

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



**Efecto del tiempo de exposición al ultrasonido en las propiedades  
fisicoquímicas y microbiológicas de filetes de tilapia (*Oreochromis  
niloticus*).**

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

**ZULY KAREM VICTORIA MONTERO MANTILLA**

**TRUJILLO, PERÚ**

**2019**

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

.....

Dr. Fernando Rodríguez Avalos

PRESIDENTE

.....

Ms. Max Vásquez Villacorta

SECRETARIO

.....

Ms. Luis Francisco Márquez Villacorta

VOCAL

.....

Dr. Fredy Romel Pérez Azahuanche

ASESOR

## **Dedicatoria**

### **A mis padres**

*Oscar y Gladis, por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me han permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.*

### **A mi hijo**

*Aarón, que siempre fue mi fortaleza en mi último ciclo de mi carrera, y por quien quiero ser una mejor persona y gran motivación para él. Te amo hijo.*

### **A mis abuelitos**

*Manuel Mantilla y Auristela Guerra (QEPD), que desde el cielo me apoyaron para luchar por mis sueños y llegar a donde estoy, todo el amor inmenso para ellos. Gracias.*

## **Agradecimiento**

Le agradezco a Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad.

Le doy gracias a mis padres, por apoyarme en todo momento, por los valores que me han inculcado, y por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación en el trascurso de mi vida, sobre todo por ser un buen ejemplo de vida a seguir.

A mi hijo que comenzó a formar parte de mi vida el 2016, por ser la motivación más hermosa que una madre puede tener en este paso que estoy dando y estoy concluyendo poco a poco.

A mis abuelos que, aunque ya no están conmigo físicamente, siempre estarán presentes en mi corazón, por haber creído en mí desde que era una niña hasta este último momento.

A mi asesor, el Ingeniero Fredy Romel Pérez Azahuanche por su paciencia, por apoyarme desinteresadamente en realizar este proyecto y brindándome sus conocimientos para mejorar mi aprendizaje.

## Índice

Carátula.....	i
Aprobación por el jurado de Tesis .....	ii
Dedicatoria.....	iii
Agradecimiento.....	iv
Índice .....	v
Índice de Cuadros .....	viii
Índice de Figuras.....	x
Índice de Anexos .....	xi
Resumen .....	xii
Abstract.....	xiii
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. REVISION DE BIBLIOGRAFÍA.....	3
2.1. Tilapia niloticus ( <i>Oreochromis niloticus</i> ) .....	3
2.1.1. Definición y características .....	3
2.1.2. Textura.....	5
2.1.3. Especies de pez tilapia.....	6
2.1.4. Cultivo .....	7
2.1.5. Hábitat .....	7
2.1.6. Propiedades de la tilapia .....	8
2.1.7. Valor nutricional.....	8
2.2. Ultrasonido .....	9
2.2.1. Definición .....	9
2.2.2. Aplicaciones del ultrasonido .....	10
2.2.2.1. Ultrasonido como método de emulsificación/ homogenización.....	10

2.2.2.2. Aplicación del ultrasonido de potencia en la industria de cereales, aceites y derivados.....	10
2.2.2.3. Inactivación microbiana y de enzimas .....	10
2.2.3. Parámetros de ultrasonido .....	11
2.2.4. Cavitación.....	11
2.2.5. Aplicación en la Industria Alimentaria.....	13
2.2.6.Principios y aplicaciones del ultrasonido de alta frecuencia .....	14
III. MATERIALES Y MÉTODOS .....	16
3.1. Lugar de ejecución .....	16
3.2. Materiales y equipos.....	16
3.3. Metodología.....	16
3.3.1. Esquema experimental para la investigación sobre filetes de tilapia tratada con ultrasonido. ....	16
3.3.2. Proceso experimental para el filete de tilapia .....	18
3.4. Métodos de análisis .....	19
3.4.1. Color.....	19
3.4.2. pH.....	20
3.4.3. Perfil de Textura .....	20
3.4.4. Recuento de aerobios mesófilos .....	20
3.4.5. Recuento de <i>Staphylococcus aureus</i> .....	21
3.5. Métodos estadísticos.....	21
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	22
4.1. Efecto del tiempo de exposición al ultrasonido sobre el color en el filete de tilapia .....	22
4.2. Efecto del tiempo de exposición al ultrasonido sobre el pH en el filete de tilapia .....	28
4.3. Efecto del tiempo de exposición al ultrasonido sobre el perfil de textura en el filete de tilapia .....	30

4.4. Efecto del tiempo de exposición al ultrasonido sobre el recuento de bacterias aerobias mesófilas en el filete de tilapia.....	36
4.5. Efecto del tiempo de exposición al ultrasonido sobre el recuento de <i>Staphylococcus aureus</i> en el filete de tilapia.....	38
V. CONCLUSIONES .....	42
VI. RECOMENDACIONES .....	43
VII. BIBLIOGRAFÍA .....	44
VIII.ANEXOS .....	50

## Índice de Cuadros

	Pág.
<b>Cuadro 1.</b> Requerimiento de proteínas.....	4
<b>Cuadro 2.</b> Composición nutricional del filete de tilapia.....	9
<b>Cuadro 3.</b> Prueba de Levene modificada para los valores $L^*$ , $a^*$ y $b^*$ en filete de tilapia.....	26
<b>Cuadro 4.</b> Análisis de varianza de los valores $L^*$ , $a^*$ y $b^*$ en filete de tilapia.....	27
<b>Cuadro 5.</b> Prueba de Duncan para el color $L^*$ en filete de tilapia.....	27
<b>Cuadro 6.</b> Prueba de Duncan para el color $a^*$ en filete de tilapia.....	28
<b>Cuadro 7.</b> Prueba de Duncan para el color $b^*$ en filete de tilapia.....	28
<b>Cuadro 8.</b> Prueba de Levene modificada para los valores de pH en filete de tilapia.....	30
<b>Cuadro 9.</b> Análisis de varianza para los valores de pH en filete de tilapia.	30
<b>Cuadro 10.</b> Prueba de Levene modificada para los valores de dureza, cohesión y elasticidad en filete de tilapia.....	34
<b>Cuadro 11.</b> Análisis de varianza para los valores de dureza, cohesión y elasticidad en filete de tilapia.....	35
<b>Cuadro 12.</b> Prueba de Duncan para dureza en filete de tilapia.....	36
<b>Cuadro 13.</b> Prueba de Duncan para cohesión en filete de tilapia.....	36
<b>Cuadro 14.</b> Prueba de Duncan para la elasticidad en filete de tilapia.....	37
<b>Cuadro 15.</b> Prueba de Levene modificada para el recuento de bacterias aerobias mesófilas en filete de tilapia.....	38
<b>Cuadro 16.</b> Análisis de varianza para el recuento de bacterias aerobias mesófilas en filete de tilapia.....	39
<b>Cuadro 17.</b> Prueba de Duncan para el recuento de bacterias aeróbicas mesófilas en filete de tilapia.....	40
<b>Cuadro 18.</b> Prueba de Levene modificada para el recuento de <i>Staphylococcus aureus</i> en filete de tilapia.....	41



<b>Cuadro 19.</b>	Análisis de varianza para el recuento de <i>Staphylococcus aureus</i> en filete de tilapia.....	42
<b>Cuadro 20.</b>	Prueba de Duncan para el recuento <i>Staphylococcus aureus</i> en filete de tilapia.....	42

## Índice de Figuras

	Pág.
<b>Figura 1.</b> Tilapia niloticus.....	3
<b>Figura 2.</b> Comportamiento de las burbujas durante la cavitación.....	14
<b>Figura 3.</b> Esquema experimental del efecto de exposición al ultrasonido en las propiedades del filete de tilapia.....	18
<b>Figura 4.</b> Diagrama de flujo para el tratamiento con ultrasonido del filete de tilapia.....	19
<b>Figura 5.</b> Valores de L* en filete de tilapia con exposición al ultrasonido a 40 kHz.....	23
<b>Figura 6.</b> Valores de a* en filete de tilapia con exposición al ultrasonido a 40 kHz.....	24
<b>Figura 7.</b> Valores de b* en filete de tilapia con exposición al ultrasonido a 40 kHz.....	25
<b>Figura 8.</b> Valores de pH en filete de tilapia con exposición al ultrasonido a 40 kHz.....	29
<b>Figura 9.</b> Valores de dureza en filete de tilapia con exposición al ultrasonido a 40 kHz.....	31
<b>Figura 10.</b> Valores de dureza en filete de tilapia con exposición al ultrasonido a 40 kHz.....	32
<b>Figura 11.</b> Valores de elasticidad en filete de tilapia con exposición al ultrasonido a 40kHz.....	33
<b>Figura 12.</b> Recuento de bacterias aeróbicas mesófilas en filete de tilapia con exposición al ultrasonido a 40kHz.....	38
<b>Figura 13.</b> Recuento de <i>Staphylococcus aureus</i> en filete de tilapia con exposición al ultrasonido a 40 kHz.....	41

## Índice de Anexos

	Pág.
<b>Anexo 1.</b> Resultados experimentales en filete de tilapia expuesta a tiempos de ultrasonido a 40 kHz.....	51
<b>Anexo 2.</b> Figuras del análisis experimental del filete de tilapia.....	52

## Resumen

Se evaluó el efecto del tiempo (0, 5, 10 y 15 min) de exposición con ultrasonido a una frecuencia de 40 KHz sobre el color, el pH, el perfil de textura (dureza, cohesión y elasticidad), recuento de bacterias aerobias mesófilas y recuento de *Staphylococcus aureus* en filete de tilapia (*Oreochromis niloticus*). Los resultados obtenidos a través del análisis de varianza mostraron que el tiempo de exposición al tratamiento con ondas de ultrasonido tuvo un efecto significativo ( $p < 0.05$ ) sobre el color, la dureza, cohesión, elasticidad, recuento de bacterias aerobias mesófilas, y recuento de *Staphylococcus aureus* y no tuvo significancia sobre el pH. Se determinó que el tiempo de exposición al ultrasonido con frecuencia a 40 kHz a 5 min permitió obtener la menor variación de color  $L^*$  (47.71),  $a^*$  (-0.56),  $b^*$  (-3.19), pH (6.66), dureza (39.38), cohesión (0.42 N), elasticidad (0.70 N), y se redujo la carga microbiana para el recuento de bacterias aerobias mesófilas ( $3.72 \times 10^5$  ufc/g); pero no se cumplió para *Staphylococcus aureus* ( $2.43 \times 10^4$  ufc/g) según la Norma Digesa para productos hidrobiológicos.

## Abstract

The effect of 40 KHz ultrasound exposure time (0, 5, 10 and 15 min) on the color, pH, texture profile (hardness, cohesion and elasticity), mesophilic aerobic bacteria count was evaluated and count of *Staphylococcus aureus* in tilapia fillet (*Oreochromis niloticus*). The results obtained through the analysis of variance showed that the time of exposure to the treatment with ultrasound waves had a significant effect ( $p < 0.05$ ) on color, hardness, cohesion, elasticity, mesophilic aerobic bacteria count, and counting. *Staphylococcus aureus* and had no significance on pH. It was determined that the time of exposure to ultrasound with frequency at 40 kHz to 5 min allowed to obtain the smallest variation in color L \* (47.71), a \* (-0.56), b \* (-3.19), pH (6.66), hardness (39.38), cohesion (0.42 N), elasticity (0.70 N), and the microbial load was reduced for the counting of mesophilic aerobic bacteria ( $3.72 \times 10^5$  cfu / g); but it was not fulfilled for *Staphylococcus aureus* ( $2.43 \times 10^4$  cfu / g) according to the Digesa Norm for hydrobiological products.

## I. INTRODUCCIÓN

Las tilapias son peces de origen tropical, su crecimiento se da a temperaturas entre 34 y 36°C, no afectándolas las disminuciones de oxígeno (Castillo, 1994).

La tilapia han suscitado y recibido, quizás, mayor atención que otros peces en todo el mundo (Avault, 1996). La tilapia, nombre común que en idioma "swahili", significa pez, incluye los géneros Tilapia y Oreochromis entre otros, que son originarias de África; extendiéndose posteriormente hacia el norte de Israel y Jordán (Chimits, 1955).

El pez es conocido por tener proteínas dietéticas, como aminoácidos esenciales, grasas, vitaminas y ácidos grasos insaturados que reducen trastornos neuronales (Jump y otros, 2012) y enfermedades cardiovasculares, atribuido a la presencia de ácidos grasos poliinsaturados, tales como el ácido eicosapentanoico y el ácido decosahexaenoico (Omega 3). El pescado es una valiosa fuente de Na, K, P y Mg, que tienen importancia en la salud humana (Boufleur, 2013). Además, la tilapia también es un pez con omega 3, y como todos los demás de su especie, ayuda a que los valores de colesterol y triglicéridos se mantengan bajos o estables y así se evitan riesgos de enfermedades cardiovasculares.

La mayor parte de los alimentos en estado fresco posee una vida útil limitada. Esta limitación se debe al crecimiento de microorganismos que se produce de manera natural en esos alimentos, y que da lugar a su deterioro progresivo.

La conservación de los alimentos ha sido el objetivo principal de la industria procesadora de alimentos, puesto que garantiza la seguridad y la calidad de estos (Pereira y Vicente, 2010). La aplicación del calor a través de las operaciones de tratamientos térmicos, que entre otros incluye la pasteurización, esterilización, secado y evaporación ha sido la práctica común de las

industrias con el fin de garantizar la seguridad microbiológica de sus productos (Pereira y Vicente, 2010). En la última década las tecnologías no térmicas que se utilizan para inactivar microorganismos se han desarrollado en respuesta al interés de ser utilizado en productos frescos y naturales (Pereira y Vicente, 2010).

Este tipo de tecnologías no térmicas, como ultrasonido (US), tiene la capacidad de inactivar microorganismos a temperaturas cercanas a la del ambiente, evitando la degradación de los componentes en los alimentos, y por lo tanto la preservación de la calidad sensorial y nutricional de los productos alimenticios

El problema planteado fue:

¿Cuál es el efecto del tiempo de exposición (0, 5 ,10 y 15 minutos) al ultrasonido, con una frecuencia de 40 kHz, sobre el color, pH, perfil de textura, recuento de aerobios mesófilos totales y *Staphylococcus aureus*, en filetes de tilapia (*Oreochromis niloticus*)?

Los objetivos fueron:

Evaluar el efecto de los cuatro tiempos de exposición al ultrasonido a 40 kHz sobre el color, pH, perfil de textura, recuento de aerobios mesofilos totales y recuento de *Staphylococcus aureus* en filetes de tilapia.

Determinar el tiempo de exposición al ultrasonido a 40 kHz que permitirá mantener la menor variación de color, pH, perfil de textura y menor recuento de aerobios mesofilos totales y *Staphylococcus aureus*, en el filete de tilapia.

## II. REVISION DE BIBLIOGRAFÍA

### 2.1. Tilapia niloticus (*Oreochromis niloticus*)

#### 2.1.1. Definición y características

Tilapia es el nombre genérico con el que se denomina a un grupo de peces de origen africano, que consta de varias especies, algunas con interés económico, pertenecientes al género *Oreochromis*. Habitan mayormente en regiones tropicales, en las que se dan las condiciones favorables para su reproducción y crecimiento. Entre sus especies más conocidas destacan la del Nilo (*Oreochromis niloticus*), la de Mozambique (*Oreochromis mossambicus*) y la azul (*Oreochromis aureus*) (Nagl y otros, 2001)



Figura 1. Tilapia niloticus

Fuente: Nagl y otros, 2001

Las tilapias cultivadas en estanques son muy resistentes a todo tipo de parásitos y enfermedades, lo único que necesitan para crecer rápidamente son aguas que tengan nutrientes ya que se alimentan de algas por lo que necesitan agua que sea fertilizada para lograr una mayor disponibilidad de estas. Cuando la tilapia alcanza un peso de



600 gramos, peso comercial, está lista para su procesamiento que podría exportarse en filetes o enteras (Cortez y Pagan, 1985)

Las tilapias como especies pueden reproducirse en cualquier tipo de agua y por ser herbívoras u omnívoras, resultan fáciles de alimentar, especies sumamente resistentes y que pueden cultivarse en agua dulce, salobre o incluso marina (Cortez y Pagan, 1985)

Los principales requisitos nutricionales de la tilapia están establecidos y se resumen en el cuadro 1. La mayoría de los valores se determinaron bajo condiciones de laboratorio controladas y pueden no ser directamente aplicables en una configuración comercial. Aunque se carece de información sobre los requisitos cuantitativos de nutrientes exactos para otras etapas de la vida de la tilapia, se puede esperar que los peces recién nacidos (0.02-10.0 g) requieran una dieta más alta en proteínas, lípidos, vitaminas y minerales y menor en carbohidratos. Los peces subadultos (10-25 g) requieren más energía de los lípidos y carbohidratos para el metabolismo y una menor proporción de proteínas para el crecimiento. Los peces adultos (> 25,0 g) requerirían incluso menos proteínas de la dieta para el crecimiento y pueden utilizar incluso niveles más altos de carbohidratos como fuente de energía. (Jauncey, 2000)

Cuadro 1. Requerimiento de proteína

Etapa de la vida	Peso (g)	Requerimiento (%)
Recién nacidos	1 - 10	35 - 40
Sub adultos	10 - 25	30 - 35
Adultos	>25	28 - 32

Fuente: Jauncey (2000)

La madurez sexual se alcanza a los 10 a 30 cm y se relaciona con la talla máxima alcanzada en una población y condición determinadas, lo cual a su vez es determinado por la disponibilidad de alimento y por la temperatura. La reproducción ocurre solo cuando la temperatura excede los 20°C. El ciclo reproductivo depende de la latitud, en algunos casos, el ciclo reproductivo se sincroniza con la estación de lluvias (Trewavas, 1983).

### **2.1.2. Textura**

La textura es una propiedad muy importante del músculo de pescado, ya sea crudo o cocido. El músculo del pescado puede tornarse duro como resultado del almacenamiento en congelación, o suave y blando debido a la degradación autolítica. La textura puede ser vigilada organolépticamente, pero por muchos años ha existido la necesidad de desarrollar una prueba reológica. Gill y otros (1979) desarrollaron un método para evaluar el endurecimiento del músculo de pescado congelado, inducido por el formaldehído. Una muestra, exactamente cortada, se comprime por medio de un émbolo y se registra la curva de esfuerzo a la deformación. El módulo de deformación se calcula mediante el gráfico registrado. Otro método investigado por Dunajski (1980), mide la fuerza de corte de la carne de pescado. De este trabajo se concluye que puede emplearse una de celda de fuerza de corte, de hoja delgada del tipo Kramer.

Mediante esta doble compresión se obtiene una curva, de fuerza frente a desplazamiento, a partir del cual se definen varios parámetros de textura (Kim y otros, 2004). Dichos parámetros son:

**Dureza.** Fuerza necesaria para obtener una deformación dada. Se define como el pico de fuerza durante el primer ciclo de compresión.

**Cohesividad.** Resistencia de los enlaces internos que constituyen el producto. Se define como la ratio del área positiva de fuerza durante la segunda compresión y el área durante la primera compresión.

**Elasticidad.** Distancia que recupera la muestra tras la segunda compresión.

**Masticabilidad.** Energía requerida para desintegrar un producto sólido a un estado listo para ser tragado.

### 2.1.3. Especies de pez tilapia

La tilapia azul en términos científicos también se conoce como *Oreochromis aureus* y se trata de otro pez tilapia que se caracteriza por tener el cuerpo comprimido. El aspecto de esta especie cabe señalar que son fáciles de reconocer debido a que cuenta con una boca de labios hinchados, particularmente grande en comparación a otras especies de pez. De la misma forma, estos animales como el resto del género presentan piezas dentales de figura cónica (El-Sayed, 2006)

La tilapia del nilo es otra de las especies que conforman al género pez tilapia, en términos científicos a esta especie se le atribuye el nombre de *Oreochromis niloticus*. Además de ser conocido como pez tilapia del nilo también se conoce como pez tilapia plateada (Gomez-Marquez, 1998)

Según Gomez-Marquez, 1998, La tilapia roja lo que resalta en las características de esta especie es que a diferencia de las anteriormente señaladas el comportamiento del pez tilapia rojo es agresivo, esto se debe a que se considera un animal sumamente territorial, que adopta esta conducta frente a otros animales con facilidad. Esto se encuentra presente cuando el pez se desarrolla en su hábitat natural, puesto que diversos estudios han indicado que por el contrario cuando este pez se encuentra en una situación de cautiverio por el cultivo suele dejar atrás este comportamiento agresivo para habitar dentro de las aguas del respectivo estanque.

#### **2.1.4. Cultivo**

Por lo general las especies de pez tilapia suelen ser animales en cautiverio, lo que conlleva a que en estos casos suelen consumir y aceptar la artemia salina, que esta se trata de una especie de crustáceo braquiópodo, el cual presenta diversas propiedades nutricionales que ayudan al desarrollo del pez tilapia, por lo general este suele ser el alimento ideal para estas especies en cautiverio (Lai y Yi, 2004)

Por otro lado, cuando se encuentra en cautiverio suele también alimentarse de los restos de organismos que se encuentren al fondo del estanque donde se encuentra habitando, es decir, estas especies se comportan como hábiles cazadores de todo lo que puedan encontrar en el fondo de estos ambientes donde son cultivados y están bajo cuidados.

#### **2.1.5. Hábitat**

Lo que se conoce del hábitat del pez tilapia es que suelen tener una tendencia en habitar en aguas cálidas, bien sea en aguas dulces o en el mar. Debido a las altas capacidades que tienen estos animales de adaptación pueden incluso habitar en aguas con poco oxígeno. Esto

quiere decir que no se puede especificar de manera realista el hábitat de estos peces porque son capaces de adaptar fácilmente a las condiciones que presente cualquier ambiente determinado (Popma y Masser, 1999)

#### **2.1.6. Propiedades de la tilapia**

El consumo del pescado tilapia puede aportar una variedad de beneficios tomando en cuenta las propiedades nutricionales que aporta este animal, de esta forma se puede nombrar en primer lugar su alto contenido en proteínas que son beneficiosas para el ser humano. De esta forma en cuanto a los beneficios en proteína, según diversos estudios se tiene una referencia que para 100 gramos de pescado de tilapia se consumen al menos unos 20 gramos de proteína con alto valor biológico. Cabe destacar que esta cantidad suele ser relacionada con la que aporta las propiedades del pollo (Creswell, 2005).

#### **2.1.7. Valor nutricional**

En el Cuadro 2, se muestra el contenido nutricional en 100g de filete de tilapia (porción comestible).

Cuadro 2. Composición nutricional del filete de tilapia

Nutrientes	Contenido (g/100g)
Energía (KJ)	96
Grasa total (g)	1.70
Carbohidratos (g)	0.0
Colesterol (mg)	50
Sodio (mg)	52
Agua (mg)	78.08
Proteína (mg)	20.08

Fuente: Furuya (2010)

## 2.2. Ultrasonido

### 2.2.1. Definición

El ultrasonido se define como ondas acústicas inaudibles de una frecuencia superior a 20 kHz. Para la conservación de los alimentos, son más eficaces las ondas ultrasónicas de baja frecuencia (18-100 kHz;  $\lambda=145$  mm) y alta intensidad (10-1000 W/cm<sup>2</sup>) (Herrero y Romero, 2006).

Según Porras y otros (2011) de acuerdo con los intervalos de frecuencia de sonido utilizados en el ultrasonido se divide básicamente en:

- Ultrasonido de diagnóstico o de alta frecuencia (2 - 10 MHz).
- Ultrasonido de poder o de baja frecuencia (20 - 100 kHz).

El ultrasonido es una de las tecnologías emergentes con más investigación y desarrollo para la conservación de alimentos, utilizada, principalmente para la disminución de la concentración de microorganismos y la inhibición de la actividad enzimática, sin alterar las propiedades físicas, químicas y nutricionales de los alimentos.

El ultrasonido ha sido estudiado para propósitos de inactivación microbiana y enzimática, pero que durante años ha sido objeto de investigación en la industria de alimentos, especialmente, en el tema de control de calidad. Se ha demostrado que puede ser utilizado para la evaluación de textura, composición y viscosidad de alimentos, para el desarrollo de técnicas de análisis no invasivas y para determinar el nivel de homogenización de glóbulos de grasa en leche, entre otras aplicaciones.

## **2.2.2. Aplicaciones del ultrasonido**

### **2.2.2.1. Ultrasonido como método de emulsificación/homogenización**

Cuando dos líquidos inmiscibles se irradian con ultrasonidos, no siempre es posible mezclarlos y crear una emulsión, ya que una de las fases debe cavitarse y de este modo poder hacer miscibles las dos fases. Durante la cavitación, las burbujas generadas colapsan cerca a la interface existente entre los dos líquidos y este choque resulta en la mezcla eficiente de las dos fases.

### **2.2.2.2. Aplicación del ultrasonido de potencia en la industria de cereales, aceites y derivados.**

En los procesos de la tecnología de cereales y aceites, estos se ven beneficiados en la fermentación, aumento de rendimiento de los aceites y extracción de almidones.

Presentándose un aumento en la velocidad de fermentación de cerveza y vino cuando se aplicó ultrasonido de baja intensidad; el efecto fue de desgasificación del CO<sub>2</sub>, el cual se inhibe el proceso.

### **2.2.2.3. Inactivación microbiana y de enzimas**

La pasteurización térmica convencional y la esterilización son las técnicas más comunes en la actualidad para inactivar los microorganismos y las enzimas en productos alimenticios. Sin embargo, las intensidades de temperatura de tratamiento y el tiempo del proceso también son proporcionales a la cantidad de pérdida de nutrientes, el desarrollo de sabores indeseables y el deterioro de las propiedades funcionales de los alimentos. De esta manera, el ultrasonido proporciona un método

para mejorar dichos procesos en virtud de los efectos de la cavitación

### 2.2.3. Parámetros de ultrasonido

Según Gómez y López (2009). 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, estos son:

**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

### 2.2.4. Cavitación

La cavitación es un efecto hidrodinámico que se produce cuando se crean cavidades de vapor dentro del agua o cualquier otro fluido en



estado líquido en el que actúan fuerzas que responden a diferencias de presión, como puede suceder cuando el fluido pasa a gran velocidad por una arista afilada, produciendo una descompresión del fluido debido a la conservación de la constante de Bernoulli. Puede ocurrir que se alcance la presión de vapor del líquido de tal forma que las moléculas que lo componen cambian inmediatamente a estado de vapor, formándose burbujas o, más correctamente, cavidades. Las burbujas formadas viajan a zonas de mayor presión e implosionan (el vapor regresa al estado líquido de manera súbita, «aplastándose» bruscamente las burbujas) produciendo una estela de gas de gran energía sobre una superficie sólida que puede resquebrajar en el choque.

El fenómeno generalmente va acompañado de ruido y vibraciones, dando la impresión de que se tratara de grava que golpea en diferentes partes de una máquina.

El ultrasonido puede definirse como las ondas acústicas inaudibles de una frecuencia generalmente superior a los 20 kHz. 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 2), caracterizado por la generación y evolución de microburbujas en el medio líquido (Ulloa y otros, 2013).

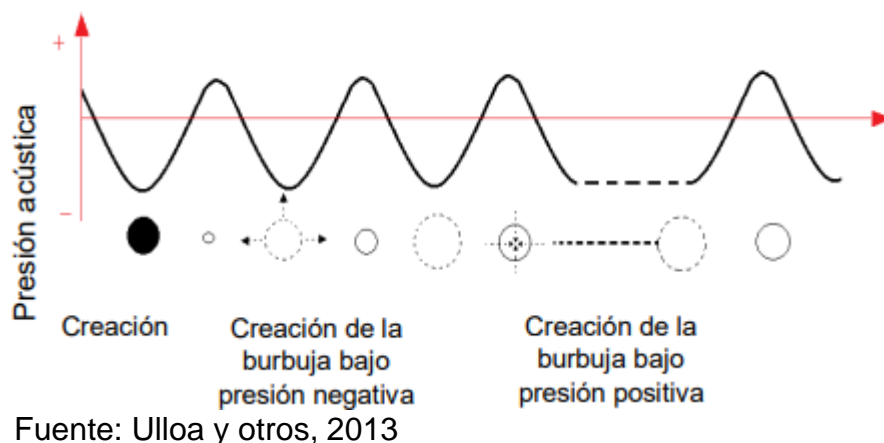


Figura 2. Comportamiento de las burbujas durante la cavitación

### 2.2.5. Aplicación en la Industria Alimentaria

La combinación de ultrasonidos con calor o presión inactiva microorganismos y enzimas especialmente resistentes al calor. Los ultrasonidos de alta intensidad se han venido utilizando para limpieza de equipos, desgasificado de líquidos, homogeneización, inducción de reacciones de oxidación/reducción, extracción de enzimas y proteínas, inducción de la nucleación durante la cristalización, entre otras aplicaciones. Hasta el momento se han desarrollado equipos a escala semi-industrial e industrial encaminadas a la eliminación de espumas y deshidratación de vegetales (Gallego y otros, 1999)

La mayor parte de los estudios sobre la aplicación de los ultrasonidos de alta intensidad como técnica de conservación han sido llevados a cabo a escala de laboratorio y no se ha realizado un escalado industrial. Según Hoover (2001), apuntó que, en comparación con los tratamientos térmicos convencionales, se precisa una mayor cantidad de energía para llegar a inactivar los microorganismos.

Dado que se ha visto un escaso efecto de los ultrasonidos sobre los enzimas y los microorganismos, Hoover (2001) menciona que, la combinación de los ultrasonidos con calor (termosonicación), presión (manosonicación) o ambos (manotermosonicación), encontrándose un efecto aditivo o sinérgico, dependiendo de cada caso. Estas combinaciones han resultado ser muy útiles en la inactivación de

microorganismos y enzimas especialmente resistentes al calor. La manosonificación y la manotermosonificación pueden ser particularmente eficaces en la pasterización y esterilización de mermeladas, salmueras o huevo líquido, y para la descontaminación de vegetales crudos.

#### **2.2.6. Principios y aplicaciones del ultrasonido de alta frecuencia**

La propagación del ultrasonido a través de materiales biológicos induce compresiones y descompresiones (rarefacciones) de las partículas del medio, lo cual genera una gran cantidad de energía. El ultrasonido de alta energía tiene efectos mecánicos, químicos y/o bioquímicos, mismos que se utilizan para modificar las propiedades fisicoquímicas y mejorar la calidad de varios 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:

**Inactivación microbiana.** La pasteurización y esterilización térmica son dos de las técnicas usadas para la inactivación de productos alimenticios. Sin embargo, la efectividad de dichos métodos requiere de largos tiempos de exposición a tratamientos de 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 ha mostrado varias ventajas comparada con la pasteurización térmica, tales como la minimización de las pérdidas de sabor en jugos de frutas, así como, una más grande 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 (Porras y otros, 2010).

**Congelación de alimentos.** En ese sentido el ultrasonido de alta frecuencia resulta de interés 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 es debido 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).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Lugar de ejecución

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

#### 3.2. Materiales y equipos

- Equipo de ultrasonido marca branson 5800, con capacidad para 9.5L
- pH-metro. Marca Oakton. Rango de 0-14, sensibilidad aprox. 0.01.
- Balanza analítica. Marca Sartorius. Capacidad 0 - 210 g. sensibilidad aprox. 0.0001 g.
- Colorímetro Konica Minolta. Modelo CR-400
- Texturómetro universal Instron modelo 3342.
- Papel film

Materia prima

Tilapia (*Oreochromis niloticus*) adquirida del supermercado Plaza vea de Trujillo.

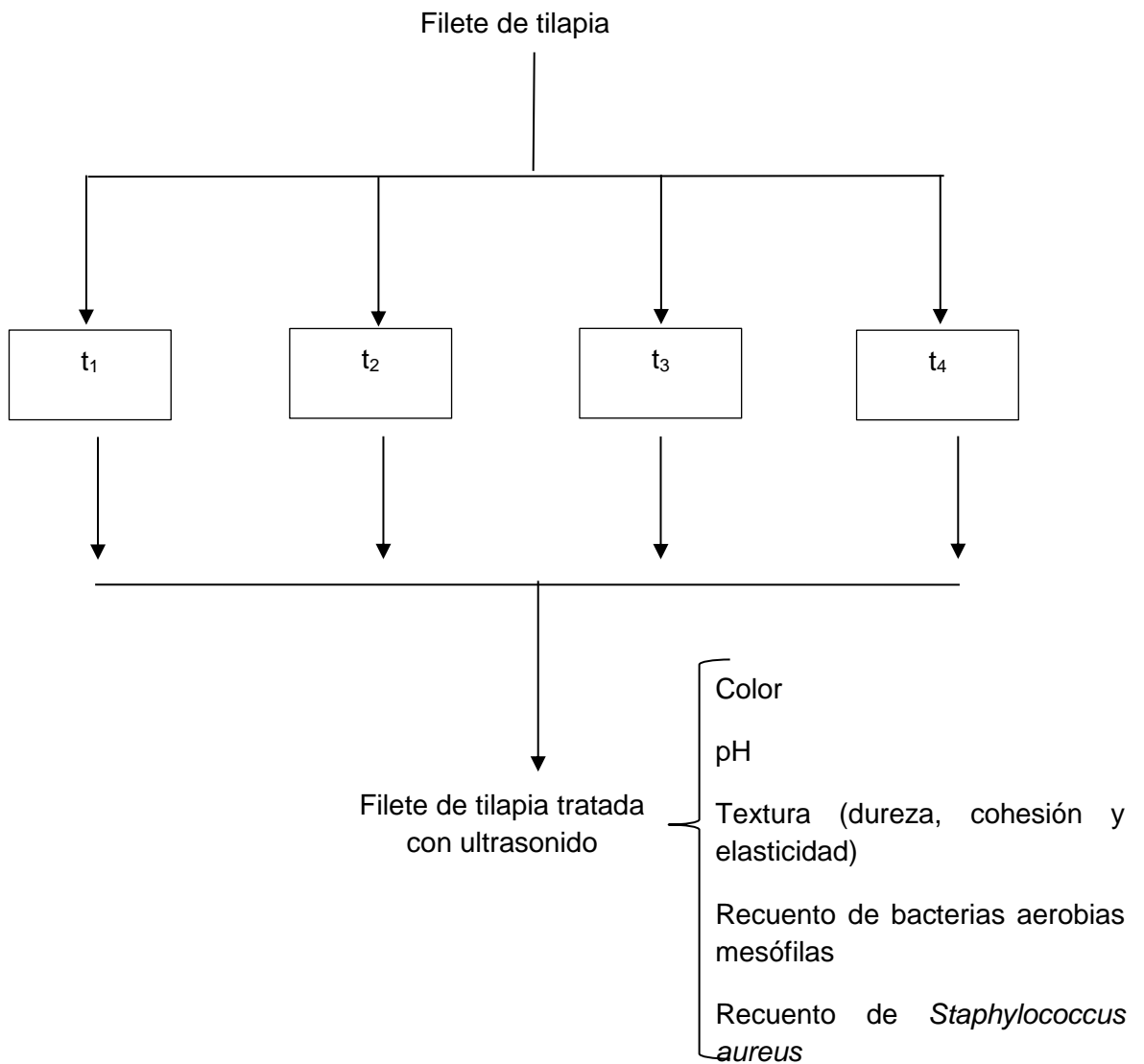
Instrumentos

- Placas Petri Marca duran group. Rango 15 x 100 mm
- Micropipeta

#### 3.3. Metodología

##### 3.3.1. Esquema experimental para la investigación sobre filetes de tilapia tratada con ultrasonido.

El esquema experimental de la investigación se presenta en la Figura 3; la variable independiente es el tiempo de exposición al ultrasonido de 40 kHz; y las variables dependientes son el color, pH, perfil de textura, recuento de aerobios mesófilos totales y *Staphylococcus aureus*



Leyenda:

t<sub>1</sub>: 0 min de exposición a ultrasonido 40 kHz.

t<sub>2</sub>: 5 min de exposición a ultrasonido 40 kHz.

t<sub>3</sub>: 10 min de exposición a ultrasonido 40 kHz.

t<sub>4</sub>: 15 min de exposición a ultrasonido 40 kHz.

Figura 1. Esquema experimental del efecto de exposición al ultrasonido en las propiedades del filete de tilapia

### 3.3.2. Proceso experimental para el filete de tilapia

La Figura 4 muestra el procedimiento para el tratamiento con ultrasonido del filete de tilapia

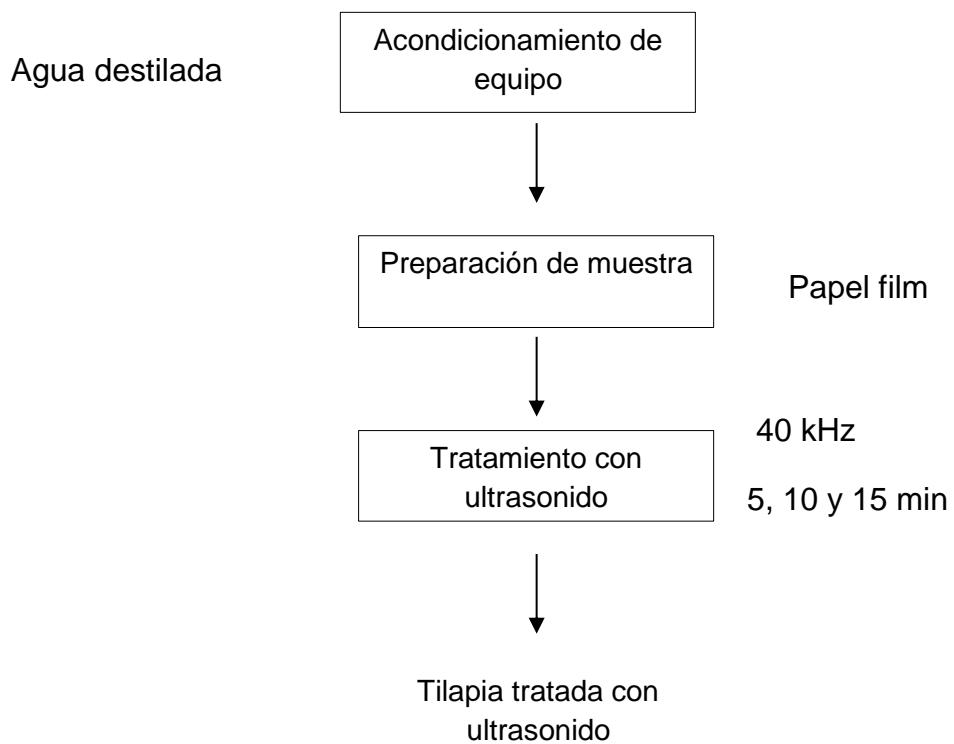


Figura 4. Diagrama de flujo para el tratamiento con ultrasonido del filete de tilapia

A continuación, se describe cada operación que se muestra el diagrama de flujo (Figura 4):

**Acondicionamiento del equipo.** El recipiente del equipo fue llenado con agua destilada hasta la línea de referencia. Luego se reguló el tiempo de exposición.

**Preparación de muestras.** Se cortaron trozos de filete de tilapia con un peso próximo de 100 g cada uno y fueron envueltos en papel film.

**Tratamiento con ultrasonido.** Las muestras por separado se colocaron dentro del baño, sobre una rejilla de acero, se cuidó que el nivel del agua esté sobre el nivel del filete de tilapia. Luego se aplicó el tratamiento con ultrasonido a una frecuencia de 40 kHz; 100% de potencia transmitida al medio durante 5 min. Una vez concluido el tiempo, se apagó el equipo y se retiraron las muestras. El proceso se repitió para 10 y 15 minutos.

### 3.4. Métodos de análisis

#### 3.4.1. Color

Se utilizó la metodología CIELAB con el empleo del colorímetro Konica Minolta. El equipo fue calibrado, colocándose el colorímetro sobre la muestra para medir tres parámetros de color luminosidad  $L^*$  ( $L^*=0$  para negro y  $L^*=100$  para blanco), cromaticidad  $a^*$  (verde [-] a rojo [+]), y  $b^*$  (azul [-] a amarillo [+]) (Albertí, 2000)



### **3.4.2. pH**

Se utilizó el método indicado por (AOAC, 1995) con el empleo del pH-metro Marca Oakton. El equipo fue calibrado con agua destilada, para poder hacer las mediciones correspondientes. Se tomaron muestras con un peso aproximado de 100 g colocando el ph-metro directo en el filete de tilapia obteniendo los resultados.

### **3.4.3. Perfil de Textura**

El análisis de perfil de textura se realizó de la siguiente manera: se cortaron porciones de 1.5 cm x 1.5 cm x 2.0 cm por cada formulación. La prueba consistió en colocar cada muestra en las placas paralelas circulares de acero inoxidable de 75 mm de diámetro (una placa fija y otra móvil) realizando una compresión de doble ciclo hasta el 50% de la altura inicial (se utilizó una celda de 50 kg cuyo rango fue de 20 kg), con una velocidad de la sonda de 2 mm/s, y un tiempo de espera de 5 seg entre cada ciclo (2 ciclos). Se cuantificaron los siguientes parámetros: dureza (kgf/g o N), elasticidad y cohesividad (ambas adimensionales) (Brandt y otros, 1963)

### **3.4.4. Recuento de aerobios mesófilos**

Se realizó los análisis en el filete de tilapia sometida a diferentes tiempos de exposición con ultrasonido. Se usó 1 mL de muestra de cada tratamiento y se diluyó en 9 mL de agua destilada estéril. El método utilizado fue la siembra por incorporación. Se usó 1 mL de muestra diluida y se agregó 15 mL. de agar nutritivo a las placas estériles. Se sembró la última dilución por duplicado y se colocó las placas invertidas a 37 °C durante 24 h, para luego realizar los recuentos (Mandigan y otros, 2003).

#### **3.4.5. Recuento de *Staphylococcus aureus***

Se realizó los análisis en el filete de tilapia sometida a diferentes tiempos de exposición con ultrasonido. Se pesó 1 g de muestra de cada tratamiento y se diluyó en 9 mL de agua destilada estéril. Se homogenizó la muestra, agitándola previamente. Se usó 1 mL de muestra diluida sembrándose en agar manitol salado y se incubara a 37 °C por 24 horas (Jablonskin y Bohach, 2001).

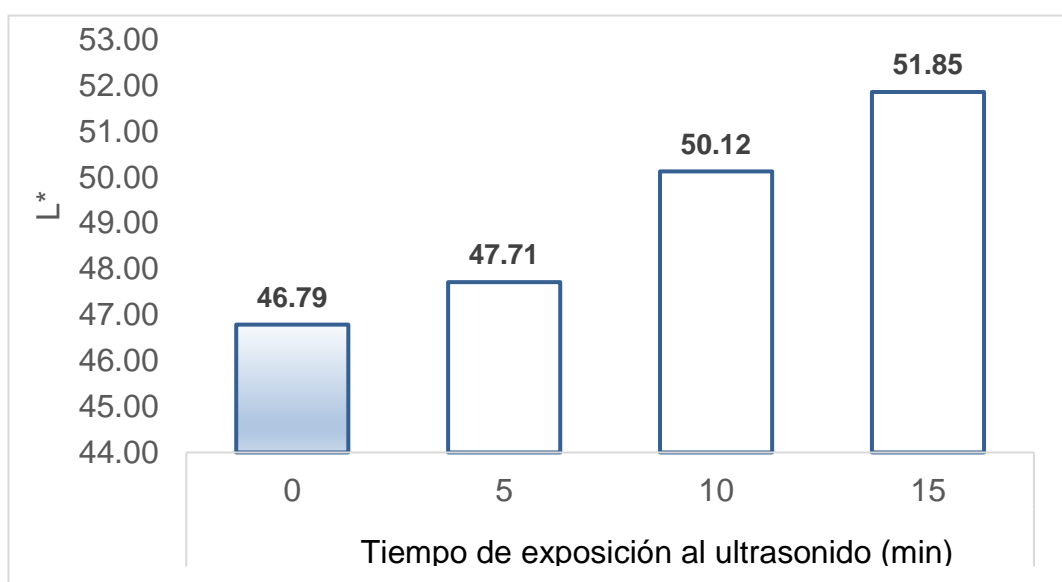
#### **3.5. Métodos estadísticos**

El método estadístico respondió a un diseño monofactorial con cuatro repeticiones para pH, color, perfil de textura, recuento de aerobios mesofilos y *Staphylococcus aureus*, se aplicó la prueba de Levene modificada para determinar la homogeneidad de varianzas; luego el análisis de varianza; para determinar la significancia y la prueba de comparaciones múltiples de Duncan, para determinar el mejor tratamiento.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

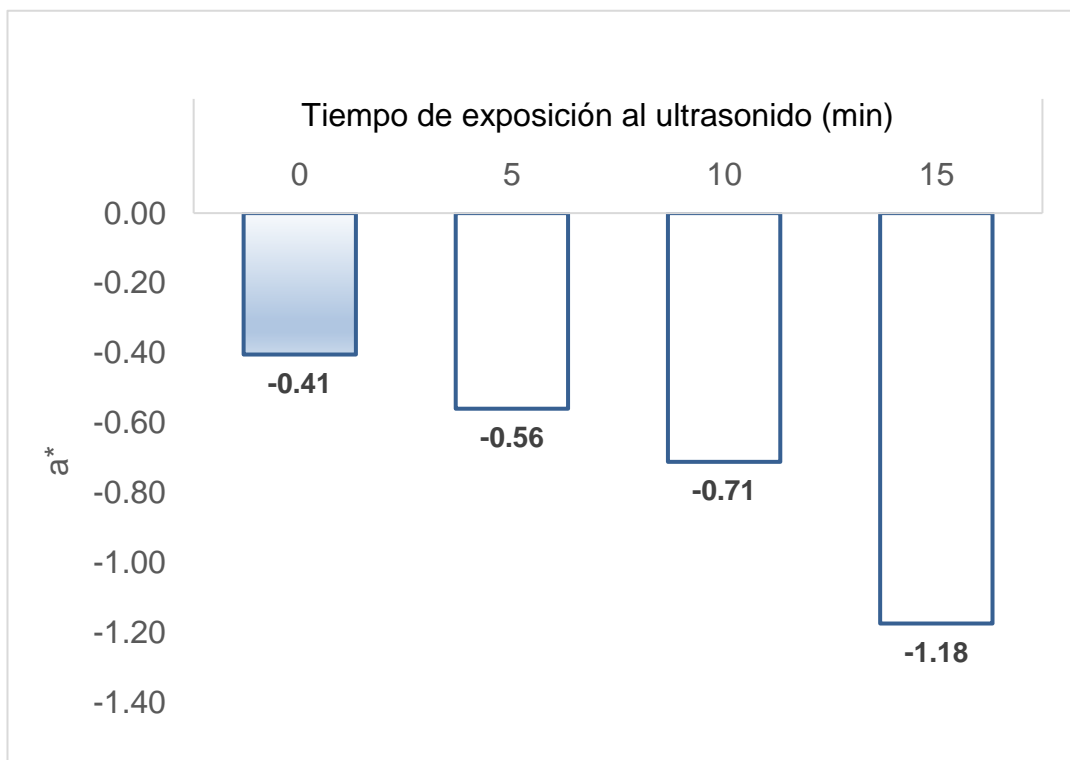
### 4.1. Efecto del tiempo de exposición al ultrasonido sobre el color en el filete de tilapia

La Figura 5 muestra los resultados de la evaluación del color de luminosidad ( $L^*$ ), del filete de tilapia con exposición al ultrasonido. La mayor luminosidad se obtuvo en el tratamiento de 15 min, obteniéndose un color transparente en el filete. El tratamiento de 5 min con un valor de 47.71 es el cercano a la muestra control ya que el color aún se mantiene. Fuente y otros (2016) evaluaron el efecto del ultrasonido a frecuencia de 40 kHz en cuatro niveles (0, 3, 4 y 5 min) en lomo de atún. Ellos reportaron que las muestras tratadas fueron afectadas disminuyendo así su color ( $L^*$ ) en el tratamiento de 5 min, lo cual concuerda con los resultados obtenidos en el presente trabajo.



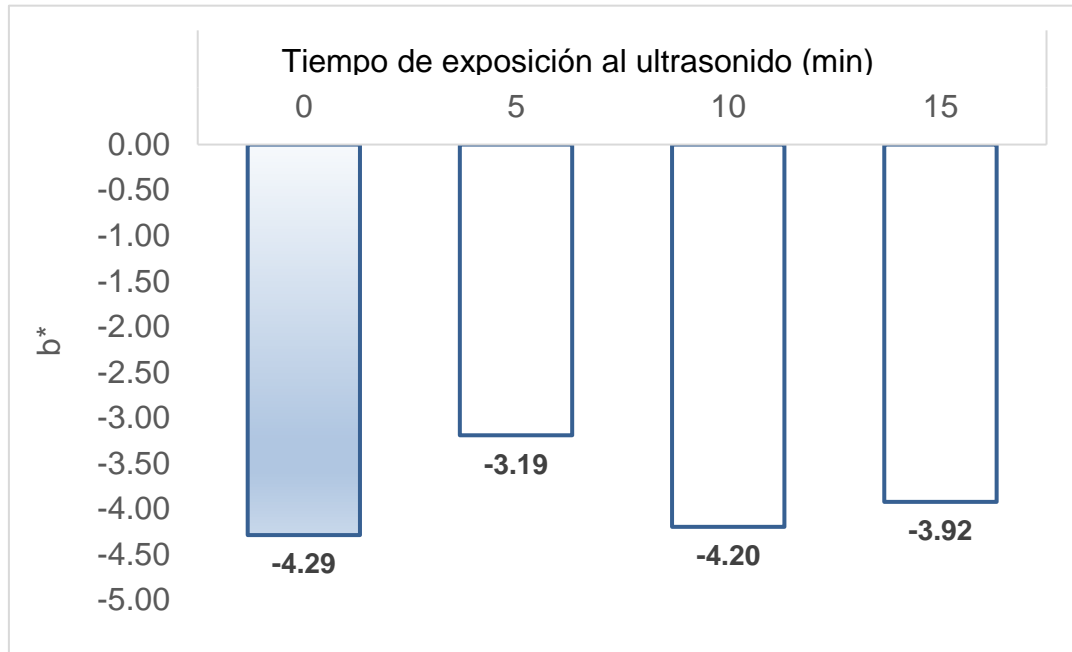
**Figura 5.** Valores de  $L^*$  en filete de tilapia con exposición al ultrasonido a 40 kHz.

En la Figura 6, se presenta los valores de  $a^*$  en filete de tilapia con exposición al ultrasonido, donde se observa valores negativos los cuales fluctuaron entre -0.56 a -1.18 de la muestra control, obteniéndose una ligera variación en la cromaticidad del filete de tilapia en el tratamiento de 5 min.



**Figura 6.** Valores de  $a^*$  en filete de tilapia con exposición al ultrasonido a 40 kHz.

En la figura 7 se presenta los valores de  $b^*$  en filete de tilapia con exposición al ultrasonido, donde se puede observar valores negativos, los cuales fluctuaron entre -3.19 a -4.20 de la muestra control, siendo el tratamiento de exposición a 10 min la menor variación a la muestra control con un valor de -4.20.



**Figura 7.** Valores de  $b^*$  en filete de tilapia con exposición al ultrasonido a 40 kHz

$L^*$  indica la claridad y brillo en una escala de cero (negro) a cien (blanco). El eje  $a^*$  mide el espectro de luz visible comprendido del color verde al rojo, mientras que el eje  $b^*$  mide el espectro de luz visible comprendido del azul al amarillo (Hunter  $L^* a^* b^*$  Application notes, 2009).

Pocos estudios han abordado el efecto de la aplicación de ultrasonido en el color de los alimentos. Los resultados de varios investigadores no proporcionaron ninguna tendencia específica (Rodríguez y Narciso, 2012).

En el Cuadro 3, se presenta la prueba de Levene modificada para los valores  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  en filete de tilapia, con exposición al ultrasonido a 40 kHz, donde existió homogeneidad de varianza ( $p > 0.05$ ), lo cual valida la aplicación del análisis de varianza.

**Cuadro 3.** Prueba de Levene modificada para los valores L\*, a\* y b\* en filete de tilapia

Variable	Estadístico de Levene	$\rho$
L*	0.824	0.505
a*	0.45	0.722
b*	0.727	0.555

En el Cuadro 4 se presenta el análisis de varianza para los valores L\*, a\* y b\* en filete de tilapia. El análisis muestra que la variable independiente: tiempo de aplicación del ultrasonido, tuvo un efecto significativo a un nivel de confianza del 95% sobre las características del color.

Fuentes y otros (2016), evaluaron el efecto del tratamiento a 40 kHz en lomo de atún (0, 3, 4 y 5 min), indicando que el ultrasonido tuvo un efecto significativo en los parámetros de luminosidad en las muestras tratadas a diferentes tiempos de exposición ( $p < 0,05$ ), estos resultados concuerdan con los obtenidos en este trabajo.

En el Cuadro 5, 6 y 7 se muestran los resultados de la prueba de Duncan aplicada a los valores L\*, a\* y b\* en filete de tilapia, donde se puede indicar que existió diferencia significativa entre los tratamientos, denotados por la formación de subgrupos.

**Cuadro 4.** Análisis de varianza de los valores L\*, a\* y b\* en filete de tilapia

Variable	Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	p
L*	Tratamiento	63.647	3	21.216	14.669	0.000
	Error	17.356	12	1.446		
	Total	81.003	15			
a*	Tratamiento	1.327	3	0.442	138.667	0.000
	Error	0.038	12	0.003		
	Total	1.365	15			
b*	Tratamiento	2.958	3	0.986	22.429	0.000
	Error	0.528	12	0.044		
	Total	3.486	15			

El Cuadro 5 se observa la prueba de Duncan aplicada a los valores de L\* en filete de tilapia, con tiempos de exposición al ultrasonido a 40kHz, donde, en el subgrupo 1 se encuentra los tratamientos 0 y 5 min de exposición con 46.785 y 47.710, respectivamente se considera como mejor tratamiento el de 5 min por ser el más cercano a la muestra control.

**Cuadro 5.** Prueba de Duncan para el color L\* en filete de tilapia

Tiempo de exposición al ultrasonido (min)	Subgrupo	
	1	2
0	46.785	
5	47.710	
10		50.123
15		51.853

El Cuadro 6 se observa que los tratamientos con tiempos: 0, 5, 10 y 15 min pertenecen a diferentes subgrupos. Donde se observa en el subgrupo 3 al tratamiento con un tiempo de 5 min de exposición al ultrasonido, que brindó la mayor cromaticidad con un valor de -0.560 cercano a la muestra control.

**Cuadro 6.** Prueba de Duncan para el color a\* en filete de tilapia

Tiempo de exposición al ultrasonido (min)	Subgrupo			
	1	2	3	4
15	-1.175			
10		-0.713		
5			-0.560	
0				-0.405

El Cuadro 7 se observa la prueba de Duncan aplicada a los valores de b\* en filete de tilapia, con tiempo de exposición al ultrasonido a 40 kHz, donde, en el subgrupo 1 se encuentran el tratamiento de 5 min de exposición con -4.198, optando este tratamiento por el color cercano a la muestra control, ya que a mayor tiempo va tornándose un color pardo.

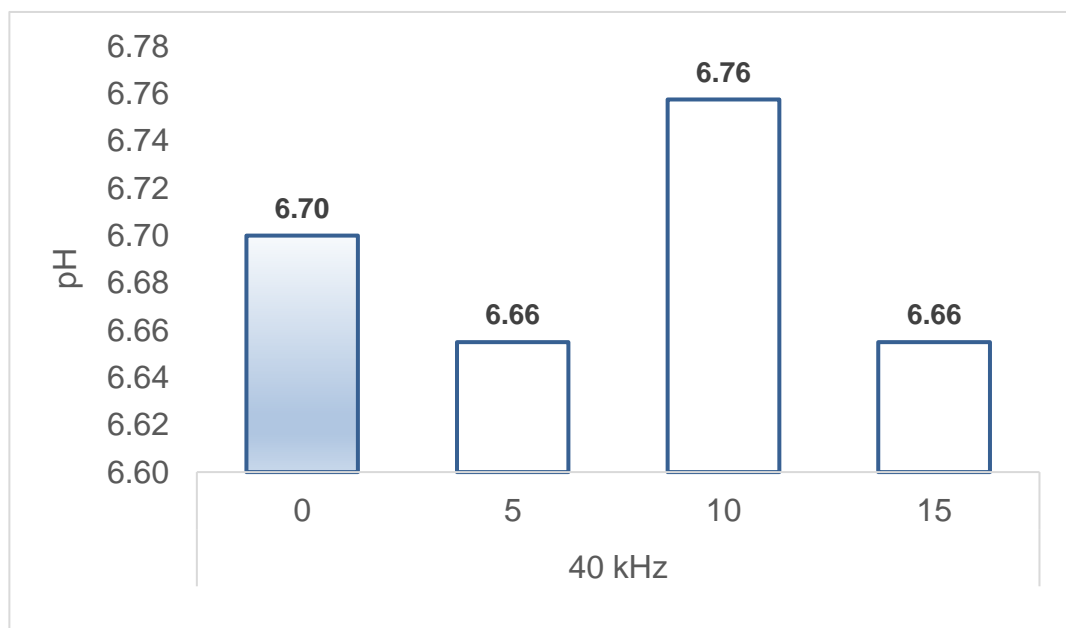
**Cuadro 7.** Prueba de Duncan para el color b\* en filete de tilapia

Tiempo de exposición al ultrasonido (min)	Subgrupo		
	1	2	3
0	-4.288		
5	-4.198		
15		-3,920	
10			-3.193



#### 4.2. Efecto del tiempo de exposición al ultrasonido sobre el pH en el filete de tilapia

En la Figura 8, se presenta los valores de pH en filete de tilapia con exposición al ultrasonido. Donde se observan que los valores fluctuaron ligeramente entre 6.66 a 6.76, sin mostrar una tendencia definida. Según Morild y otros (2011), indican que el tratamiento con ultrasonido afecta al pH dependiendo de la frecuencia aplicada del ultrasonido.



**Figura 8.** Valores de pH en filete de tilapia con exposición al ultrasonido a 40 kHz.

Fuentes y otros (2016), evaluaron el efecto del ultrasonido en lomo de atún (0, 3, 4 y 5 min). Los resultados indicaron que en el tratamiento de 3 min no afectó el pH con relación a la muestra control, no obstante en el tratamiento de 5 min afectó disminuyendo el pH.

Romero y Gelvez (2013), evaluaron el efecto del ultrasonido en una emulsión de carne de búfalo (0, 3, 5 y 10 min), donde el pH de la

emulsión preparada con carne industrial de búfalo disminuye cuando es tratada con ultrasonido a 37 kHz durante 3 y 5 min.

El pH, además de ser una medida de intensidad del sabor ácido de un producto, es muy importante en el control del desarrollo de poblaciones de microorganismos y en la actividad de sistemas enzimáticos (Medina y Pagano 2003).

En el Cuadro 8 se presenta la prueba de Levene modificada aplicada para los valores de pH en filete de tilapia, se observa que existió homogeneidad de varianza ( $p > 0.05$ ), lo cual valida la aplicación del análisis de variación. Tratamiento de exposición al ultrasonido (min)

**Cuadro 8.** Prueba de Levene modificada para los valores de pH en filete.

Variable	Estadístico de Levene	p
pH	3.342	0.056

En el Cuadro 9 se presenta el análisis de varianza para los valores de pH en filete de tilapia. El análisis muestra que la variable independiente: tiempo de aplicación del ultrasonido, no tuvo un efecto significativo ( $p < 0.05$ ) a un nivel de confianza del 95% sobre el pH

**Cuadro 9.** Análisis de varianza para los valores de pH en filete de tilapia

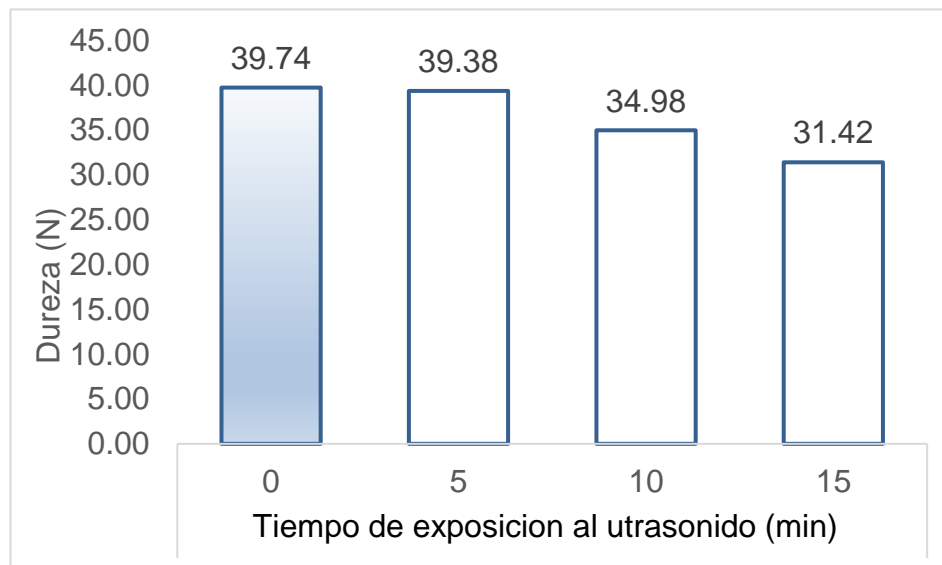
Variable	Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	p
pH	Tratamiento	0.028	3	0.009	2.949	0.076
	Error	0.038	12	0.003		
	Total	0.067	15			

Fuentes y otros (2016) evaluaron el efecto del tratamiento de ultrasonido en lomo de atún (0, 3, 4 y 5 min). El análisis de varianza demostró efecto significativo ( $p < 0.05$ ) del tiempo de exposición al ultrasonido sobre el pH de lomo de atún. Estos resultados no concuerdan con los obtenidos en el presente trabajo.

#### **4.3. Efecto del tiempo de exposición al ultrasonido sobre el perfil de textura en el filete de tilapia**

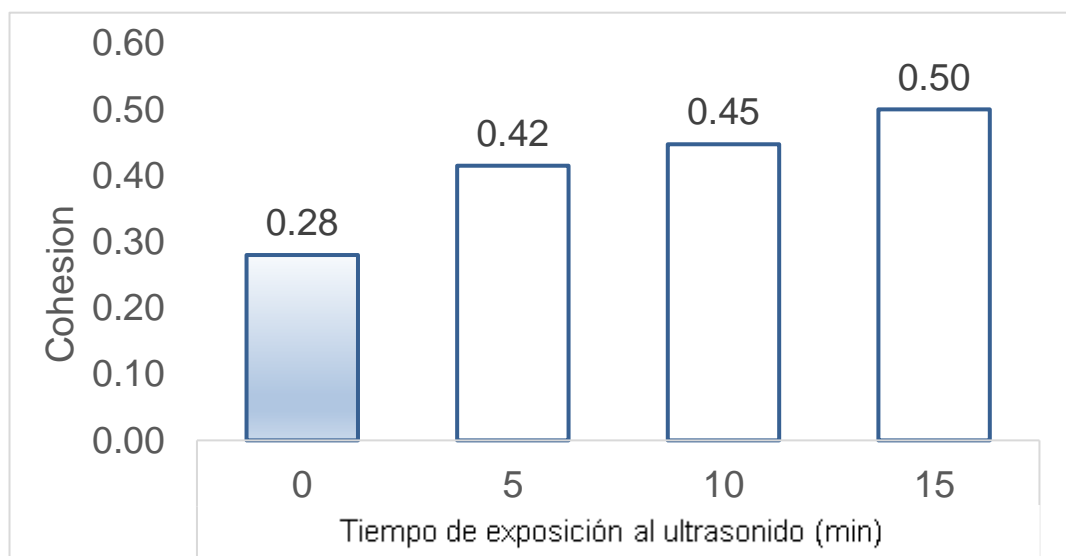
En la Figura 9, se presenta los valores de dureza en filete de tilapia con exposición al ultrasonido. Se observa que al aumentar el tiempo de exposición al ultrasonido disminuye ligeramente la dureza, lo cual afecta la apariencia del filete de tilapia, obteniéndose así el mejor tratamiento de 5 min con un valor de 39.38 N. Estos comportamientos de textura se debe a que el ultrasonido induce la ruptura de la membrana celular y los lisosomas, aumentan la ternura de la carne directamente a través del debilitamiento físico de la estructura del músculo o indirectamente por la activación de la proteólisis, liberación de las catepsinas y enzimas responsables de la maduración de la carne (Albretch, 2012).

La calidad de la carne depende principalmente del aroma, sabor, apariencia, textura y jugosidad. El comportamiento del consumidor indica que la textura es uno de los factores más influyentes para determinar la calidad de esta, el cual es dependiente de elementos tales como la ternura y el grado de maduración. Técnicamente el ultrasonido puede actuar de dos maneras en el tejido de la carne: por romper la integridad de las células musculares y promoviendo reacciones enzimáticas (Alarcon-Rojo y otros, 2015), mientras que algunos autores (Jayasooriya, 2004) afirman que la exposición prolongada a las ondas ultrasónicas de alta intensidad provoca un ablandamiento significativo de la carne.



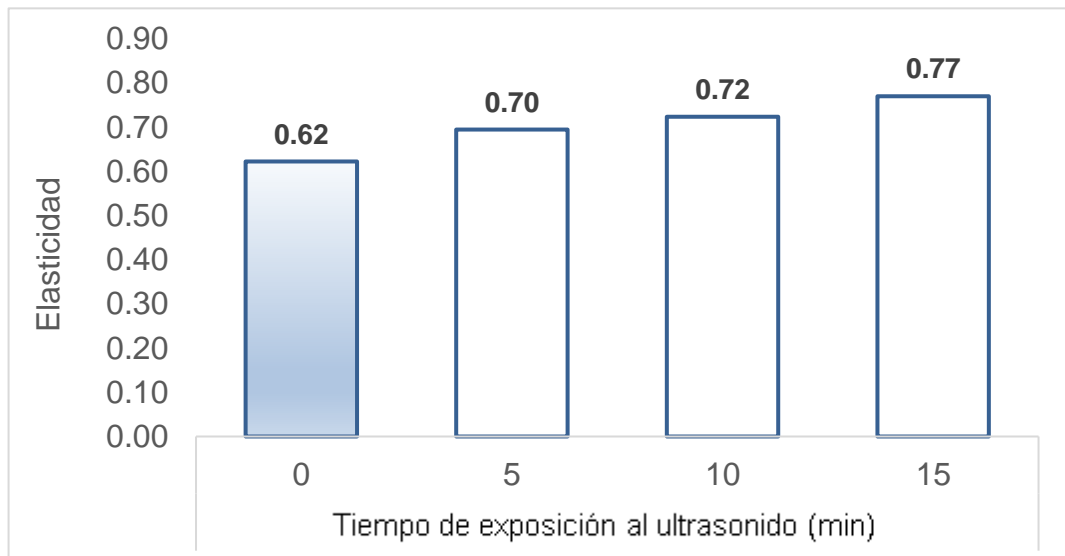
**Figura 9.** Valores de dureza en filete de tilapia con exposición al ultrasonido a 40 kHz

En la Figura 10 se presenta los valores de cohesión en filete de tilapia con exposición a ultrasonido, los cuales fluctuaron entre 0.42 a 0.50. El mejor valor se considera en el tratamiento de 5 min de exposición con 0.42, por lo que el aumento de tiempo hace que las partículas se puedan deformar antes de romperse.



**Figura 10.** Valores de cohesión en filete de tilapia con exposición al ultrasonido a 40 kHz

En la Figura 11 se presenta los valores de elasticidad en filete de tilapia con exposición a ultrasonido, se observa que a mayor tiempo de exposición, los valores aumentaron ligeramente. El mejor valor se aprecia en el tratamiento de 5 min de exposición con 0.70.



**Figura 11.** Valores de elasticidad en filete de tilapia con exposición al ultrasonido a 40 kHz

En el Cuadro 10, se presenta la prueba de Levene modificada aplicada para los valores de dureza, cohesión y elasticidad en filete de tilapia, donde se puede observar que existió homogeneidad de varianza ( $p > 0.05$ ), lo cual valida la aplicación del análisis de varianza.

**Cuadro 10.** Prueba de Levene modificada para los valores de dureza, cohesión y elasticidad en filete de tilapia

Variable	Estadístico de Levene	p
<b>Dureza</b>	0.505	0.825
<b>Cohesión</b>	1.862	0.190
<b>Elasticidad</b>	0.333	0.802

En el Cuadro 11 se presenta el análisis de varianza para los valores de dureza, cohesión y elasticidad en filete de tilapia. El análisis muestra que la variable independiente: tiempo de aplicación del ultrasonido, tuvo un efecto significativo a un nivel de confianza del 95% sobre el perfil de textura.

Fuente y otros (2016), evaluaron el perfil de textura en la carne de lomo de atún, la cual muestra que en el parámetro de dureza y elasticidad hubo diferencias significativas entre la muestras control y la carne expuesta a ultrasonido.

En el Cuadro 12, 13 y 14 se muestran los resultados de la prueba de Duncan aplicada a los valores de dureza, cohesión y elasticidad en filete de tilapia, donde se puede indicar que existió diferencia significativa entre los tratamientos, denotados por la formación de subgrupos.

**Cuadro 11.** Análisis de varianza para los valores de dureza, cohesión y elasticidad en filete de tilapia

Variable	Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	p
<b>Dureza</b>	Tratamiento	187.278	3	62.426	14.313	0.000
	Error	52.339	12	4.362		
	Total	239.617	15			
<b>Cohesión</b>	Tratamiento	0.106	3	0.035	55.825	0.000
	Error	0.008	12	0.001		
	Total	0.113	15			
<b>Elasticidad</b>	Tratamiento	0.046	3	0.015	26.657	0.000
	Error	0.007	12	0.001		
	Total	0.052	15			

El Cuadro 12 se observa la prueba de Duncan aplicada a los valores de dureza en filete de tilapia, con tiempos de exposición al ultrasonido a 40kHz, donde, en el subgrupo 3 el tratamiento con ultrasonido 40 kHz a 5 min, brindó la mayor dureza con 39.375, siendo factible para el consumo y la cocción.

**Cuadro 12.** Prueba de Duncan para dureza en filete de tilapia.

Tiempo de exposición al ultrasonido (min)	Subgrupo		
	1	2	3
15	31.418		
10		34.978	
5			39.375
0			39.735

El Cuadro 13 se observa la prueba de Duncan aplicada al valor de cohesión en filete de tilapia, con tiempo de exposición al ultrasonido a 40 kHz, donde, en el subgrupo 2 el tiempo de exposición de 5 min brindó mejor cohesión con un valor de 0.415 ya que a mayor tiempo hay ruptura de partículas en el filete de tilapia.

**Cuadro 13.** Prueba de Duncan para cohesión en filete de tilapia.

Tiempo de exposición al ultrasonido (min)	Subgrupo		
	1	2	3
0	0.280		
5		0.415	
10		0.448	
15			0.50

Cuadro 14 se observa la prueba de Duncan aplicada a los valores de elasticidad en filete de tilapia, donde, se observa en el subgrupo 2 al tratamiento con ultrasonido 40 kHz con un tiempo de 5 min, que brindó la menor variación de elasticidad con 0.695, ya que al aumentar el tiempo de exposición disminuye el contenido de humedad.

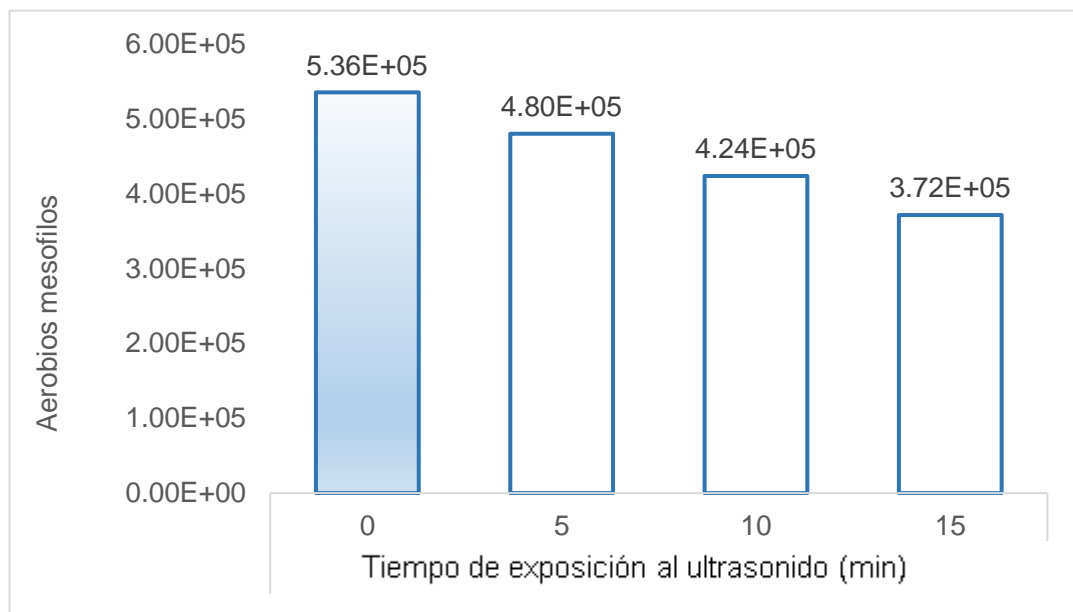
**Cuadro 14.** Prueba de Duncan para la elasticidad en filete de tilapia.

Tiempo de exposición al ultrasonido (min)	Subgrupo		
	1	2	3
0	0.623		
5		0.695	
10		0.723	
15			0.770



#### 4.4. Efecto del tiempo de exposición al ultrasonido sobre el recuento de bacterias aerobias mesófilas en el filete de tilapia

En la Figura 12, se presenta los valores del recuento de bacterias aerobias mesófilas en filete de tilapia con exposición al ultrasonido. Donde se observa una mayor inactivación de microorganismos con el aumento de tiempo de exposición.



**Figura 12.** Recuento de bacterias aeróbicas mesófilas en filete de tilapia con exposición al ultrasonido a 40 kHz

Según la Norma sanitaria que establece los criterios microbiológicos, indica un rango de  $5 \times 10^5$  hasta  $1 \times 10^6$  ufc/mL para las bacterias aerobias mesófilas en productos hidrobiológicos. Los valores de los tratamientos se encuentran por debajo del rango establecido e incluso el control (DIGESA, 2003).

Romero y Gelvez (2013), evaluaron el efecto de ultrasonido en carne de búfalo (0, 3, 5 y 10 min) en donde con el tiempo de exposición al

ultrasonido se disminuyó la flora de mesófilos aerobios en la muestra tratada con ultrasonido durante 10 min.

En el Cuadro 15 se presenta la prueba de Levene modificada aplicada al recuento de bacterias aerobias mesófilas en filete de tilapia, donde se puede observar que existió homogeneidad de varianza ( $p > 0.05$ ), lo cual valida la aplicación del análisis de varianza.

**Cuadro 15.** Prueba de Levene modificada para el recuento de bacterias aerobias mesófilas en filete de tilapia

Variable	Estadístico de Levene	p
Aerobios mesofilos	2.099	0.154

En el Cuadro 16 se presenta el análisis de varianza aplicada al recuento de bacterias aerobias mesófilas en filete de tilapia. El análisis muestra que la variable independiente: tiempo de aplicación del ultrasonido, tuvo un efecto significativo a un nivel de confianza del 95% sobre bacterias aerobias mesófilas.

**Cuadro 16.** Análisis de varianza para el recuento de bacterias aerobias mesófilas en filete de tilapia

Variable	Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	p
Recuento de bacterias aerobias mesófilas	Tratamiento	5.997	3	1.999	26.545	0.000
	Error	0.904	12	0.075		
	Total	6.900	15			

Romero y Gelvez (2013), evaluaron el efecto del tratamiento con ultrasonido sobre mesofilos aerobios, donde, se observa una disminución significativa ( $p < 0,05$ ) en las muestras tratadas con respecto a la muestra control.

En el Cuadro 17 se muestran los resultados de la prueba de Duncan aplicada al recuento de bacterias aerobias mesófilas en filete de tilapia, donde se puede indicar que existió diferencia significativa entre todos los tratamientos, denotados por la formación de diferentes subgrupos. Considerando el menor valor ya que los resultados mostraron una disminución de la carga de microorganismos aerobios mesofilos al aumentar el tiempo de exposición que corresponde al tratamiento a 15 min con  $3.72 \times 10^5$

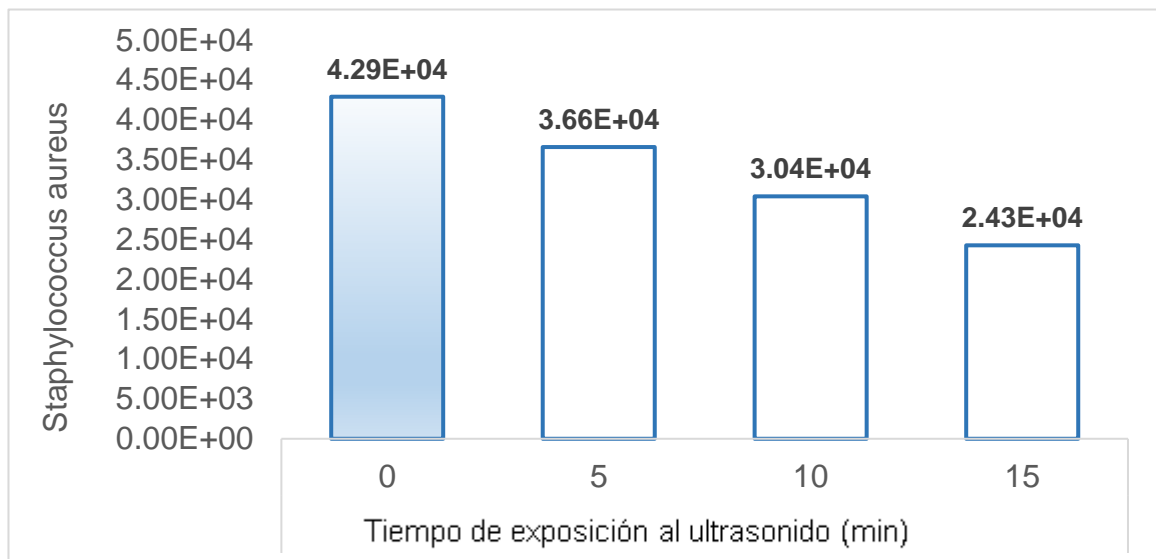
**Cuadro 17.** Prueba de Duncan para el recuento de bacterias aeróbicas mesófilas en filete de tilapia

Tiempo de exposición al ultrasonido (min)	Subgrupo			
	1	2	3	4
15	3.72E+05			
10		4.24E+05		
5			4.80E+05	
0				5.36E+05

#### 4.5. Efecto del tiempo de exposición al ultrasonido sobre el recuento de *Staphylococcus aureus* en el filete de tilapia

En la Figura 13, se presenta los valores del recuento de *Staphylococcus aureus* en filete de tilapia con exposición al ultrasonido. Donde se observa una mayor inactivación de microorganismos con el

aumento de tiempo de exposición. Siguiendo la norma sanitaria NTS N° 071- MINSA/DIGESA-V.0, no cumple con los criterios microbiológicos de calidad en la muestra control; siendo el límite permitido de  $5 \times 10^2$  hasta  $5 \times 10^3$



**Figura 13.** Recuento de *Staphylococcus aureus* en filete de tilapia con exposición al ultrasonido a 40 kHz

En el Cuadro 18 se presenta la prueba de Levene modificada aplicada al recuento de *Staphylococcus aureus* en filete de tilapia, donde se puede observar que existió homogeneidad de varianza ( $p > 0.05$ ), lo cual valida la aplicación del análisis de varianza.

**Cuadro 18.** Prueba de Levene modificada para el recuento de *Staphylococcus aureus* en filete de tilapia

Variable	Estadístico de Levene	p
<i>Staphylococcus aureus</i>	0.112	0.951

En el Cuadro 19 se presenta el análisis de varianza aplicada al recuento de *Staphylococcus aureus* en filete de tilapia. El análisis muestra que la variable independiente: tiempo de aplicación del ultrasonido, tuvo un efecto significativo a un nivel de confianza del 95% sobre el recuento microbiano

**Cuadro 19.** Análisis de varianza para el recuento de *Staphylococcus aureus* en filete de tilapia

Variable	Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	p
Recuento de <i>Staphylococcus aureus</i>	Tratamiento	7.701	3	2.567	25.657	0.000
	Error	1.201	12	0.100		
	Total	8.901	15			

En el Cuadro 20 se muestran los resultados de la Prueba de Duncan aplicada al recuento de *Staphylococcus aureus* en filete de tilapia, donde se puede indicar que existió diferencia significativa entre todos los tratamientos, denotados por la formación de diferentes subgrupos. Considerando el menor valor ya que los resultados mostraron una disminución de la carga de microorganismos *Staphylococcus aureus* al aumentar el tiempo de exposición que corresponde al tratamiento a 15 min con  $2.43 \times 10^4$ .

**Cuadro 20.** Prueba de Duncan para el recuento *Staphylococcus aureus* en filete de tilapia

Recuento <i>Staphylococcus aureus</i>	Subgrupo			
	1	2	3	4
15	2.43E+04			
10		3.04E+04		
5			3.66E+04	
0				4.29E+04

## V. CONCLUSIONES

Existió efecto significativo de los tiempos de exposición al ultrasonido a la frecuencia de 40 kHz sobre el color, la dureza, la cohesión, la elasticidad, el recuento de bacterias aerobias mesófilas y el recuento de *Staphylococcus aureus*. Sin embargo no existió efecto significativo del tiempo de exposición al ultrasonido sobre el pH.

Se determinó que el tiempo de exposición al ultrasonido con frecuencia a 40 kHz durante 5 min permitió obtener la menor variación de color L\* (47.71), a\* (-0.56), b\* (-3.19), pH (6.66), dureza (39.38 N), cohesión (0.42 N), elasticidad (0.70 N), y se redujo la carga microbiana para el recuento de bacterias aerobias mesófilas ( $3.72 \times 10^5$  ufc/g), y *Staphylococcus aureus* ( $2.43 \times 10^3$  ufc/g) en el filete de tilapia, pero con el último microorganismo no se logra cumplir con el límite permisible según la Norma Digesa para productos hidrobiológicos.

## **VI. RECOMENDACIONES**

Evaluar el efecto de ultrasonido y campos magnéticos en filete de tilapia, para comprobar si cumple el efecto de eliminación de microorganismos patógenos.

Evaluar el efecto de ultrasonido con tiempos de exposición (0, 2, 3 y 5 min) y con una frecuencia menor de 40 kHz.

Evaluar el efecto de ultrasonido con diferentes tiempos de exposición y diferente frecuencia en especies marinas como bonito, trucha y tilapia roja.



## VII. BIBLIOGRAFÍA

Alarcon-Rojo, A.D. 2015. Power ultrasound in meat processing, *Meat Science*; 107, 86-93

Albretch, M., Salas, A. y Contreras, D. 2015. Chemical composition of light and dark muscle of peruvian anchovy (*Engraulis ringens*) and its seasonal variation. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 24:191-196.

Albertí, P. 2000. Medición del color. Metodología para el estudio de la calidad de la canal y de la carne en rumiantes. Madrid, pp. 159-166

A.O.A.C. 1995. *Official Methods of Analysis*, 12a Ed, Association of Official Analytical Chemists, U.S.A, pag 1094

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

Boufleur, L.A. 2013. Elemental characterization of Brazilian canned tuna fish using particle induced X-ray emission (PIXE), *Journal of Food Composition and Analysis*; 30(1), 19-25

Brandt, M.; Skinne, E. y Coleman, J. 1963. Texture Profile Method. *J. Food. Science.* 28; 404–409

Campo, Y. y Gélvez, V.M. 2011. Efecto de la termosonicación sobre las propiedades fisicoquímicas del hongo comestible (*Pleurotus ostreatus*) fresco empacado al vacío, *Bistua:Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*; 9(2), 55-63

Condon, S., Manas, P. y Cebrian, G. 2011. Manothermosonication for microbial inactivation, In *Ultrasound technologies for food and bioprocessing*, Springer, New York. 287-319

Cortez, M.S y Pagan, A. 1985. El cultivo de peces; 2(1), 70.

Creswell, D. 2005. La alimentación y la nutrición de la tilapia. *Revista AQUA Culture AsiaPacific*, noviembre / diciembre. 32-33.

DIGESA. 2003. Norma sanitaria que establece los criterios microbiológicos de calidad sanitaria e inocuidad para los alimentos y bebidas de consumo humano. Proyecto de actualización RM N° 615-2003 SA/DM.

Dunajski, E. (1980). Texture offish muscle. *J. Texture Stud*; 10: 301-318.

El-Sayed, M. 2006. *Cultura Tilapia*. Oxfordshire, CABI Publishing. 277

Fuentes, L., Acevedo, D. y Gelvez, V. 2016. Efecto del ultrasonido y campos magnéticos en la carne de lomo atún (*Thunnus albacares*); 27(2): 21-30

Furuya, W.M. 2010. *Tabelas Brasileiras para a nutrição de tilapias*, Gráfica Editora Toledo; 100.

Gallego, A., Rodríguez, G., Gálvez, C. y Yang, S. 1999. A new high-intensity ultrasonic technology for food dehydration. *Drying Technology*; 17: 597-608.

Gomez-Marquez, J.L. 1998. Edad y crecimiento de *Oreochromis niloticus* (Perciformes: Cichlidae) en México. *Rev. Biol. Trop*; 46: 929-936.

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

Gill, T.A., R.A. Keith, and B. smith Lall 1979. Textural deterioration of red hake and haddock muscle in frozen storage as related to chemical parameters and changes in myofibrillar proteins. J. Food. Sci; 44: 661-667.

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

Hoover, G. 2001. Ultrasound. Kinetics of microbial inactivation for alternative food processing technologies Journal of Food Science Supplement; 93-95.

Hunter Associates Laboratory, Inc. (2008). Application notes Hunter L,a,b color scale. Reston, Virginia

Jablonskin L.M. & Bohach G:A. 2001. "*Staphylococcus aureus*" In:Doyle M. Beuchat. L:R. & Montville T:J. (Eds.) Food Microbiology Fundamentals & Frontiers. ASM. USA; 411-434.

Jayasooriya, S.D. (2004). Effect of high power ultrasound waves on properties of meat: a review, International Journal of Food Properties; 7(2): 301-319.

Jauncey, K. 2000. Requisitos nutricionales. En MCM Beveridge y BJ McAndrew eds. *Tilapias: Biology and Exploitation*; 327-375. Lancaster, Reino Unido, Kluwer Academic Publishers; 508

Jump, D.B., Depner, C.M. y Tripathy, S. 2012. Omega-3 fatty acid supplementation and cardiovascular disease Thematic Review Series: New lipid and lipoprotein targets for the treatment of cardiometabolic diseases, *Journal of lipid research*; 53(12): 2525-2545

Lai, Q.M. y Yi, Y. 2004. Cultivo de tilapia en China, *Actas del Sexto Simposio Internacional sobre Tilapia en Acuicultura*, paginas; 18-27. Oficina de Pesca y Recursos Acuáticos, Manila, Filipinas.

Lima, S., Padua, C., Silva, C., Souza, L. y França, A. 2000. Farelo de milho (*Pennisetum americanum*) em substituição ao milho moído (*Zea mays*) em dietas para tilápia *Oreochromis niloticus*; 120-124.

Mandigan, M., Martinko, J. y Parker, J. (2003). Brock. *Biología de los microorganismos*. 10<sup>o</sup> Edición. Pearson Educación.

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

Morild, R., Christiansen, P., Anders, H., Nonboe, U. y Aabo, S. 2011. Inactivation of pathogens on pork by steam-ultrasound treatment. *Journal of Food Protection*. 74:769-775.

Nagl, S., Tichy, H., Mayer, W.E., Samonte, I.E., McAndrew, B.J., y Klein, J. 2001. Classification and Phylogenetic Relationships of African Tilapiine Fishes Inferred from Mitochondrial DNA Sequences. *Molecular Phylogenetics and Evolution*; 20(3): 361–374

Popma, T. y Masser, M. 1999. Historia de la vida de Tilapia y biología. Publicación de SRAC No. 283. Southern Regional Aquaculture Center, MSU. Mississippi, Estados Unidos de América. 4

Porras, O., González, G., Castellano, A., Ballesteros, J. y Pacheco, M. 2011. Efecto de la aplicación de ondas de ultrasonido, 20 (23): 53-78. Colombia.

Shiau, S.Y. 2002. Tilapia, *Oreochromis*. Requerimientos de nutrientes y alimentación de peces para acuicultura, pp; 273-292. CABI Publishing, Oxfordshire, 418

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

Rodrigues, S. y Narciso, F., (2012). Advances in fruit processing technologies. Editorial CRC Press.

Romero, P. y Gelvez, V. 2013. Efecto de los campos magnéticos y el ultrasonido sobre la calidad microbiológica y las propiedades funcionales en una emulsión de carne de búfalo (*Bubalus bubalis*), Revista de la Facultad de Ciencias Básicas; 11(1):67-76

Turantas, F., Kilig, G.B y Kilig, B. 2015. Ultrasonido en la industria cárnica: General aplicaciones y eficiencia de descontaminación, International Journal of Food Microbiology; 198: 59-69

Trewavas, E. 1983. Tilapiine fishes of the genera *Sarotherodon*, *Oreochromis* y *Danakilia*. London, British Museum, 583.

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

Vanderzant, C., Splittstoesser, D. 1992. Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Food. 3 ed. Washington, D. C. American Public Health Association Inc. (APHA). 1219 p.

Vera, M., Rivera, M. y Arias, M. 2016. Impacto del ultrasonido sobre el color y textura en carne fresca de cerdo. Agronomía Colombiana.

## VIII. ANEXOS

**Anexo 1.** Resultados experimentales en filete de tilapia expuesta a tiempos de ultrasonido a 40 kHz

Tiempo de exposición al ultrasonido (min)	L*	a*	b*	pH	Dureza	Cohesión	Elasticidad	Recuento de bacterias aerobias mesófilas (ufc/g)	Recuento de <i>Staphylococcus aureus</i> (ufc/g)
0	45.42	-0.37	-4.35	6.7	41.1	0.29	0.63	4.90E+05	3.90E+04
0	45.8	-0.38	-3.94	6.74	39.46	0.27	0.62	5.80E+05	4.80E+04
0	47.81	-0.49	-4.2	6.73	38.85	0.28	0.6	5.52E+05	4.30E+04
0	48.11	-0.38	-4.66	6.63	39.53	0.28	0.64	5.20E+05	4.10E+04
Promedio	46.79	-0.41	-4.29	6.7	39.74	0.28	0.62	5.36E+05	4.29E+04
5	48.24	-0.59	-3.19	6.62	41.05	0.42	0.73	4.64E+05	3.40E+04
5	46.94	-0.54	-3.45	6.7	35.91	0.42	0.7	4.88E+05	4.10E+04
5	48.52	-0.6	-3.13	6.7	41.53	0.44	0.69	4.78E+05	3.40E+04
5	47.14	-0.51	-3	6.6	39.01	0.38	0.66	4.90E+05	3.70E+04
Promedio	47.71	-0.56	-3.19	6.66	39.38	0.42	0.7	4.80E+05	3.66E+04
10	49.78	-0.79	-4.12	6.67	31.59	0.43	0.74	4.40E+05	2.75E+04
10	49.33	-0.7	-4.43	6.84	35.17	0.43	0.7	4.30E+05	3.40E+04
10	49.91	-0.69	-4.19	6.71	35.65	0.49	0.71	4.30E+05	3.07E+04
10	51.47	-0.67	-4.05	6.81	37.5	0.44	0.74	3.90E+09	2.95E+04
Promedio	50.12	-0.71	-4.2	6.76	34.98	0.45	0.72	4.24E+05	3.04E+04
15	53.76	-1.21	-4.05	6.61	29.48	0.47	0.75	3.80E+05	2.10E+04
15	49.97	-1.09	-4	6.65	30.61	0.48	0.76	3.50E+05	2.80E+04
15	51.65	-1.25	-3.71	6.68	34.11	0.51	0.76	4.10E+05	2.50E+04
15	52.03	-1.15	-3.93	6.68	31.47	0.54	0.81	3.50E+05	2.32E+04
Promedio	51.85	-1.18	-3.92	6.66	31.42	0.5	0.77	3.72E+05	2.43E+04

**Anexo 2. Figuras del análisis experimental del filete de tilapia**

Figura A. Muestras realizadas con ultrasonido a 40 kHz



Figura B. Medición de color





Figura C. Medición de pH