

**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 del filete de pota (*Dosidicus gigas*)**

**TESIS PARA OBTENER EL TITULO DE**

**INGENIERA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

**DANNA NICOLE GUZMÁN VITTERI**

**TRUJILLO, PERÚ**

**2019**

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

---

Ing. Dr. Antonio Ricardo Rodríguez Zevallos

PRESIDENTE

---

Ing. Ms. Luis Francisco Márquez Villacorta

SECRETARIO

---

Ing. Ms. Carla Consuelo Pretell Vásquez

VOCAL

---

Ing. Dr. Fredy Romel Pérez Azahuanche

ASESOR

## **DEDICATORIA**

Se lo dedico principalmente a Dios, por ser el inspirador y ser el apoyo en aquellos momentos de dificultad y debilidad, por darme la fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A mis padres, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias por los consejos, valores y principios que me han inculcado, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy. Ha sido un orgullo y privilegio de ser su hija, son los mejores padres.

A la memoria de mi abuelito Guillermo, quien me animo a salir adelante y a estudiar lo que me apasione, también a mi abuelita que aún sigue alentándome a continuar con mis metas.

A mis hermanas por estar siempre presente, acompañándome y brindándome apoyo moral en esta etapa de mi vida.

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero expresar mi gratitud a Dios, quien con su bendición llena siempre mi vida y en especial a mis padres: Ysba y Guillermo que con su esfuerzo y dedicación me ayudaron a culminar mi carrera universitaria y me dieron el apoyo suficiente para no decaer cuando todo parecía complicado e imposible.

A mis hermanas que con sus palabras me hacían sentir orgullosa de lo que soy y de lo que les puedo enseñar. Y algún día yo me convierta en su fuerza para que puedan seguir avanzando en su camino.

A la Universidad Privada Antenor Orrego, a la Escuela de Ingeniería en Industrias Alimentarias, a mis profesores por su paciencia, dedicación, apoyo incondicional, amistad y por sus conocimientos hicieron que pueda crecer día a día como profesional. Asimismo agradezco a mi asesor de tesis al Dr. Fredy Pérez Azahuanche, que gracias a sus consejos y correcciones hoy puedo culminar este trabajo.

## ÍNDICE GENERAL

Pág.

|                                                           |      |
|-----------------------------------------------------------|------|
| CARÁTULA.....                                             | i    |
| APROBACIÓN POR EL JURADO DE TESIS.....                    | ii   |
| DEDICATORIA.....                                          | iii  |
| AGRADECIMIENTO .....                                      | iv   |
| ÍNDICE GENERAL .....                                      | v    |
| ÍNDICE DE CUADROS .....                                   | viii |
| ÍNDICE DE FIGURAS .....                                   | x    |
| ÍNDICE DE ANEXOS .....                                    | xi   |
| RESUMEN .....                                             | xii  |
| ABSTRACT .....                                            | xiii |
| I. INTRODUCCIÓN.....                                      | 1    |
| II. REVISIÓN DE BIBLIOGRAFÍA.....                         | 3    |
| 2.1. Pota.....                                            | 4    |
| 2.1.1. Generalidades.....                                 | 4    |
| 2.1.2. Composición física.....                            | 4    |
| 2.1.3. Composición química y nutricional de la pota ..... | 5    |
| 2.1.4. Distribución geográfica.....                       | 7    |
| 2.1.5. Extracción y desembarque en Perú.....              | 8    |
| 2.2. Análisis de perfil de textura.....                   | 9    |
| 2.2.1. Definición.....                                    | 9    |
| 2.2.2. Parámetros básicos evaluados durante el TPA.....   | 10   |
| 2.3. Ultrasonido.....                                     | 13   |
| 2.3.1. Definición.....                                    | 13   |
| 2.3.2. Efectos del Ultrasonido.....                       | 13   |
| 2.3.3. Campos de Aplicación del Ultrasonido.....          | 14   |
| 2.3.4. Ultrasonido en procesamiento de alimentos.....     | 16   |
| 2.3.5. Conservación de alimentos por ultrasonido.....     | 18   |
| 2.3.6. Ultrasonido e inactivación de microorganismos..... | 19   |

|                                                                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.3.7. Cavitación.....                                                                                                                         | 20 |
| 2.3.8. Ventajas y desventajas del ultrasonido.....                                                                                             | 21 |
| III. MATERIALES Y MÉTODOS .....                                                                                                                | 22 |
| 3.1. Lugar de ejecución.....                                                                                                                   | 22 |
| 3.2. Materia prima y materiales.....                                                                                                           | 22 |
| 3.3. Equipos e instrumentos .....                                                                                                              | 22 |
| 3.4. Metodología.....                                                                                                                          | 22 |
| 3.4.1. Esquema experimental.....                                                                                                               | 22 |
| 3.4.2. Procedimiento experimental para la obtención de filete de<br>pota tratada con ultrasonido .....                                         | 24 |
| 3.5. Métodos de análisis.....                                                                                                                  | 25 |
| 3.5.1. pH.....                                                                                                                                 | 25 |
| 3.5.2. Textura.....                                                                                                                            | 26 |
| 3.5.3. Recuento de bacterias aerobias mesófilas.....                                                                                           | 26 |
| 3.5.4. <i>Escherichia coli</i> .....                                                                                                           | 26 |
| 3.5.5. <i>Staphylococcus aureus</i> .....                                                                                                      | 27 |
| 3.6. Métodos estadísticos.....                                                                                                                 | 27 |
| IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....                                                                                                                | 28 |
| 4.1. Efecto del tiempo de exposición al ultrasonido sobre los valores<br>del pH en el filete de pota.....                                      | 28 |
| 4.2. Efecto del tiempo de exposición al ultrasonido sobre la<br>textura (firmeza, elasticidad y cohesión) en el filete de pota .....           | 30 |
| 4.3. Efecto del tiempo de exposición al ultrasonido sobre el<br>recuento de bacterias aerobias mesófilas (ufc/g) en el filete<br>de pota ..... | 37 |
| 4.4. Efecto del tiempo de exposición al ultrasonido sobre el<br>recuento de <i>Escherichia coli</i> (ufc/g) en el filete de pota .....         | 40 |
| 4.5. Efecto del tiempo de exposición al ultrasonido sobre el<br>recuento de <i>Staphylococcus aureus</i> (ufc/g) en el filete<br>de pota ..... | 43 |
| V. CONCLUSIONES.....                                                                                                                           | 47 |

|                           |    |
|---------------------------|----|
| VI. RECOMENDACIONES ..... | 48 |
| VII. BIBLIOGRAFÍA .....   | 49 |
| VIII. ANEXOS .....        | 59 |

## ÍNDICE DE CUADROS

Pág.

|                                                                                                                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Cuadro 1. Composición física de partes de la pota .....                                                                                                                | 5  |
| Cuadro 2. Composición química del manto o tubo fresco de la pota.....                                                                                                  | 6  |
| Cuadro 3. Composición nutricional de la pota .....                                                                                                                     | 7  |
| Cuadro 4. Parámetros del análisis del perfil de textura.....                                                                                                           | 11 |
| Cuadro 5. Prueba de Levene modificada para el pH del filete de pota<br>con tiempo de exposición al ultrasonido .....                                                   | 29 |
| Cuadro 6. Análisis de varianza para el pH del filete de pota con<br>tiempo de exposición al ultrasonido .....                                                          | 30 |
| Cuadro 7. Prueba de Levene modificada para los parámetros de<br>textura (N) del filete de pota con tiempo de exposición al<br>ultrasonido .....                        | 34 |
| Cuadro 8. Análisis de varianza para los parámetros de textura (N) del<br>filete de pota con tiempo de exposición al ultrasonido.....                                   | 34 |
| Cuadro 9. Prueba de Duncan para la firmeza (N) del filete de pota<br>con tiempo de exposición al ultrasonido .....                                                     | 35 |
| Cuadro 10. Prueba de Duncan para la elasticidad (N) del filete de<br>pota con tiempo de exposición al ultrasonido .....                                                | 36 |
| Cuadro 11. Prueba de Duncan para la cohesión (N) del filete de pota<br>con tiempo de exposición al ultrasonido .....                                                   | 36 |
| Cuadro 12. Prueba de Levene modificada para el recuento de<br>bacterias aerobias mesófilas (ufc/g) del filete de pota con<br>tiempo de exposición al ultrasonido ..... | 39 |
| Cuadro 13. Análisis de varianza para el recuento de bacterias<br>aerobias mesófilas (ufc/g) del filete de pota con tiempo<br>de exposición al ultrasonido .....        | 39 |
| Cuadro 14. Prueba de Duncan para el recuento de bacterias<br>aerobias mesófilas (ufc/g) del filete de pota con tiempo<br>de exposición al ultrasonido .....            | 40 |

|                                                                                                                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Cuadro 15. Prueba de Levene modificada para el recuento de <i>Escherichia coli</i> (ufc/g) del filete de pota con tiempo de exposición al ultrasonido .....     | 42 |
| Cuadro 16. Análisis de varianza para el recuento de <i>Escherichia coli</i> (ufc/g) del filete de pota con tiempo de exposición al ultrasonido .....            | 42 |
| Cuadro 17. Prueba de Duncan para el recuento de <i>Escherichia coli</i> (ufc/g) del filete de pota con tiempo de exposición al ultrasonido .....                | 43 |
| Cuadro 18. Prueba de Levene modificada para el recuento de <i>Staphylococcus aureus</i> (ufc/g) del filete de pota con tiempo de exposición al ultrasonido..... | 45 |
| Cuadro 19. Análisis de varianza para el recuento de <i>Staphylococcus aureus</i> (ufc/g) del filete de pota con tiempo de exposición al ultrasonido .....       | 45 |
| Cuadro 20. Prueba de Duncan para el recuento de <i>Staphylococcus aureus</i> (ufc/g) del filete de pota con tiempo de exposición al ultrasonido .....           | 46 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

|                                                                                                                                                      |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Curva Típica de TPA.....                                                                                                                   | 9  |
| Figura 2. Gráfica general del análisis del perfil de textura.....                                                                                    | 12 |
| Figura 3. Esquema experimental para la investigación sobre el<br>filete de pota con tiempo de exposición al ultrasonido<br>de 40 kHz.....            | 23 |
| Figura 4. Diagrama de flujo para el tratamiento del filete de pota<br>con tiempo de exposición al ultrasonido de 40 kHz .....                        | 24 |
| Figura 5. pH en función del tiempo de exposición al ultrasonido<br>en el filete de pota.....                                                         | 28 |
| Figura 6. Firmeza (N) en función del tiempo de exposición (min)<br>al ultrasonido en el filete de pota .....                                         | 31 |
| Figura 7. Elasticidad (N) en función del tiempo de exposición<br>(min) al ultrasonido en el filete de pota .....                                     | 32 |
| Figura 8. Cohesión (N) en función del tiempo de exposición<br>(min) al ultrasonido en el filete de pota .....                                        | 33 |
| Figura 9. Recuento de bacterias aerobias mesófilas (ufc/g) en<br>función del tiempo de exposición (min) al ultrasonido en<br>el filete de pota.....  | 37 |
| Figura 10. Recuento de <i>Escherichia coli</i> (ufc/g) en función del<br>tiempo de exposición (min) al ultrasonido en el filete de<br>pota.....      | 41 |
| Figura 11. Recuento de <i>Staphylococcus aureus</i> (ufc/g) en<br>función del tiempo de exposición (min) al ultrasonido en<br>el filete de pota..... | 44 |

## INDICE DE ANEXOS

Pág.

|                                                                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Anexo 1. Valores del pH del filete de pota con tiempo de exposición al ultrasonido de 40 kHz.....                                       | 59 |
| Anexo 2. Valores de la firmeza del filete de pota con tiempo de exposición al ultrasonido de 40 kHz.....                                | 59 |
| Anexo 3. Valores de la elasticidad del filete de pota con tiempo de exposición al ultrasonido de 40 kHz.....                            | 59 |
| Anexo 4. Valores de la cohesión del filete de pota con tiempo de exposición al ultrasonido de 40 kHz.....                               | 60 |
| Anexo 5. Valores del recuento de bacterias aerobias mesófilas del filete de pota con tiempo de exposición al ultrasonido de 40 kHz..... | 60 |
| Anexo 6. Valores de <i>Escherichia coli</i> en filete de pota con tiempo de exposición al ultrasonido de 40 kHz.....                    | 60 |
| Anexo 7. Valores de <i>Staphylococcus aureus</i> en filete de pota con tiempo de exposición al ultrasonido de 40 kHz.....               | 61 |

## 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 pH, textura (firmeza, elasticidad y cohesión), recuento de bacterias aerobias mesófilas, *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus* en filete de pota (*Dosidicus gigas*). 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 la firmeza, elasticidad, cohesión, recuento de bacterias aerobias mesófilas, recuento de *Escherichia coli* 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 15 min permitió obtener la menor variación de pH (6.17), elasticidad (0.68 N), cohesión (0.58 N) y se redujo la carga microbiana para el recuento de bacterias aerobias mesófilas ( $1.9 \times 10^5$  ufc/g); pero no se cumplió para *Escherichia coli* ( $1.7 \times 10^2$  ufc/g) y *Staphylococcus aureus* ( $1.9 \times 10^3$  ufc/g) según la Norma Digesa para productos hidrobiológicos, y con un tiempo de exposición a 5 min se logró mantener la firmeza (27.30 N) en el filete de pota.

## ABSTRACT

The effect of 40 KHz ultrasound exposure time (0, 5, 10 and 15 min) on the pH, texture (firmness, elasticity and cohesion), count of aerobic mesophilic bacteria, *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus* in steak of pota was studied. 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 the firmness, elasticity, cohesion, mesophilic aerobic bacteria count, *Escherichia coli* count, counting of *Staphylococcus aureus* and had no significance on pH. It was determined that the time of exposure to ultrasound with frequency at 40 kHz to 15 min allowed to obtain the lowest variation of pH (6.17), elasticity (0.68 N), cohesion (0.58 N) and reduced the microbial load for the bacterial count Mesophilic aerobic ( $1.9 \times 10^5$  cfu / g) but was not met for *Escherichia coli* ( $1.7 \times 10^2$  cfu / g) and *Staphylococcus aureus* ( $1.9 \times 10^3$  cfu / g) according to the Digesa Norm for hydrobiological products, and with an exposure time of 5 min it was possible to maintain the firmness (27.30 N) in the steak of pota.

## **I. INTRODUCCIÓN**

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. Las nuevas tecnologías no térmicas como ultrasonido, alta presión hidrostática, campos eléctricos pulsados y el calentamiento óhmico, tienen 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 conservación de la calidad sensorial y nutricional de los productos alimenticios (Pereira y Vicente, 2010). Por lo tanto, estas tecnologías innovadoras de conservación de alimentos pueden proporcionar nuevas oportunidades para el desarrollo de estrategias integradas, dirigido a los consumidores para el desarrollo de alimentos sanos, seguros y de alta calidad. Uno de estos métodos se utilizan para procesar los alimentos es el Ultrasonido de alta potencia (Turantas y otros, 2015).

Se ha examinado el potencial del ultrasonido, por sí mismo, y en combinación con otros métodos para aplicaciones que van desde la mejora de los criterios de calidad con la modificación de las propiedades funcionales de las proteínas, la mejora de la vida útil, la reducción del cloruro de sodio y el aumento del rendimiento de cocción para determinar características de la canal y la composición de la carne. Por lo tanto, se puede destacar que el ultrasonido ha sido objeto de interés para la industria de la carne, sin embargo, hay muy poca información disponible sobre los efectos en las características de la calidad de carnes y de los agentes patógenos (Haughton y otros, 2012).

La actividad pesquera en el Perú explota un conjunto de recursos naturales renovables que cohabitan en el Gran Ecosistema Marino de la Corriente de Humboldt (GEMCH), tal vez el más rico del mundo en cuanto a volúmenes

de pesca (Chávez y otros, 2008; FAO, 2014). La pesquería de pota o calamar gigante es la segunda pesquería más importante del Perú, después de la anchoveta a con 500 000 t al año (PRODUCE, 2018), como en términos de valor exportado. Al respecto, es importante resaltar que los desembarques de pota en el Perú representaron el 53% de los desembarques mundiales de pota durante el quinquenio 2008-2012. La pesquería peruana de pota es equivalente a la sumatoria de todos los desembarques pesqueros de Holanda o Francia, y representa casi el doble de las capturas italianas portuguesas o alemanas (FAO, 2014).

Dentro del grupo de alimentos de origen marino, la pota destaca por la calidad de su carne. Es un producto con alto nivel nutritivo del que puede aprovecharse hasta un 75% de sus partes después de quitarle las vísceras (Salinas y otros, 2004). Una de las razones de la importancia del aprovechamiento de la pota, en general de los moluscos, es su alto valor nutritivo ya que contienen vitaminas A, B y D, compuestos glicerofosfóricos, cloruros, carbohidratos y proteínas en cantidades adecuadas y de fácil digestión. Las proteínas que están presentes son digeribles en su mayor parte alcanzando un 94.3% (FAO/OMS, 1985), además la carne de la pota es de consistencia suave y posee un delicado sabor (Klett, 1996).

La pota y los langostinos fueron dos de los productos peruanos más demandados por el mercado chino (PROMPERU, 2018); siendo consumida como snack y solicitado en dichos países asiáticos, es por ello que se requieren esquemas de fomento que promuevan el mayor consumo de este producto a nivel nacional (PRODUCE, 2018). Es importante para ello, que la pota sea ofertada con valor agregado para que mejore su presentación y para que pueda figurar en los gustos y preferencias del consumidor, además de un adecuado sistema de comercialización que promueva un aprovechamiento integral del recurso, lo cual permitirá un beneficio a todos los trabajadores que

tienen como una de sus principales fuentes de ingreso la captura de este cefalópodo (Luna y otros, 2006).

El problema planteado fue:

¿Cuál es el efecto de cuatro tiempos de exposición (0, 5 ,10 y 15 min) al ultrasonido a una frecuencia de 40 kHz sobre el pH, textura, recuento de bacterias aerobias mesófilas, *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus* en el filete de pota (*Dosidicus gigas*)?

Los objetivos fueron:

Evaluar el efecto de cuatro tiempos de exposición al ultrasonido a una frecuencia de 40 kHz sobre el pH, textura, recuento de bacterias aerobias mesófilas, *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus* en el filete de pota.

Determinar el tiempo de exposición al ultrasonido a una frecuencia de 40 kHz que permitirá mantener la menor variación de pH, textura y el menor recuento de bacterias aerobias mesófilas, *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus* en el filete de pota.

## II. REVISIÓN DE BIBLIOGRAFÍA

### 2.1. Pota

#### 2.1.1. Generalidades

La especie "*Dosidicus gigas*" constituye uno de los recursos más importantes entre los cefalópodos pelágicos del Pacífico sud-este y su gran abundancia hacia el inicio de una explotación comercial a gran escala en las costas de Perú (Yamashiro, 2016). La pota es una especie oceánica que realiza migraciones hacia la costa relacionadas con procesos de alimentación y reproducción. Su distribución térmica es bastante amplia, abarcando desde los 16 hasta los 30 °C en aguas ecuatoriales, por lo cual se le considera como una especie euritérmica (Mariátegui y otros, 2011).

La pota es el cefalópodo de mayor importancia comercial en el Perú, que sustenta una pesquería industrial y artesanal permanente desde 1991 (Mariátegui y otros, 2011). Yamashiro (2016) indica que el calamar gigante pertenece a la familia Ommastrephidae, y el género *Dosidicus*, es endémico del Océano Pacífico Oriental. La pota puede alcanzar un peso de aproximadamente los 50 kg y una longitud de 1.2 m (Nigmatulim y otros, 2001).

Esta especie se alimenta principalmente de cefalópodos, y en menor proporción de peces, crustáceos y otros. Entre los peces resaltan anchoveta, merluza y jurel, pero en bajas proporciones en los diferentes índices tróficos (Mariátegui y otros, 2011).

### 2.1.2. Composición física

En el cuadro 1, se puede apreciar la composición física de la pota y el mayor porcentaje del peso corporal de esta corresponde al manto o tubo con 49.3%, seguido por los tentáculos, las vísceras y las aletas (IMARPE/ITP, 1996).

Cuadro 1. Composición física de partes de la pota

| Componentes  | Cantidad (%) |
|--------------|--------------|
| Manto o tubo | 49.3         |
| Aleta        | 14.9         |
| Tentáculos   | 21.4         |
| Vísceras     | 15.4         |

Fuente: IMARPE e ITP (1996)

### 2.1.3. Composición química y nutricional de la pota

La carne de la pota es rica en proteínas similar al pescado de carne blanca. En su composición se encuentran todos los aminoácidos esenciales; además, tiene un alto contenido de ácidos grasos polinsaturados, los cuales juegan un rol importante en la dieta, protegiendo a los adultos mayores de los problemas cardiovasculares (Kreuzer, 1984).

El tejido muscular en manto, aleta y tentáculos están conformados por fibras ordenadas de manera circular radial una encima de la otra envueltas por tejido conectivo que aportan firmeza y elasticidad, y las aletas tienen dos capas de fibras, una distribución a lo ancho y otra que lo atraviesa (Maza, 2011).

Entre las proteínas constituyentes del musculo de pota, los miofibrilares se encuentran entre un 75-85%, las cuales son bastantes solubles en soluciones de baja y alta fuerza iónica. Otras proteínas

importantes son las sarcoplásmicas que se encuentran entre un 10-15% y que diferencia de las miofibrilares presentan alta solubilidad en soluciones acuosas de baja fuerza iónica. Sin embargo, el contenido proteico está ligado a las variaciones estacionales y a las propias diferencias entre hembras y machos. Así también debemos recordar que la pota presenta alta actividad proteolítica (Solari, 2012).

En el Cuadro 2, se presenta la composición química del manto o tubo fresco de la pota, la cual se caracteriza por tener un contenido aceptable de proteínas y bajo en grasa (Maza y otros, 2003).

Cuadro 2. Composición química del manto o tubo fresco de la pota

| Composición   | Cantidad |
|---------------|----------|
| Humedad (%)   | 82.4     |
| Proteínas (%) | 16.4     |
| Grasa (%)     | 0.71     |
| Ceniza (%)    | 1.41     |

Fuente: Maza y otros (2003)

En cuanto a los aminoácidos que posee es comercialmente interesante el contenido de taurina que posee llegando 22.3 mg/100g de pota fresca y 13.5 mg/100g de pota cocida, pues la taurina es un aminoácido que reduce la acumulación de colesterol en el cuerpo, mantienen la presión arterial y previene la diabetes (Rosas y otros, 2010).

El manto posee abundante fracción nitrogenada no proteica, la cual se define como los compuestos nitrogenados que no forman estructura en el organismo y poseen bajo peso molecular. Esta fracción es de gran importancia en el control de calidad pues en ella hay sustancias solubles como las bases volátiles, trimetilamina usados como indicadores de

calidad además de bases orgánicas, nucleótidos y aminoácidos libres que se encargan de impartir el sabor y el aroma (Pariona, 2011).

En el Cuadro 3, se presenta la composición nutricional de la pota (100 g de porción comestible).

Cuadro 3. Composición nutricional de la pota

| Composición                        | Cantidad |
|------------------------------------|----------|
| Energía calorífica (kJ)            | 318      |
| Ácidos grasos saturados (%)        | 0.3      |
| Ácidos grasos mono-insaturados (%) | 0.2      |
| Ácidos grasos poli-insaturados (%) | 0.5      |
| Calcio (mg)                        | 12.0     |
| Fosforo (mg)                       | 119.0    |
| Hierro (mg)                        | 0.5      |
| Zinc (mg)                          | 4.0      |
| Tiamina (mg)                       | 0.02     |
| Riboflavina (mg)                   | 0.12     |

Fuente: Reátegui (2016)

#### 2.1.4. Distribución geográfica

Torres y otros (2008) mencionan que esta especie se encuentra distribuida desde los 35°N hasta la Tierra de Fuego en Chile, es un recurso pelágico principalmente oceánico con características neríticas, particularmente en aguas de la corriente peruana. En la Región La Libertad se distribuye desde el norte de Pacasmayo hasta el sur de Chao y desde los 79.8°O hasta los 81°O, raramente se acerca a la costa. También exhibe una considerable variabilidad en su distribución y abundancia relativa a los cambios de las condiciones ambientales marinas. Uno de los más importantes parámetros ambientales es la temperatura superficial del mar.

La pota habita en áreas altamente productivas, especialmente en la zona periférica de los afloramientos costeros. En el Perú, las altas concentraciones del recurso han sido asociadas a las zonas de mezcla de masas de aguas superficiales y aguas costeras frías (Carbajal, 2009).

#### **2.1.5. Extracción y desembarque en Perú**

La pesquería dirigida al calamar gigante en Perú se inició en 1991, con la participación de flotas calamareras de bandera extranjera que operó bajo licencias de pesca (Yamashiro, 2016), por lo que Mariátegui y Taipe (1996) afirman que la extracción de la pota se inicia con la participación de embarcaciones Coreanas y Japonesas acondicionadas para la pesca automatizada con calamareras y luces de atracción “Sistema jigging”.

Los desembarques muestran una captura máxima de 165 mil t en 1994 y una disminución paulatina en los años posteriores debido al menor número de barcos. A partir de 1999 se observó el desarrollo de una flota artesanal potera que alcanzó su mayor auge desde el 2006 a la actualidad, con capturas superiores a 490 mil t y máximos de 552 mil a 589 mil t en el 2012 y 2017 respectivamente. Los fenómenos naturales tiene impacto en la disponibilidad y abundancia del recurso frente a la costa peruana (Yamashiro, 2016).

El análisis mensual de los desembarques de pota durante el periodo 2010-2015 indica que los mayores valores se registran en el verano y el otoño, con una disminución durante el invierno y la primavera debido a la mayor dificultad de pesca ante las condiciones adversas del mar y fuertes vientos (Yamashiro, 2016).

## 2.2. Análisis de textura

### 2.2.1. Definición

Son curvas que supervisan y registran los eventos característicos espaciales o temporales de muestras durante las mediciones de textura de alimentos. El TPA configura un 'puente' de medida objetiva a la sensación subjetiva y hace que las características de textura de alimentos sean más predecibles (Chen y Opara, 2013). Obteniendo estas curvas podemos obtener una simulación del esfuerzo de la mandíbula al morder, dando a conocer el comportamiento del alimento con respecto a la fuerza aplicada.

En la Figura 1, muestra un ejemplo de una curva típica de este análisis.

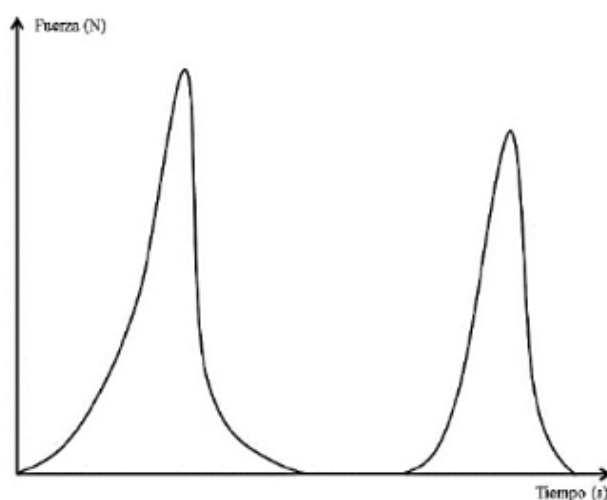


Figura 1. Curva típica de TPA

Fuente: Szczesniak (2002).

Hoy en día, el equipo más usado para determinar los parámetros requeridos de textura es el Texturómetro, que recopila la mayoría de las pruebas en un solo aparato y porque desarrolla una técnica de simulación, es decir, simula la mordedura de un alimento (De Hombre y Castro, 2007). El analizador de textura ha cobrado gran auge entre los especialistas de

textura en el área iberoamericana, así como en diversas empresas productoras de alimentos y materias primas para la industria de alimentaria (Delgado, 2013). Proporciona múltiples opciones de celdas, para la realización de ensayos de distinto índole, tanto en tensión como en compresión (Chen y Opara, 2013). Cuenta con un software para cálculos de los parámetros. Con un diseño muy compacto, ligero y de dimensiones pequeñas, ha incrementado su popularidad además de que presenta múltiples opciones de celdas para diversos tipos de ensayos, tanto en tensión como en compresión y resulta más económico que otras máquinas universales. Cuenta además con un software para cálculos de los parámetros del perfil de textura, fatiga cíclica, relajación de esfuerzos y otras propiedades mecánicas. Los resultados pueden ser impresos de forma rápida y los datos de la prueba pueden compararse con resultados previos del análisis y transferirlos para análisis en computadora o presentación a través de programas Lotus o Excel. Tiene la ventaja además de incorporar un sistema de mensaje de aviso en caso de errores que permite que el problema o la dificultad que se presente, pueda ser solucionado. Desde los años 90, con la aparición de este equipo, la gran industria alimentaria ha podido introducir las mediciones instrumentales de textura, como un aporte a los ensayos para los sistemas de aseguramiento de calidad.

### **2.2.2. Parámetros básicos evaluados durante el TPA**

Los parámetros básicos a determinar en el análisis del perfil de textura fueron establecidos de acuerdo a Szczesniak (1963) y Bourne (1978) calculados con base en el Cuadro 4. Al realizar el análisis del perfil de textura en el texturómetro podemos apreciar a través de una gráfica arrojada por el aparato en que la localización se encuentra la interpretación de cada parámetro a establecer en un alimento o producto alimenticio en lo que transcurre el tiempo.

**Cuadro 4.** Parámetros del análisis del perfil de textura

| Parámetro       | Definición                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Determinación                                                                                                                                                                                                                  | Unidades                                                     |
|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Fracturabilidad | Fuerza necesaria para fracturar la muestra                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Fuerza en la primera ruptura significativa de la muestra                                                                                                                                                                       | Newton(N)                                                    |
| Dureza          | Fuerza necesaria para lograr una deformación determinada.                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Máxima fuerza durante el primer ciclo de compresión.                                                                                                                                                                           | Newton(N)                                                    |
| Adhesividad     | Trabajo necesario para vencer la fuerza de atracción entre la muestra y una superficie.                                                                                                                                                                                                                                                                             | Área negativa después del primer ciclo de compresión. Representa el trabajo necesario para separar la superficie del equipo y la muestra.                                                                                      | Joule(J)                                                     |
| Cohesividad     | “Fuerza” de los enlaces internos que mantiene la estructura de una muestra (Szczesniak, 1963). Representa la resistencia de un material a una segunda deformación con relación a como este se comportó en un primer ciclo de deformación. Mide el trabajo realizado en la segunda compresión dividido entre el trabajo durante la primera compresión (Bourne,1978). | Relación entre el área positiva del segundo ciclo de compresión ( $A_2$ ) y el área positiva del primer ciclo ( $A_1$ ). Excluyendo la porción de áreas durante la descompresión de la muestra (Szczesniak,1963 y Bourne,1978) | Relación $A_2/A_1$                                           |
| Elasticidad     | Capacidad que tiene una muestra deformada para recuperar su forma o longitud inicial después de que la fuerza ha impactado en ella.                                                                                                                                                                                                                                 | El cociente $L_2/L_1$                                                                                                                                                                                                          | Adimensional.<br>Una longitud dividida por la otra longitud. |
| Gomosidad       | Fuerza necesaria para desintegrar una muestra de alimento semisólido a un estado tal que facilite su ingesta.                                                                                                                                                                                                                                                       | Producto de la dureza y la cohesividad.                                                                                                                                                                                        | Newton(N)                                                    |
| Masticabilidad  | Fuerza necesaria para masticar un alimento solido hasta un estado tal que permita su ingesta.                                                                                                                                                                                                                                                                       | Producto de la dureza, cohesividad y elasticidad.                                                                                                                                                                              | Newton(N)                                                    |

Fuente: Szczesniak, 1963 y Bourne,1978.

En la Figura 2. Se muestra la gráfica general del análisis del perfil de textura

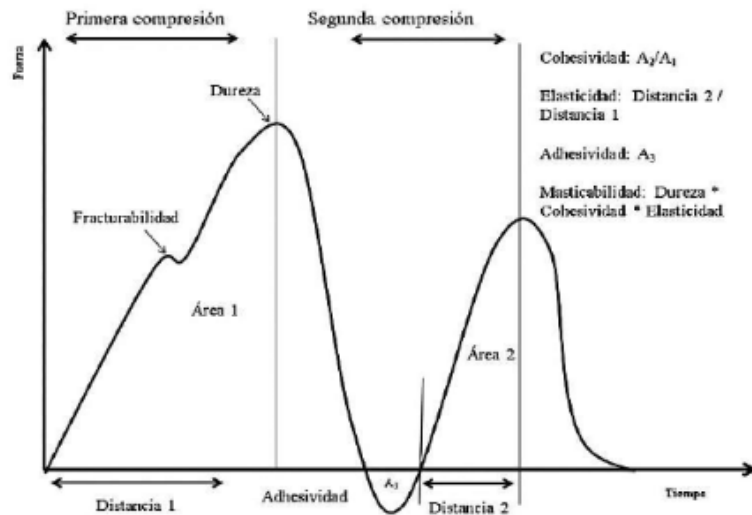


Figura 2. Grafica general del análisis del perfil de textura.

Fuente: Hleap y Velasco, 2010.

En los análisis de textura en carnes y productos cárnicos se tienen en cuenta otros factores a continuación. A la hora de establecer la calidad en la carne hay que tener en cuenta los componentes intrínsecos de esta, como el colágeno. Es el principal componente del tejido conectivo, y se encuentra de manera muy abundante en el organismo, sobre todo en la piel y los huesos, así como en los músculos formando las fascias. El tejido conectivo posee una contribución apreciable a la dureza de la carne, y se encuentra constituido por dos fracciones principales: el colágeno y la elastina (Acevedo y otros, 2014).

## **2.3. Ultrasonido**

### **2.3.1. Definición**

El ultrasonido son ondas sonoras con una frecuencia superior a la perceptible por el oído humano a 16 kHz. De acuerdo a los intervalos de frecuencia de sonido utilizados en el ultrasonido se divide básicamente en dos (Chemat y otros, 2011).

- Ultrasonido de diagnóstico o de alta frecuencia (>100 kHz): Este tipo de ultrasonido puede ser utilizado para proveer información sobre las propiedades fisicoquímicas: como la estructura, composición, estado físico y velocidad de flujo de los alimentos.
- Ultrasonido de poder o de baja frecuencia (20- 100 kHz): Provoca el fenómeno de cavitación, efecto por el cual tiene mucho interés en la industria de alimentos, ya que tiene la capacidad de afectar las propiedades tanto físicas como químicas de los mismos.

El ultrasonido es una de las tecnologías emergentes que se han desarrollado para minimizar el procesamiento, maximizar la calidad y garantizar la seguridad de los productos alimenticios. El ultrasonido se aplica para impartir efectos positivos en el procesamiento de alimentos: mejora en la transferencia de masa, conservación de alimentos, tratamientos térmicos y manipulación de la textura y el análisis de alimentos (Knorr y otros, 2011). Adicionalmente, por su capacidad para destruir paredes y membranas biológicas, se considera una tecnología promisorio tanto para la destrucción de microorganismos a temperaturas de procesamiento inferiores a las utilizadas durante la esterilización, como complemento a las altas presiones, pasteurización, extracción y otras (Delgado, 2011).

### **2.3.2. Efectos del Ultrasonido**

El efecto conservador del ultrasonido está asociado a los fenómenos complejos de cavitación gaseosa, que explican la generación

y evolución de microburbujas en un medio líquido. La cavitación se produce en aquellas regiones de un líquido que se encuentran sometidas a presiones de alta amplitud que alternan rápidamente. Durante la mitad negativa del ciclo de presión, el líquido se encuentra sometido a un esfuerzo tensional y durante la mitad positiva del ciclo experimenta una compresión. El resultado es la formación ininterrumpida de microburbujas cuyo tamaño aumenta miles de veces en la alternancia de los ciclos de presión. Las microburbujas que alcanzan un tamaño crítico implosionan o colapsan violentamente para volver al tamaño original. La implosión supone la liberación de toda la energía acumulada, ocasionando incrementos de temperatura instantáneos y focales, que se disipan sin que supongan una elevación sustancial de la temperatura del líquido tratado. Sin embargo, la energía liberada, así como el choque mecánico asociadas al fenómeno de implosión, afectan la estructura de las células situadas en el microentorno. Se considera dependiendo de la frecuencia empleada y la longitud de las ondas de sonido, se pueden generar diferentes cambios físicos, químicos y bioquímicos que pueden emplearse en un sin número de aplicaciones en los diferentes campos industriales (Herrero y Romero,2006).

### **2.3.3. Campos de Aplicación del Ultrasonido**

El ultrasonido hace uso de fenómenos físicos y químicos que son fundamentalmente diferentes a los que se aplican convencionalmente en las técnicas de extracción, procesamiento y conservación. Ofrece ventajas en términos de productividad, rendimiento y selectividad, ya que se obtienen mejores tiempos de proceso, mejora la calidad, reduce riesgos químicos y físicos y se considera ambientalmente amigable. Actualmente es considerada una técnica de procesamiento sustentable, debido a que típicamente emplea menos tiempo, agua y energía (Chemat y otros,2011)

El uso de ondas ultrasónicas de elevada intensidad en procesos industriales se basa generalmente en una explotación adecuada de una serie de mecanismos activados por la energía ultrasónica tales como transferencia de calor, agitación, difusión, inestabilidad en las interfases, fricción, rotura mecánica, efectos químicos, etc. Estos mecanismos son empleados para producir o mejorar una amplia gama de procesos tales como soldadura de plásticos y metales, mecanizado, formación de metales atomización, emulsificación y dispersión, desgasificación, extracción desespumado, aglomeración de partículas, secado y extracción de líquidos en suspensiones, reacciones sonoquímicas, etc. (Joyce y Mason, 2008).

Una característica de las ondas ultrasónicas de elevada intensidad es su capacidad para trabajar de manera que actúan en sinergia con otras formas de energía estimulando, acelerando, o mejorando muchos procesos. Esta es la razón por la que varias aplicaciones prácticas de los ultrasonidos no son exclusivamente procesos ultrasónicos sino procesos asistidos ultrasónicamente. Tal situación es particularmente importante en aquellos procesos relacionados con la industria alimentaria donde la aplicación de las ondas ultrasónicas impone la utilización de una energía limpia, no contaminante (Knorr y otros, 2004, Chemat y otros, 2011; Mason y otros, 1996). Se considera como efectos ventajosos de esta tecnología los siguientes:

- Efectiva contra células vegetativas, esporas y enzimas
- Reducción de los tiempos y temperaturas de proceso
- Pocos requerimientos de adaptación en plantas ya establecidas
- Incrementos de los fenómenos de transferencia de calor
- Posible modificación de la estructura y textura en alimentos
- Puede emplearse en procesos continuos o intermitentes
- Efecto sobre la actividad enzimática

#### **2.3.4. Ultrasonido en procesamiento de alimentos**

La tecnología del ultrasonido ha sido empleada en diferentes investigaciones de la industria de alimentos y existe un gran interés en ello, debido a que se puede aplicar de forma práctica, un equipo seguro y sobre todo puede considerarse ambientalmente sustentable.

La aplicación del ultrasonido se puede dar de tres maneras (Chemat y otro, 2011); aplicación directa al producto, acoplada a un dispositivo y sumergido en un baño ultrasónico.

Para que la tecnología de ultrasonido pueda aplicarse en procesos alimenticios, se considera que el criterio de mayor importancia es la cantidad de energía del campo generador de sonido. Está caracterizado por el poder (W) y la intensidad ( $W/m^2$ ) del sonido o por la densidad de energía del sonido ( $Ws/m^3$ ). Por lo general el ultrasonido se usa y se denomina como aplicaciones de alta y baja energía (alta y baja potencia). Específicamente las bajas energías de ultrasonido aplicadas se encuentran en el rango de intensidades menores a  $1 W/cm^2$  y frecuencias mayores a los 100 kHz. En el caso de las altas energías empleadas estas se consideran usualmente mayores de  $1 W/cm^2$  y frecuencias entre 18 y 100 kHz (Villamiel y Jong, 2000).

El efecto del ultrasonido sobre los agentes alterantes de los alimentos es limitado y dependiente de múltiples factores, por ello, su aplicación se ha encaminado hacia la combinación simultanea o técnicas de conservación. La aplicación de ultrasonido y tratamiento térmico suave ( $<100\text{ }^{\circ}C$ , habitualmente entre  $50\text{-}60^{\circ}C$ ) ha dado lugar al procedimiento denominado termoultrasonificación. La combinación con incrementos de presión ( $<600\text{ MPa}$ ) se denomina manotermosonificación (Knorr y otros 2004; Llull y otros 2012).

En cuanto a investigaciones realizadas se ha publicado el uso de ultrasonido de baja energía en el control de procesos mediante detección no invasiva y la caracterización de propiedades fisicoquímicas de materiales alimenticios (Whithers, 1996). También se ha investigado sobre la estimulación de actividad celular, limpieza de superficies de alimentos y efecto sobre las enzimas. En procesos como extracción, cristalización, emulsificación, filtración, secado y congelado se ha reportado el uso de ultrasonido como tecnología asistente (Behrend y Schubert 2001). En el caso de ultrasonido de alta energía se ha aplicado en degasificación de líquidos, en inducción de reacciones de oxidación reducción, en la extracción de enzimas y proteínas, así como para inactivación enzimática y para inducir la nucleación en el congelado (Villamiel y Jong, 2000).

La manera de aplicación de los tratamientos de ultrasonido, dependen directamente de la finalidad de usar esta tecnología como sería: Aplicación en forma directa al alimento donde el fin de esta aplicación es la inactivación de microorganismos, se han empleado los mismos microorganismo modelos que en otros métodos de conservación, como son *Saccaromyces cerevisiae* y *Escherichia coli*. Presentando el primero de estos, mayor resistencia al ultrasonido, debido al tamaño del microorganismo (López-Malo y otros, 1999; Petin y otros, 1999). El ultrasonido combinado con calor se ha aplicado en la inactivación de *Listeria innocua* y en bacterias mesófilas contenidas en leche, observándose un efecto sinergista, ya que cuando se aplicó ultrasonido se presentaron velocidades mayores de muerte térmica, descartando esto cuando se aplicó solo calor (Earnshaw y otros, 1995). En el caso de inactivación enzimática se ha reportado el ultrasonido en frecuencias arriba de 20 KHz. Su efecto se basa en el rompimiento de las subunidades debido a las ondas sónicas y a la presencia de oxígeno, de esta forma se rompe la estructura cuaternaria la cual no se vuelve a recuperar, esto se

ha reportado en proteínas globulares (McClements, 1995). Generalmente la sonicación combinada con presión y temperatura se considera de mayor efecto sobre la inactivación enzimática (Earnshaw y otros, 1995).

En lo concerniente a la aplicación de ultrasonido en forma indirecta y relacionado con el procesamiento de alimentos está referido a su aplicación en la limpieza de superficies. Su ventaja se debe a que el ultrasonido puede llegar a grietas que normalmente no se pueden limpiar por los métodos convencionales de limpieza. Se ha reportado que el efecto de ultrasonido acompañado del uso de hidróxido de potasio como detergente y temperaturas entre 45 y 50°C por 30s fue exitoso para la desinfección de bandas transportadoras (Tolvanen y otros, 2009).

#### **2.3.5. Conservación de alimentos por ultrasonido**

Los tratamientos tradicionales para la conservación de alimentos requieren de altas temperaturas y tiempos dependientes de la termorresistencia de las bacterias e incluso de las enzimas a inactivar. Esto provoca una degradación de nutrientes y daño en el alimento, que se considera, proporcional a la temperatura y el tiempo de proceso empleado. El empleo de ultrasonido presenta ventajas sobre la esterilización con calor que incluye la reducción en la baja de sabores, mayor homogeneidad y ahorro de energía (Chemat y otros, 2011).

Los variables críticas que se consideran para la aplicación de esta tecnología son la naturaleza de la onda sónica, tiempo de exposición, tipo de microorganismo y volumen de alimento a procesar; esto considera que una cantidad suficientemente alta de potencia acústica puede causar ruptura celular, y que es factible desactivar su función, a menor intensidad para evitar la ruptura. El efecto principal que provoca la inactivación y ruptura celular es atribuido a la cavitación acústica que puede ser de dos tipos: transiente y estable. En la primera de ellas cuando las burbujas

generadas por la cavitación se llenan con gas o vapor y debido a las oscilaciones irregulares las burbujas implosionan, provocando elevaciones de presión y temperatura y en consecuencia la desintegración de células y desnaturalización de enzimas. La cavitación estable está referida a la oscilación de las burbujas en un comportamiento regular durante los ciclos acústicos; su efecto es debido a la microcorriente que induce en el líquido circundante lo que pueden estresar las especies biológicas. Se considera que las esporas son más resistentes que las células vegetativas y en el caso de las enzimas su desnaturalización por el ultrasonido se debe al efecto depolimerización (Mason y otros, 2003).

#### **2.3.6. Ultrasonido e inactivación de los microorganismos**

Las técnicas más comunes usadas actualmente para inactivar microorganismos en productos alimenticios son la pasteurización térmica convencional y esterilización. El procesamiento térmico hace matar los microorganismos vegetativos y algunas esporas; sin embargo, su eficacia depende de la temperatura de tratamiento y el tiempo (Morild y otros, 2011).

La magnitud de tratamiento, el tiempo y la temperatura del proceso es también proporcional a la cantidad de la degradación de nutrientes, el desarrollo de sabores indeseables y deterioro de las propiedades funcionales de los productos alimenticios. El ultrasonido de alta potencia se utiliza para alterar o perturbar las paredes celulares biológicas que se traducirá en la destrucción de las células vivas. Desafortunadamente se necesitan intensidades muy altas si el ultrasonido solo se va a utilizar para la esterilización permanente. Sin embargo, el uso de ultrasonido acoplado con otras técnicas de descontaminación, tales como presión, calor o extremos de pH son prometedores. Entre estos tratamientos tenemos: Thermosonic (calor además de la sonicación), manosonic (presión más sonicación), y manothermosonic (calor más la presión además de la

sonicación) son probablemente los mejores métodos para inactivar microbios, haciéndole eficiente y eficaz para matar los microorganismos. Las ventajas de ultrasonido sobre la pasteurización por calor incluyen: la minimización de la pérdida de sabor, una mayor homogeneidad y ahorros de energía significativos (Ulloa y otros, 2013).

El ultrasonido de alta intensidad se ha utilizado para reducir la carga microbiana en varios tipos de alimentos, debido a la alteración de la membrana celular de los microorganismos, lo cual afecta los procesos homeostáticos y, por lo tanto, su integridad. El uso del ultrasonido para el rompimiento de células es un método de laboratorio estandarizado, cuya eficiencia de lisis es de casi el 100%. El efecto bactericida del ultrasonido se atribuye, generalmente, a la cavitación intracelular. Estos shocks micromecánicos alteran componentes estructurales y funcionales de la célula hasta el punto de generar lisis celular. Sin embargo, este tratamiento de sonicación se lleva a cabo para volúmenes pequeños y en condiciones controladas de temperatura. Para condiciones industriales de procesamiento de alimentos aparecen factores que previenen se alcance tal eficiencia (Zhou y otros, 2009).

### **2.3.7. Cavitación**

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 caracterizado por la generación y evolución de microburbujas en el medio líquido (Ulloa y otros, 2013).

Se produce en aquellas regiones de un líquido que se encuentran sometidas a presiones de alta amplitud 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 que supongan una elevación de temperatura sustancial en la temperatura del líquido tratado. La energía liberada, así como, el choque mecánico asociadas al fenómeno de implosión afectan la estructura de los materiales situados en el microentorno (Ulloa y otros, 2013).

### **2.3.8. Ventajas y desventajas del ultrasonido**

Delgado (2011) indica algunas de las ventajas y desventajas de la técnica del ultrasonido:

- Es una técnica no destructiva de tejidos, no produce ninguna reacción secundaria comprobada al ser humano y los alimentos tratados no producen modificaciones genéticas.
- Mejora la digestibilidad de proteínas gracias al proceso de cavitación y al rompimiento de cadenas de aminoácidos no digeribles.
- Las propiedades nutricionales de los alimentos se mantienen estables, manteniendo la calidad del producto.
- La técnica es óptima para mejorar cualidades como emulsificación, viscosidad, desaireado en líquidos, inactivación de enzimas y vida útil.
- La desventaja del efecto del ultrasonido en grandes cantidades de producción no es totalmente eficiente y es necesario la combinación con tratamientos de calor, presión o el uso de ambos.
- No se ha profundizado en factores clave de diseño y su posterior escalado. Su efecto en esporas es muy efectivo, pero se requiere de mucho de tiempo.

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Lugar de ejecución**

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

#### **3.2. Materia prima y materiales**

- Filete de pota. Adquirido del Supermercado Macro, provincia de Trujillo, departamento La Libertad.
- Papel film transparente. Adquirido del Supermercado Macro, provincia de Trujillo, departamento La Libertad.

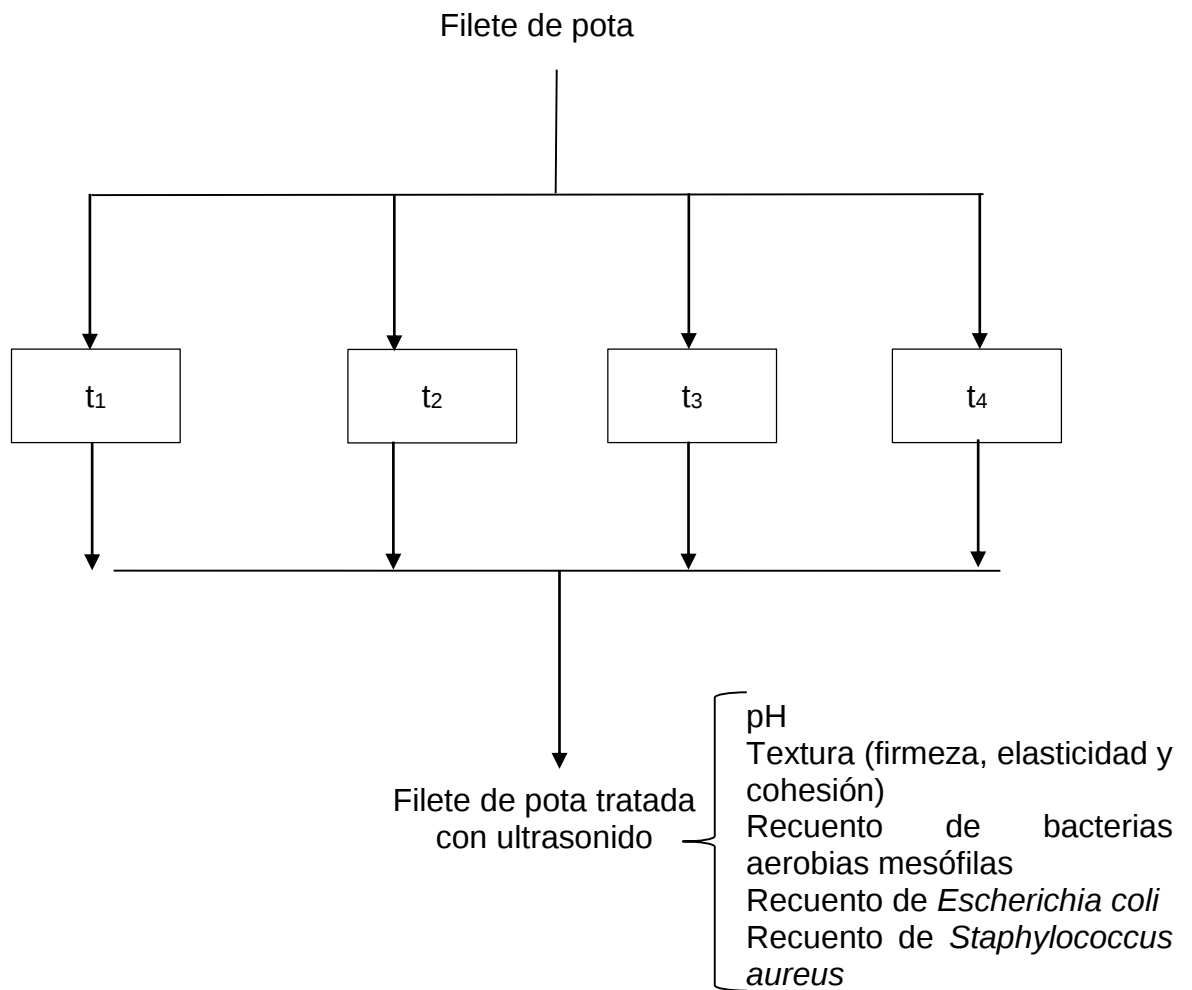
#### **3.3. Equipos e instrumentos**

- Equipo de ultrasonido. Marca Branson, modelo 5800 serie CPXH con capacidad de tanque 9.5 L.
- Refrigeradora. Marca Bosch. Modelo Frost 44. Rango 0 a 8 °C. Precisión + 2 °C.
- Balanza analítica. Marca A&D Company. Sensibilidad 0.0001 g. Capacidad: 210 g.
- Texturómetro universal. Marca Instron. Modelo 3342.
- pH metro. Marca Mettler Toledo. Rango de 0-14. Sensibilidad aprox. 0.01.

#### **3.4. Metodología**

##### **3.4.1. Esquema experimental**

En la Figura 3, se muestra el esquema experimental para la evaluación del filete de pota. La variable independiente es el tiempo de exposición al ultrasonido a una frecuencia de 40 kHz, y variables dependientes: pH, textura, recuento de bacterias aerobias mesófilas, *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus*.



Leyenda:

t<sub>1</sub>: 0 min de exposición a ultrasonido con una frecuencia de 40 kHz

t<sub>2</sub>: 5 min de exposición a ultrasonido con una frecuencia de 40 kHz

t<sub>3</sub>: 10 min de exposición a ultrasonido con una frecuencia de 40 kHz

t<sub>4</sub>: 15 min de exposición a ultrasonido con una frecuencia de 40 kHz

Figura 3. Esquema experimental para la investigación sobre el filete de pota con tiempo de exposición al ultrasonido a una frecuencia de 40 kHz.

### 3.4.2. Procedimiento experimental para la obtención de filete de pota tratada con ultrasonido

En la Figura 4, se presenta el diagrama de flujo del procedimiento del filete de pota con tiempo de exposición al ultrasonido de 40 kHz.

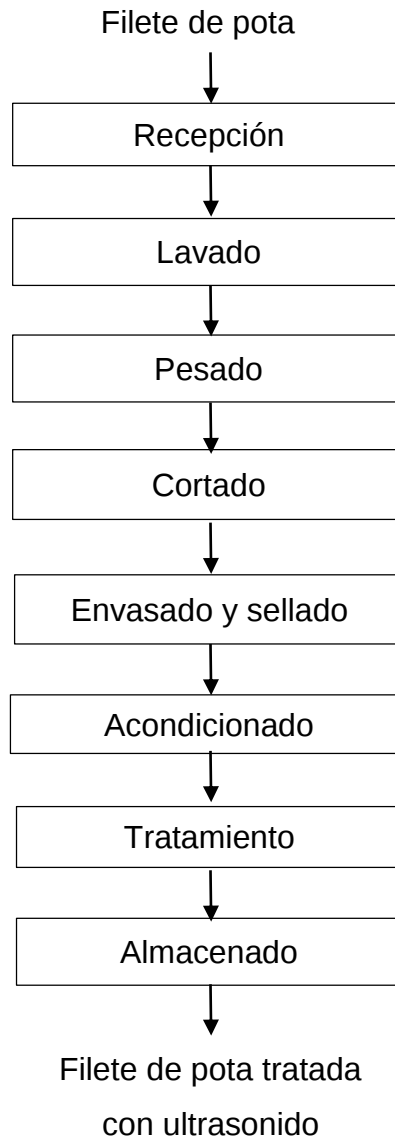


Figura 4. Diagrama de flujo para el tratamiento del filete de pota con tiempo de exposición al ultrasonido a una frecuencia de 40 kHz.

A continuación, se describe cada operación sugerida por Chemat y otros (2012); Fuentes y otros (2016) presentado en la Figura 3.

**Recepción.** Los filetes de pota fueron depositados en un recipiente de acero inoxidable.

**Lavado.** Para luego lavarse con agua destilada.

**Pesado.** Se prosiguió a pesar muestras de 30 g.

**Cortado.** Posteriormente se cortaron en cubos de 2 cm.

**Envasado y sellado.** Las muestras fueron envasadas en papel film y posteriormente selladas para el posterior proceso.

**Acondicionado.** El recipiente del equipo fue llenado con agua destilada hasta la línea de referencia, después se reguló el tiempo de exposición para cada tratamiento, el primero fue de 5 min, el siguiente de 10 min y el último de 15 min.

**Tratamiento.** Una muestra envasada con papel film se colocó dentro del recipiente, sobre la rejilla de acero, se cuidó que el nivel del agua esté sobre el nivel del filete de pota. Luego se aplicó el tratamiento con ultrasonido a una frecuencia de 40 kHz; 100% de potencia transmitida al medio a una temperatura ambiente de 20°C durante 5 min. Se siguió el mismo proceso para los tratamientos de 10 y 15 min.

**Almacenado.** Las muestras tratadas con ultrasonido, se almacenaron a 5 °C hasta la realización de los análisis.

### 3.5. Métodos de análisis

#### 3.5.1. pH

Se pesó 30 g de filete de pota y haciendo uso del pH- metro por el método indicado por (AOAC, 1995) se obtuvieron los resultados.

### **3.5.2. Textura**

Se determinó utilizando el texturómetro Instron con el software Bluehill Lite; midiendo la resistencia a la penetración (N). Las muestras de filete de pota fueron cortadas horizontalmente a la altura de la copa, desechando la mitad superior y se evaluó a 2 cm de la mitad inferior, retirándole el molde de papel film. La prueba se realizó con una cruceta de 75 mm de diámetro de extremo plano cilíndrico y la compresión a 50% de la altura inicial a una velocidad de 2 mm/s durante 5 s entre cada ciclo (2 ciclos). Se cuantificaron los siguientes parámetros: firmeza, elasticidad y cohesividad del análisis de las curvas obtenidas (Vera y otros, 2016).

### **3.5.3. Recuento de bacterias aerobias mesófilas**

Se realizaron los análisis en el filete de pota sometida a diferentes tiempos de exposición con ultrasonido. Se obtuvo 1 g de tratamiento de la muestra y se diluyó en 9 mL de agua destilada estéril. El método que se utilizó fue la siembra por incorporación. Se tomó 1 mL de muestra diluida y se agregaron 15 mL de agar nutritivo a las placas estériles. Se realizaron 04 diluciones a la muestra y se sembró la última dilución por duplicado, posteriormente se incubaron las placas invertidas a 37 °C durante 48 h, para luego realizar la lectura de los recuentos de bacterias aerobios mesófilos en ufc/g (Sanz, 2011).

### **3.5.4. *Escherichia coli***

Se pesó 1 g de cada tratamiento de la muestra y se diluyó en 9 mL de agua destilada estéril. Se homogenizó la muestra, invirtiendo el tubo suavemente unas 5 veces. Se tomó 1 mL de muestra diluyente, después se sembró en agar Mac Conkey y se incubó a 37 °C por 24 h. Los resultados se reportaron en ufc/g (Sanz, 2011).

### **3.5.5. *Staphylococcus aureus***

Se pesó 1 g de cada tratamiento de la muestra y se diluyó en 9 mL de agua destilada estéril. Se homogenizó la muestra, invirtiendo el tubo suavemente unas 5 veces. Se tomó 1 mL de muestra diluyente, sembrándose en agar manitol salado y se incubó a 37 °C por 24 h. Los resultados se reportaron en ufc/g (Sanz, 2011).

### **3.6. Métodos estadísticos**

El diseño estadístico aplicado corresponde a un diseño unifactorial con cuatro repeticiones. Para los análisis de pH, textura, recuento de bacterias aerobias mesófilas, *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus* se utilizaron la prueba de Levene con el fin de determinar la homogeneidad de varianzas de los datos experimentales, posteriormente se realizó un análisis de varianza, seguido de la prueba de comparaciones múltiples de Duncan para comparar los resultados mediante la formación de subgrupos y determinar de esta manera el mejor tratamiento. Todos los análisis estadísticos se realizaron a un nivel de confianza del 95%. Para procesar los datos se utilizó el software especializado Statistical Package for the Social Science (SPSS) versión 20.0.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Efecto del tiempo de exposición al ultrasonido sobre los valores del pH en el filete de pota

En la Figura 5, se observan los valores de pH en filete de pota con exposición al ultrasonido. Se observa que los valores fluctuaron ligeramente entre 6.17 y 6.19, sin mostrar una tendencia definida. El mejor valor se aprecia en el tratamiento de 15 min de exposición con 6.17, mismo valor que la muestra control. Según Morild y otros (2011), indican que el tratamiento con ultrasonido afecta al pH dependiendo de la frecuencia aplicada del ultrasonido. En esta investigación existe un mínimo aumento después del tratamiento con ultrasonido, en comparación con la muestra control, esto se debe a la liberación de sustancias volátiles (parte del cloruro de amonio, péptidos y fracciones no proteicas, aminas, guanidina, purinas y urea) durante la cavitación. Además, son responsables de las características sensoriales (aroma, sabor y textura) en el tejido fresco como en los productos procesados (Ochiai y otros, 2000). En el Anexo 1, se encuentran los valores de pH del filete de pota.

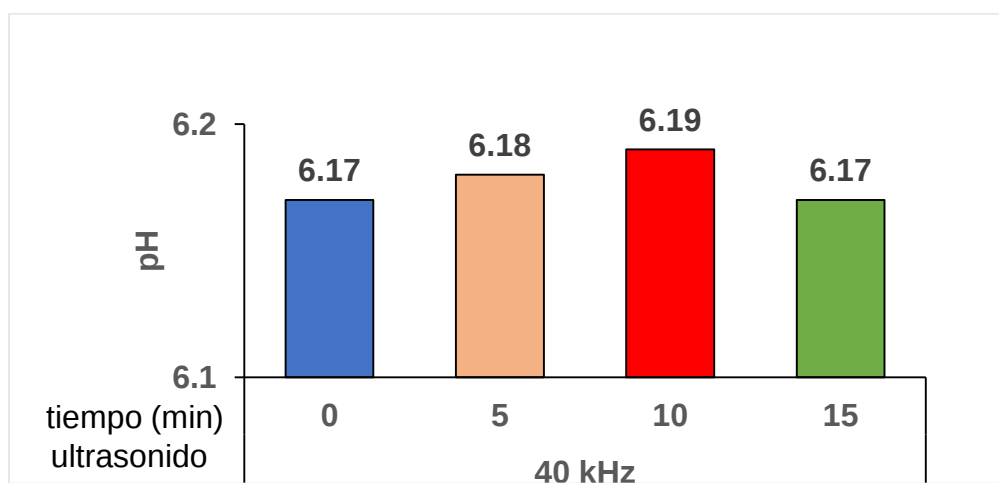


Figura 5. pH en función del tiempo de exposición al ultrasonido (min) en el filete de pota

El pH de la carne de pota recién capturada en condiciones de poco estrés se encuentra alrededor de 6.9 y conforme pasa el tiempo de almacenamiento en refrigeración (2 °C) la pota se va acidificando llegando o en ocasiones menor a 6.1 . El incremento del valor del pH posterior indica un deterioro acentuado de la carne, alcanzado niveles de putrefacción. Por lo tanto, se sugiere tener los valores de pH de la carne para procesos tecnológicos, pero no como criterio de deterioro (Albretch y otros, 2012).

Fuente y otros (2015) analizaron el efecto del ultrasonido en carne de lomo atún. Se aplicó ultrasonido a una frecuencia de 37 kHz en tiempos de 0, 3, 4 y 5 min sobre la variación del pH. Los resultados mostraron un comportamiento creciente pero con valores inferiores, con 5.49, 5.52, 5.82 y 5.47, respectivamente. Mientras que en esta investigación no tuvo un comportamiento definido, y estas diferencias de pH pueden depender de factores como tiempo de almacenamiento, tipo de músculo y tiempo de tratamiento (Purizaca, 2012), además, de los daños en la estructura celular, liberando iones en el citosol y los cambios en la formación de proteínas ocultando los grupos ácidos (Jayasooriya y otras, 2007).

En el Cuadro 5, se presenta la prueba de Levene modificada aplicada a los valores del pH del filete de pota. La prueba de Levene modificada determinó la existencia de homogeneidad de varianza ( $p > 0.05$ ) para el pH.

Cuadro 5. Prueba de Levene modificada para el pH del filete de pota con tiempo de exposición al ultrasonido

| Estadístico de Levene | pH    |
|-----------------------|-------|
| 0.679                 | 0.581 |

En el Cuadro 6, se muestra el análisis de varianza para los valores del pH del filete de pota con tiempo de exposición al ultrasonido. En análisis de

varianza demostró que el tratamiento de exposición al ultrasonido no presentó efecto significativo ( $p < 0.05$ ) sobre el pH en el filete de pota.

Cuadro 6. Análisis de varianza para el pH del filete de pota con tiempo de exposición al ultrasonido

| Fuente de variación | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Cuadrados medios | F     | p     |
|---------------------|-------------------|--------------------|------------------|-------|-------|
| Tratamiento         | 0.001             | 3                  | 0.000            | 1.240 | 0.338 |
| Error               | 0.005             | 12                 | 0.000            |       |       |
| Total               | 0.006             | 15                 |                  |       |       |

#### 4.2. Efecto del tiempo de exposición al ultrasonido sobre la textura (firmeza, elasticidad y cohesión) en el filete de pota

En la Figura 6, se observan los valores de firmeza en el filete de pota con exposición al ultrasonido. Se observa una disminución de firmeza con el aumento del tiempo de exposición, valores desde 29.34 a 16.94 N. Estos comportamientos de textura se debe a que el ultrasonido induce la ruptura de la membrana celular y los lisosomas, aumentan la terneza 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). En el Anexo 2 se presentan los valores de firmeza del filete de pota.

Vera y otros (2016) evaluaron el impacto del ultrasonido sobre la firmeza en carne fresca de cerdo. Las muestras fueron cortes de pierna de cerdo, sometidos al tratamiento con ultrasonido de 37 kHz durante 5, 10, 15 y 20 min. Los resultados mostraron una misma tendencia (32.1, 29.4, 28.9 y 27.1 N, respectivamente) a esta investigación. Esto se debe fundamentalmente al tejido conectivo y a las proteínas contráctiles, y la solubilidad del colágeno.

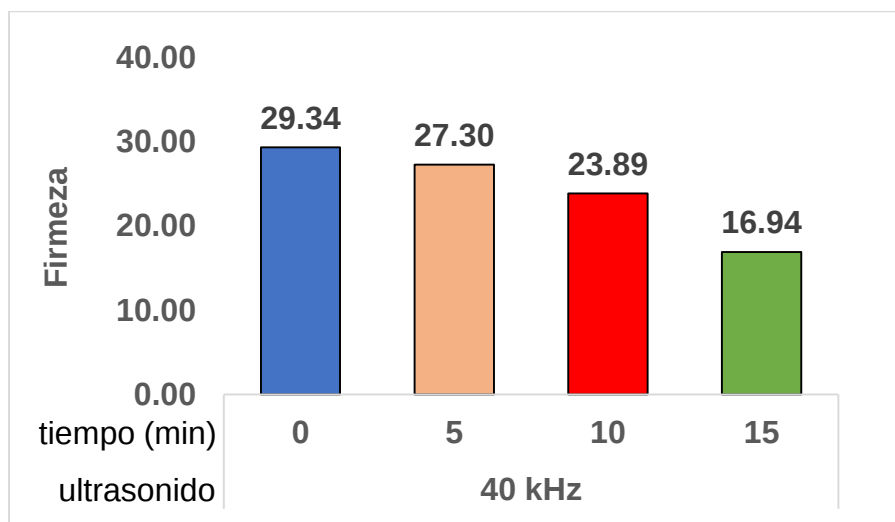


Figura 6. Firmeza (N) en función del tiempo de exposición al ultrasonido (min) en el filete de pota

Fuente y otros (2015) investigaron el efecto del ultrasonido en carne de lomo atún. Se aplicó ultrasonido a 37 kHz en tiempos de 0, 3, 4 y 5 min sobre la firmeza. Se presentó el mismo comportamiento pero valores mayores (73.1, 54.7, 51.9 y 47.4 N, respectivamente) a esta investigación. Estas diferencias pueden deberse al tiempo de exposición, además, de las características texturales de la muestra.

En la Figura 7, se observan los valores de elasticidad en el filete de pota con exposición al ultrasonido. No se define un comportamiento, ya que existe un aumento entre la muestra control y el tratamiento a 5 min, alcanzando la mayor elasticidad y posteriormente una disminución a medida que aumentó el tiempo de exposición (10 y 15 min) entre cada tratamiento. En el Anexo 3 se presentan los valores de elasticidad del filete de pota.

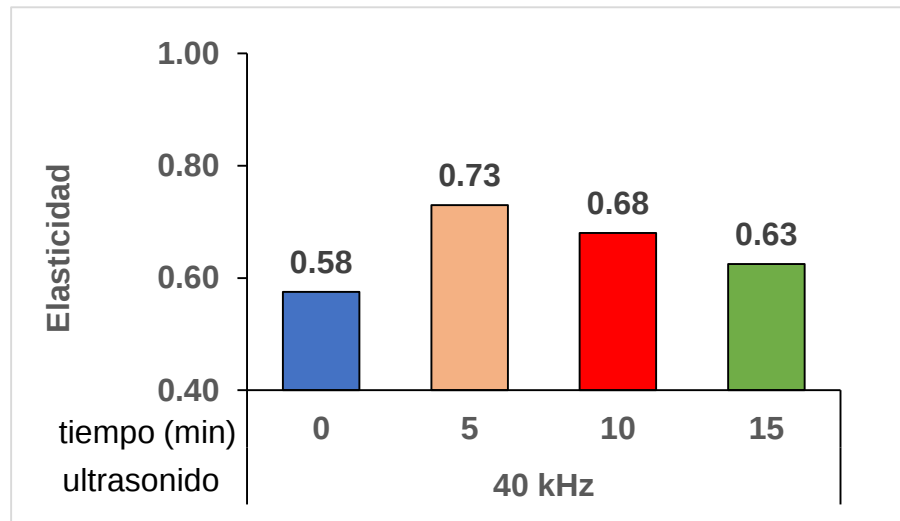


Figura 7. Elasticidad (N) en función del tiempo de exposición al ultrasonido (min) en el filete de pota

Vera y otros (2016) evaluaron el efecto del ultrasonido sobre la textura (cohesión y elasticidad) en carne fresca de cerdo. Las muestras fueron cortes de pierna de cerdo y sometidos al tratamiento del ultrasonido de 37 kHz durante 5, 10, 15 y 20 min. Los resultados mostraron una tendencia ligeramente creciente en cuanto a cohesión (0.91, 0.98, 1.16 y 1.10 N) y elasticidad (11.5, 11.9, 12.4 y 12.0). Comparando con los resultados de esta investigación, existe una similitud en la tendencia de los resultados de cohesión y elasticidad, pero estos valores se deben a las características texturales de las diferentes muestras de análisis y la velocidad del ultrasonido.

Fuente y otros (2015) investigaron el efecto del ultrasonido en carne de lomo atún. Se aplicó ultrasonido a 37 kHz en tiempos de 0, 3, 4 y 5 min sobre la elasticidad. Los resultados nos presentaron una tendencia definida, reportando 1.1, 3.6, 3.3 y 2.89 N, respectivamente. El ultrasonido puede actuar de dos maneras en el tejido de la carne, rompiendo la integridad de las células musculares y promoviendo reacciones enzimáticas (Alarcón y otros, 2015), y una exposición prolongada a las ondas del ultrasonido provoca un ablandamiento significativo en la muestra.

En la Figura 8, se muestran los valores de cohesión en el filete de pota con exposición al ultrasonido, donde se puede observar que los valores oscilaron entre 0.58 y 0.78, sin mostrar una tendencia definida durante los tiempos de exposición. La aplicación del ultrasonido suele modificar la cantidad de ATP disponible en el músculo en la etapa pre rigor, acelere el inicio del rigor mortis e incrementa la tasa de maduración (Chandrapala, 2015). Mostrando valor cohesión (0.78 N) para el tiempo de 5 min. En el Anexo 4 se presentan los valores de cohesión en el filete de pota.

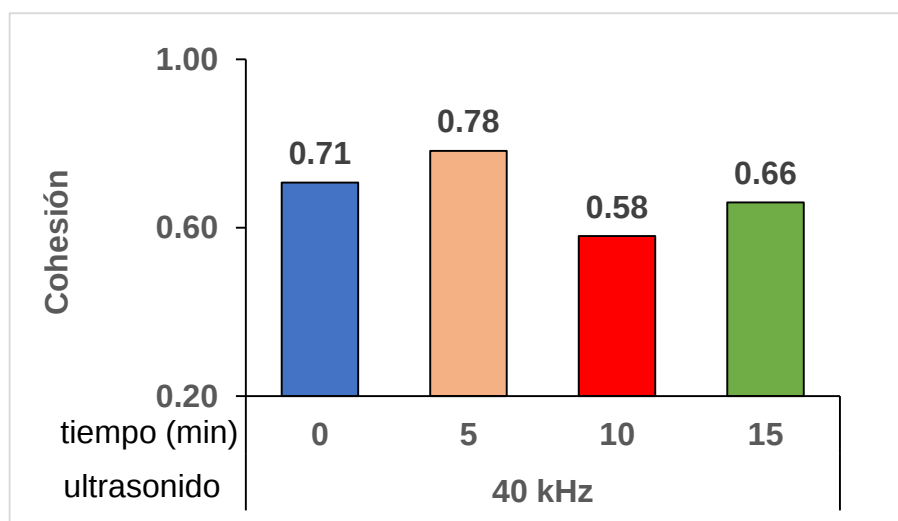


Figura 8. Cohesión (N) en función del tiempo de exposición al ultrasonido (min) en el filete de pota

Fuente y otros (2015) investigaron el efecto del ultrasonido en carne de lomo atún. Se aplicó ultrasonido a 37 kHz en tiempos de 0, 3, 4 y 5 min sobre la cohesión. Los resultados no tuvieron una tendencia definida (0.18, 0.11, 0.14 y 0.11 N, respectivamente) y tampoco diferencia entre los tiempos de exposición en comparación del control. Estas características influyen en la calidad sensorial, apariencia, textura y jugosidad de la muestra.

En el Cuadro 7, se presenta la prueba de Levene modificada aplicada a los valores de textura del filete de pota. La prueba de Levene modificada determinó la existencia de homogeneidad de varianza ( $p>0.05$ ) para los parámetros de textura.

Cuadro 7. Prueba de Levene modificada para los parámetros de textura (N) del filete de pota con tiempo de exposición al ultrasonido

| Variable    | Estadístico de Levene | p     |
|-------------|-----------------------|-------|
| Firmeza     | 0.223                 | 0.879 |
| Elasticidad | 0.145                 | 0.931 |
| Cohesión    | 2.045                 | 0.161 |

En el Cuadro 8, se muestra el análisis de varianza para los valores de los parámetros de textura del filete de pota con tiempo de exposición al ultrasonido.

Cuadro 8. Análisis de varianza para los parámetros de textura (N) del filete de pota con tiempo de exposición al ultrasonido

| Variable    | Fuente de variación | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Cuadrados medios | F      | p     |
|-------------|---------------------|-------------------|--------------------|------------------|--------|-------|
| Firmeza     | Tratamiento         | 356.571           | 3                  | 118.857          | 10.210 | 0.001 |
|             | Error               | 139.701           | 12                 | 10.210           |        |       |
|             | Total               | 496.272           | 15                 |                  |        |       |
| Elasticidad | Tratamiento         | 0.055             | 3                  | 0.018            | 8.107  | 0.003 |
|             | Error               | 0.027             | 12                 | 0.002            |        |       |
|             | Total               | 0.082             | 15                 |                  |        |       |
| Cohesión    | Tratamiento         | 0.087             | 3                  | 0.029            | 4.235  | 0.001 |
|             | Error               | 0.082             | 12                 | 0.007            |        |       |
|             | Total               | 0.168             | 15                 |                  |        |       |

El análisis de varianza demostró que la exposición al ultrasonido presentó efecto significativo ( $p < 0.05$ ) sobre cada uno de las características de textura en el filete de pota.

En el cuadro 9, se observa la prueba Duncan aplicada a los valores de firmeza del filete pota con tiempo de exposición al ultrasonido. Esta prueba indica que existió diferencia significativa entre los tratamientos denotados por la formación de subgrupos. En el subgrupo 2, se encuentra el de mayor firmeza con 29.38 N para el control, seguido con 27.29 N para 5 min y 23.89 N para 10 min de exposición al ultrasonido. Por lo tanto, el mejor tratamiento corresponde a 5 min de exposición, por mantener la firmeza similar al control.

Cuadro 9. Prueba de Duncan para la firmeza (N) del filete de pota con tiempo de exposición al ultrasonido

| Ultrasonido<br>(kHz) | Min | Subgrupo |       |
|----------------------|-----|----------|-------|
|                      |     | 1        | 2     |
| 40                   | 15  | 16.94    |       |
|                      | 10  |          | 23.89 |
|                      | 5   |          | 27.29 |
|                      | 0   |          | 29.38 |

En el cuadro 10, se observa la prueba Duncan aplicada a los valores de elasticidad del filete pota con tiempo de exposición al ultrasonido. Esta prueba indica que existió diferencia significativa entre los tratamientos denotados por la formación de subgrupos. En el subgrupo 1, se encuentra el tratamiento control y tratamiento de 15 min de exposición, eligiéndose como mejor tratamiento con 0.62 N por mantener la elasticidad respecto al control (0.58 N).

Cuadro 10. Prueba de Duncan para la elasticidad (N) del filete de pota con tiempo de exposición al ultrasonido

| Ultrasonido<br>(kHz) | Min | Subgrupo |      |      |
|----------------------|-----|----------|------|------|
|                      |     | 1        | 2    | 3    |
| 40                   | 0   | 0.58     |      |      |
|                      | 15  | 0.62     | 0.62 |      |
|                      | 10  |          | 0.68 | 0.68 |
|                      | 5   |          |      | 0.73 |

En el cuadro 11, se observa la prueba Duncan aplicada a los valores de cohesión del filete pota con tiempo de exposición al ultrasonido. Esta prueba indica que existió diferencia significativa entre los tratamientos denotados por la formación de subgrupos. En el subgrupo 1, se encuentra la muestra control, junto con los tratamientos de 10 y 15 min de exposición al ultrasonido, mientras que en el subgrupo 2, eligiéndose al tratamiento corresponde a 15 min de exposición al ultrasonido, por mantener la cohesión similar a la muestra control.

Cuadro 11. Prueba de Duncan para la cohesión (N) del filete de pota con tiempo de exposición al ultrasonido

| Ultrasonido<br>(kHz) | Min | Subgrupo |      |
|----------------------|-----|----------|------|
|                      |     | 1        | 2    |
| 40                   | 10  | 0.58     |      |
|                      | 15  | 0.66     | 0.66 |
|                      | 0   | 0.71     | 0.71 |
|                      | 5   |          | 0.78 |

#### 4.3. Efecto del tiempo de exposición al ultrasonido sobre el recuento de bacterias aerobias mesófilas (ufc/g) en el filete de pota

En la Figura 9, se muestran los recuentos de bacterias aerobias mesófilas en el filete de pota con exposición al ultrasonido. Se observa una mayor inactivación de microorganismos con el aumento del tiempo de exposición. En el Anexo 5 se encuentran los valores del recuento de bacterias aerobias mesófilas en el filete de pota.

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).

En general, la flora microbiana del pescado varía debido a las especies de peces, temporada, condiciones nutricionales, la etapa de desarrollo del pescado y en el tipo de agua que existe. Las partes del músculo de la pota posee  $10^3$ - $10^8$  ufc/g (Vera y otros, 2016).

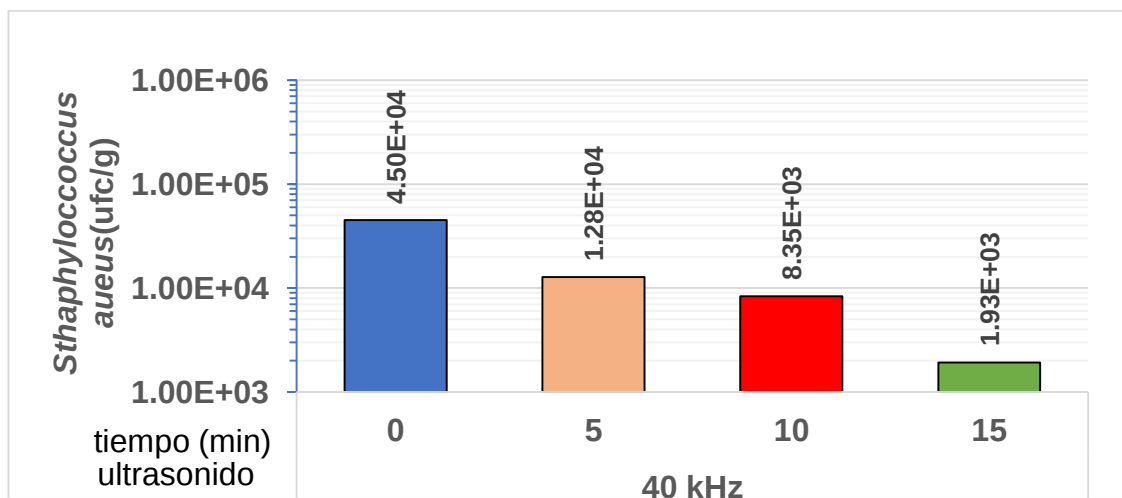


Figura 9. Recuento de bacterias aerobias mesófilas (ufc/g) en función del tiempo de exposición (min) al ultrasonido en el filete de pota.

Los mecanismos de inactivación microbiana del ultrasonido se producen por los fenómenos de cavitación que causan cambios en la presión. La extremadamente 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 inactivación es altamente dependiente de la frecuencia de ultrasonido, amplitud de la onda y el volumen de suspensión bacteriana (Rodríguez y Narciso, 2012).

La reducción obtenida en la carga de bacterias mesófilas, están en concordancia con la investigación de Acuña y otros (2015) aplicando ondas de ultrasonido de alta potencia a 25 kHz sobre el recuento de bacterias aerobias mesófilas en músculo de bovino. Los tiempos de exposición fueron de 0, 30, 45 y 60 min, reportando valores con un comportamiento decreciente  $1.90 \times 10^3$ ,  $1.20 \times 10^3$ ,  $8.60 \times 10^2$  y  $7.80 \times 10^2$  ufc/g respectivamente. Este comportamiento se debe al ultrasonido de alta potencia y al fenómeno de cavitación, el cual genera altas presiones y temperaturas que conduce a la formación de radicales libres, siendo muy reactivos y producir oxidación de los fosfolípidos que componen las membranas celulares de los microorganismos, y como resultado la inactivación de las células bacterianas (Morild y otros, 2011).

En el Cuadro 12, se presenta la prueba de Levene modificada aplicada para el recuento de bacterias aerobias mesófilas del filete de pota. La prueba de Levene modificada determinó la existencia de homogeneidad de varianza ( $p > 0.05$ ) para las bacterias aerobias mesófilas.

Cuadro 12. Prueba de Levene modificada para el recuento de bacterias aerobias mesófilas (ufc/g) del filete de pota con tiempo de exposición al ultrasonido

| Estadístico de Levene | p     |
|-----------------------|-------|
| 3.241                 | 0.065 |

En el Cuadro 13, se muestra el análisis de varianza para los valores del recuento de bacterias aerobias mesófilas del filete de pota con tiempo de exposición al ultrasonido. El análisis de varianza demostró que la exposición al ultrasonido presentó efecto significativo ( $p < 0.05$ ) sobre el recuento de bacterias aerobias mesófilas en el filete de pota.

Cuadro 13. Análisis de varianza para el recuento de bacterias aerobias mesófilas (ufc/g) del filete de pota con tiempo de exposición al ultrasonido

| Fuente de variación | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Cuadrados medios | F      | p     |
|---------------------|-------------------|--------------------|------------------|--------|-------|
| Tratamiento         | 175636.250        | 3                  | 58545.417        | 42.730 | 0.000 |
| Error               | 16441.500         | 12                 | 1370.125         |        |       |
| Total               | 192077.750        | 15                 |                  |        |       |

En el cuadro 14, se observa la prueba Duncan aplicada a los valores del recuento de bacterias aerobias mesófilas del filete de pota con tiempo de exposición al ultrasonido. Esta prueba indica que existió diferencia significativa entre los tratamientos denotados por la formación de subgrupos. En el subgrupo 1, se muestra el tratamiento con menor recuento de bacterias aerobias mesófilas ( $1.9 \times 10^5$  ufc/g) con exposición al ultrasonido de 15 min, el cual corresponde al mejor tratamiento.

Cuadro 14. Prueba de Duncan para el recuento de bacterias aerobias mesófilas (ufc/g) del filete de pota con tiempo de exposición al ultrasonido

| Ultrasonido<br>(kHz) | Min | Subgrupo |         |         |
|----------------------|-----|----------|---------|---------|
|                      |     | 1        | 2       | 3       |
| 40                   | 15  | 199 125  |         |         |
|                      | 10  |          | 336 000 |         |
|                      | 5   |          | 361 250 |         |
|                      | 0   |          |         | 494 250 |

#### 4.4. Efecto del tiempo de exposición al ultrasonido sobre el recuento de *Escherichia coli* (ufc/g) en el filete de pota

En la Figura 10, se muestran los recuentos de *Escherichia coli* en el filete de pota con exposición al ultrasonido. Se observa una mayor inactivación de microorganismos a medida que aumentaba el tiempo de exposición. La eficacia del tratamiento depende más de la intensidad de la onda de la frecuencia y a medida que aumenta la frecuencia el efecto se reduce, tal como se aprecia en esta investigación. En el Anexo 6 se encuentran los valores del recuento de *Escherichia coli* en el filete de pota.

Un comportamiento similar se observó en la investigación de *Escherichia coli* en carne bovina aplicando ultrasonido a 25 kHz con tiempos de exposición a 0, 30, 45 y 60 min (Acuña y otros, 2015), donde se muestra que el tratamiento de ultrasonido ocasiona una reducción ( $2.6 \times 10^3$ ,  $1.40 \times 10^3$ ,  $6.3 \times 10^2$  y  $2.1 \times 10^2$  ufc/g respectivamente) de la carga microbiana a medida que aumentan los tiempos de exposición. Esto se debe al efecto del ultrasonido en los microorganismos es complejo, pero se debe a la alteración de las membranas celulares y las cadenas de ADN (Turantas y otros, 2015), principal responsable del efecto letal. Así mismo, para Jayasooriya y otros (2007)

indican que la aplicación de ultrasonido tiene un efecto germicida sobre la flora microbiana, dependiendo de la intensidad del tratamiento, tiempo y temperatura durante el tratamiento.

Según la Norma sanitaria que establece los criterios microbiológicos, indica un rango de 10 hasta  $10^2$  ufc/g para el recuento de *Escherichia coli* en productos hidrobiológicos. El valor que se encuentra más cercano a dicho rango es a 15 min de exposición al ultrasonido con  $1.75 \times 10^2$  ufc/g (DIGESA, 2003).

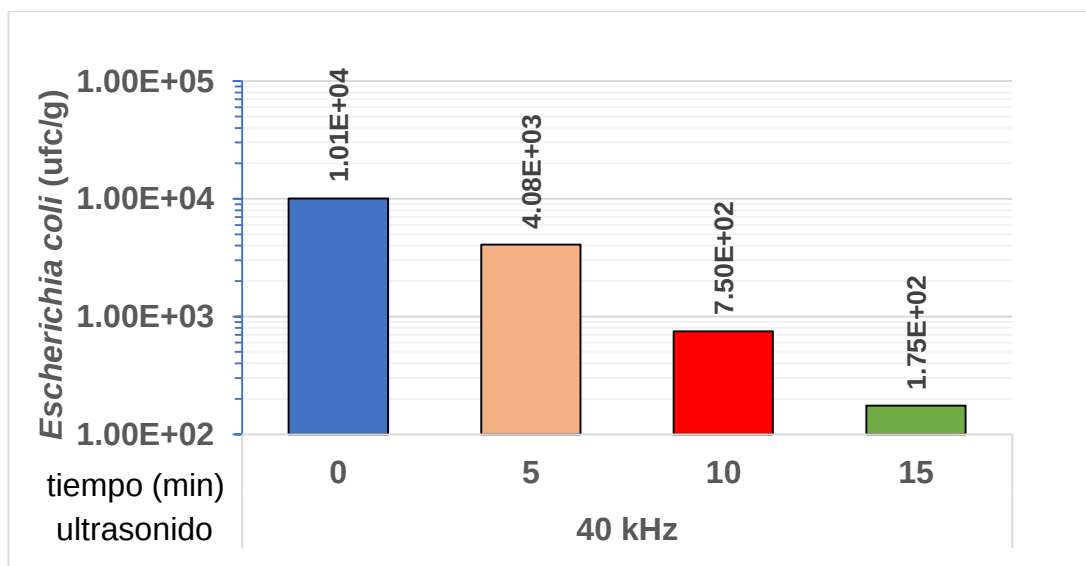


Figura 10. Recuento de *Escherichia coli* (ufc/g) en función del tiempo de exposición (min) al ultrasonido en el filete de pota

En el Cuadro 15, se presenta la prueba de Levene modificada aplicada a los valores del recuento de *Escherichia coli* del filete de pota. La prueba de Levene modificada determinó la existencia de homogeneidad de varianza ( $p > 0.05$ ) para el recuento de *Escherichia coli*.

Cuadro 15. Prueba de Levene modificada para el recuento de *Escherichia coli* (ufc/g) del filete de pota con tiempo de exposición al ultrasonido

| Estadístico de Levene | p     |
|-----------------------|-------|
| 2.917                 | 0.078 |

Morild y otros (2011) aplicaron ultrasonido a vapor sobre muestras de filetes de cerdo en tiempos de 1, 2, 3 y 4 min sobre la aplicación del recuento de *E. coli*, reportando resultados con una misma tendencia que en esta investigación pero con mayor valor, de  $2.9 \times 10^4$ ,  $2.3 \times 10^4$ ,  $2.0 \times 10^4$  y  $1.5 \times 10^4$  ufc/g respectivamente. Cabe resaltar que el efecto del ultrasonido depende del tiempo de exposición para la inactivación de microorganismos, ya que los tiempos son inferiores a los reportados a nuestra investigación.

En el Cuadro 16, se muestra el análisis de varianza para los valores del recuento de *Escherichia coli* del filete de pota con tiempo de exposición al ultrasonido. El análisis de varianza demostró que la exposición al ultrasonido presentó efecto significativo ( $p < 0.05$ ) sobre el recuento de *Escherichia coli* en el filete de pota.

Cuadro 16. Análisis de varianza para el recuento de *Escherichia coli* (ufc/g) del filete de pota con tiempo de exposición al ultrasonido

| Fuente de variación | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Cuadrados medios | F       | p     |
|---------------------|-------------------|--------------------|------------------|---------|-------|
| Tratamiento         | 24756.187         | 3                  | 8252.062         | 261.107 | 0.000 |
| Error               | 379.250           | 12                 | 31.604           |         |       |
| Total               | 25135.438         | 15                 |                  |         |       |

En el cuadro 17, se observa la prueba Duncan aplicada a los valores del recuento de *Escherichia coli* del filete de pota con tiempo de exposición al ultrasonido. Esta prueba indica que existió diferencia significativa entre los tratamientos denotados por la formación de subgrupos. En el subgrupo 1, se muestra el tratamiento con menor recuento de *Escherichia coli* con 175 ufc/g con 15 min de exposición al ultrasonido, siendo el tratamiento con valor cercano a rango establecido por la Norma Sanitaria para productos hidrobiológicos.

Cuadro 17. Prueba de Duncan para el recuento de *Escherichia coli* (ufc/g) del filete de pota con tiempo de exposición al ultrasonido

| Ultrasonido<br>(kHz) | Min | Subgrupo |       |        |
|----------------------|-----|----------|-------|--------|
|                      |     | 1        | 2     | 3      |
| 40                   | 15  | 175      |       |        |
|                      | 10  | 750      |       |        |
|                      | 5   |          | 4 075 |        |
|                      | 0   |          |       | 10 075 |

#### 4.5. Efecto del tiempo de exposición al ultrasonido sobre el recuento de *Staphylococcus aureus* (ufc/g) en el filete de pota

En la Figura 11, se muestran los recuentos de *Staphylococcus aureus* en el filete de pota con exposición al ultrasonido. Se observa una mayor inactivación de microorganismos a medida que aumentó el tiempo de exposición. En el Anexo 7 se encuentran los recuentos del *Staphylococcus aureus* en el filete de pota.

Según la Norma sanitaria que establece los criterios microbiológicos, indica un rango de  $10^2$  hasta  $10^3$  ufc/g para el recuento de *Staphylococcus aureus* en productos hidrobiológicos (DIGESA, 2003). Comparando con los resultados obtenidos en esta investigación, el tratamiento a 15 min de

exposición al ultrasonido se encuentra cercano al rango establecido. La aplicación del ultrasonido presenta mayor disminución sobre la población de *Escherichia coli*, en comparación de las bacterias *Staphylococcus aureus*, ya que esta última, es más resistente y se presenta de manera agrupada dificultando una óptima inactivación (Hennekinne y otros, 2012).

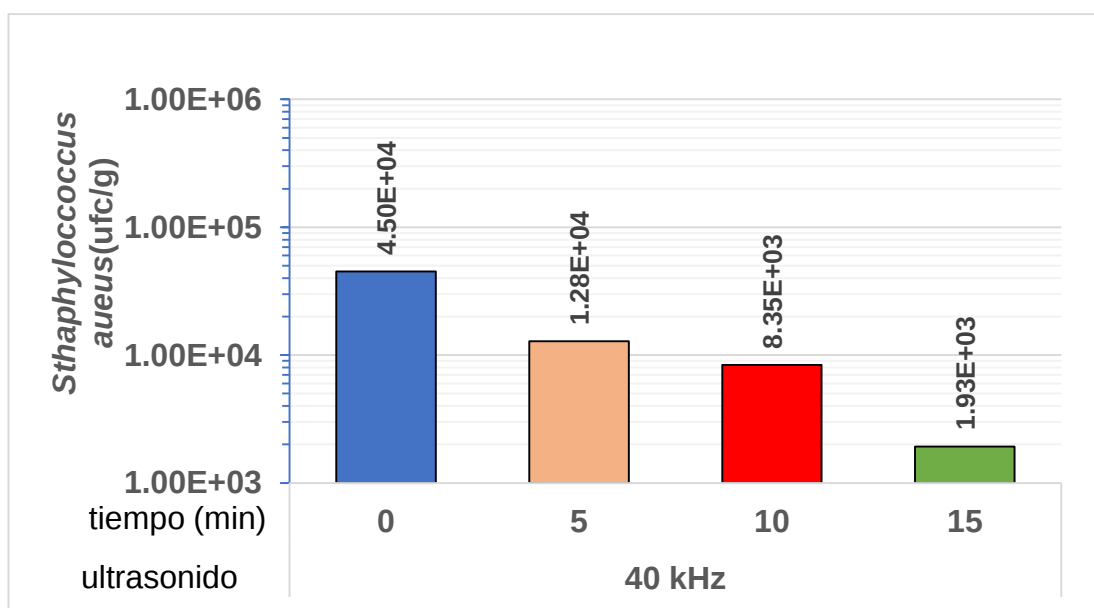


Figura 11. Recuento de *Staphylococcus aureus* (ufc/g) en función del tiempo de exposición (min) al ultrasonido en el filete de pota

Con respecto a otros aspectos que pueden afectar a la resistencia microbiana son las propiedades del alimento, características microbianas y los parámetros del proceso. Respecto a las características microbianas las esporas bacterianas son más resistentes que las bacterias Gram (+), siendo la bacteria *Staphylococcus aureus* una gram (+), logrando una disminución en la carga microbiana (Morild y otros, 2011).

En el Cuadro 18, se presenta la prueba de Levene modificada aplicada a los valores del recuento de *Staphylococcus aureus* del filete de pota. La prueba de Levene modificada determinó la existencia de homogeneidad de varianza ( $p > 0.05$ ) para el recuento de *Staphylococcus aureus*.

Cuadro 18. Prueba de Levene modificada para el recuento de *Staphylococcus aureus* (ufc/g) del filete de pota con tiempo de exposición al ultrasonido

| Estadístico de Levene | p     |
|-----------------------|-------|
| 2.807                 | 0.085 |

En el Cuadro 19, se muestra el análisis de varianza para los valores del recuento de *Staphylococcus aureus* del filete de pota con tiempo de exposición al ultrasonido. El análisis de varianza demostró que la exposición al ultrasonido presentó efecto significativo ( $p < 0.05$ ) sobre el recuento de *Staphylococcus aureus* en el filete de pota.

Cuadro 19. Análisis de varianza para el recuento de *Staphylococcus aureus* (ufc/g) del filete de pota con tiempo de exposición al ultrasonido

| Fuente de variación | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Cuadrados medios | F      | p     |
|---------------------|-------------------|--------------------|------------------|--------|-------|
| Tratamiento         | 440927.250        | 3                  | 146975.750       | 44.059 | 0.000 |
| Error               | 40030.500         | 12                 | 3335.875         |        |       |
| Total               | 480957.750        | 15                 |                  |        |       |

En el cuadro 20, se observa la prueba Duncan aplicada a los valores del recuento de *Staphylococcus aureus* del filete de pota con tiempo de exposición al ultrasonido. Esta prueba indica que existió diferencia significativa entre los tratamientos denotados por la formación de subgrupos. En el subgrupo 1, se muestra el de menor recuento de *Staphylococcus aureus* con  $1.9 \times 10^3$  ufc/g a 15 min de exposición al

ultrasonido, eligiéndose como tratamiento con mayor inactivación, pero no cumple con la Norma DIGESA (2003).

Cuadro 20. Prueba de Duncan para el recuento de *Staphylococcus aureus* (ufc/g) del filete de pota con tiempo de exposición al ultrasonido

| Ultrasonido<br>(kHz) | Min | Subgrupo |        |        |
|----------------------|-----|----------|--------|--------|
|                      |     | 1        | 2      | 3      |
| 40                   | 15  | 1 925    |        |        |
|                      | 10  | 8 350    | 8 350  |        |
|                      | 5   |          | 12 800 |        |
|                      | 0   |          |        | 44 975 |

## V. CONCLUSIONES

Existió efecto significativo de los tiempos de exposición al ultrasonido a la frecuencia de 40 kHz sobre la firmeza, elasticidad, cohesión, recuento de bacterias aerobias mesófilas, *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus*, con excepción del pH en el filete de pota.

Se determinó que el tiempo de exposición al ultrasonido con frecuencia a 40 kHz durante 15 min permitió obtener la menor variación de pH (6.17), firmeza (16.94 N), elasticidad (0.68 N), cohesión (0.58 N) y se redujo la carga microbiana para el recuento de bacterias aerobias mesófilas ( $1.9 \times 10^5$  ufc/g), *Escherichia coli* ( $1.7 \times 10^2$  ufc/g) y *Staphylococcus aureus* ( $1.9 \times 10^3$  ufc/g) en el filete de pota, pero con los dos últimos microorganismos no se logra cumplir con el límite permisible según la Norma Digesa para productos hidrobiológicos.

## **VI. RECOMENDACIONES**

Evaluar el efecto del tiempo de exposición en combinación con temperaturas de escaldado en filetes de otros productos hidrobiológicos debido a la contaminación de los mares.

Evaluar el comportamiento del filete de pota con ultrasonido a mayor tiempo de exposición y durante almacenamiento.

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

## VII. BIBLIOGRAFIA

Acevedo, D., Granados, C., y Montero, P. 2014. Caracterización de Propiedades Fisicoquímicas, Textura y Calidad Microbiológica de Butifarra Comercializada en Cartagena (Colombia). Información tecnológica. 25(6): 33-38.

Acuña, T., Castro, D. y Porras, O. 2015. Efecto de la aplicación de ondas ultrasonido de alta potencia (25kHz) sobre las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del músculo *semitendinosus Longissimus* de la especie bovina. Revista de Investigación Universal de Quindío, 27:120-126.

AOAC. 1995. Official Methods of Analysis of the Association of the Official Agricultural Chemists. 16ava. Edition. USA.

Alarcon, A., Arroyo, F. y Barbosa, W. 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.

Behrend, O. y Schubert, H. 2001. Influence of hydrostatic pressure and gas content on continuous ultrasound emulsification. Ultrason. Sonochem. 8:271-276.

Bjarnason, A. 1989. Pesca de Calamar. Bol Infofish. 2: 38-40.

Bourne, M. 1978. Texture Profile Analysis. Food Technology. 32(1): 62-66.

Carbajal, W. 2009. Biología y Pesquería del Recurso Pota “*Dosidicus Gigas*” en la Costa Norte del Perú. Paíta. IMARPE. 1-4.

Cardiles, C., y Contreras, O. 2013. Evaluación de la calidad físico-química, microbiológica y sensorial de filetes de tilapia (*Oreochromis niloticus*) marinados en frío (4 °C). Universidad de Cartagena. Facultad de Ingenierías Programa de Ingeniería de Alimentos. Cartagena de Indias. Colombia.

Chávez, F., Bertrand, A., Guevara, R., Soler, P., y Csirke, J. 2008. The northern Humboldt Current System: Brief history, present status and a view towards the future. *Progress in Oceanography*, 79(2):95-105.

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

Chen, L., y Opara, U. 2013. Approaches to Analysis and Modeling Texture in fresh and processed Foods – A Review. *Journal Of Food Engineering*. 119(3): 497-507.

Dakubu, S. (1976). Cell inactivation by ultrasound. *Biotechnol. Bioeng*, 18:465-471.

De Hombre, R., y Castro, E. 2007. Parámetros Mecánicos y Textura de los Alimentos. *Mediciones Instrumentales de Textura de Sólidos y semisólidos*.

Delgado, O. 2011. Application of ultrasound in the food industry. *Revista Especializada en Ingeniería de Procesos de Alimentos y Biomateriales*. ISSN: 1900-6608. Bogotá. Colombia.

Delgado, H. 2013. Medición de textura de jamón de cerdo Zamorano con los texturómetros BrookfieldCT3 e Instron 4444. Tesis de Ingeniero Agroindustrial. Zamorano, Honduras: Escuela Agrícola Panamericana Zamorano.

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.

Earnshaw, R., Appleyard, J. y Hurst, R.1995. Understanding physical inactivation processes: combined preservation opportunities using heat, ultrasound and pressure. *Int. J. Food Microbiol.* 28:197-209.

FAO/OMS (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación Organización Mundial de la Salud-Universidad de las Naciones Unidas). 1985. Necesidades de energía y de proteínas. Informe de una Reunión Consultiva Conjunta FAO/OMS/UNU de Expertos, Serie de Informes Técnicos.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2014. The State of the World Fisheries and Aquaculture. Rome.

Fuentes, L., Acevedo, D. y Gálvez, V. 2016. Efecto del Ultrasonido y Campos Magnéticos en la Carne de Lomo Atún (*Thunnus albacares*). Universidad de Cartagena, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería de Alimentos. Norte de Santander. Colombia.

Haughton, P., Lyng, J., Morgan, D., Cronin, D., Noci, F., Fanning, S. y White, P. 2012. An evaluation of the potential of high-intensity ultrasound for improving the microbial safety of poultry. *Food and bioprocess technology*, 5(3): 992-998.

Hennekinne, A., De Buyser, F. y Dragacci, S. 2012. *Stafilococcus aureus* and its food poisoning toxins: Characterization and outbreak investigation. FEMS Microbiology Journal, 36:815–836.

Herceg, Z., Markov, K., Šalamon, B., Jambrak, A., Vukušić, T. y Kaliterna, J. 2013. Effect of high intensity ultrasound treatment on the growth of food spoilage bacteria. Food Technology and Biotechnology, 5:352-359.

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.

Hleap, J., y Velasco, V. 2010. Análisis de las propiedades de textura durante el almacenamiento de salchichas elaboradas a partir de tilapia roja (*Oreochromis sp.*). Revista Biotecnología en el sector Agropecuario. 8(2): 46-56.

ITP/IMARPE. 1996. Compendio biológico tecnológico de las principales especies hidrobiológicas comerciales del Perú. Lima.

Jayasooriya, S., Torley, P., D'Arcy, B. y Bhandari, B. 2007. Effect of high power ultrasound and ageing on the physical properties of bovine Semitendinosus and Longissimus muscles. Meat Science, 75(4):628-639.

Joyce, A. y Mason, T. 2008. Sonication used as a biocide. A review: Ultrasound alternative to chemical biocides?. Chemistry Today. 26(6):22-26.

Klett, A. 1996. Pesquería del calamar *Dosidicus gigas*. Estudio del potencial pesquero y acuícola de Baja California Sur. Centro de Investigaciones Biológicas, Universidad Autónoma de Baja California, 2:127-129.

Knorr, D., Zenker., M, Heinz. y Lee, D. 2004. Applications and potential of ultrasonic in food processing. T. Food Science & Technol.15:261-266.

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.

Kreuzer, R. 1984. Cephalopods: handling processing and products. Food and Agriculture Organization of the United Nations. *Fish Technology*, 2:108-112.

López-Malo, A., Guerrero, S. y Alzamora, S. 1999. *Saccharomyces cerevisiae* thermal inactivation combined with ultrasound. *J. Food Protect.* 62:1215-1217.

Llull, P., Simal, S., Benedito, J. y Rosello, C. 2002. Evaluation of textural properties of a meat-based product (sobrassada) using ultrasonic techniques. *J. Food Eng.* 2002; 53:279-285.

Luna, R., Concepción, M., Urciaga J., Salinas, C., Cisneros, M. y Beltrán, L. 2006. Diagnóstico del consumo del calamar gigante en México y Sonora. *Economía, Sociedad y Territorio. Boletín del Colegio Mexiquense*, 5:22: 535-560.

Mariategui, G. y Taipe, R. 1996. Distribución y abundancia relativa del calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en el Perú, en informe de investigación N° 34. Callao. IMARPE. 4-9.

Mariátegui, L. Pizarro, L., Blaskovic, V., Goicochea, C., Vásquez, L., Marquina, R. y Crispín, A. 2011. El Calamar Gigante en el Mar Peruano, Crucero B/P Hakurei Maru, en informe de investigación, 38(4). Callao. IMARPE. 395 – 411.

Mason, T., Paniwnyk, L. y Lourimer, J. 1996. The uses of ultrasound in food technology. *Ultrasonics Sonochem. Process Symposium Chemical*. 3:253-260.

Mason, T., Paniwnyk, L. y Chemat, F. 2003. Ultrasound as a preservation technology. Food Preservation Techniques. Wood head Publishing Limited, 4:255-263.

Maza, S., Rosales, M. y Castro, R. 2003. Efecto de un proceso de lixiviación ácida salina sobre la calidad del surimi de *Dosidicus gigas*. Boletín de Investigación. Perú, ITP, 5: 81 – 88.

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.

Murray, A. 1989. Factors affecting beef color at time of grading. Journal Animal Science. 2(69):347-355.

Nesis, K. 1970. The biology of the giant squid of Perú and Chile *Dosidicus gigas*. Oceanology. 10:108-118.

Nigmatullin, C., Nesis, K., y Arkhipkin, A. 2001. The biology of the jumbo squid *Dosidicus gigas* (Cephalopoda: Ommastrephidae). Fisheries Research. 54:9-19.

Ochiai, Y., Ocon, J. y Chow, C. 2000. Seafood Enzymes utilization and influence on postharvest seafood quality. Edit. Marcel Dekker. Nueva York, USA. 69-89

Pariona, C. 2011. Desarrollo de indicadores de calidad del manto de pota (*Dosidicus gigas*). Tesis para obtener el título de Ingeniero en Alimentos. Universidad Nacional Federico Villareal. Perú.

Pereira, R., y Vicente, A. 2010. Environmental impact of novel thermal and non-thermal technologies in food processing. *Food Research International*, 43(7):1936-1943.

Petin, V., Zhurakovskaya, G. y Komarova, G. 1999. Mathematical description of combined action of ultrasound and hyperthermia on yeast. *Ultrasonics*. 37:79-83.

PRODUCE. 2014. Anuario estadístico pesquero. Recuperado en: <https://www.produce.gob.pe/index.php/k2/noticias/item/838-produce-establece-una-cuota-de-609-000-toneladas-aplicable-al-recurso-pota-o-calamar-gigante-para-el-2018>.

PROMPERU. 2018. Exportación de pota y langostinos peruanos. Recuperado en: [https://promperu.gob.pe/Repos/pdf\\_novedades/19122018174253\\_103.pdf](https://promperu.gob.pe/Repos/pdf_novedades/19122018174253_103.pdf)

Purizaca, L. 2012. Efecto de Dosiplus y Carnal 659 S sobre la acidez de anillas de pota. Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Pesquero. Universidad Nacional de Tumbes.

Raichel, D. 2000. The science and applications of acoustics. Edit series. Robert T. Beyer. Springer-Verlag. New York InC.418.

Reátegui, A. (2016). Elaboración de porciones pre-cocidas y empanizadas a base de "Pota", *Dosidicus gigas*. Tesis para optar el título de Ingeniero Pesquero. Universidad Nacional del Callao.

Rodríguez, S. y Narciso, F. 2012. Advances in fruit processing technologies. 2<sup>da</sup> Edition. Editorial CRC Press. México.

Romero, P. y Gálvez, 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, 11:67-76.

Roper, C. 1984. Cephalopods of the world (FAO). United Nations Development Programme, Food and Agriculture Organization of the United Nations. Italy.

Rosas, Z., Ramírez, J. y Pacheco, R. 2010. Partial characterization of an effluent produced by cooking of Jumbo squid (*Dosidicus gigas*) mantle muscle. Bioresource Technology, 101:600–605.

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

Ruiz, J. 2005. Textura de músculos de cerdo y jamón curado con distintos niveles de NaCl, pH y contenido de agua. Tesis doctoral (Facultad de veterinaria). Universidad Autónoma de Barcelona, 212.

Salinas, C., Carrillo, S., Mejía, A., Sánchez, S., Luna, C., De la Cruz, J. y Noriega, A. 2004. Aseguramiento de la materia prima y determinación de preferencias de consumo en México y el mundo. Cadena productiva del calamar gigante (*Dosidicus gigas*). México: CIBNOR.

Sanz, S. 2011. Prácticas de Microbiología. Universidad de la Rioja. 2° ed. Editorial Mac Huntter. Pag: 65-75. España.

Solari, A. 2012. Características del Músculo de Pota (*Dosidicus gigas*). Instituto Tecnológico de la Producción.

Szczesniak, A. 1975. General Food texture profile revisited – Ten years perspective. J. Texture Studies. 6:5-17.

Szczesniak, A. Classification of Textural Characteristics. Journal of Food Science, 1963. 28(4): 385-389.

Szczesniak, A. 2002. Texture is a sensory property. Food Quality and Preference. 13: 215-225

Torres, W., Pacheco, R., Sotelo, R., Rouzaud, O. y Ezquerro, J. 2008. Caracterización parcial del colágeno extraído a partir del manto, aleta y tentáculos de calamar gigante *Dosidicus gigas*. Ciencia y Tecnología Alimentaria, 6(2):101-108.

Turantaş, F., Kılıç, G y Kılıç, B. 2015. Ultrasound in the meat industry: General applications and decontamination efficiency. International Journal of Food Microbiology, 1(98):59-69.

Ulloa J., Rosas P., Ramirez, J. y Ulloa, B. 2013. Ultrasonido: aplicaciones en el campo de los alimentos. Revista Nueva Época, 2:167-182.

Whithers, P. 1996. Ultrasonic, acoustics and optical techniques for the non-invasive detection of fouling in food processing equipment. T. Food Sci. & Technol. 7:293-298.

Vargas, S. 1980. Inspección Sanitaria del calamar "*Loligo spp*" con base en sus cambios organolépticos post-cocción. Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniería en Alimentos, Universidad Nacional Autónoma de México.

Vera, M., Rivera, M. y Arias, M. 2016. Impacto del ultrasonido sobre el color y textura en carne fresca de cerdo. *Agronomía Colombiana*, 21(2): 267-288.

Villamiel, M. y Jong, P. 2000. Inactivation of *Pseudomonas fluorescens* and *Streptococcus thermophilus* in trypticase soy broth and total bacteria in milk by continuous Flow ultrasonic treatment and conventional heating. *Food Eng*, 45:171-175.

Yamashiro, C. 2016. El Recurso Calamar Gigante en la Costa Peruana y El Niño. *Boletín trimestral oceanográfico. ITP*, 2:10-19.

Zhou, B., Feng, H. y Luo, Y. 2009. Ultrasound enhanced sanitizer efficacy in reduction of *Escherichia coli* O157:H7 population on spinach leaves. *Journal of food science*, 74(6): 308-313.

## VIII. ANEXOS

Anexo 1. Valores de pH del filete de pota con tiempo de exposición (min) al ultrasonido de 40 kHz

| Replica  | 40 kHz |      |      |      |
|----------|--------|------|------|------|
|          | 0      | 5    | 10   | 15   |
| 1        | 6.21   | 6.18 | 6.19 | 6.18 |
| 2        | 6.16   | 6.17 | 6.20 | 6.17 |
| 3        | 6.16   | 6.20 | 6.20 | 6.14 |
| 4        | 6.15   | 6.16 | 6.17 | 6.17 |
| Promedio | 6.17   | 6.18 | 6.19 | 6.17 |

Anexo 2. Valores de la firmeza (N) del filete de pota con tiempo de exposición (min) al ultrasonido de 40 kHz

| Replica  | 40 kHz |       |       |       |
|----------|--------|-------|-------|-------|
|          | 0      | 5     | 10    | 15    |
| 1        | 33.49  | 33.16 | 29.31 | 19.41 |
| 2        | 29.36  | 27.18 | 22.72 | 14.20 |
| 3        | 26.01  | 24.77 | 20.87 | 15.57 |
| 4        | 28.52  | 24.07 | 22.65 | 18.56 |
| Promedio | 29.34  | 27.30 | 23.89 | 16.94 |

Anexo 3. Valores de la elasticidad (N) del filete de pota con tiempo de exposición (min) al ultrasonido de 40 kHz

| Replica  | 40 kHz |      |      |      |
|----------|--------|------|------|------|
|          | 0      | 5    | 10   | 15   |
| 1        | 0.57   | 0.74 | 0.68 | 0.61 |
| 2        | 0.52   | 0.65 | 0.61 | 0.58 |
| 3        | 0.60   | 0.75 | 0.71 | 0.63 |
| 4        | 0.61   | 0.78 | 0.72 | 0.68 |
| Promedio | 0.58   | 0.73 | 0.68 | 0.63 |

Anexo 4. Valores de la cohesión (N) del filete de pota con tiempo de exposición (min) al ultrasonido de 40 kHz

| Replica  | 40 kHz |      |      |      |
|----------|--------|------|------|------|
|          | 0      | 5    | 10   | 15   |
| 1        | 0.66   | 0.81 | 0.51 | 0.67 |
| 2        | 0.60   | 0.61 | 0.59 | 0.64 |
| 3        | 0.76   | 0.84 | 0.58 | 0.62 |
| 4        | 0.81   | 0.87 | 0.64 | 0.71 |
| Promedio | 0.71   | 0.78 | 0.58 | 0.66 |

Anexo 5. Recuento de bacterias aerobias mesófilas (ufc/g) del filete de pota con tiempo de exposición (min) al ultrasonido de 40 kHz

| Replica  | 40 kHz |        |        |        |
|----------|--------|--------|--------|--------|
|          | 0      | 5      | 10     | 15     |
| 1        | 542000 | 367000 | 322000 | 220500 |
| 2        | 485000 | 378000 | 332000 | 236000 |
| 3        | 460000 | 350000 | 344000 | 235000 |
| 4        | 490000 | 350000 | 346000 | 105000 |
| Promedio | 494250 | 361250 | 336000 | 199125 |

Anexo 6. Recuento de *Escherichia coli* (ufc/g) en filete de pota con tiempo de exposición (min) al ultrasonido de 40 kHz

| Replica  | 40 kHz |      |      |     |
|----------|--------|------|------|-----|
|          | 0      | 5    | 10   | 15  |
| 1        | 11000  | 4200 | 1000 | 500 |
| 2        | 9600   | 3800 | 700  | 0   |
| 3        | 10300  | 5100 | 800  | 200 |
| 4        | 9400   | 3200 | 500  | 0   |
| Promedio | 10075  | 4075 | 750  | 175 |

Anexo 7. Recuento de *Staphylococcus aureus* (ufc/g) en filete de pota con tiempo de exposición (min) al ultrasonido de 40 kHz

| Replica  | 40 kHz |       |       |      |
|----------|--------|-------|-------|------|
|          | 0      | 5     | 10    | 15   |
| 1        | 58900  | 14400 | 10000 | 2500 |
| 2        | 43400  | 13600 | 9600  | 1600 |
| 3        | 31900  | 9700  | 4700  | 1300 |
| 4        | 45700  | 13500 | 9100  | 2300 |
| Promedio | 44975  | 12800 | 8350  | 1925 |