líquidos y fusiones de sólidos, que se utilizan para la fraccionación de grasas para separar estearinas y oleínas de mezclas de triglicéridos. La sonocristalización es una tecnología importante para la producción a gran escala con muchas aplicaciones en alimentos, siendo también importante por su costo-beneficio, facilidad para operar, modificar o controlar (Ulloa y otros, 2013).

**B. Emulsificación.** La formación de micro corrientes cercanas a la interface agua aceite generadas por la aplicación de ultrasonido de alta intensidad facilita la emulsificación; comparada con la agitación mecánica, el uso de ultrasonido requiere menor cantidad de surfactantes y produce gotitas más pequeñas y estables. En emulsiones aceite - agua preparadas con ultrasonido de alta energía, se obtiene un grado bajo de floculación de las gotas, lo cual incrementa la estabilidad de la cremosidad de la emulsión. Con el uso de las proporciones correctas de los componentes de la emulsión y la energía

de ultrasonido, es posible preparar nanoemulsiones comestibles transparentes con gotas muy pequeñas (40 nm). Los sistemas de emulsificación ultrasónicos son de bajo costo de operación y fáciles de operar e integrar a líneas industriales existentes, para mejorar la calidad de productos emulsificados, como en la homogenización de la leche previo a la elaboración de queso, con la finalidad de aumentar su rendimiento, al igual que la termosonicación para, simultáneamente, pasteurizar leche y desintegrar grandes glóbulos de grasa de la misma (Ulloa y otros, 2013).

**C. Eliminación de espumas.** Las espumas son sistemas coloidales termodinámicamente inestables, en los cuales, un gas está estabilizado como una fase separada dispersa en una matriz líquida. La eliminación de espumas es un proceso de remoción de burbujas y aire de líquidos. En la industria de alimentos, es importante eliminar aire y oxígeno de leches y bebidas para prevenir el deterioro y oxidación, lo cual mejora la frescura, calidad y aumenta la vida de anaquel de los productos. También es importante evitar la formación de espumas para maximizar la producción y evitar problemas en el control de procesos y operación de los equipos (Robles y Ochoa, 2012).

**D. Proteínas alimenticias.** La aplicación de ultrasonido de alta energía afecta las propiedades funcionales de proteínas del suero de leche, las cuales son altamente utilizadas como ingredientes de muchos productos alimenticios para diferentes propiedades funcionales, incluyendo la emulsificación, gelación, espumado y capacidad de retención de sabor y grasa. De igual manera, el ultrasonido de alta energía tiene aplicaciones potenciales en el tratamiento de aislados y concentrados proteicos de soya para experimentar cambio en su conductividad, incrementar su solubilidad y área superficial específica, lo que permite influir en la textura e incrementar los valores de actividad

emulsificante. Se estima que el tratamiento con ultrasonido en productos de soya y cremas implica un menor gasto de energía y tiempo, comparado con la tecnología actualmente utilizada para los mismos propósitos (Ulloa y otros, 2013).

**E. Enzimas en alimentos.** La inactivación enzimática es un proceso importante para mejorar la estabilidad, vida de anaquel y estabilidad de muchos productos alimenticios. La energía del ultrasonido se usa para incrementar o inactivar las actividades enzimáticas, que depende de la intensidad del ultrasonido. El ultrasonido combinado con baja presión y calor incrementa la velocidad de inactivación de enzimas en tomates, soya, rábanos y naranjas. Otra de las aplicaciones de la energía de ultrasonido es el aumento en la producción de glucosa a partir de granos de sorgo, al mejorar el rendimiento en 10 - 25%, lo que depende del tiempo de sonicación y la intensidad. También se ha reportado la aceleración de la hidrólisis enzimática de la paja de arroz después del pretratamiento de ultrasonido (Ulloa y otros, 2013).

**F. Inactivación microbiana.** La pasteurización y esterilización térmica son dos de las técnicas usadas para la inactivación de bacterias en los productos alimenticios. Sin embargo, la efectividad de dichos métodos requiere de largos tiempos de exposición a tratamientos con altas temperaturas, lo cual conduce al deterioro de las propiedades funcionales, características sensoriales y valor nutritivo de los alimentos. En particular, el uso del ultrasonido de alta energía muestra varias ventajas comparada con la pasteurización térmica, tales como la minimización de las pérdidas de sabor en jugos de frutas, mayor homogeneidad y significantes ahorros de energía, sin embargo, para mejorar la inactivación microbiana en alimentos líquidos, el ultrasonido debe combinarse con otros tratamientos como presión, calor, o el uso de antimicrobianos (Figura 2) (Porrás y otros, 2011).

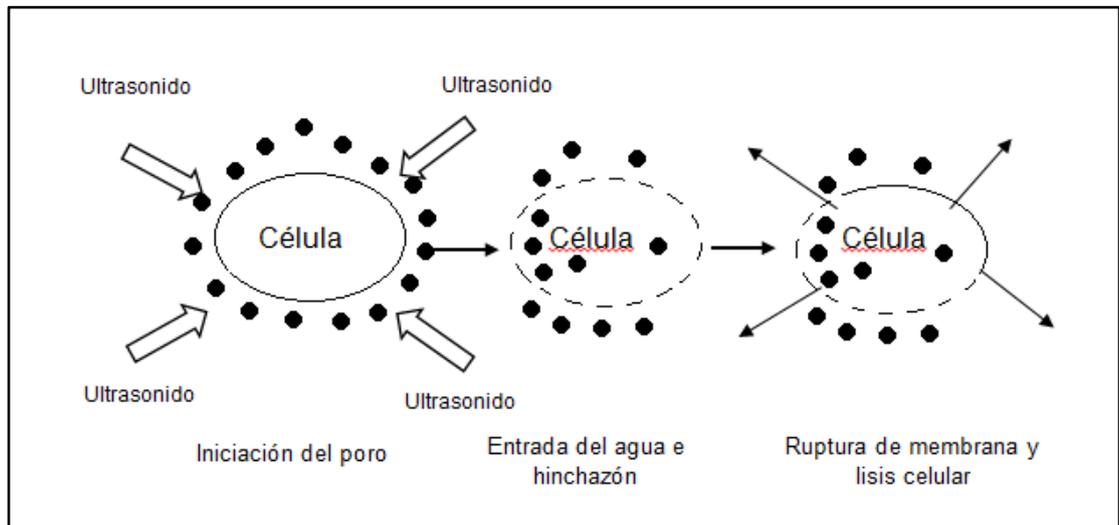


Figura 2. Mecanismo del daño celular inducido por ultrasonido

Fuente: Porras y otros (2011)

**G. Congelación de alimentos.** El ultrasonido de alta frecuencia es interesante en el procesamiento y conservación de alimentos debido a su capacidad de controlar/modificar la nucleación y el crecimiento de cristales. Además, el ultrasonido de alta energía es químicamente no invasivo y no presenta problemas legislativos para su uso. El efecto más importante del ultrasonido de alta energía en la congelación de alimentos se debe a la cavitación acústica, la cual no solamente promueve la nucleación del hielo por microburbujas, sino también mejora la transferencia de masa debido a la agitación violenta creada por las microcorrientes acústicas (Ulloa y otros, 2013).

**H. Deshidratación de alimentos.** El ultrasonido de alta energía, mejora los fenómenos de transferencia de masa y calor en el proceso de secado. La deshidratación acústica se basa en la cavitación acústica y también en los efectos de compresiones y expansiones inducidas por las ondas del sonido que pasan a través del medio alimenticio, lo cual genera altas fuerzas y mantiene la humedad dentro de los capilares del material, con lo que la humedad resulta más fácil de eliminar. Las aplicaciones del ultrasonido en la deshidratación se han realizado

principalmente en vegetales, así como pretratamiento previo al secado con aire en frutas como el plátano, piña, papaya, melón y zapote. En general, la aplicación del ultrasonido incrementa la difusividad efectiva del agua en la fruta, con lo cual se reduce el tiempo de secado, lo cual también aplica a la deshidratación osmótica por la formación de microcanales en la fruta lo que contribuye a la reducción del tiempo de secado (Ulloa y otros, 2013).

## **2.2. Zorzamora**

### **2.2.1. Generalidades**

Existe alrededor de 750 especies en el mundo que pertenecen al género *Rubus*, con el mayor número de especies dentro de la familia de las Rosáceas. Este género se divide en 12 subgéneros, de los cuales, los *Idaeobatus* (Frambuesas) y *Rubus* (Blackberries) han sido domesticados y componen un valioso grupo de frambuesas, moras y fruta ártica fuertemente heterocigótica (Ayala y otros, 2013).

La zorzamora conocida también como: moyaca, zarza, zarzaparrilla, mora o cushai, (*Rubus floribundus* Kunth), pertenece a la familia Rosaceae, es un arbusto a menudo rastrero, armado de espinas. Hojas con tres folíolos, cada uno con base redondeada y ápice acuminado, borde aserrado. El haz es liso color verde oscuro y el envés blanquecino por la presencia de pequeños pelos muy densos. Inflorescencia, cimas simples o compuestas, racimos o panículas o flores solitarias. Flores vistosas color blanco rosado (Figura 3). Frutos globosos, lisos, agrídulces. Crece a 2 624 msnm en las zonas húmedas del Cerro Santa Apolonia de Llacanora (Cajamarca), abunda en los meses de lluvia, para los meses de noviembre y diciembre brotan sus frutos llamados “moras” (Castañeda y Condori, 2010).

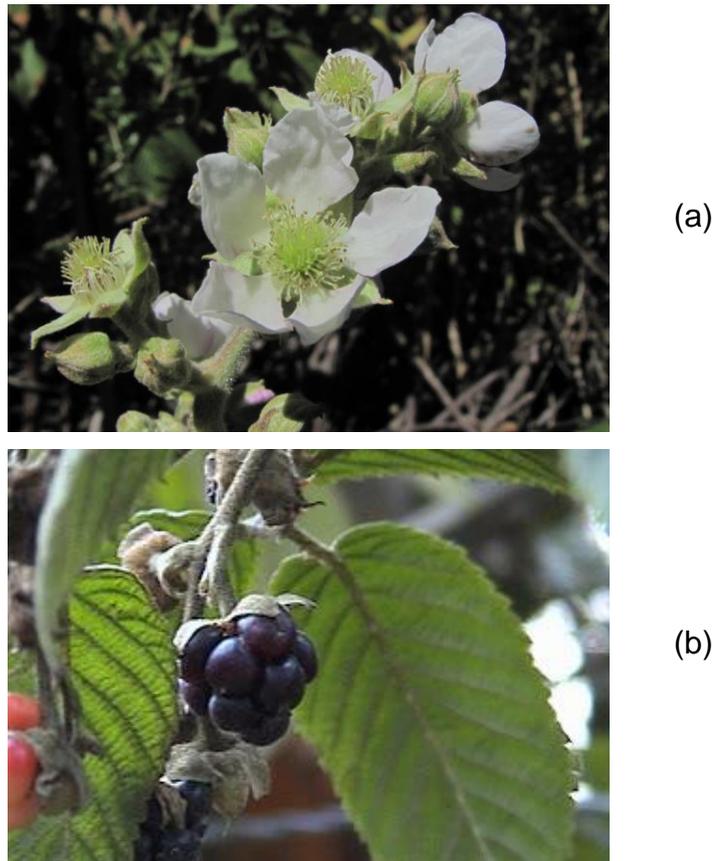


Figura 3. Zazzamora (*Rubus floribundus* Kunth)  
(a) Ramas floríferas, (b) Fruto  
Fuente: foto Cortesía S. Leiva, HAO

La zazzamora, al igual que todas las frutillas (frambuesa, fresa, arándano), se considera como no climatérica, ya que no tiene la capacidad de madurar después de la cosecha, por lo cual debe ser cosechada justo en el momento en el que ha adquirido su madurez de consumo (color homogéneo y característico de zazzamora madura, sabor dulce, cantidad de azúcar y sólidos adecuados). Por esta razón, es indispensable un manejo adecuado, tanto físico como de temperatura, para evitar el deterioro de la fruta y un extremo cuidado de no mantenerla o almacenarla junto a productos que produzcan etileno que acelerará el proceso de envejecimiento y deterioro de la zazzamora (Pérez, 2013).

La zarzamora es comestible y dulce. La zarzamora posee propiedades antibacterianas, demostrado a través de los estudios realizados con extractos etanólicos de rama floral (Bussmann y Sharon, 2007; Bussmann y otros, 2008).

La zarzamora es muy importante por el contenido de antocianinas y compuestos bioactivos, las cuales tienen acción antioxidante y, por tanto, neutralizan los radicales libres evitando los efectos dañinos en el organismo, las cuales serían de gran interés en la salud del consumidor. Se determinó el contenido de fenoles, flavonoides y antocianinas en extracto metanólico de frutos de zarzamora. Los análisis colorimétricos fueron: fenoles  $29.23 \pm 1.4$  mg equivalentes de ácido gálico, flavonoides  $5.26 \pm 0.25$  mg equivalentes de catequina y antocianinas 12.3 mg por cada gramo de fruto seco. Mediante HPLC identificaron la antocianina cianidina-3-glucósido (Martínez y otros, 2011).

La zarzamora dentro del jugo celular contiene sustancias disueltas, principalmente: azúcares y ácidos orgánicos (málico, cítrico, láctico, succínico, oxálico y salicílico), vitaminas C, E y A, sales de calcio, potasio, hierro y manganeso; sin embargo, lo que en realidad caracteriza a estos frutos es su abundancia de pigmentos naturales que además de conferirle su color y sabor característico tienen acción antioxidante (Pérez, 2013). Entre los compuestos fenólicos en los frutos de zarzamora se encuentran: el ácido elágico, ácido ferúlico, ácido cafeíco, quercetina, catequina y epicatequina (Lee y otros, 2012), pero la principal característica de estos frutos es su elevado contenido de antocianinas principalmente cianidina-3-glucósido, cianidina-3-rutinósido, cianidina-3-xilósido, cianidina-3-malonilglucósido y cianidina-3-dioxalilglucósido (Siriwoharn y otros, 2005).

### 2.2.2. Clasificación botánica

Phylum: Pterophyta  
Clase: Angiospermae  
Subclase: Dicolitedonae  
Orden: Rosales  
Familia: Rosaceae  
Subfamilia: Rosoideas  
Género: *Rubus*  
Especie: *Rubus floribundus*

### 2.2.3. Fenología y fisiología

La planta tiene un hábito de crecimiento erecto, por lo que se cultiva en línea, el género *Rubus* es prácticamente cosmopolita; se puede encontrar todavía zarzamoras silvestres en muchas partes del mundo (Alice and Campbell, 1999; Clark y otros, 2007).

### 2.2.4. Flor y fruto

Tiene hojas imparipinadas, compuestas por 3 ó 5 foliolos peciolulados, de forma elíptica ovada u obovada, con borde dentado o aserrado, de color verde oscuro por el haz y blanco-tormentoso por el envés (Zamorano, 2007).

Las flores son blancas o rosadas, 5 pétalos y 5 sépalos. Nacen en racimos, dando lugar a inflorescencias de forma oblonga o piramidal. Los sépalos son grises o tomentoso-blanquecinos.

El color de los pétalos varía desde el blanco al rosa, tienen de 10 a 15 mm y son de forma ovada (Zamorano, 2007).

Su fruto se llama zarzamora o mora es comestible. Desde el punto de vista botánico está formada por muchas pequeñas drupas arracimadas y unidas entre sí (polidrupa), de color rojo tomándose a negro al madurar (Clark y otros, 2007).

### **2.2.5. Estacionalidad**

La zarzamora florece a partir de mayo y el fruto, que primero es verde, después rojo y cuando madura negro, puede ser recogido a finales de verano o principios de otoño. Sin embargo, las zarzamoras maduran a principio de verano.

### **2.2.6. Propiedades nutricionales de la zarzamora**

La zarzamora tiene propiedades diuréticas, astringentes, anti ulcerosas, fortifica las encías, aporta mucha fibra y pocas calorías, al ser pobre en proteínas y grasas. Posee propiedades medicinales como astringentes, diuréticas, antidiabéticas y hemostáticas.

Los frutos de zarzamora contienen un elevado porcentaje de agua (80%) y el resto son azúcares, vitaminas, minerales y ácidos orgánicos (Famiani y otros, 2015), entre otros. Además, tienen un alto contenido de fibra lo que mejora al tránsito intestinal, contiene gran cantidad de carotenoides y antocianinas que presenten una actividad antioxidante (Cuadro 1).

Cuadro 1. Composición fisicoquímica del fruto de zarzamora

Composición	Zarzamora	
	b.h.	b.s.
Humedad	82,98	VND
Proteína (factor 6,25) (%)	0,93	5,44
Grasa (%)	0	0
Carbohidratos (%)	13,19	77,49
Ceniza (%)	0,42	2,43
Fibra (%)	2,48	14,19
Otros análisis		
Energía total (kcal/100g)	66,43	VND
Compuestos fenólicos <sup>(a)</sup>	400,67	2 234,15
Capacidad antioxidante <sup>(b)</sup>	39,02	217,66
Antocianinas monoméricas <sup>(c)</sup>	109,07	640,41
Vitamina C <sup>(d)</sup>	14,37	84,41
Acidez (%)	0,93	VND
Sólidos solubles (°Brix)	10,55	VND
pH	3,4	VND

Fuente: Valencia-Sulca y Guevara-Pérez (2013)

b.h: base húmeda; b.s.: base seca; VND: valor no determinado

<sup>(a)</sup> mg de ácido gálico/100 g de muestra

<sup>(b)</sup> micromol Trolox/g

<sup>(c)</sup> mg de cianidina 3-glucósido/100 g de muestra

### **III. MATERIALES Y METODOS**

#### **3.1. Lugar, materia prima, equipos e instrumentos**

##### **3.1.1. Lugar de ejecución**

Las pruebas experimentales y los análisis se realizaron en el Laboratorio de Tecnología de Alimentos de la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias de la Universidad Privada Antenor Orrego.

##### **3.1.2. Materia prima**

Fruto de zarzamora (*Rubus floribundus* Kunth), procedentes del Cerro Santa Apolonia de Llacanora (Cajamarca) y adquiridos en el Mercado Santo Domingo.

##### **3.1.3. Materiales**

- Bandejas térmicas
- Placas Petri
- Vasos de precipitación de 250 mL
- Colador de plástico

##### **3.1.4. Reactivos**

- I<sub>2</sub> en KI 0,01 N
- Azul de metileno
- NaOH 0,1 N
- Solución de fenolftaleína 1%
- Almidón 1%
- Agar Sabouraud

### 3.1.5. Equipos e instrumentos de laboratorio

- Equipo de ultrasonido de baño Branson Modelo 5800 serie CPXH, capacidad del tanque 9,5 L y frecuencia 40 kHz.
- Balanza analítica. Marca Mettler Toledo. Capacidad 0-210 g. sensibilidad aprox. 0.0001 g.
- Refractómetro. Marca Atago, rango: 0 – 32 °Brix,  $\pm 0.2\%$ , calibrado 20 °C.
- Termómetro digital. Marca Multidigital, rango de 50 a 200 °C, precisión  $\pm 0.01$  °C.
- pH metro. Marca Mettler Toledo. Rango de 0-14, sensibilidad aprox. 0.01
- Licuadora

## 3.2. Método experimental

### 3.2.1. Esquema experimental para la evaluación del efecto del tiempo de exposición al ultrasonido y la temperatura en la pulpa de zarzamora (*Rubus floribundus* Kunth)

La investigación tuvo como variables independientes al tiempo de exposición al ultrasonido y la temperatura; y como variables dependientes contenido de vitamina C, la acidez titulable, el pH, el contenido de sólidos solubles y recuento de mohos y levaduras; las cuales se indican en la Figura 4.

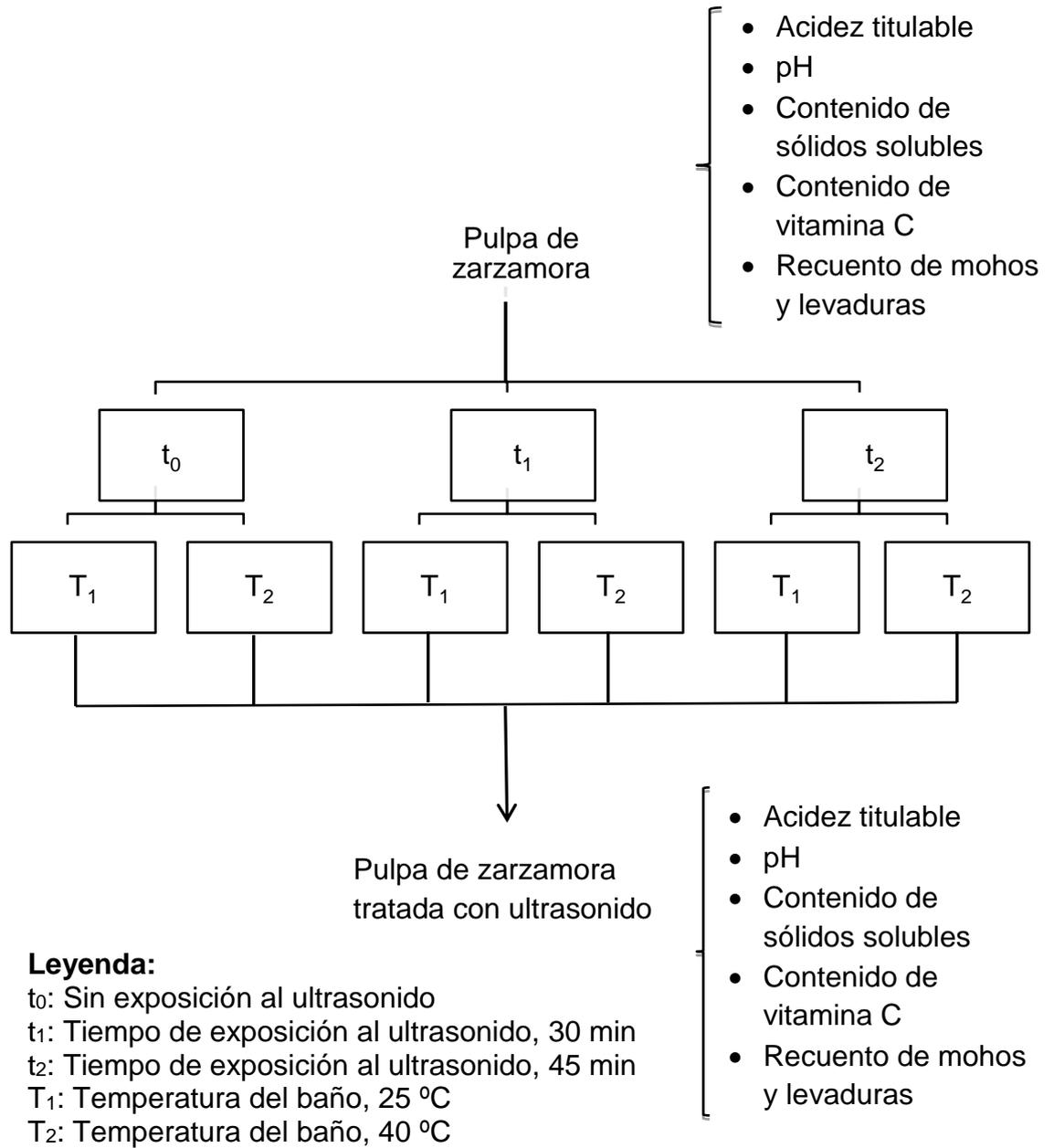


Figura 4. Esquema del desarrollo experimental para evaluar el efecto del tiempo de exposición al ultrasonido y la temperatura en la acidez titulable, el pH, el contenido de sólidos solubles, contenido de vitamina C y recuento de mohos y levaduras de la pulpa de zarzamora (*Rubus floribundus* Kunth)

### 3.2.2. Procedimiento experimental para la obtención de pulpa de zarzamora (*Rubus floribundus* Kunth) y su tratamiento con ultrasonido

El diagrama de flujo para la obtención de la pulpa de zarzamora y su tratamiento con ultrasonido se presenta en la Figura 5.

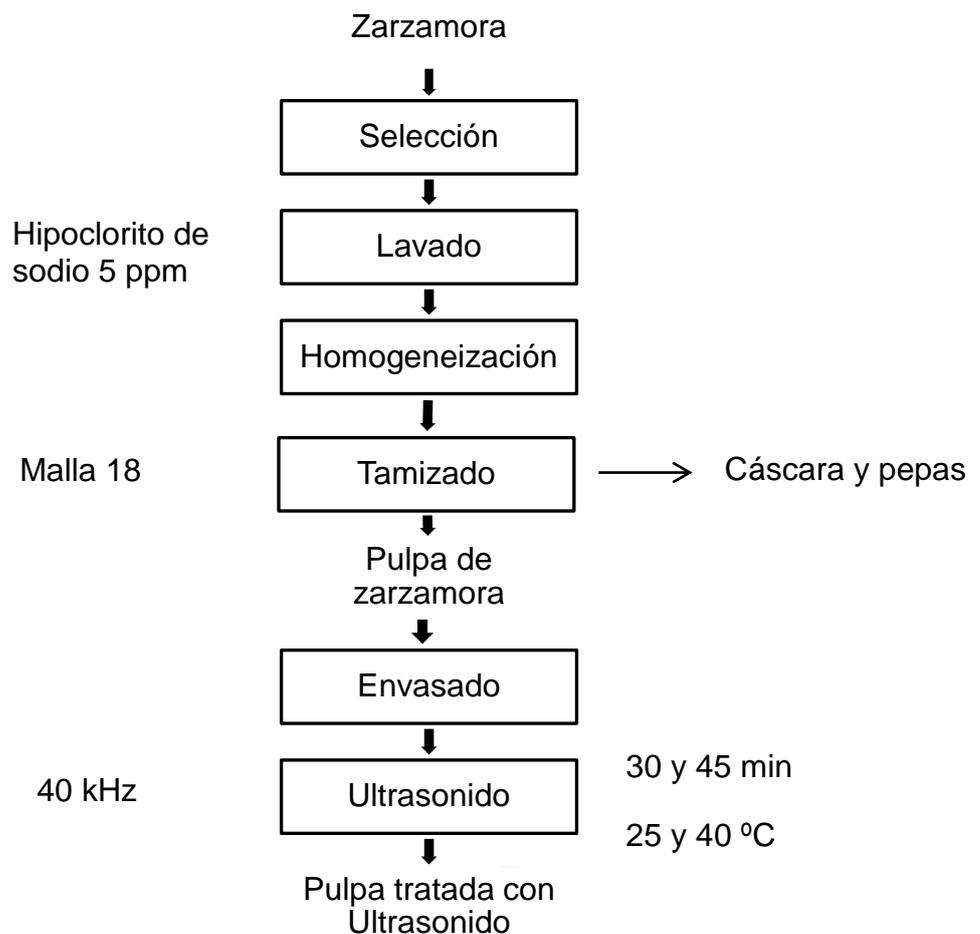


Figura 5. Diagrama de flujo para la obtención de pulpa de zarzamora (*Rubus floribundus* Kunth) y su tratamiento con ultrasonido

A continuación, se describe cada operación del diagrama de flujo mostrado en la figura 5.

- Selección. Se escogió el fruto de zarzamora, procedentes del Cerro Santa Apolonia de Llacanora (Cajamarca), en estado de madurez (color rojo o morado), frescas y sin deterioro físico.
- Lavado. Se lavó el fruto con hipoclorito de sodio 5 ppm, mezclando 0,5 mL de lejía comercial (5%) en 5 L de agua (5 ppm), luego se enjuagó con agua potable.
- Homogeneización. Se empleó una licuadora para obtener la pulpa de zarzamora y residuos.
- Tamizado. Se empleó un colador (malla 18) para separar la cáscara y semilla de la pulpa de zarzamora.
- Envasado, Se empleó frascos de vidrio de 100 mL, en los que se colocó 40 g de pulpa de zarzamora, para su respectivo tratamiento.
- Ultrasonido. Las muestras envasadas se sometieron de manera independiente a tratamientos con ultrasonido a una frecuencia de 40 kHz durante 30 y 45 min a 25 y 40 °C. Una vez concluido el tratamiento, las muestras se retiraron del baño de ultrasonido y fueron analizadas para determinar contenido de vitamina C, acidez titulable, pH, el contenido de sólidos solubles y recuento de mohos y levaduras.

### **3.3. Método de análisis**

#### **3.3.1. Análisis fisicoquímicos**

Tanto las muestras de pulpa fresca (controles), como las muestras de pulpa tratada con ultrasonido se evaluaron fisicoquímicamente de acuerdo con el procedimiento descrito a continuación.

- **Acidez titulable.** Método volumétrico. AOAC (2002) 942.15. El resultado fue expresado en % de ácido isocítrico (ácido mayoritario).
- **pH.** Método potenciométrico NMX-F-534-(1992).
- **Contenido de sólidos solubles.** Método refractómetro. AOAC (2002) 983.17, con un refractómetro tipo Atago N-2E.

### **3.3.2. Vitamina C**

El contenido de vitamina C se determinó mediante el método volumétrico yodometría (Hernández y Pineda, 2003).

### **3.3.3. Recuento de mohos y levaduras**

De acuerdo a la norma ISO 7954. (Resolución 7992 de 1991. Ministerio de Salud).

## **3.4. Método estadístico**

La investigación corresponde a un arreglo factorial 2\*2, con 4 repeticiones. La prueba de Levene se usó para evaluar la homogeneidad de varianzas, seguido del análisis de varianza, finalmente la prueba de comparaciones múltiples de Duncan, todas a un nivel de confianza del 95%.

Para la obtención de datos estadísticos se utilizó el software especializado Statistical Package for the Social Science (SPSS) versión 22.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Acidez titulable

En la Figura 6 se presenta la variación de la acidez titulable de la pulpa de zarzamora con exposición al ultrasonido y la temperatura, mostrando que los valores fueron similares, a mayor tiempo y temperatura, que la muestra control.

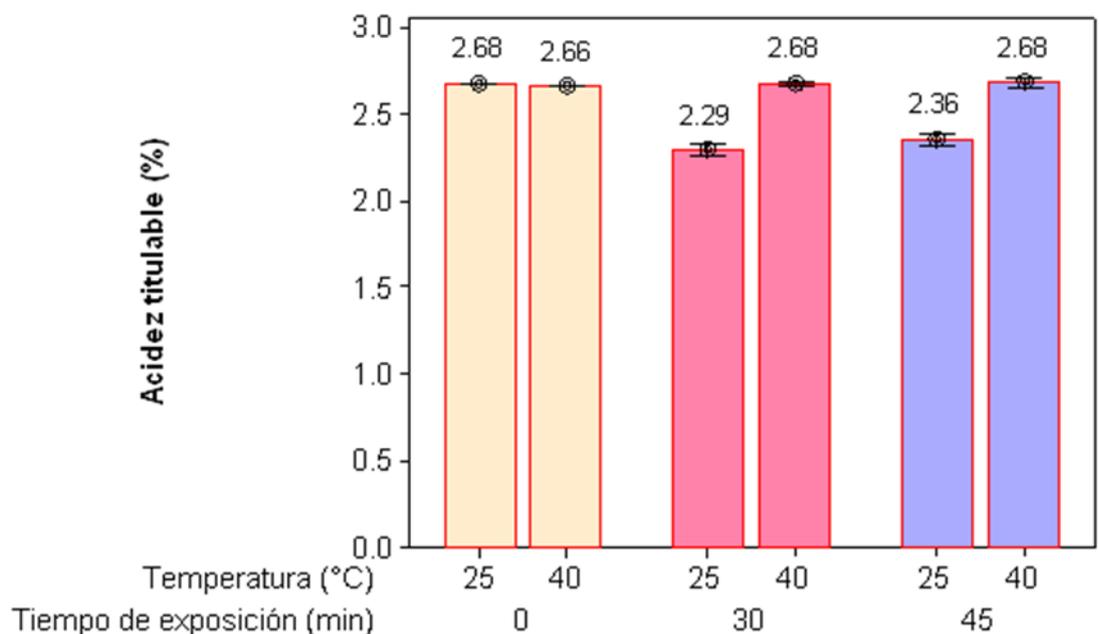


Figura 6. Efecto del ultrasonido y la temperatura en la acidez titulable (% de ácido isocítrico) de la pulpa de zarzamora

Resultados similares fueron presentados por Santhirasegaram y otros (2013), quienes trataron el jugo de mango Chokanan con ultrasonido. El porcentaje de acidez titulable se mantuvo en 0,19 %, similar a la muestra de control (0,20 %). Usaron un baño ultrasónico de 40 KHz, a 25 °C, con tiempos de exposición de 15, 30 y 60 min.

Aadil y otros (2013) evaluaron el efecto del ultrasonido en jugo de toronja en un sonicador tipo baño a una frecuencia de 28 kHz manteniendo una temperatura constante de 20 °C. Los resultados mostraron que todas las muestras de jugo sonicadas durante 30, 60 y 90 min, se mantuvieron alrededor de 0,16 % similar que la muestra control.

Cheng y otros (2007) aplicaron ultrasonido al jugo fresco de guayaba, a temperatura ambiente (15 y 20 °C), a 35 kHz en un baño de limpieza Elma (Modelo T700h W / Acc, Singen, Alemania) durante 30 min, encontrando que el porcentaje de acidez se mantuvo alrededor de 0,46 % similar que la muestra de control.

Aadil y otros (2015) encontraron que aplicando pulsos de campo eléctrico en combinación con ultrasonido en jugo de toronja no produjo un cambio apreciable en la acidez titulable, manteniéndose alrededor de 0,11 % similar que la muestra control. El tratamiento se realizó colocando 80 mL de muestra en un recipiente baño ultrasónico a una frecuencia de 28 kHz, radiación a 420 W y temperatura constante de 20 °C durante 30 min.

La explicación que la acidez titulable se mantenga casi constante al aplicar ultrasonido es por el efecto amortiguador que ejercen los componentes presentes en el jugo de la fruta, por ejemplo ácido cítrico/citrato, entre otros, los cuales equilibran el contenido de ácidos titulables en el jugo (Cheng y otros, 2007).

En el Cuadro 2, se presenta la prueba de Levene modificada para los valores de acidez titulable en zarzamora con exposición al ultrasonido y temperatura, mostrando homogeneidad de varianza ( $p > 0.05$ ), por lo que se procedió a realizar el análisis de varianza y posteriormente la prueba de Duncan para determinar el mejor tratamiento.

Cuadro 2. Prueba de Levene modificada para los valores de acidez titulable en zarzamora con exposición al ultrasonido y temperatura

<b>Estadístico de Levene</b>	<b>p</b>
2.270	0.091

El Cuadro 3 muestra el análisis de varianza que determinó que el tiempo de exposición y la temperatura tuvieron efecto significativo ( $p < 0.05$ ) sobre la acidez en pulpa de zarzamora.

Cuadro 3. Prueba de ANVA para los valores de acidez titulable en zarzamora con exposición al ultrasonido y temperatura

<b>Origen</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
Tiempo: A	0.155	2	0.078	34.492	0.000
Temperatura: B	0.320	1	0.320	142.003	0.000
A*B	0.192	2	0.096	42.653	0.000
Error	0.041	18	0.002		
Total	0.708	23			

Estos resultados concuerdan con Porras y otros (2011), quienes sometieron a muestras de pulpa de mango (*Mangifera indica* L.) a ondas de ultrasonido de frecuencias (25 - 45 kHz) y tiempos (15, 30, 45 y 60min). Encontraron que la frecuencia de operación y el tiempo de exposición al ultrasonido, tuvieron un efecto significativo ( $p < 0,05$ ) sobre la acidez titulable y otras propiedades estudiadas. A 45 kHz y 60 min llegó a generar una variación en la acidez titulable de las muestras de hasta un 43%. En cambio en el presente trabajo se obtuvo una variación de la acidez titulable de 15%.

En el Cuadro 4, se observa la prueba de Duncan aplicada a la acidez titulable en pulpa de zarzamora, con tiempos de exposición al ultrasonido y temperatura, donde, en el subgrupo 2 se tiene a los controles a 40 y 25 °C y a los tratamientos con tiempo de exposición de 30 y 45 min a 40 °C (estadísticamente iguales al estar en el mismo subgrupo) con valores de 2.66, 2.68, 2.68 y 2.68 %, respectivamente. El mejor tratamiento corresponde a 30 min de exposición y 40 °C por que no se percibió cambios considerables respecto a la pulpa inicial.

Cuadro 4. Prueba de Duncan para los valores de acidez titulable en zarzamora con exposición al ultrasonido y la temperatura

Tiempo de exposición (min)	Temperatura (°C)	Subgrupo	
		1	2
30	25	2.29	
45	25	2.36	
0	40		2.66
30	40		2.68
0	25		2.68
45	40		2.68

#### 4.2. pH

En la Figura 7 se presenta la variación del pH en la pulpa de zarzamora con exposición al ultrasonido y la temperatura, mostrando que a una misma temperatura el valor se incrementa ligeramente con el tiempo de exposición al ultrasonido, desde 1.14 a 1.52.

Estos resultados concuerdan con los encontrados por Zou y Jiang (2016), quienes evaluaron el efecto del tratamiento de ultrasonido en jugo de zanahoria con un baño ultrasónico de 40 KHz y tiempos de exposición de 0, 20, 40 y 60 min. Los resultados mostraron un valor de pH de 5,21 (20 min) y aumentó hasta llegar al valor de 5,25 (60 min).

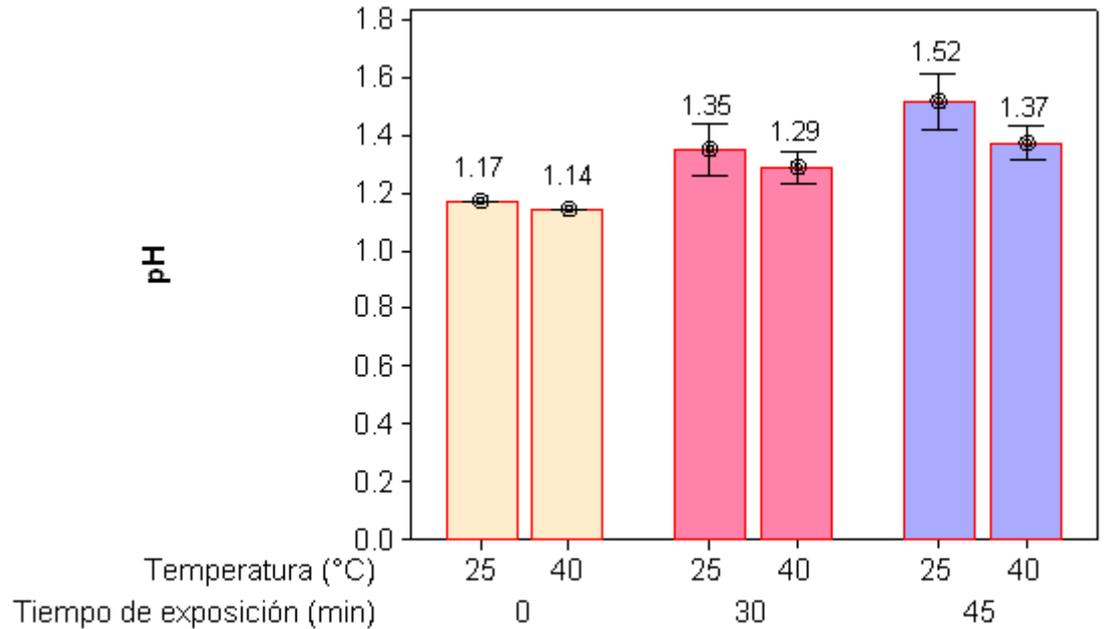


Figura 7. Efecto del ultrasonido y la temperatura en el pH de la pulpa de zarzamora

Hiraoka y otros (2005) estudiaron la formación de radicales libres a consecuencia de irradiaciones ultrasónicas y demostró la aparición de radicales libres desde el primer minuto de sonicación; también encontró que a los 5 min de irradiación es cuando se alcanza la mayor formación de radicales hidroxilo ( $\text{OH}^\cdot$ ). Esto explica la disminución inicial del pH y luego el incremento después de los 5 min de sonicación, por la formación de  $\text{OH}^\cdot$ . Así mismo, el ligero incremento del pH se debe a la disminución del ácido ascórbico.

En el Cuadro 5, se presenta la prueba de Levene modificada para los valores de pH en zarzamora con exposición al ultrasonido y temperatura, donde el valor muestra homogeneidad de varianza ( $p > 0.05$ ), por lo que se procedió a realizar el análisis de varianza y posteriormente la prueba de Duncan para determinar el mejor tratamiento.

Cuadro 5. Prueba de Levene para los valores de pH en zarzamora con exposición al ultrasonido y la temperatura

<b>Estadístico de Levene</b>	<b>p</b>
1.080	0.406

En el Cuadro 6, se muestra el análisis de varianza que determinó que el tiempo de exposición muestra efecto significativo ( $p < 0.05$ ) sobre el pH en pulpa de zarzamora.

Cuadro 6. Prueba de ANVA para los valores de pH en zarzamora con exposición al ultrasonido y la temperatura

<b>Origen</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
Tiempo: A	0.336	2	0.168	10.848	0.001
Temperatura: B	0.036	1	0.036	2.329	0.144
A*B	0.014	2	0.007	0.439	0.652
Error	0.279	18	0.015		
Total	0.664	23			

Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Rivas-Cerna (2007) en su tesis: Ultrasonido en los procesos de conservación de alimentos líquidos. Encontró que el pH de la leche se incrementó de 6,7 a 6,85 al variar el tiempo de exposición de 0 a 35 min, con un sonicador de baño de 22 kHz a una temperatura promedio de 30 °C.

En el Cuadro 7, se observa la prueba de Duncan aplicada a los valores de pH en pulpa de zarzamora, con tiempos de exposición al ultrasonido y la temperatura, donde, en el subgrupo 1 se tiene a los controles a 40 y 25 °C y al tratamiento con tiempo de exposición de 30

min a 40 °C (estadísticamente iguales al estar en el mismo subgrupo) con valores de pH de 1.14, 1.17 y 1.29, respectivamente. El mejor tratamiento corresponde a 30 min de exposición y 40 °C, porque no se percibió cambios considerables respecto a la pulpa inicial.

Cuadro 7. Prueba de Duncan para los valores de pH en zarzamora con exposición al ultrasonido y temperatura

Tiempo de exposición (min)	Temperatura (°C)	Subgrupo			
		1	2	3	4
0	40	1.14			
0	25	1.17	1.17		
30	40	1.29	1.29	1.29	
30	25		1.35	1.35	1.35
45	40			1.37	1.37
45	25				1.52

#### 4.3. Sólidos solubles

En la Figura 8, se presenta la variación de los sólidos solubles en la pulpa de zarzamora con exposición en ultrasonido y la temperatura, mostrando que los valores aumentaron de 6.00 a 7.00 °Brix.

Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Perdomo-Del Águila y Pérez-Azahuanche (2016), quienes evaluaron el efecto del ultrasonido en pulpa de mango (*Mangifera indica* L.) variedad Edward, empleando un baño de ultrasonido con frecuencia de 40 kHz, tiempos de exposición (0, 15, 30, 45 y 60 min). Los resultados mostraron que los sólidos solubles se incrementaron en 18,11% a un tiempo de exposición de 60 min.

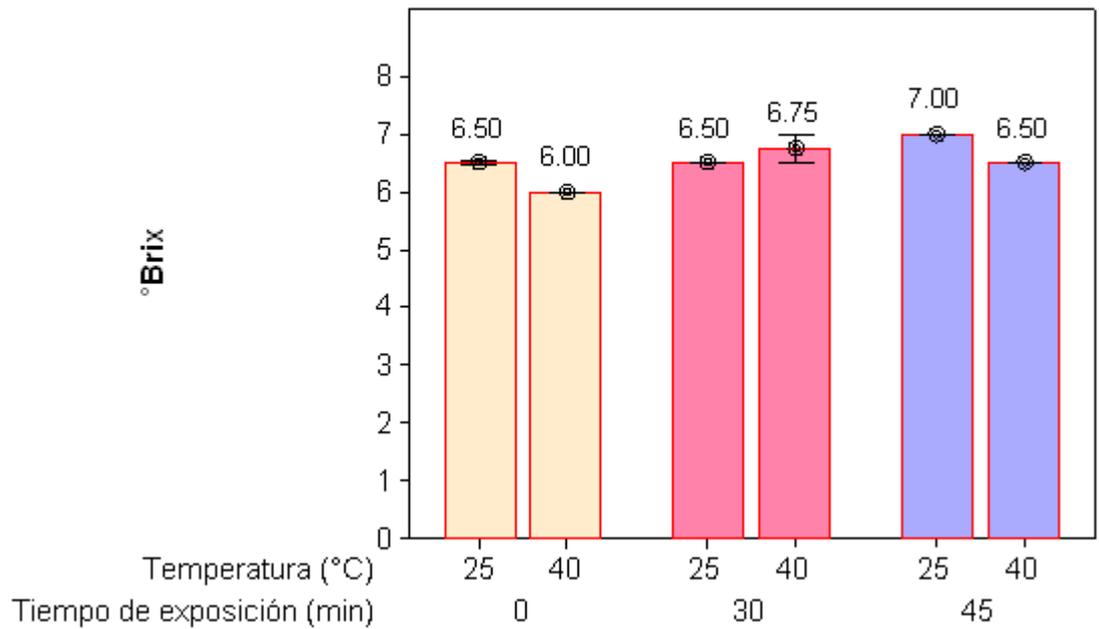


Figura 8. Efecto del ultrasonido y la temperatura en los °Brix de la pulpa de zarzamora

Zou y Jiang (2015) evaluaron el efecto del tratamiento de ultrasonido en jugo de zanahoria con un baño ultrasónico de 40 KHz y tiempos de exposición de 0, 20, 40 y 60 min. Los resultados mostraron un aumento de los sólidos solubles desde 4,04 °Brix (muestra blanco) hasta 4,19 °Brix con tratamiento de 60 min de exposición.

Rodríguez y otros (2015) determinaron el efecto del tiempo de exposición al ultrasonido a 40 kHz (15, 30, 45 y 60 min) sobre el contenido de sólidos solubles en pulpa de chirimoya. El aumento fue de 5.76 % a 60 min de exposición.

En el Cuadro 8, se presenta la prueba de Levene modificada para los valores de °Brix en zarzamora con exposición al ultrasonido y la temperatura, donde el valor indica homogeneidad de varianza ( $p > 0.05$ ), por lo que se procedió a realizar el análisis de varianza y posteriormente la prueba de Duncan para determinar el mejor tratamiento.

Cuadro 8. Prueba de Levene para los valores de °Brix en zarzamora con exposición al ultrasonido y la temperatura

<b>Estadístico de Levene</b>	<b>p</b>
0.950	0.475

En el Cuadro 9, se muestra que el análisis de varianza determinó que el tiempo de exposición y temperatura mostró efecto significativo ( $p < 0.05$ ) sobre los °Brix en pulpa de zarzamora.

Cuadro 9. Prueba de ANVA para los valores de °Brix en zarzamora con exposición al ultrasonido y temperatura

<b>Origen</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
Tiempo: A	1.083	2	0.542	12.662	0.000
Temperatura: B	0.375	1	0.375	8.766	0.008
A*B	0.750	2	0.375	8.766	0.002
Error	0.770	18	0.043		
Total	2.978	23			

Estos resultados concuerdan con Zou y Jiang (2016), quienes evaluaron el efecto del ultrasonido en el total de sólidos solubles, viscosidad, pH entre otras propiedades, del jugo de zanahoria, en un baño

de limpieza por ultrasonido, a una frecuencia de 40 kHz durante 20, 40 y 60 min, a una temperatura de 25 °C. Encontraron que el tratamiento con ultrasonido causó un cambio significativo ( $p < 0.05$ ) en el total de sólidos solubles y total de azúcares entre las muestras de jugo no sonicadas y sonicadas. Los sólidos solubles totales aumentaron de 4.04 a 4.19 ° Brix y los azúcares totales de 14.42 a 14.82 g/L, respectivamente.

En el Cuadro 10, se observa la prueba de Duncan aplicada a los sólidos solubles en pulpa de zarzamora, con tiempos de exposición al ultrasonido y la temperatura, donde, en el subgrupo 2 se tiene al control a 25 °C y a los tratamientos con tiempo de exposición de 30 min a 25 y 40 °C y al tratamiento con 45 min a 40 °C (siendo estadísticamente iguales al estar en el mismo subgrupo) con valores de 6.50, 6.50, 6.75 y 6.50, respectivamente. El mejor tratamiento corresponde a 30 min de exposición y 40 °C, porque no se percibió cambios considerables respecto a la pulpa inicial.

Cuadro 10. Prueba de Duncan para los valores de °Brix en zarzamora con exposición al ultrasonido y temperatura

Tiempo de exposición (min)	Temperatura (°C)	Subgrupo		
		1	2	3
0	40	6.00		
0	25		6.50	
30	25		6.50	
45	40		6.50	
30	40		6.75	6.75
45	25			7.00

#### 4.4. Vitamina C

En la Figura 9 se presenta la variación del contenido de vitamina C (ácido ascórbico) de la pulpa de zarzamora, con exposición al ultrasonido y la temperatura; se observa que a mayor tiempo y temperatura el contenido de vitamina C disminuyó de 267 a 169.5 ppm.

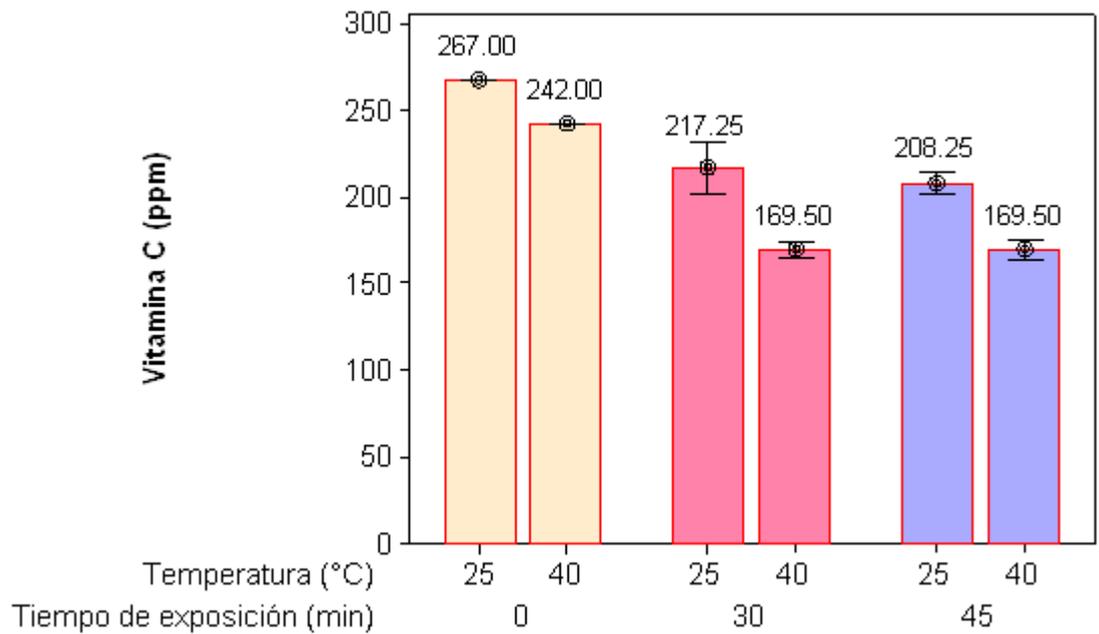


Figura 9. Efecto del ultrasonido y la temperatura en el contenido de vitamina C de la pulpa de zarzamora

Resultados similares fueron encontrados por Ordoñez–Santos y otros (2017), quienes trataron muestras de jugo de aguaymanto (*Physalis peruviana* L.) con ultrasonido, en un sistema de baño ultrasónico, con una frecuencia de 42 kHz, a  $30 (\pm 2) ^\circ \text{C}$ , con tiempos de exposición de 10, 20 y 40 min. Se encontró una disminución significativa en el porcentaje de ácido ascórbico en comparación con la muestra control, al incrementar el tiempo de exposición, 10 minutos (25.45%), 20 minutos (56.50%) y cuarenta minutos (78.81%).

Gamboa-Santos (2014) evaluó el efecto de exposición al ultrasonido y temperaturas (40 - 70 °C) en el tratamiento de escaldado, sobre el contenido de vitamina C en fresas (*Fragaria vesca* L.), donde observó una disminución de vitamina C de 0.247 a 0.064%, siendo más notorio a mayor frecuencia y temperatura.

Santhirasegaram y otros (2013) observaron una disminución significativa en el contenido de ácido ascórbico en el jugo de mango Chokanan tratado con ultrasonido y tratamiento térmico, en comparación con el control (8,91 mg/100 mL). Usaron un baño ultrasónico de 40 KHz, a 25 °C, con tiempos de exposición de 15, 30 y 60 min. El contenido de vitamina C disminuyó a 7,74, 7,52 y 6,43 mg/100mL, respectivamente. Para el jugo tratado térmicamente, la muestra registró la mayor degradación (65%) de ácido ascórbico cuando se comparó con el control.

Arévalo-Cruz y otros (2018) evaluaron el efecto de la aplicación de ultrasonido de baja frecuencia en un jugo de piña con espinaca sobre sus propiedades nutricionales, organolépticas, microbiológicas y de calidad para proponerlos como métodos alternativos a la pasteurización. Se aplicó ultrasonido con frecuencia de 42 kHz a 35 °C durante 20 y 25 min. Los parámetros evaluados en los jugos fueron: color, vitamina A, vitamina C, clorofila, compuestos fenólicos, capacidad antioxidante, actividad enzimática de la bromelina. Los jugos que presentaron un mejor resultado fueron los que se trataron con ultrasonido durante 25 min, ya que conservaron los niveles de vitamina C y los otros parámetros evaluados.

La pérdida de vitamina C durante el tratamiento con ultrasonido se atribuye a la formación de microcanales durante la cavitación que facilitan el transporte de constituyentes de los alimentos, especialmente nutrientes solubles y la penetración de oxígeno, el cual es considerado uno de los factores más importantes en la degradación de la vitamina C (Gamboa-Santos, 2014).

En el Cuadro 11, se presenta la prueba de Levene modificada para los valores de vitamina C en zarzamora con exposición al ultrasonido y temperatura, donde se indica que existió homogeneidad de varianza ( $p > 0.05$ ), procediéndose a realizar el análisis de varianza y, posteriormente, a la prueba de Duncan para determinar el mejor tratamiento.

Cuadro 11. Prueba de Levene modificada para los valores de vitamina C en zarzamora con exposición al ultrasonido y temperatura

<b>Variable</b>	<b>Estadístico de Levene</b>	<b>p</b>
VIT C (%)	2.430	0.075

El Cuadro 12, sobre el análisis de varianza del tiempo de exposición y la temperatura, muestra efecto significativo ( $p < 0.05$ ) sobre el contenido de vitamina C en pulpa de zarzamora

Cuadro 12. Prueba de ANVA para los valores de vitamina C en zarzamora con exposición al ultrasonido y temperatura

<b>Origen</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
Tiempo: A	21501.750	2	10750.875	49.172	0.000
Temperatura: B	8288.167	1	8288.167	37.908	0.000
A*B	525.083	2	262.542	1.201	0.324
Error	3935.500	18	218.639		
Total	34250.500	23			

Estos resultados concuerdan con Abid y otros (2014), quienes observaron una disminución significativa en el contenido de ácido ascórbico en el jugo de manzana tratado con ultrasonido y tratamiento térmico, en comparación con el control (5,27 mg/100mL). Usaron un baño ultrasónico de 40 kHz, a 30 °C, con tiempos de exposición de 20, 40 y 60 minutos, variando el contenido de vitamina C a 5,36, 5,05 y 4,75 mg/100 mL, respectivamente.

En el Cuadro 13, se observa la prueba de Duncan aplicada a los valores de contenido de vitamina C en zarzamora, con tiempos de exposición al ultrasonido y la temperatura, donde, en el subgrupo 2 se tiene a los tratamientos con tiempo de exposición de 30 y 45 min a 25 °C, valores de vitamina C de 217.25 y 208.25 ppm respectivamente, siendo estadísticamente iguales al estar en el mismo subgrupo. El mejor tratamiento corresponde a 30 min de exposición y 25 °C, porque la reducción del contenido de vitamina C es menor que la obtenida con los otros tratamientos.

Cuadro 13. Prueba de Duncan para los valores de vitamina C en zarzamora con exposición al ultrasonido y temperatura

Tiempo de exposición (min)	Temperatura (°C)	Subgrupo			
		1	2	3	4
30	40	169.50			
45	40	169.50			
45	25		208.25		
30	25		217.25		
0	40			242.00	
0	25				267.00

#### 4.5. Recuento de mohos y levaduras

En la Figura 10, se presenta la variación del recuento de mohos en la pulpa de zarzamora con exposición al ultrasonido y la temperatura, mostrando que a mayor tiempo y temperatura el recuento de mohos disminuyó de 88 a 0 ufc/g.

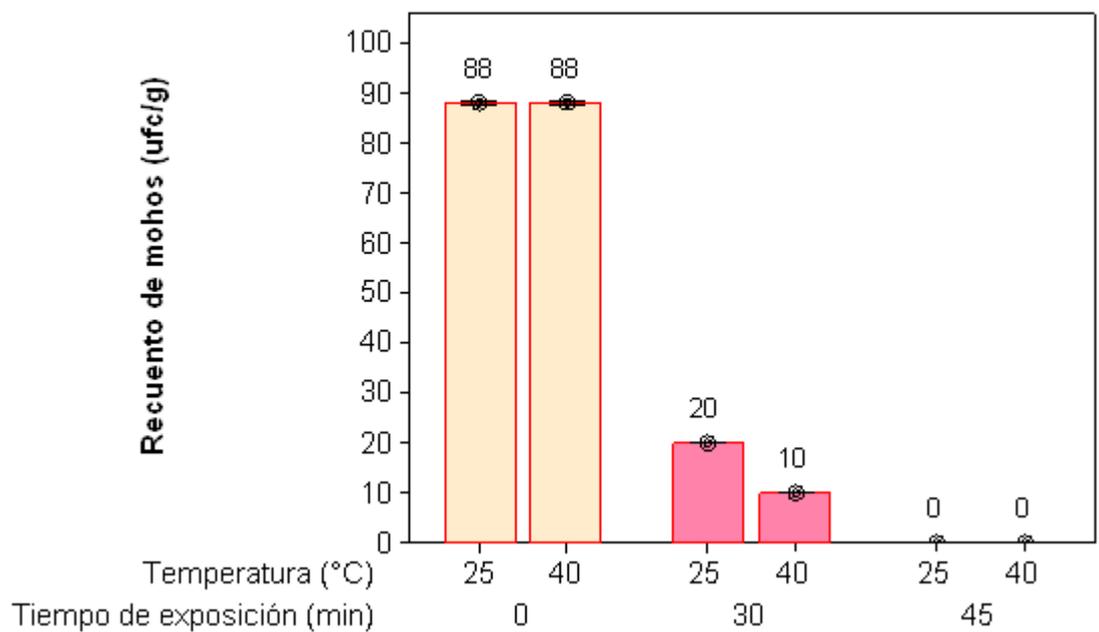


Figura 10. Efecto del ultrasonido y la temperatura en el recuento de mohos de la pulpa de zarzamora

Resultados similares encontraron Saeeduddin y otros (2015), quienes aplicaron ultrasonido a muestras de 80 mL de jugo de pera con un sonicador de sonda de 17,6 mm, 20 kHz, por 10 min y temperaturas de 25, 45 y 65 °C. Encontraron inactivación completa de mohos y levaduras a 65 °C.

Abid y otros (2014) observaron inactivación para recuento total de placas de levadura y moho, en las muestras de jugo de manzana tratadas a 60 °C con baño de ultrasonido de 40 kHz por 30 min.

Porras y otros (2011) evaluaron el efecto de la frecuencia (25 kHz y 40 kHz) y el tiempo de exposición de las ondas de ultrasonido sobre las características microbiológicas (mesófilos aerobios) en pulpa de mango. Los resultados mostraron una disminución de la carga de microorganismos mesófilos aerobios al aumentar el tiempo de exposición. Existió una inactivación muy rápida durante los primeros 15 min de tratamiento, seguida por una inflexión que terminó en una velocidad de reducción muy lenta, con lo cual, se podría contemplar la posibilidad que existe una población de microorganismos resistentes y otra población lábil al tratamiento con ultrasonido.

La inactivación microbiana por el ultrasonido se explica mediante los fenómenos de cavitación que causan cambios en la presión. La rápida creación y colapso de burbujas formadas por las ondas ultrasónicas crea el efecto antimicrobiano. Durante el proceso de cavitación, cambios en la presión y temperatura causan la ruptura de las paredes celulares, la interrupción y adelgazamiento de las membranas celulares, y el daño al ADN a través de la producción de radicales libres (Sahin y Soysal, 2013).

También, se ha demostrado que la tasa de mortalidad es altamente dependiente de la frecuencia de ultrasonido, amplitud de la onda y el volumen de suspensión bacteriana (Rodríguez y otros, 2015).

En el Cuadro 14 se presenta la prueba de Levene modificada para los valores de recuento de mohos en zarzamora con exposición al ultrasonido y temperatura, donde el valor indica homogeneidad de varianza ( $p > 0.05$ ), por lo que se procedió a realizar el análisis de varianza y posteriormente la prueba de Duncan para determinar el mejor tratamiento.

Cuadro 14. Prueba de Levene para los valores de recuentos de mohos en zarzamora con exposición al ultrasonido y temperatura

<b>Estadístico de Levene</b>	<b>p</b>
2.400	0.078

En el Cuadro 15, se muestra que el análisis de varianza determinó que el tiempo de exposición y temperatura mostró efecto significativo ( $p < 0.05$ ) sobre el recuento de mohos en pulpa de zarzamora.

Cuadro 15. Prueba de ANVA para los valores de recuento de mohos en zarzamora con exposición al ultrasonido y temperatura

<b>Origen</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
Tiempo: A	35461.333	2	17730.667	79788.000	0.000
Temperatura: B	66.667	1	66.667	300.000	0.000
A*B	133.333	2	66.667	300.000	0.000
Error	4.000	18	0.222		
Total	35665.333	23			

Zou y Jiang (2016) evaluaron el efecto del tratamiento de ultrasonido en jugo de zanahoria con un baño ultrasónico de 40 KHz y tiempos de exposición de 0, 20, 40 y 60 min. Encontraron que el tratamiento con ultrasonido causó reducciones significativas ( $p < 0.05$ ) en el recuento total de placa de todas las muestras sometidas a ultrasonidos a 20, 40 y 60 min en comparación con la no tratada.

En el Cuadro 16, se observa la prueba de Duncan aplicada al recuento de mohos en zarzamora, con tiempos de exposición al ultrasonido y temperatura, donde, en el subgrupo 1 se tiene a los tratamientos con tiempo de exposición de 45 min a 25 y 40°C (siendo

estadísticamente iguales al estar en el mismo subgrupo) con el valor de 0 ufc/g, cada uno. Sin embargo, el tratamiento de 30 min de exposición y 40 °C obtuvo un contenido de mohos de 10 ufc/g, el cual se considera como un menor recuento de los obtenidos y cercano a cero ufc/g.

Cuadro 16. Prueba de Duncan para los valores de recuento de mohos en zarzamora con exposición al ultrasonido y temperatura

Tiempo de exposición (min)	Temperatura (°C)	Subgrupo			
		1	2	3	4
45	25	0			
45	40	0			
30	40		10		
30	25			20	
0	25				88
0	40				88

En la Figura 11, se presenta la variación del recuento de levaduras en la pulpa de zarzamora con exposición al ultrasonido y temperatura, mostrando que a mayor tiempo y temperatura el recuento de levaduras disminuyó de 90 a 0 ufc/g.

Estos resultados concuerdan con los de Perdomo-Del Aguila y Pérez-Azahuanche (2016) quienes estudiaron el efecto del ultrasonido en mango (*Mangifera indica* L.) variedad Edward, empleando un baño ultrasónico de 40 kHz, tiempos de exposición 0, 15, 30, 45 y 60 min, a 25 °C. Encontraron una disminución en los recuentos de ufc con el tiempo de exposición.

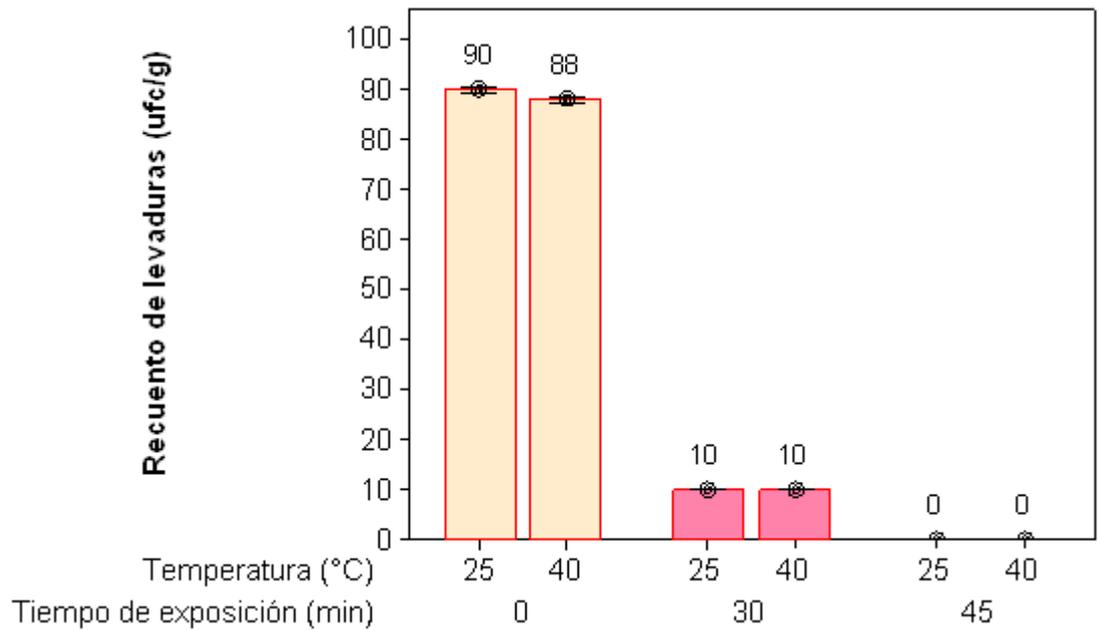


Figura 11. Efecto del ultrasonido y la temperatura en el recuento de levaduras de la pulpa de zarzamora

Abid y otros (2014) observaron inactivación para el recuento total de placas de levadura y moho, en las muestras de jugo de manzana tratadas a 60 ° C con baño de ultrasonido de 40 kHz por 30 minutos. Asimismo, sus resultados revelaron que podría existir sinergia entre sonicación y calor.

Rodriguez y otros (2015) encontraron que a 45 min de exposición al baño de ultrasonido (40 kHz) en pulpa de chirimoya (*Annona cherimola* Mill. (Annonaceae), la carga microbiana de 2000, 90 y 100 ufc/g de mesófilos viables, hongos y levaduras, respectivamente, fueron eliminados en su totalidad

En el Cuadro 17, se presenta la prueba de Levene modificada para los valores de recuento de levaduras en zarzamora con exposición al ultrasonido y la temperatura, donde el valor indica homogeneidad de varianza ( $p > 0.05$ ), por lo que se procedió a realizar el análisis de varianza

y posteriormente la prueba de Duncan para determinar el mejor tratamiento.

Cuadro 17. Prueba de Levene para los valores de recuento de levaduras en zarzamora con exposición al ultrasonido y la temperatura

<b>Estadístico de Levene</b>	<b>p</b>
1.000	1.000

En el Cuadro 18, se muestra que el análisis de varianza determinó que el tiempo de exposición, temperatura e interacción tiempo-temperatura muestra efecto significativo ( $p < 0.05$ ) sobre el recuento de levaduras en pulpa de zarzamora.

Cuadro 18. Prueba de ANVA para los valores de recuento de levaduras en zarzamora con exposición al ultrasonido y la temperatura

<b>Origen</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
Tiempo: A	38032.000	2	19016.000	42786.000	0.000
Temperatura: B	2.667	1	2.667	6.000	0.025
A*B	5.333	2	2.667	6.000	0.010
Error	8.000	18	0.444		
Total	38048.000	23			

Restrepo y otros (2016) evaluaron el efecto del ultrasonido en pulpa de aguacate, con un baño ultrasónico de 25 y 40 kHz, tiempo de 5 y 10 minutos. Encontraron una disminución en el recuento de ufc con el aumento de la frecuencia y el tiempo de exposición.

En el Cuadro 19, se observa la prueba de Duncan aplicada al recuento de levaduras en zarzamora, con tiempos de exposición al ultrasonido y la temperatura, donde, en el subgrupo 1 se tiene a los tratamientos con tiempo de exposición de 45 min a 25 y 40°C (siendo estadísticamente iguales al estar en el mismo subgrupo) con valores de 0 ufc/g, cada uno. Sin embargo, el tratamiento de 30 min de exposición y 40 °C obtuvo un contenido de levaduras de 10 ufc/g, el cual se considera como un menor recuento de los obtenidos y cercano a cero ufc/g.

Cuadro 19. Prueba de Duncan para los valores de recuento de levaduras en zarzamora con exposición al ultrasonido y la temperatura

Tiempo de exposición (min)	Temperatura (°C)	Subgrupo			
		1	2	3	4
45	25	0			
45	40	0			
30	25		10		
30	40		10		
0	40			88	
0	25				90

## V. CONCLUSIONES

Existió efecto significativo del tiempo de exposición al ultrasonido y la temperatura sobre la acidez titulable, contenido de sólidos solubles, contenido de vitamina C, recuento de mohos y levaduras, en la pulpa de zarzamora (*Rubus floribundus* Kunth). Respecto al pH, sólo existió efecto significativo con el tiempo de exposición al ultrasonido.

El tiempo de exposición al ultrasonido de 30 min y la temperatura de 40 °C mantienen una menor variación de la acidez titulable, el pH, el contenido de sólidos solubles y menor recuento de mohos y levaduras, en la pulpa de zarzamora (*Rubus floribundus* Kunth). El tiempo de exposición de 30 min y 25 °C produjo la menor variación en el contenido de vitamina C.

## VI. RECOMENDACIONES

Evaluar el efecto del ultrasonido y la temperatura en la viscosidad y características microbiológicas (*S. aureus*, *E. coli*) de pulpa de frutos de guayaba (*Psidium guajaba* L.), carambola (*Averrhoa carambola*) saúco (*Sambucus peruviana* H.B.K), entre otros frutos nativos.

Evaluar y comparar la conservación de pulpa de frutos entre el método de pasteurización y el tratamiento con ultrasonido a 45 min de exposición y 25 °C.

Por sus propiedades antibacterianas y antioxidantes elaborar un estudio de factibilidad de industrialización de la pulpa de zarzamora (*Rubus floribundus* Kunth) con tratamiento de ultrasonido.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

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.

Aadil, R.M., Zeng, X., Han, Z. y Sun, D. 2013. Effects of ultrasound treatments on quality of grape fruit juice. *Food Chemistry*, 141: 3201-3206.

Abid, M., Jabbar, S., Hu, B., Hashim, M.M., Wu, T., Lei, S. y otros. 2014. Thermosonication as a potential quality enhancement technique of apple juice, *Ultrason.Sonochem*, 21: 984-990.

Agronet. 2017 Estadísticas. Recuperado de:

<http://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/default.aspx>

Alice, L.A. y Campbell, C.S. 1999. Phylogeny of *Rubus* (Rosaceae) based on nuclear ribosomal DNA internal transcribed spacer region sequences. *Am. J. Bot.*, 86: 8197.

AOAC. 2002. Official methods of analysis of AOAC International. 16ava. Edition. Association of Official Analytical, Washington DC.

Arevalo-Cruz, J., Lira-Vargas, A.A., Pascual-Bustamante S., Trejo-Márquez M.A. y Moreno-Martínez, 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. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 3: 547-553.

Awad, T.S., Moharram, H.A., Shaltout, O.E., Asker, D. y Youssef, M.M. 2012. Applications of ultrasound in analysis, processing and quality control of food: A review. *Food Research International*, 40:410-427.

Ayala, L.C., Valenzuela, C. y Bohórquez, Y. 2013. Caracterización fisicoquímica de mora de castilla (*Rubus glaucus* Benth) en seis estados de madurez. *Biotechnol Sect Agropecu Agroind*, 11(2):10–18.

Bendicho, C., De la Calle, I, Pena, F., Costas, M., Cabaleiro, N., y Lavilla, I. 2012. Ultrasound-assisted pretreatment of solid samples in the context of green analytical chemistry. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 31: 50–60.

Bussmann R. y Sharon D. 2007. *Plants of the tour winds- The magic and medicinal flora of Peru*. Editorial Graficart, Trujillo-Perú.

Bussmann, R., Sharon, D. y Pérez-Azahuanche, F.R, Díaz, D., Ford, T., Rasheed, T., Barocio, Y. y Siva, R. 2008. Actividad antibacteriana de plantas medicinales de Perú septentrional. *Arnaldoa*, 15(1): 127-148.

Castañeda, G.M. y Condori, E.M. 2010. *Catálogo y estudio farmacognóstico de plantas medicinales del distrito de Llacanora, provincia de Cajamarca, departamento de Cajamarca*. Tesis para optar el título profesional de Químico Farmacéutico - Universidad Nacional Mayor de San Marcos - Facultad de Farmacia y Bioquímica.

Chemat, F., Zill-Huma y Muhammed, K.K. 2011. Applications of ultrasound in food technology. Processing, preservation and extraction. *Ultrasonic Sonochemistry*, 18:813-835.

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.

Clark, J.R., E.T. Stafne, Hall, H.K. y Finn, C.E., 2007. Blackberry breeding and genetics. *Plant Breeding Reviews*, 29: 17-146.

Famiani, F., Battistelli, A. Moscatello, S., Cruz –Castillo, J.G. y Walker, R.P: 2015. The organic acids that are accumulated in the flesh of fruit: occurrence, metabolism and factors affecting their contents – a review. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. Recuperado de: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rcsh/v21n2/v21n2a1.pdf>

FAO 2017. Food and Agriculture Organization. Faostat. Recuperado de: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>

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.

Gómez, J. y López, A. 2009. Aplicaciones del ultrasonido en el tratamiento de alimentos. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*. Universidad de las Américas Puebla. Puebla, México.

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.

Guerrero, J.C., León, G., Pérez, F.R., Rodríguez, F. y Ortiz, Z.M. 2015. Aislamiento y caracterización estructural de los principios activos hipoglucemiantes de *Rubus floribundus* Kunth (Rosaceae) “zarzamora”. *Arnaldoa*, 22 (2): 381 – 394.

Hernández, R.E. y Pineda, R.C. 2003. Estudio comparativo de la cuantificación del ácido ascórbico (Vitamina C) en jugo de naranja utilizando el metodo de titulacion yodometrica a microescala y yodimetrica a macroescala. Recuperado de:

<http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/5680/1/10126089.pdf>

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.

Kentish, S. y Feng, H. 2014. Applications of Power Ultrasound in Food Processing. *Annu. Rev. Food Sci. Technol*, 5: 263-284.

Knorr, D., Froehling, A., Jaeger, H., Reineke, K., Schlueter, O., y Schoessler, K. 2011. Emerging technologies in food processing. *Annual Review of Food Science and Technology*, 2, 203–235.

Lee, J., Dossett, M. y Finn, C.E. 2012. Rubus fruit phenolic research: The good, the bad, and the confusing. *Food Chemistry*, 130: 785-796.

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.

Majid, I., Nayik, G.A. y Nanda, V. 2015. *Cogent Food & Agriculture*, 1: 1-11. Doi: <http://dx.doi.org/10.1080/23311932.2015.1071022>

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* Schltidl (zarzamora). *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, 42(04): 66-71. Recuperado de:

<http://www.scielo.org.mx/pdf/rmcf/v42n4/v42n4a7.pdf>

NMX-F-534-1992. Alimentos. Determinación de pH en agua. Foods. determination of pH in water. Normas mexicanas. Dirección general de normas. Recuperado de:

<http://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-F-534-1992.pdf>

Ordóñez-Santos, L.E., Martínez-Girón, J. y Arias-Jaramillo, M.E. 2017. Effect of ultrasound treatment on visual color, vitamin C, total phenols, and carotenoids content in cape gooseberry juice. *Food Chemistry*. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.114>

Orozco, M.L., Prieto, R.E. y Díaz, L.E. 2012. Efecto de la adición de cebolla, ajo y la aplicación de ultrasonido de alta intensidad sobre la actividad de la polifenoloxidasas en guacamole. *Vitae*, 19(1):132-134.

Paniwnyk, L. 2017. Applications of ultrasound in processing of liquid foods. *Ultrasonics Sonochemistry*, 38:794-806.

Parada, J., Romero, C. y Yépez, B. 2012. Aplicación de ultrasonido en el procesamiento de mora de Castilla (*Rubus glaucus* Benth): Efecto sobre

la calidad funcional y evaluación como pretratamiento al secado convectivo. *Revista Alimentos Hoy*, 21(27): 15-38.

Perdomo-Del Aguila, V. y 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-Grijalva B. 2013. Actividad biológica in vivo de jugo de zarzamora obtenido mediante la aplicación de microondas y ultrasonido. Recuperado de:

<https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/123456789/46947/PerezGrijalvaBrenda.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

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).

Ministerio de salud - resolución número 7992 de 1991. Recuperado de:

<http://www.confia.com.co/normatividad/Resolucion%207992%20de%201991%20Jugos%20concentrados%20Nectares%20pulpas%20refrescos.pdf>

Restrepo, A.M., Fuentes, M., Durango, M., Millan, L.J., Londoño, J.A. y Ochoa, S. 2016. 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.

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.USER-19AA132630.002/Mis%20documentos/Downloads/DocsTec\\_6339%20\(1\).pdf](file:///C:/Documents%20and%20Settings/TEMP.USER-19AA132630.002/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). *Arnaldoa*, 22(2): 367 – 380.

Saeeduddin, M., Abid, M., Jabbar, S., Wu, T., Hashim, M.M., Awad, F.N. y otros. 2015. Quality assessment of pear juice under ultrasound and commercial pasteurization processing conditions, *LWT – Food Science and Technology*, 64(1): 452-458.

Sahin, S. y Soysal, C. 2013. Use of ultrasound in food preservation. *Natural Science*, 5(8A2): 5–13.

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.

Siriwoharn, T., Wrolstad, R. E. y Durst, R. W. 2005. Identification of ellagic acid in blackberry juice sediment. *Journal of Food Science*, 70: C189-C197.

Ulloa J., Rosas P., Ramírez, J. y Ulloa B. 2013. Ultrasonido: aplicaciones en el campo de los alimentos. *Revista: Nueva Época*. Nayarit. México.

Valencia-Sullca, C.E. y Guevara-Pérez, A. 2013. Elaboración de néctar de zarzamora (*Rubus fruticosus* L.). *Scientia Agropecuaria*, 4: 101 – 109. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/pdf/3576/357633705003.pdf>

Zamorano, A., Morillo, A.C., Morillo, Y., Vásquez, H. y Muñoz, J. 2007. Caracterización morfológica de mora en los departamentos de Valle del Cauca, Cauca y Nariño, de Colombia. *Acta Agronómica*, 56: 51-60.

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.

## VIII. ANEXOS

Anexo 1. Resumen de resultados experimentales del tiempo de exposición al ultrasonido y la temperatura en pulpa del fruto de zarzamora

Tiempo de exposición con US (min)	Temperatura (°C)	ppm vit C	Acidez titulable	pH	°Brix	Recuentos de mohos u.f.c./g	Recuentos de levaduras u.f.c./g
0	25	267	2.68	1.17	6.5	88	90
30	25	242	2.32	1.11	6.5	20	10
30	25	176	2.22	1.52	6.5	20	10
30	25	215	2.25	1.35	6.5	20	10
30	25	236	2.38	1.42	6.5	20	10
Promedio		217.25	2.2925	1.35	6.5	20	10
45	25	220	2.28	1.23	7	0	0
45	25	215	2.44	1.59	7	0	0
45	25	205	2.35	1.63	7	0	0
45	25	193	2.35	1.61	7	0	0
Promedio		208.25	2.36	1.52	7	0	0
0	40	242	2.66	1.14	6	88	88
30	40	176	2.67	1.16	7	10	10
30	40	154	2.64	1.3	7	10	10
30	40	172	2.7	1.27	7	10	10
30	40	176	2.7	1.43	6	10	10
Promedio		169.5	2.68	1.29	6.75	10	10
45	40	176	2.7	1.2	6.5	0	0
45	40	176	2.7	1.4	6.5	0	0
45	40	150	2.73	1.44	6.5	0	0
45	40	176	2.6	1.45	6.5	0	0
Promedio		169.5	2.68	1.37	6.5	0	0

US: ultrasonido

Anexo 2. Data y cálculos en los resultados experimentales de tiempo de exposición al ultrasonido y temperatura en pulpa de fruto de zarzamora

**Muestra control sin ultrasonido**

Temperatura: 25 °C

Yodo: 0.01N

Almidón: 1%

Yodometría					
Muestra	Peso (g)	Vi (mL)	Vf (mL)	Vg (mL)	Vitamina C ppm
Pulpa	3,3	0.9	1.9	1	267

ppm = (mL de I<sub>2</sub> x 0.01meq I<sub>2</sub>/mL de I<sub>2</sub> x 88mg vit C/meq vit. C)x 1000/g pulpa

NaOH: 0.1005N

Indicador: Fenolftaleína

Acidez titulable					
Muestra	Peso (g)	Vi (mL)	Vf (mL)	Vg (mL)	Acidez titulable (% de ácido isocítrico)
Pulpa	2,3	0	9.6	9.6	2.68

% de ácido isocítrico = (mL de NaOH x 0.1005 x 64) x 100 / 1000 x g de pulpa

Ácido mayoritario: ácido isocítrico 64 mg /meq

Muestra	pH/T(°C)	°Brix
pulpa	1.17/21.8	6.5

**Muestra con ultrasonido (C)**

Temperatura: 25°C

Tiempo: 30 min

Yodometría					
Muestra	Peso(g)	Vi (mL)	Vf(mL)	Vg (mL)	Vitamina C ppm
C1	4	2.4	3.5	1.1	242
C2	4.5	3.5	4.4	0.9	176
C3	4.1	4.4	5.4	1	215
C4	4.1	6	7.1	1.1	236

Acidez titulable					
Muestra	Peso(g)	Vi (mL)	Vf(mL)	Vg (mL)	Acidez titulable (% de ácido isocítrico)
C1	2	9.6	16.8	7.2	2.32
C2	2	16.8	23.7	6.9	2.22
C3	2	23.7	30.7	7	2.25
C4	2	30.7	38.1	7.4	2.38

Muestra	pH/T(°c)	°Brix
C1	1.11/22.8	6.5
C2	1.52/22.9	6.5
C3	1.35/23.4	6.5
C4	1.42/24.2	6.5

**Muestra con ultrasonido (E)**

Temperatura: 25 °C

Tiempo: 45 min

Yodometria					
Muestra	Peso(g)	Vi (mL)	Vf(mL)	Vg (mL)	Vitamina C ppm
E1	4.0	7.9	8.9	1	220
E2	4.1	8.9	9.9	1	215
E3	4.3	9.9	10.9	1	205
E4	4.1	10.9	11.8	0.9	193

Acidez titulable					
Muestra	Peso(g)	Vi (mL)	Vf(mL)	Vg (mL)	Acidez titulable (% de ácido isocítrico)
E1	2.2	0	7.8	7.8	2.28
E2	2	7.8	15.4	7.6	2.44
E3	2	15.4	22.7	7.3	2.35
E4	2	22.7	30	7.3	2.35

Muestra	pH/T(°C)	°Brix
E1	1.23/24	7
E2	1.59/24.6	7
E3	1.63/24.4	7
E4	1.61/24.4	7

**Muestra control sin ultrasonido**

Temperatura: 40 °C

Yodo: 0.01 N

Almidón: 1%

Yodometría					
Muestra	Peso (g)	Vi (mL)	Vf (mL)	Vg (mL)	Vitamina C ppm
pulpa	4	1.9	3	1.1	242

NaOH: 0.1005 N

Indicador: Fenolftaleína

Acidez titulable					
Muestra	Peso (g)	Vi (mL)	Vf (mL)	Vg (mL)	Acidez titulable (% de ácido isocítrico)
pulpa	2.1	0	8.7	8.7	2.66

Muestra	pH/T(°C)	°Brix
pulpa	1.14/25.6	6

**Muestra con ultrasonido (D)**

Temperatura: 40°C

Tiempo: 30 min

Yodometria				
Muestra	Peso (g)	Vi (mL)	Vf(mL)	Vg (mL)
D1	4.0	5.5	6.3	0.8
D2	4.0	6.3	7.0	0.7
D3	4.1	7.0	7.8	0.8
D4	4.0	7.8	8.6	0.8

Acidez titulable				
Muestra	Peso(g)	Vi (mL)	Vf(mL)	Vg (mL)
D1	2.0	16.7	25.0	8.3
D2	2.0	25.0	33.2	8.2
D3	2.0	33.2	41.6	8.4
D4	2.0	41.6	50	8.4

Muestra	pH/T(°C)	°Brix
D1	1.16/24.8	7
D2	1.30/26.5	7
D3	1.27/25.9	7
D4	1.43/25.7	6

**Muestra con ultrasonido (F)**

Temperatura: 40°C

Tiempo: 45 min

Yodometria				
Muestra	Peso(g)	Vi (mL)	Vf(mL)	Vg (mL)
F1	4.0	10.1	10.9	0.8
F2	4.0	10.9	11.7	0.8
F3	4.1	11.7	12.4	0.7
F4	4.0	12.4	13.2	0.8

Acidez titulable				
Muestra	Peso(g)	Vi (mL)	Vf(mL)	Vg (mL)
F1	2.0	0	8.4	8.4
F2	2.0	8.4	16.8	8.4
F3	2.0	16.9	25.4	8.5
F4	2.0	25.4	33.5	8.1

Muestra	pH/T(°c)	°Brix
F1	1.2/26.5	6.5
F2	1.40/26.1	6.5
F3	1.44/26.3	6.5
F4	1.45/26.6	6.5

## Anexo 3. Recuento de mohos y levaduras

A) Numeración de microorganismos a temperatura ambiente y con tratamiento de 30,45 minutos

Cuadro 1. Numeración de microorganismos mohos y levaduras a temperatura ambiente sin tratamiento

N° de muestras	Recuento de microorganismos	
	Mohos u.f.c/g	Levaduras u.f.c./g
1	80	90
2	90	100
3	80	90
4	100	80
promedio	88	90

Cuadro 2. Efecto antimicrobiano temperatura 25°C

N° de muestras	Tratamientos	
	Numeración o recuento de Mohos (hongos) u.f.c./g	
	30 minutos	45 minutos
1	20	0
2	20	0
3	20	0
4	20	0

Cuadro 3. Efecto antimicrobiano temperatura 25°C

N° de muestras	Tratamientos	
	Numeración o recuento de Levadura u.f.c./g	
	30 minutos	45 minutos
1	10	0
2	10	0
3	10	0
4	10	0

B) Numeración de microorganismos a temperatura ambiente y con tratamiento a 40°C por 30 y 45 minutos

Cuadro 1. Numeración de microorganismos, mohos y levaduras a temperatura ambiente sin tratamiento

N° de muestras	Recuento de microorganismos	
	Mohos U.F.C./g	Levaduras U.F.C./g
1	90	80
2	80	100
3	100	80
4	80	90
Promedio	88	88

Cuadro 2. Efecto antimicrobiano temperatura 40°C

N° de muestras	Tratamientos	
	Numeración o recuento de Mohos (hongos) u.f.c./g	
	30 minutos	45 minutos
1	10	0
2	10	0
3	10	0
4	10	0

Cuadro 3. Efecto antimicrobiano temperatura 40°C

N° de muestras	Tratamientos	
	Numeración o recuento de Levadura u.f.c./g	
	30 minutos	45 minutos
1	10	0
2	10	0
3	10	0
4	10	0

Anexo 4. Fotografías

Imagen 1. Fruto de la zarzamora



Imagen 2. Equipo de Ultrasonido



Imagen 3. Parte interna del Equipo de Ultrasonido

