

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN
FACULTAD DE INGENIERÍA



**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS**

**ESTADO DE LA TÉCNICA PARA LA TECNOLOGÍA DE
ULTRASONIDO EN EL PROCESAMIENTO DE FRUTAS
Y HORTALIZAS Y UNA APLICACIÓN PRÁCTICA**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

Autoras: Bach. Grimanés Condezo Huaman
: Bach. Ana Luz Bermeo Herrera

Asesor: Dr. Ernesto Hernández Martínez

Línea de Investigación: LI_IJA_03 Ingeniería de Procesos Alimentarios

JAÉN – PERÚ
2025

2% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

Fuentes principales

- 1% Fuentes de Internet
- 1% Publicaciones
- 1% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN
Wagner Colmenares Mayanga
 Dr. Wagner Colmenares Mayanga
 Responsable de la Unidad de Investigación
 de la Facultad de Ingeniería



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Ley de Creación N° 29304

FORMATO 03: ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día 27 de agosto del año 2025, siendo las 16:00 horas, se reunieron los integrantes del Jurado:

Presidente: Dr. Juan Dario Rios Mera

Secretario: Mg. Andrea Fioreli Velarde Santoyo

Vocal: Mg. Ralph Stein Rivera Botonares, para evaluar la Sustentación de:

- () Trabajo de Investigación
(☒) Tesis
() Trabajo de Suficiencia Profesional

Titulado: "ESTADO DE LA TÉCNICA PARA LA TECNOLOGÍA DE ULTRASONIDO EN EL PROCESAMIENTO DE FRUTAS Y HORTALIZAS Y UNA APLICACIÓN PRÁCTICA", presentado por las tesis Grimanés Condezo Huaman y Ana Luz Bermeo Herrera de la Escuela Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias.

Después de la sustentación y defensa, el Jurado acuerda:

(☒) Aprobar () Desaprobar (☒) Unanimidad () Mayoría

Con la siguiente mención:

- | | | |
|----------------|------------|---|
| a) Excelente | 18, 19, 20 | () |
| b) Muy bueno | 16, 17 | () |
| c) Bueno | 14, 15 | () |
| d) Regular | 13 | (☒) |
| e) Desaprobado | 12 ó menos | () |

Siendo las 18:00 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmando su participación con la suscripción de la presente.

Jaén, 27 de agosto de 2025


Dr. Juan Dario Rios Mera
Presidente


Mg. Andrea Fioreli Velarde Santoyo
Secretario


Mg. Ralph Stein Rivera Botonares
Vocal

“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”

ANEXO N°06:

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD Y DE NO PLAGIO DE LA TESIS (PREGRADO)

Yo, **Ana Luz Bermeo Herrera**, egresado de la carrera Profesional de **Ingeniería de Industrias Alimentarias** de la Facultad de **Ingeniería** de la Universidad Nacional de Jaén, identificado (a) con DNI **75773080**.

Declaro bajo juramento que:

1. Soy Autor del trabajo titulado:

“ESTADO DE LA TÉCNICA PARA LA TECNOLOGÍA DE ULTRASONIDO EN EL PROCESAMIENTO DE FRUTAS Y HORTALIZAS Y UNA APLICACIÓN PRÁCTICA”.

Asesorado por el **Dr. Ernesto Hernández Martínez**.

El mismo que presento bajo la modalidad de **manera presencial** para optar; el Título Profesional de **Ingeniero de Industrias Alimentarias**.

2. El texto de mi trabajo final respeta y no vulnera los derechos de terceros, incluidos los derechos de propiedad intelectual. En el sentido, el texto de mi trabajo final no ha sido plagiado total ni parcialmente, para la cual he respetado las normas internacionales de citas y referencias de las fuentes consultadas.

3. El texto del trabajo final que presento no ha sido publicado ni presentado antes en cualquier medio electrónico o físico.

4. La investigación, los resultados, datos, conclusiones y demás información presentada que atribuyo a mi autoría son veraces.

5. Declaro que mi trabajo final cumple con todas las normas de la Universidad Nacional de Jaén.

6. Soy consciente de que el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, es objeto de sanciones universitarias y/o legales.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Nacional de Jaén y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Fecha: Jaén, 30 de septiembre del 2025.



Ana Luz Bermeo Herrera.

“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”

ANEXO N°06:

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD Y DE NO PLAGIO DE LA TESIS (PREGRADO)

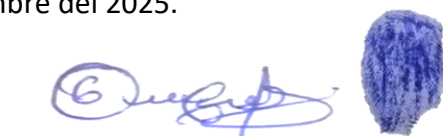
Yo, **Grimanes Condezo Huaman**, egresado de la carrera Profesional de **Ingeniería de Industrias Alimentarias** de la Facultad de **Ingeniería** de la Universidad Nacional de Jaén, identificado (a) con DNI **74757231**.

Declaro bajo juramento que:

1. Soy Autor del trabajo titulado:
“ESTADO DE LA TÉCNICA PARA LA TECNOLOGÍA DE ULTRASONIDO EN EL PROCESAMIENTO DE FRUTAS Y HORTALIZAS Y UNA APLICACIÓN PRÁCTICA”.
Asesorado por el **Dr. Ernesto Hernández Martínez**.
El mismo que presento bajo la modalidad de **manera presencial** para optar; el Título Profesional de **Ingeniero de Industrias Alimentarias**.
2. El texto de mi trabajo final respeta y no vulnera los derechos de terceros, incluidos los derechos de propiedad intelectual. En el sentido, el texto de mi trabajo final no ha sido plagiado total ni parcialmente, para la cual he respetado las normas internacionales de citas y referencias de las fuentes consultadas.
3. El texto del trabajo final que presento no ha sido publicado ni presentado antes en cualquier medio electrónico o físico.
4. La investigación, los resultados, datos, conclusiones y demás información presentada que atribuyo a mi autoría son veraces.
5. Declaro que mi trabajo final cumple con todas las normas de la Universidad Nacional de Jaén.
6. Soy consciente de que el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, es objeto de sanciones universitarias y/o legales.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Nacional de Jaén y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Fecha: Jaén, 30 de septiembre del 2025.



Grimanes Condezo Huaman.

ÍNDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT.....	2
I. INTRODUCCIÓN.....	3
II. MATERIALES Y MÉTODOS.....	5
2.1. De la revisión sistemática.....	5
2.1.1. Metodología PRISMA para selección de artículos científicos	5
2.1.2. Estrategias de búsqueda	5
2.1.3. Criterios de inclusión y exclusión	6
2.1.4. Aplicación de Metodología Prisma.....	6
2.1.5. Análisis de datos de revisión sistemática.....	8
2.2. De la aplicación práctica	8
2.2.1. Materia prima.....	8
2.2.2. Recursos	8
2.2.3. Variables	9
2.2.4. Métodos de análisis.....	10
2.2.5. Procedimiento experimental	12
2.2.6. Diseño experimental	13
2.2.7. Análisis de datos	14
III. RESULTADOS	15
3.1. Resultados de la sistematización de ultrasonidos en frutas y hortalizas de los artículos científicos.	15
3.1.1. Equipos utilizados en el procesamiento de frutas y hortalizas.....	15
3.1.2. Tecnologías Combinadas	19
3.1.3. Variables dependientes estudiadas después de aplicar ultrasonidos.....	23
3.2. Resultados de la aplicación práctica de ultrasonido con naranja variedad Valencia. 31	
3.3.1. Análisis del PCA.....	40
3.4.1. Análisis de ANOVA en cuanto al almacenamiento a temperatura ambiente en las cuatro variables como pérdida de peso, °Brix, pH y acidez (%)	43

IV. DISCUSIÓN.....	49
4.1. En cuanto a la revisión sistemática	49
4.2. En cuanto a la aplicación práctica en naranja valencia	50
V. CONCLUSIONES.....	53
VI. RECOMENDACIONES	54
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55
AGRADECIMIENTO	62
DEDICATORIA	63
VIII. ANEXOS.....	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	<i>Diseño factorial 2² Intensidad Ultrasonido y Temperatura de almacenamiento. ..</i>	14
Tabla 2	<i>Descripción de las características del equipo de sonda ultrasónica aplicado en frutas cítricas.</i>	16
Tabla 3	<i>Características del equipo célula de tratamiento de ultrasonido.</i>	18
Tabla 4	<i>Descripción de las características del equipo transductor utilizado en hortalizas (tomate, pimiento entre otros).</i>	19
Tabla 5	<i>Características de variables independientes de tecnologías combinadas con ultrasonido.</i>	20
Tabla 6	<i>Variables dependientes evaluadas después de aplicar ultrasonido.</i>	23
Tabla 7	<i>Variables dependientes utilizadas para diferentes frutas y hortalizas sistematizadas con su correspondiente autor.</i>	30
Tabla 8	<i>Pérdida de peso (g) por los tratamientos a baño ultrasonido bajo condiciones ambientales.</i>	70
Tabla 9	<i>pH obtenidos por los tratamientos a baño ultrasonido bajos condiciones ambientales.</i>	70
Tabla 10	<i>°Brix obtenidos por los tratamientos a baño ultrasonido bajo condiciones ambientales.</i>	70
Tabla 11	<i>Acidez (%) obtenidos por los tratamientos a baño ultrasonido bajo condiciones ambientales.</i>	70
Tabla 12	<i>Pérdida de peso (g) obtenidos por los tratamientos a baño ultrasonido bajo condiciones en refrigeración.</i>	71
Tabla 13	<i>pH obtenidos por los tratamientos a baño ultrasonido bajo condiciones en refrigeración.</i>	71
Tabla 14	<i>°Brix obtenidos de los tratamientos a baño ultrasonido bajo condiciones en refrigeración.</i>	71
Tabla 15	<i>Acidez (%) obtenidos por los tratamientos a baño ultrasonido bajo condiciones de refrigeración.</i>	72
Tabla 16	<i>Pruebas de efectos intersujetos para el tratamiento pérdida de peso bajo condiciones ambientales.</i>	72
Tabla 17	<i>Pruebas de los efectos intrasujeto para el tratamiento para pérdida de peso bajo condiciones ambientales.</i>	72

Tabla 18	<i>Pruebas de los efectos intersujetos para el tratamiento de °Brix bajo condiciones ambientales.</i>	72
Tabla 19	<i>Pruebas de los efectos intrasujeto en el tratamiento °Brix bajo condiciones ambientales.</i>	73
Tabla 20	<i>Pruebas de los efectos intersujetos del tratamiento pH bajo condiciones ambientales.</i>	73
Tabla 21	<i>Pruebas de los efectos intrasujeto para el tratamiento pH bajo condiciones ambientales.</i>	73
Tabla 22	<i>Pruebas de los efectos intersujetos para el tratamiento de acidez (%) bajo condiciones ambientales.</i>	74
Tabla 23	<i>Pruebas de los efectos intrasujeto para el tratamiento de acidez (%) bajo condiciones ambientales.</i>	74
Tabla 24	<i>Pruebas de los efectos intersujetos para el tratamiento de pérdida de peso bajo condiciones en refrigeración.</i>	74
Tabla 25	<i>Pruebas de los efectos de intrasujeto en el tratamiento pérdida de peso bajo condiciones en refrigeración.</i>	74
Tabla 26	<i>Pruebas de efectos intersujetos para el tratamiento °Brix bajo condiciones en refrigeración.</i>	75
Tabla 27	<i>Pruebas de los efectos intrasujeto para el tratamiento °Brix bajo condiciones en refrigeración.</i>	75
Tabla 28	<i>Pruebas de los efectos intersujetos para el tratamiento pH bajo condiciones en refrigeración.</i>	75
Tabla 29	<i>Pruebas de los efectos intrasujeto para el tratamiento pH bajo condiciones en refrigeración.</i>	76
Tabla 30	<i>Pruebas de los efectos intersujetos para el tratamiento acidez (%) bajo condiciones en refrigeración.</i>	76
Tabla 31	<i>Pruebas de los efectos intrasujeto para el tratamiento de acidez (%) bajo condiciones en refrigeración.</i>	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	<i>Diagrama del flujo PRISMA en la selección de artículos.....</i>	<i>7</i>
Figura 2	<i>Flujograma para conservación de naranja postcosecha con la aplicación de baño ultrasonido</i>	<i>13</i>
Figura 3	<i>Esquema del equipo de baño ultrasónico utilizado para el tratamiento de naranjas.</i>	<i>15</i>
Figura 4	<i>Esquema del equipo de sistemas de sonda ultrasónica (sistemas por lotes y continuo) aplicado para frutas cítricas.</i>	<i>16</i>
Figura 5	<i>Esquema del equipo de célula de tratamiento ultrasonido, utilizado en hortalizas.....</i>	<i>17</i>
Figura 6	<i>Esquema de un equipo de sistema de ultrasonido con transductor aplicado en hortalizas.....</i>	<i>18</i>
Figura 7	<i>Caracterización de la naranja según pérdida de peso, °Brix, pH y acidez (%) al inicio del almacenamiento..</i>	<i>32</i>
Figura 8	<i>Comportamiento de la pérdida de peso (g) de los tratamientos durante el almacenamiento bajo condiciones ambientales.....</i>	<i>33</i>
Figura 9	<i>Variación del pH de los tratamientos durante el almacenamiento bajo condiciones ambientales.</i>	<i>34</i>
Figura 10	<i>Análisis de los sólidos solubles totales °brix de los tratamientos durante el almacenamiento bajo condiciones ambientales.....</i>	<i>35</i>
Figura 11	<i>Variación de la acidez (%) de los tratamientos durante el almacenamiento bajo condiciones ambientales.</i>	<i>36</i>
Figura 12	<i>Variación de la pérdida de peso (g) bajo condiciones en refrigeración.....</i>	<i>37</i>
Figura 13	<i>Análisis del pH bajo condiciones en refrigeración.</i>	<i>38</i>
Figura 14	<i>Análisis de los sólidos solubles totales bajo condiciones de refrigeración.</i>	<i>39</i>
Figura 15	<i>Comportamiento de la acidez (%) bajo condiciones en refrigeración.</i>	<i>40</i>
Figura 16	<i>Análisis de componentes principales (PCA) aplicado en la semana 0</i>	<i>41</i>
Figura 17	<i>Análisis de componentes principales (PCA) aplicado en la semana 1</i>	<i>42</i>
Figura 18	<i>Análisis de componentes principales (PCA) aplicado en la semana 2</i>	<i>43</i>
Figura 1	<i>Recepción de la materia prima.....</i>	<i>64</i>
Figura 20	<i>Recepción de la materia prima</i>	<i>64</i>
Figura 21	<i>Selección de la materia prima.....</i>	<i>64</i>
Figura 22	<i>Materia prima seleccionada.....</i>	<i>64</i>

Figura 23	<i>Pesado de la naranja.....</i>	64
Figura 24	<i>Agua destilada para el ultrasonido de la naranja</i>	65
Figura 25	<i>Naranjas sumergidas a ultrasonido de inmersión maría.....</i>	65
Figura 26	<i>Potencia, tiempo y temperatura del baño de inmersión para el tratamiento T1 y T3</i>	65
Figura 27	<i>Potencia, tiempo y temperatura para el baño de inmersión para el tratamiento T2 y T4</i>	65
Figura 28	<i>Almacenamiento de la naranja a temperatura en refrigeración.....</i>	66
Figura 29	<i>Almacenamiento de la naranja a temperatura a ambiente</i>	66
Figura 30	<i>Destilador de agua</i>	66
Figura 31	<i>Materiales para el procedimiento (pipeta, probeta, fiola, matraz y fenolftaleína)</i>	66
Figura 32	<i>Refractómetro para la medición de °Brix.....</i>	67
Figura 33	<i>Equipo titulador</i>	67
Figura 34	<i>Muestras de jugo de naranjas</i>	67
Figura 35	<i>Jugo con naranjas mas el reactivo de fenolftaleína para titulación.....</i>	67
Figura 36	<i>Medición de °Brix de la naranja</i>	68
Figura 37	<i>Titulación de la acidez de la naranja</i>	68
Figura 38	<i>Medición de pH de la naranja.....</i>	68
Figura 39	<i>Búsqueda de documentos en Scopus</i>	69
Figura 40	<i>Resultados de las búsquedas de documentos en Scopus</i>	69

RESUMEN

El deterioro postcosecha de frutas y hortalizas constituye un desafío para la industria alimentaria, al estar asociado con factores microbiológicos, ambientales y de manejo. El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el estado del arte del ultrasonido aplicado a frutas y hortalizas y desarrollar una aplicación práctica en naranja Valencia. Para ello, se realizó una revisión sistemática siguiendo la metodología PRISMA en Scopus y Google Académico, identificándose 30 artículos publicados entre 2012 y 2022. La evidencia científica muestra que el ultrasonido, solo o combinado con tecnologías como microondas, altas presiones o campos eléctricos, contribuye a mantener parámetros de calidad como pH, °Brix, acidez y pérdida de peso.

En la fase experimental se utilizaron 54 naranjas Valencia, sometidas a intensidades de 400 y 700 W, durante 5 y 10 minutos, y almacenadas a 30 °C y 4 °C por tres semanas. Los tratamientos de mayor potencia bajo refrigeración conservaron mejor la acidez (0.03%), redujeron la pérdida de peso (6.52 g) y mantuvieron estables el pH (4.25) y los °Brix (12). El ANVA de medidas repetidas y componentes principales confirmó diferencias significativas. Se concluye que el ultrasonido es una alternativa no térmica, eficaz y sostenible para prolongar la vida útil de cítricos frescos.

Palabras clave: ultrasonido, conservación, cítricos, almacenamiento, postcosecha.

ABSTRACT

Postharvest deterioration of fruits and vegetables is a significant challenge for the food industry, being associated with microbiological, environmental, and handling factors. The objective of this study was to assess the state of the art of ultrasound applied to fruits and vegetables and to develop a practical application in Valencia oranges. A systematic review was carried out using the PRISMA methodology in Scopus and Google Scholar, identifying 30 articles published between 2012 and 2022. Scientific evidence shows that ultrasound, alone or combined with technologies such as microwaves, high pressures, or electric fields, helps preserve quality parameters such as pH, °Brix, acidity, and weight loss.

In the experimental phase, 54 Valencia oranges were subjected to ultrasound at intensities of 400 and 700 W, for 5 and 10 minutes, and stored at 30 °C and 4 °C for three weeks. High-power treatments under refrigeration better preserved acidity (0.03%), reduced weight loss (6.52 g), and maintained stable pH (4.25) and °Brix (12). Repeated-measures ANOVA and principal component analysis confirmed significant differences. It is concluded that ultrasound is a non-thermal, effective, and sustainable alternative to extend the shelf life of fresh citrus fruits.

Keywords: ultrasound, preservation, citrus, storage, postharvest.

I. INTRODUCCIÓN

La tecnología ultrasónica ha sido ampliamente estudiada durante varias décadas, principalmente en muchas aplicaciones en la industria alimentaria, con muchas ventajas, como la mejora de diversos procesos y productos de mayor calidad (Chemat & Khan, 2022). El ultrasonido definido como el uso de ondas sonoras de alta frecuencia para inducir efectos físicos y químicos en los alimentos, ha demostrado ser una técnica prometedora en la conservación de frutos y hortalizas; la aplicación de ondas ultrasónicas provoca la formación y colapso de burbujas, generando altas temperaturas y presiones locales, así como fuerzas de cizallamiento que pueden inactivar microorganismos y enzimas, manteniendo al mismo tiempo la calidad sensorial y nutricional de los productos (Chemat & Khan, 2022).

El efecto conservante de los ultrasonidos está asociado con fenómenos de cavitación de gases complejos que explican la formación y desarrollo de microburbujas en medios líquidos. Dado que, los ultrasonidos son ondas sonoras de alta frecuencia que pueden transmitirse a través de un medio líquido, en el ámbito de la tecnología de alimentos, se ha descubierto que los ultrasonidos tienen diversas aplicaciones beneficiosas, especialmente en el procesamiento y conservación de frutas y hortalizas (Martínez et al., 2012).

En cuanto a la aplicación del ultrasonido, esta técnica reduce el tiempo de tratamiento del proceso de conservación, que opera a temperaturas moderadas y que permite una mayor conservación de productos, manteniendo las propiedades nutritivas y sensoriales de frutas y hortalizas (Gelvez et al., 2021).

Estas aplicaciones de ultrasonidos son una alternativa tecnológica para prolongar la vida útil de los alimentos perecederos, utilizaron diferentes tratamientos de ultrasonidos para los diferentes tipos de frutas y hortalizas (Aadil et al., 2013).

La tecnología de ultrasonidos ha demostrado ser una herramienta versátil y efectiva para el análisis no destructivo de productos alimentarios. En el caso de las naranjas, esta técnica puede ser empleada para evaluar parámetros críticos de calidad como el pH, los grados Brix, la acidez y la pérdida de peso (Rodríguez et al., 2015).

En cuanto a la aplicación práctica se ha escogido a la naranja Valencia (*Citrus sinensis*) valorada por su jugosidad, sabor dulce y su alto contenido de jugo, características que la

hacen ideal tanto para el consumo en fresco como para la producción de jugo, la cual es producida por agricultores en la provincia de San Ignacio la que ha contribuido significativamente al desarrollo económico local, generando empleo y promoviendo prácticas agrícolas sostenibles y competitividad en mercados nacionales e internacionales, (González, 2022).

El objetivo general de este informe de tesis fue analizar mediante una revisión sistemática utilizando el método Prisma utilizando la base de datos Scopus y en el motor de búsqueda Google Académico, al estado de la técnica de la tecnología de ultrasonido aplicado en frutas y hortalizas, así como realizar una aplicación práctica del manejo del ultrasonido. Los objetivos específicos son: primero, sistematizar los equipos de ultrasonido utilizados en el procesamiento de frutas y hortalizas; segundo, sistematizar la aplicación de tecnología propiamente dicha de ultrasonido, así como su combinación con otras tecnologías, que se están utilizando como variables independientes en el estado de la técnica; tercero, sistematizar las variables dependientes utilizadas en la investigación luego de haber aplicado ultrasonidos; cuarto, aplicar la tecnología de ultrasonidos en la conservación de naranja valencia (*Citrus sinensis*), analizando pH, °Brix , acidez y pérdida de peso, utilizando dos potencias (40% y 70%), dos tiempos de aplicación de ultrasonido (5 min y 10 min) y dos temperaturas de almacenamiento (30 y 50°C).

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. De la revisión sistemática

2.1.1. Metodología PRISMA para selección de artículos científicos

Matthew et al. (2020) señala que el método PRISMA 2020 ha sido diseñada principalmente para revisiones sistemáticas de estudios que evalúan los efectos de las intervenciones sanitarias, independientemente del diseño de los estudios incluidos, siendo destinada a ser utilizada en revisiones sistemáticas que incluyen síntesis como, por ejemplo, metaanálisis de comparaciones por pares u otros métodos de síntesis estadística. Morales (2022) menciona que es una metodología que se basa en una búsqueda empírica de información, lo cual permite obtener una visión completa y estructurada de la literatura especializada sobre el tema que se aborda en el artículo en cuestión, luego para garantizar la rigurosidad y coherencia de este estudio, se siguieron los lineamientos establecidos en la metodología PRISMA, la cual implicó la definición de criterios de inclusión y exclusión, así como la realización de una búsqueda exhaustiva en bases de datos especializadas y otras fuentes relevantes como en la presente investigación realizada en la base de datos Scopus y en el motor de búsqueda Google Académico.

2.1.2. Estrategias de búsqueda

Durante todo el proceso de búsqueda, se emplearon operadores booleanos para combinar palabras clave relevantes. Esta técnica permitió realizar combinaciones efectivas y precisas, mejorando así la calidad y la exhaustividad de la búsqueda de información. La estrategia de búsqueda empleó operadores booleanos, utilizando las siguientes combinaciones para optimizar la recuperación de información relevante:

- ("ultrasound" OR "ultrasonic processing") AND ("fruits" OR "vegetables") AND ("processing" OR "preservation" OR "extraction").
- (ultrasound OR sonication) AND (fruits OR vegetables) AND (processing OR preservation OR extraction OR drying OR disinfection OR "postharvest treatment" OR quality).

2.1.3. Criterios de inclusión y exclusión

Se tuvo como criterio de inclusión filtros como limitaciones al campo de agricultura y ciencias biológicas, tipo de documento correspondiente a artículo, términos clave como "ultrasound", "sonication", "fruits" y "vegetables", fecha de publicación hasta el año 2022.

Como criterios de exclusión no se consideraron artículos científicos menores al año 2012.

2.1.4. Aplicación de Metodología Prisma

Se seleccionaron 30 artículos utilizando el método PRISMA. En Figura 1 se presenta el diagrama de flujo correspondiente, en el cual se detallan las distintas etapas del proceso de selección de artículos.

Etapas 1: Identificación

En esta etapa se recopilan todos los registros relevantes mediante una búsqueda exhaustiva:

Registros identificados en bases de datos (n = 1249): Corresponde a los artículos localizados a través de base de datos académicas Scopus y Google Académico.

Registros identificados en otras fuentes (n = 50): Son artículos encontrados por otros medios, como referencias cruzadas, búsqueda manual en revistas, tesis o sitios institucionales.

Etapas 2: Elegibilidad

Aquí se revisan todos los registros (en total 1299) y se aplican criterios de exclusión e inclusión, como el idioma, la disponibilidad del texto completo, la pertinencia con el tema (ultrasonido en frutas y hortalizas), y el año de publicación.

Registros de exclusión e inclusión identificados en bases de datos (n = 1299): Es la suma total de registros recuperados de todas las fuentes y a los que se les aplica el filtro inicial. Por lo tanto, existen 1205 registros que no cumplen con los criterios de búsqueda para la investigación; el gestor de referencias bibliográficas Zotero versión 7 se utilizó en la presente etapa en la identificación de registros duplicados.

Etapa 3: Selección

Se realiza una lectura más detallada de los títulos y resúmenes (y, si es necesario, del texto completo) para verificar que los artículos realmente correspondan a los criterios establecidos para el estudio.

Registros que correspondieron a la búsqueda (n = 94): Son los artículos que sí cumplen con los criterios definidos y que abordan directamente la temática investigada. Se tienen 64 artículos que no tiene relevancia con los temas de investigación y fueron descartados.

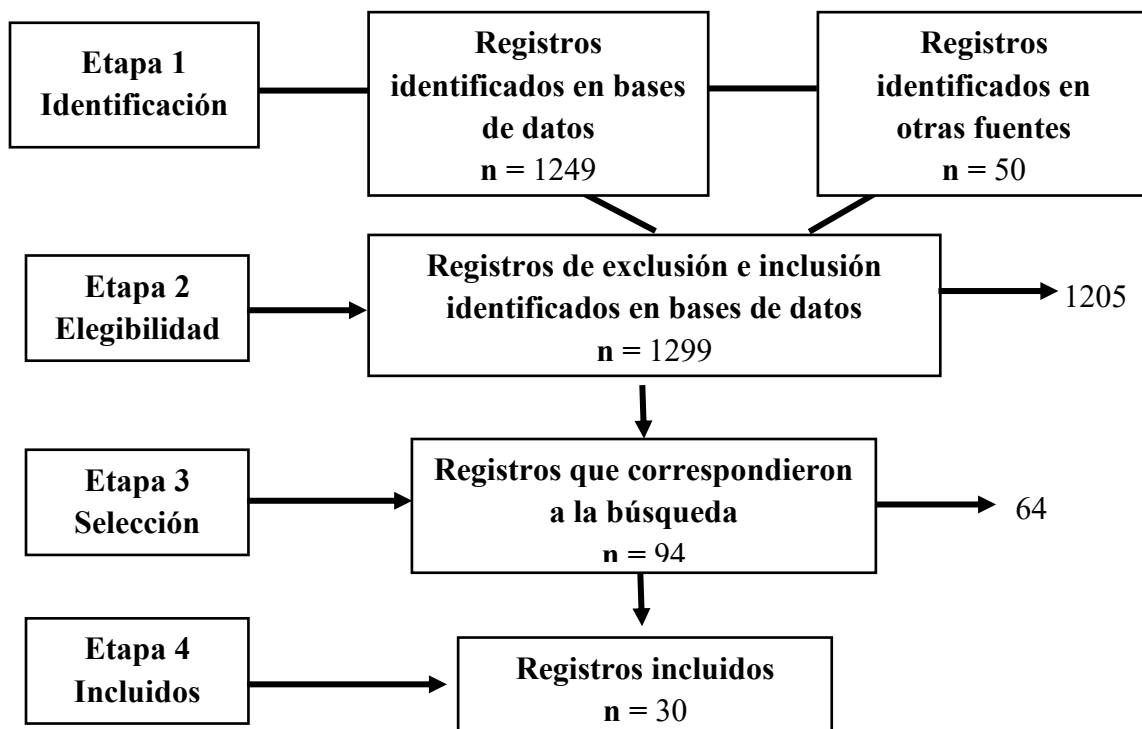
Etapa 4: Incluidos

Finalmente, se seleccionan los estudios más relevantes y de mayor calidad para el análisis final.

Registros incluidos (n = 30): Estos son los artículos que se consideraron apropiados para formar parte del cuerpo principal de la revisión, tras aplicar todos los filtros y evaluaciones.

Figura 2

Diagrama del flujo PRISMA en la selección de artículos



Nota: Adaptado de Matthew et al. (2020)

2.1.5. Análisis de datos de revisión sistemática

Fueron sistematizadas variables cuantitativas dependientes en Tablas, como son la relación de variables independientes de tecnologías combinadas con ultrasonido, y variables dependientes evaluadas por diferentes autores después de aplicar ultrasonidos.

2.2. De la aplicación práctica

2.2.1. Materia prima

Localización: La naranja fue procedente de caserío Puerto Limón, distrito y provincia de San Ignacio, región Cajamarca, Perú.

Muestra: 9 kg de naranjas variedad Valencia.

Muestreo: Para la aplicación práctica, se escogieron 54 naranjas para ser examinadas en Laboratorio de Microbiología y Toxicología de Alimentos y Laboratorio de Tecnología de Alimentos de la Universidad Nacional de Jaén en la fecha del 13 de mayo del 2024.

2.2.2. Recursos

a. Materiales

Cuchillos acero inoxidable, colador de plástico, jarras plásticas de 250 mL, fiola 100 ml, probeta 25 ml, matraz de Erlenmeyer 250 ml, pipeta 5 ml, baldes de plástico 10 L, corcho, guantes, cofias, mascarillas, guardapolvo. agua destilada.

b. Equipos

Balanza electrónica, marca Ohaus, modelo Ohaus Scout STX123; Congeladora marca Eurolab, modelo Eurolab – 86; Refractómetro marca ATC; Potenciómetro (pH metro) marca Hanna, modelo HI2211; Baño ultrasonido marca DAIHAN Scientific, modelo WUC-A22H, capacidad 10 a 22 litros.

c. Reactivos

Fenolftaleína, hidróxido de sodio 1N.

2.2.3. Variables

Variables independientes

- **Primera variable: Intensidad de ultrasonido**, esta variable tiene 3 niveles:

1er Nivel: No se aplica ultrasonidos.

2do Nivel: Tiene como parámetros de ultrasonido a potencia 400 W, tiempo de inmersión 5 minutos, temperatura de inmersión 30 °C.

3er Nivel: Tuvo como parámetros de ultrasonido a potencia 700 W, tiempo de inmersión bajo el agua 10 minutos, temperatura de inmersión 50 °C.

- **Segunda variable: Temperatura ambiental de almacenamiento**, esta variable tuvo dos niveles:

1er Nivel: A temperaturas de refrigeración correspondiente a 4 °C.

2do Nivel: A temperatura del medio ambiente correspondiente a 30 °C.

- **Tercera variable: Tiempo de almacenamiento**, esta variable tuvo tres niveles:

1er Nivel: Al inicio del experimento que fue en el día 0.

2do Nivel: Una semana después de haber realizado el almacenamiento.

3er Nivel: Dos semanas después de haber realizado el almacenamiento.

Variables dependientes

Las variables dependientes que se analizaron fueron las siguientes:

- pH
- Grados brix
- Acidez
- Pérdida de peso

2.2.4. Métodos de análisis

a) Evaluación del pH

La interacción de las ondas ultrasónicas con el producto permite detectar cambios en las propiedades acústicas que están relacionadas con el pH del fruto (Chemat & Khan, 2020; Antonio, 2010).

Procedimiento

Se utilizó 10 ml de cada muestra de jugo de la naranja, se calibro el pH metro digital con buffer de 4.00 y 7.00, después de 3 minutos que se estabilizó, se tomó lectura de los resultados de la muestra.

b) Medición de grados °Brix

Los grados Brix, que representan la concentración de azúcares solubles en el jugo de la naranja, son un parámetro crucial para evaluar la dulzura del fruto; la velocidad del sonido en un líquido está correlacionada con su concentración de azúcar, según estudios han demostrado que esta técnica proporciona resultados precisos y confiables (Contreras et al., 1992).

Procedimiento

Se utilizó 10 ml de jugo de la naranja en la pipeta, luego se colocó 2 gotas en el lente ocular del refractómetro de 0 - 32 °Brix y se procedió a observar el valor de los sólidos solubles totales que contiene el jugo.

c) Determinación de la acidez

La acidez es otro factor clave que influye en el sabor y la calidad de las naranjas. La técnica de ultrasonidos puede medir la velocidad y atenuación del sonido en el jugo de naranja, lo que se ve afectado por la acidez del mismo, estos cambios en las propiedades acústicas pueden ser utilizados para evaluar la acidez de manera efectiva (Pereira y Vicente, 2021).

Procedimiento

Se retiró con la pipeta 10 ml de jugo de la naranja y se colocó en una fiola de 50 ml, se diluyó con agua destilada hasta los 50 ml, se extrajo de la fiola 25 ml de dilución y se colocó en la probeta, luego se agregó los 25 ml de la probeta al matraz de 250 ml, se añadió 3 gotas del reactivo fenolftaleína (1N), se agitó y se tituló la dilución, hasta obtener un color rosa claro.

Fórmula utilizada para calcular la acidez:

$$\text{Acidez \%} = \frac{\text{PE (ácido)} \times \text{V NaOH} \times \text{N NaOH}}{\text{V jugo de naranja}} \times 100$$

PE = Peso equivalentes.

V(NaOH) = Volumen de la solución de hidróxido de sodio.

N (NaOH) = Normalidad del hidróxido de sodio.

V Jugo = Volumen del jugo de naranja titulado.

d) Análisis de la pérdida de peso

La pérdida de peso durante el almacenamiento y transporte es una preocupación significativa en la industria de las naranjas.

Los ultrasonidos pueden detectar cambios en la estructura interna de las naranjas, como la pérdida de agua, que se refleja en las propiedades acústicas del fruto, esta técnica proporciona una manera no invasiva de monitorear la pérdida de peso a lo largo del tiempo (Awad et al., 2022).

Procedimiento

Se pesó la naranja en una balanza electrónica, luego fue sometida a un baño de inmersión dentro del equipo ultrasonido, luego de cumplir con los tiempos indicados, también se pesaron las naranjas después de 1 semana, así como después de 2 semanas, en condiciones tanto de temperaturas de refrigeración (4 °C) así como a temperatura ambiente (30 °C) con la finalidad de analizar su pérdida de peso.

2.2.5. Procedimiento experimental

En la Figura 2 se muestra el procedimiento experimental.

La descripción de las operaciones unitarias se muestra a continuación:

Recepción: La materia prima fue seleccionada asegurando que no presentara daños organolépticos, se clasificó según un único grado de madurez en cuanto al color, y posteriormente fue trasladada a las instalaciones del Laboratorio de Microbiología y Toxicología de Alimentos del campus universitario de la UNJ.

Clasificación: Se clasificó la naranja valencia a un solo tamaño (10 cm de diámetro).

Lavado: Se lavaron las naranjas para eliminar alguna impureza presente en ellas.

Pesado: Se pesó las naranjas, que fueron sometidas a los tratamientos mediante el baño de ultrasonido.

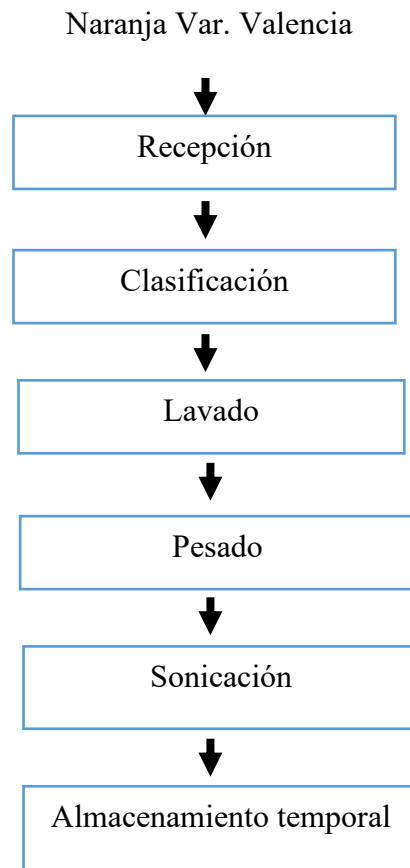
Sonicación: Se utilizó el baño de ultrasonido (Marca: DAIHAN Scientific, Modelo: WUC-A22H o WUC-A10H, Volumen entre 10 a 22 litros) en donde las naranjas se sometieron a cambios fisicoquímicos aplicando las variables de materia de estudio a diferentes tiempos de aplicación (5 min y 10 min), potencias (400 W y 700 W), temperaturas (30 ° C y 50 °C), cuya combinación dieron origen a los tratamientos. Se caracterizó las naranjas materia de estudio en cuanto a su pH, acidez, °brix

Almacenamiento temporal: Se encuentran aplicadas las variables de materia de estudio a diferentes tiempos (5 min y 10 min), a temperatura ambiente y refrigerada. Así también se caracterizó la naranja, materia de estudio, una semana después de haber iniciado la experimentación con fines de comparación de la caracterización con el día de inicio de almacenamiento.

En esta etapa se analizaron los parámetros fisicoquímicos de las naranjas que se encuentran en los tratamientos descritos en el diseño experimental, como son el pH, °Brix, acidez y su pérdida de peso.

Figura 3

Flujograma para conservación de naranja postcosecha con la aplicación de baño ultrasonido.



2.2.6. Diseño experimental

Se tiene un diseño mixto factorial 2×2 con medidas repetidas en el tiempo, como se muestra en la Tabla 1.

Para el diseño factorial 2×2 se tiene como factores entre-sujetos (entre grupos).

- Primer Factor: Intensidad de ultrasonido (2 niveles).

I_1 = Baja intensidad, correspondiente a potencia 400W, temperatura de inmersión 30°C, tiempo de inmersión 5 minutos.

I_2 = Alta intensidad, correspondiente a potencia 700W, temperatura de inmersión 50°C, tiempo de inmersión 10 minutos.

- 2.º Factor Temperaturas de almacenamiento (2 niveles).

Temp1 = Temperatura 30 °C.

Temp2 = Temperatura 4 °C.

En la Tabla 1 se muestran los tratamientos y su diseño factorial 2².

Tabla 1

Diseño factorial 2² Intensidad Ultrasonido y Temperatura de almacenamiento.

Tratamientos	Intensidad de Ultrasonido	Temperatura de almacenamiento (°C)
T1	I1	30
T2	I1	4
T3	I2	30
T4	I2	4

Además, los tratamientos fueron sometidos a un almacenamiento durante 3 semanas donde se evaluaron la pérdida de peso, pH, °Brix y acidez durante cada semana. Para aplicar las medidas repetidas en el tiempo se tiene a un solo factor intra-sujeto (dentro del grupo), correspondiente a:

- Tiempo de evaluación

t₀ = Semana 0

t₁ = Semana 1

t₂ = Semana 2

2.2.7. Análisis de datos

Se aplicó un análisis de varianza (ANVA) de medidas repetidas utilizando el programa XLSTAT, correspondientes individualmente a la semana 0, semana 1, semana 2, así como las comparaciones del valor de *p* entre el periodo de las semanas, semana 0, semana 1 y semana 2.

Se realizaron tres diagramas de componentes principales PCA correspondientes a cada semana de almacenamiento, comparando los 5 tratamientos (T0, T1, T2, T3 y T4) y las 4 variables dependientes (pH, pérdida de peso, brix y porcentaje de acidez).

III. RESULTADOS

3.1. Resultados de la sistematización de ultrasonidos en frutas y hortalizas de los artículos científicos.

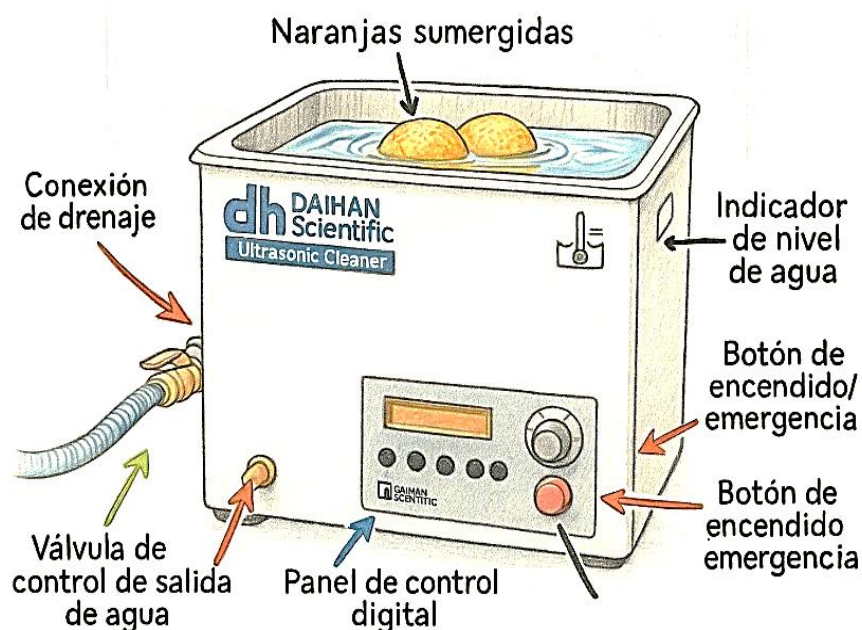
3.1.1. Equipos utilizados en el procesamiento de frutas y hortalizas

Entre los equipos que utilizaron los investigadores tenemos los siguiente como baños de ultrasonido (Marca: DAIHAN Scientific, Modelo: WUC-A22H o WUC-A10H, Volumen: Entre 10 a 22 litros), sistemas de sonda ultrasónica (sistemas por lotes y continuo), célula de tratamiento de ultrasonido, sistema de ultrasonido con transductor, utilizados para frutas y hortalizas. Las Figuras de los equipos fueron elaboradas mediante el software DALL*E lo cual está asociada con la inteligencia artificial para generar imágenes, esquemas, entre otros y luego fueron editadas en con el software Canva.

En la Figura 4 se muestra el equipo de baño ultrasonido aplicados en algunas investigaciones, donde también se presentan las características del equipo utilizado en el laboratorio de Microbiología y Toxicología de Alimentos y laboratorio de Tecnología de Alimentos de la Universidad Nacional de Jaen.

Figura 4

Esquema del equipo de baño ultrasónico utilizado para el tratamiento de naranjas.



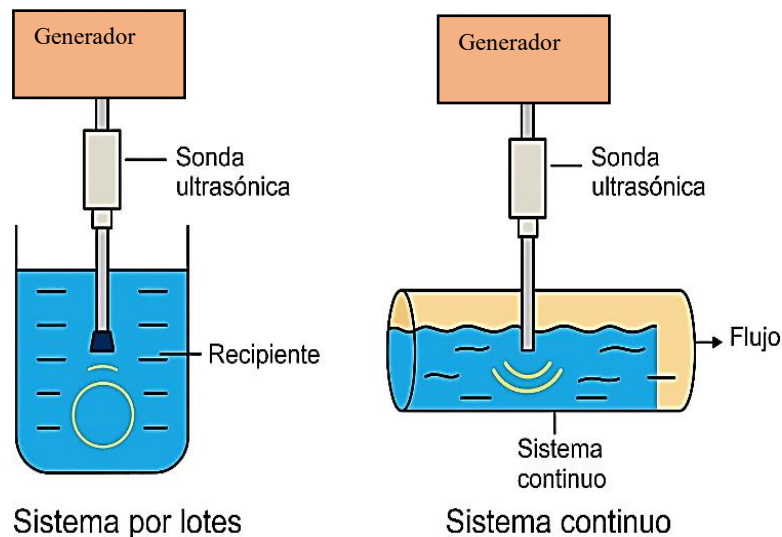
Nota. Elaboración propia.

El equipo mostrado en la Figura 4 tiene como características que se puede regular temperatura del agua entre 20 °C y 80 °C, potencia entre de 20 W y 80 W, frecuencia ultrasónica 40 kHz y su capacidad de la bandeja corresponde entre 10 a 22 litros.

En la Figura 5 se muestra el equipo sistemas de sonda ultrasónica aplicados en algunas investigaciones; mientras que en la Tabla 2 se presentan las características del equipo utilizado.

Figura 5

Esquema del equipo de sistemas de sonda ultrasónica (sistemas por lotes y continuo) aplicado para frutas cítricas.



Nota. Elaboración propia.

En la Tabla 2 presenta las características de los equipos de ultrasonido empleados en el procesamiento de frutas cítricas, diferenciando entre sistemas por lotes y sistemas continuos.

Tabla 2

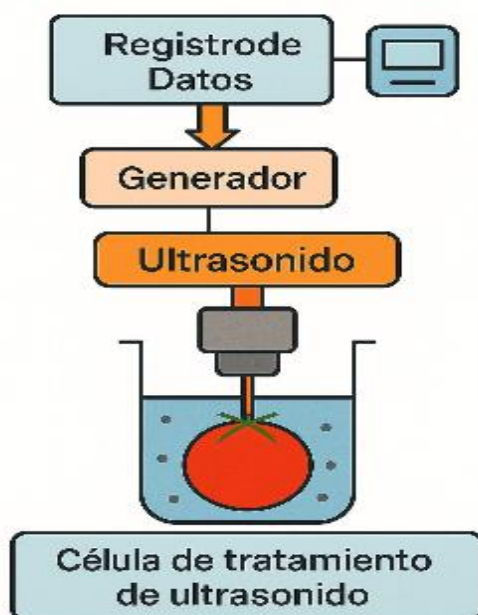
Descripción de las características del equipo de sonda ultrasónica aplicado en frutas cítricas.

Materia prima o producto terminado	Características	Referencias
Frutas cítricas	- Este equipo de sistemas por lotes tiene una potencia de (100 W y 750 W), frecuencia (20 kHz y 40 kHz), temperatura de (20 °C a 40 °C) y su de capacidad (50 mL hasta 5 litros). - Este equipo por sistemas continuo tiene una potencia de (500 W hasta más de 4000 W), frecuencia de (18–40 kHz), temperatura (4 °C a 40 °C) y una capacidad de 5 hasta 1000 litros.	Zinoviadou et al. (2015)

En la Figura 6 se muestra el esquema del equipo de célula aplicados en algunas investigaciones; mientras que en la Tabla 3 se presentan las características del equipo utilizado.

Figura 6

Esquema del equipo de célula de tratamiento ultrasonido, utilizado en hortalizas.



Nota. Elaboración propia.

La Tabla 3 muestra las características del equipo de ultrasonido utilizado en el procesamiento del tomate, ya sea como materia prima o producto terminado.

Tabla 3

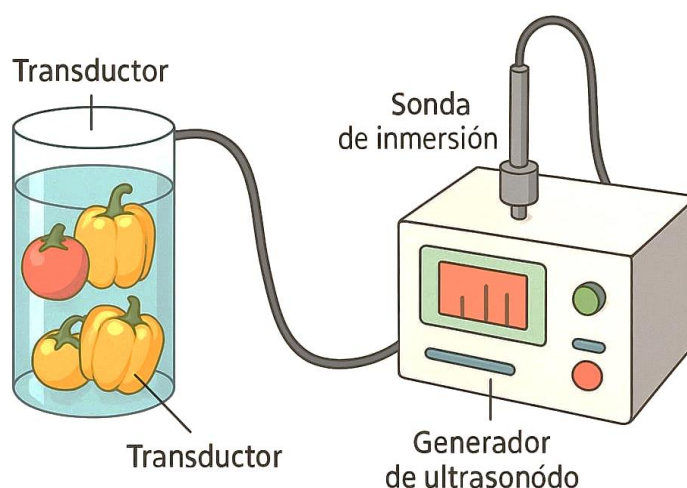
Características del equipo célula de tratamiento de ultrasonido.

Materia prima o producto terminado	Características	Referencias
Tomate	Este equipo trabaja con frecuencia de 20 y 100 KHz, dependiendo del tipo del producto.	El Darra (2013)
	La potencia es de 100 y 1000 Watts dependiendo del volumen del líquido y la intensidad requerida.	
	El volumen de la célula puede variar entre 500 ml y 5 litros. La temperatura (20 y 40 °C).	

En la Figura 7 se muestra el equipo transductor aplicado en algunas investigaciones; mientras que en la Tabla 4 se presentan las características del equipo utilizado

Figura 7

Esquema de un equipo de sistema de ultrasonido con transductor aplicado en hortalizas



Nota. Elaboración propia.

La Tabla 4 presenta las características del equipo de ultrasonido empleado en el procesamiento de hortalizas, como pimiento y tomate, tanto a nivel de laboratorio como en aplicaciones industriales.

Tabla 4

Descripción de las características del equipo transductor utilizado en hortalizas (tomate, pimiento entre otros).

Materia prima o producto terminado	Características	Referencia
Hortalizas (pimiento, tomate entre otros).	Este equipo tiene potencia de 100 – 1000 W, frecuencia es de 20 – 40 kHz, temperatura de 20 – 50 °C, con una capacidad de 250 mL – 5 L (en laboratorio); hasta cientos de litros en escala industrial.	Wang et al. (2015)

3.1.2. Tecnologías Combinadas

En la Tabla 5 se muestran las tecnologías combinadas en la cual se aplican ultrasonido, para la cual se ha expresado como una segunda variable independiente, en donde la primera variable independiente correspondería al ultrasonido.

Tabla 5

Características de variables independientes de tecnologías combinadas con ultrasonido.

Variables asociadas	Alimento	Características	Referencia
Campo eléctrico	Toronja (Jugo)	Efectos combinados de sonicación y campo eléctrico pulsado en parámetros de calidad escogidos del zumo de toronja. Se bombearon las muestras de zumo de toronja a un caudal de 80 mL/min con una frecuencia de pulso de 1 kHz, con una intensidad de campo eléctrico de 20 kV/cm durante 600 m, a través de la cámara de tratamiento para recibir el tratamiento PEF.	Aadil et al. (2015)
	Uva (Jugo)	Efectos combinados del campo eléctrico y los ultrasonidos sobre los compuestos biológicos y la calidad microbiana del jugo de uva Efecto combinado del ultrasonido (US) y el campo eléctrico (PEF): 20 kV cm ² , temperatura: 40 °C, tiempo: 600 μs) baño de ultrasonidos 600 W a 28 kHz y 20 °C durante 30 min.	Aadil et al. (2018)
Secado de alimentos	Plátano cv Pacovan	Efecto del ultrasonido en el proceso de secado del plátano cv Pacovan fue evaluado. Se realizó un pretratamiento de ultrasonido a 30 °C, seguido por el secado en un secador de lecho fijo a dos temperaturas distintas (50 y 70 °C) y con una velocidad de aire de 3,0 m/s.	Azoubel et al. (2010)
		Efecto de pretratamientos elegidos en la impregnación de curcuminoides y su efecto en las propiedades fisicoquímicas de las rodajas de plátano	

Blanqueado y Vacío	Rodajas de plátano crudo	crudo, escaldado, ultrasonido y al vacío. Tratamientos en agua pura y en una solución de cloruro de sodio al 10 %.	Bellary & Rastogi (2014)
Termosonificación	Jugo de arándanos	La ultrasonificación se llevó a cabo a una temperatura de 60°C, con una frecuencia de 20 kHz, un ciclo de trabajo del 50% y durante 15 minutos. El experimento fue realizado utilizando tres niveles de potencia distintos: 200, 400 y 600 W, los cuales se identificaron como TS200, TS400 y TS600, respectivamente.	Evelyn et al. (2016)
Microondas	Sandía	La sonicación se usó en varios lapsos de tiempo, especialmente de 2 a 8 minutos a una frecuencia de 20 kHz y una potencia de 525 W. La combinación de ultrasonido (US) y microondas (MW) tiene un efecto en la fisicoquímica y fotoquímica del jugo de sandía durante el almacenamiento de hasta 120 días. Los microondas se utilizaron en dos intervalos de tiempo diferentes (1 min 50 s y 2 min) con una potencia de 1000 W y una frecuencia de 2450 Mega Hertz.	Navida et al. (2022)
Microondas	Jugo de Mora	El jugo de mora sonificado (40 % de amplitud, 20 KHz, 10 min) se expuso a microondas y ultrasonido y posteriormente se almacenó a 5°C + 1°C durante un mes para evaluar su efecto sobre los compuestos bioactivos y la calidad microbiológica.	Pérez-Grijalva et al. (2018)

Altas presiones	Jugo de tomate	Homogeneización a alta presión versus sonicación del jugo de tomate: efectos sobre la estabilidad in vitro y la bioaccesibilidad de los carotenoides mediante homogeneización a alta presión (HPH). Los tomates frescos se limpiaron y lavaron a 60 °C, luego se filtraron a través de un tamiz de acero (0,8 a 1,0 mm) para quitar la piel y las semillas.	Zhang et al. (2019)
	Jugo de Manzana	El modelado de la inactivación de ascosporas de <i>Neosartorya fischeri</i> en jugo de manzana se lleva a cabo mediante alta presión, ultrasonido de potencia y procesamiento térmico. La eficiencia de la combinación de alta presión (HPP, 600 MPa) y ultrasonido de alta potencia (24 kHz, 0,33 W/mL) a 75°C para la inactivación de muestras de cuatro semanas de edad.	Zhang et al. (2019)

3.1.3. Variables dependientes estudiadas después de aplicar ultrasonidos

En la Tabla 6 se muestra una recopilación de las variables dependientes, las cuales han sido evaluadas luego de aplicar ultrasonido en diferentes frutas y hortalizas.

Tabla 6

Variables dependientes evaluadas después de aplicar ultrasonido.

Frutas, vegetales o proceso	Variables dependientes	Referencia
Toronja (jugos)	• pH, sólidos solubles totales (°Brix) y acidez. • pH, sólidos solubles totales (°Brix) y acidez. • El pardeamiento no enzimático y valor de color. • Determinación de ácido ascórbico. • Contenidos de fenoles totales, flavonoides y flavonoles. • Actividad de eliminación de radicales libres de DPPH. • Capacidad antioxidante.	Aadil (2013)
	• Acidez titulable, °Brix, pH, conductividad eléctrica. • Valor de turbidez, oscurecimiento no enzimático (NEB). • Análisis de viscosidad y color.	Aadil et al. (2015)
	• Acidez titulable, °Brix, pH, conductividad eléctrica, • Valor de turbidez, oscurecimiento no enzimático (NEB). • Análisis de viscosidad y color. • Valor de turbidez, oscurecimiento no enzimático (NEB). • Análisis de viscosidad y color.	Aadil et al. (2017)

Tomate (jugo y pasta)	• °Brix, pH, densidad y viscosidad. • El tamaño de partícula. • Tiempo de proceso de concentración. • Consumo total de energía. • Medición de vitamina C.	Alaei et al. (2022)
Tomate (jugo)	• Sólidos solubles totales (-Brix), acidez titulable y pH. • Color. • Determinación de ácido ascórbico. • Análisis de levadura.	Adekunte et al. (2010)
Lima (jugo)	• Sólidos solubles totales (-Brix) y pH. • Acidez valorable. • Análisis de color. • Determinación de ácido ascórbico. • Fenólicos totales, flavonoides y flavonoles. • Capacidad antioxidante. • Análisis microbiológico.	Bhat (2011)
Vino	• Determinación de antocianinas. • Determinación de proantocianidinas. • Parámetros espectrofotométricos.	Bautista (2017)
Plátano	• Estimación de curcuminoides. • Análisis de textura. • Análisis de color. • Examen de microestructura.	Bellary (2014)

Fresa	• Microbiológico (Bacterias Aerobios Mesófilas y Mohos y levaduras). • Sólidos solubles. • Acidez titulable. • Vitamina C. • Firmeza.	Cao (2010)
Fermentaciones rojas	• pH y materia soluble total brix. • Conductividad. • Polifenoles totales. • Antocianinas. • Taninos. • Eliminación de radicales libres. • Fenoles.	El Darra (2013)
Pulpa de Guanábana	• SST (Seguridad y Salud en el Trabajo), pH y vitamina C. • Extracción y actividad de peroxidasa (POD). • Extracción y actividad de polifenoloxidasa (PPO).	Gelvez (2021)
Naranja, lima, zanahoria, espinaca (jugos)	• Capacidad fenólica. • Actividad antioxidante basada en el ensayo de eliminación de radicales libres DPPH. • Color (L* a*b*). • Análisis de carbohidratos. • Contenido de ácido ascórbico (Vitamina C).	Khandpur (2015)
Vinos y mosto	• °Brix. • Alcohol. • pH.	Martínez et al. (2021)

	• Acidez total y volátil. • Precipitación de polisacáridos solubles totales del vino. • Identificación y cuantificación de monosacáridos. • Análisis de polisacáridos. • Tonalidad.	
Arándanos (jugos)	• Levaduras y mohos. • Contenido de antocianinas. • Contenido de fenoles totales. • Actividad antioxidante. • Sólidos solubles totales, pH y acidez titulable. • Medición del color del jugo.	Mohideen (2015)
Naranja (jugos)	• Determinación de Fenólicos Totales y Flavonoides Totales. • Determinación de la actividad de eliminación de radicales libres de DPPH y la capacidad antioxidante total. • Capacidad de poder reductor.	Nadeem et al. (2022)
Manzana (jugo)	• pH, °Brix, acidez. • Contenido fenólico total. • Contenido total de flavonoides. • La actividad antioxidante. • Contenido de vitamina C. • Turbidez y oscurecimiento. • Recuento microbiano.	Nayak (2020)

Carambola	• pH, Acidez titulable y sólidos solubles totales (°Brix). • Actividad antioxidante. • Carotenoides totales. • Contenido fenólico total y contenido total de flavonoides. • Índice de turbidez y pardeamiento.	Nayak (2018)
Sandía (jugo)	• Determinación de Vitamina C (Ácido Ascórbico). • Determinación del valor de turbidez. • Determinación de Flavonoides Totales. • Determinación del Contenido Fenólico Total. • Determinación de la Actividad Antioxidante Total. • Determinación de la Viscosidad.	Navida (2022)
Vino	• Sólidos solubles, pH y acidez titulable. • Ácido glucónico. • Contenido de alcohol, el pH, el extracto seco y la acidez titulable. • Acetaldehído, glicerol, glucosa + fructosa, ácido acético y ácido glucónico. • Intensidad del color. • Fenoles totales. • Análisis de taninos. • Aislamiento de compuestos volátiles de vino y uva. • Análisis sensorial.	Pérez (2022)

Mora (jugo)	• Polifenoles totales. • Análisis de antocianinas monoméricas, densidad de color y porcentaje de color polimérico. • Capacidad antioxidante. • Contenido de polifenoles. • Análisis microbiológico.	Pérez (2018)
Melocotón (jugo)	• Distribución del tamaño de partículas (PSD). • Sedimentación de pulpa. • Nubosidad sérica (turbidez). • Color instrumental. • Propiedades reológicas.	Rojas (2016)
Bayas y manzana (Simulación de jugos)	• Inactivación por ultrasonido de <i>Escherichia coli</i>.	Salleh-Mack (2007)
Naranja (jugos)	• Prueba microbiana. • Análisis sensorial.	Samani (2015)
Vino	• Actividad antioxidante • Contenido fenólico total. • Densidad de color y pH.	Van (2021)
Fresa (jugo)	• Proteína total, sólidos solubles totales y medición del valor de pH. • Determinación del color. • Determinación de fenoles totales y flavonoides. • Determinación de la capacidad antioxidante total (TAC).	Wang (2019)

	• Determinación de ácido ascórbico, catequina, ácido ferúlico. ácido elágico y ácido gálico. • Microestructura.	
Tomates (enteros)	• Análisis microbiológico. • Determinaciones de la producción de etileno y tasa de respiración. • Determinaciones de firmeza de frutos, sólidos solubles totales y acidez total. • Determinaciones de actividades enzimáticas. • Determinaciones de antioxidantes. • Determinaciones de la capacidad antioxidante total.	Wang (2015)
Arándanos (jugo)	• Color • Contenido antioxidante (Contenido de fenoles totales, contenido total de flavonoides, contenido total de antocianinas). • Capacidad antioxidante (Capacidad de eliminación de radicales DPPH).	Wu (2021)
Tomate (jugo)	• Estabilidad in vitro y bioaccesibilidad de los carotenoides.	Zhang (2019)

En la Tabla 7 se presenta la sistematización de la información teniendo en cuenta la variable dependiente, así como la materia prima o producto final utilizado, así como los autores correspondientes.

Tabla 7

Variables dependientes utilizadas para diferentes frutas y hortalizas sistematizadas con su correspondiente autor.

Variable dependiente	Materia prima o producto terminado evaluado	Referencia
Acidez	Toronja	Aadil (2013)
	Tomate	Adekunte et al. (2010)
	Lima	Bhat (2011)
	Manzana	Evelyn (2016)
	Mosto y vinos	Martínez et al. (2021)
	Carambola	Nayak (2018)
	Vino	Pérez (2022)
	Arándanos	Wu (2021)
Sensorial	Vino	Pérez (2022)
	Naranja	Samani (2015)
Carbohidratos	Jugos de Naranja	Khandpur (2015)
	Lima	
	Zanahoria	
	Espinaca	
Microbiológico	Toronja	Aadil et al. (2017)
	Lima	Bhat (2011)
	Fresa	Cao (2010)
	Mora	Pérez (2018)
		Wang (2015)
Color	Tomate	Adekunte et al. (2010)
	Banana	Bellary (2014)
	Lima	Bhat (2011)
	Vino	Pérez (2022)
	Arándanos	Wu (2021)
	Melocotón	Rojas (2016)
Brix	Toronja	Aadil (2013)
	Jugo de tomate	Adekunte et al. (2010)
	Pasta de tomate	Alaei et al. (2022)
	Lima	Bhat (2011)
	Vinos	El Darra (2013)
	Mosto y vinos	Martínez et al. (2021)

	Manzana	Nayak (2020)
Densidad	Mora	Pérez (2018)
	Vinos	Van Wyk (2021)
Fenoles totales, flavonoïdes y flavonoles	Toronja	Aadil (2013)
	Vinos	El Darra (2013)
	sandia	Navida (2022)
	Manzana	Nayak (2020)
	Fresa	Wang (2019)
	Arándanos	Wu (2021)
Potencial de hidrogeno (pH)	Toronja	Aadil (2013)
	Tomate	Alaei et al. (2022)
	Lima	Bhat (2011)
	Vinos	El Darra (2013)
	Guanábana	Gelvez (2021)
	Mostos y vinos	Martínez et al. (2021)
	Arándanos	Mohideen (2015)
	Carambola	Nayak (2018)
	Manzana	Nayak (2020)

3.2. Resultados de la aplicación práctica de ultrasonido con naranja variedad Valencia.

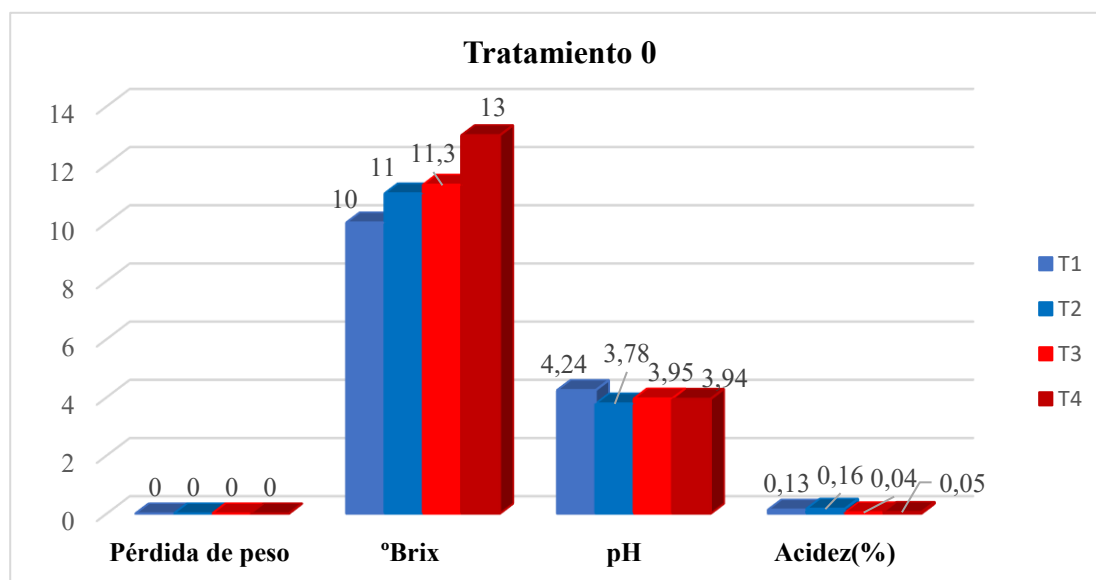
Mediante gráficas se muestran la relación entre las variables de investigación como son el pH, °Brix, % acidez y pérdida de peso versus el tiempo de almacenamiento durante las 3 semanas. Donde se observaron que hubo cambios durante el procesamiento tanto a temperatura ambiente como refrigerada, pero manteniéndose en algunas semanas los cambios y en otras semanas no, esto se debe al tiempo de almacenamiento que tuvo la materia prima a la que fue sometida a baño de ultrasonido.

A continuación, se detallan todos los resultados obtenidos durante el análisis de tratamiento a baño con ultrasonido, donde se evaluó durante 3 semanas.

Semana 0: Se analizó 8 naranjas, las cuales no pasaron por ningún tratamiento de baño ultrasonido donde estas se consideraron patrones, luego se realizaron los análisis fisicoquímicos como pérdida de peso, °Brix pH y Acidez (%), los resultados se muestran en la siguiente Figura 8:

Figura 8

Caracterización de la naranja según pérdida de peso, °Brix, pH y acidez (%) al inicio del almacenamiento.



Al inicio del experimento los valores de pérdida de peso son 0. Los °Brix iniciales fueron de 10 para T1 y 13 para T4, indicando una diferencia en el contenido de azúcares solubles al inicio. El pH se situó en 3.24 para T1 y 3.95 para T4. La acidez inicial fue de 0.03 para T1 y 0.05 para T4, con valores muy bajos en ambos casos.

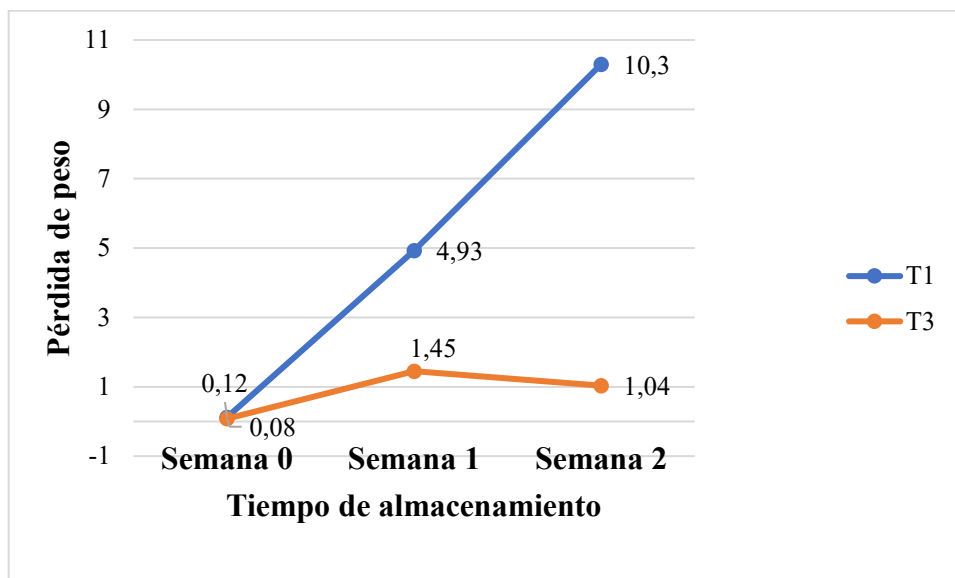
A continuación, se presentan las semanas (semana 0, semana 1 y semana 2) que fueron evaluadas bajo almacenamiento a condiciones ambientales. Se analizaron 24 naranjas que pasaron por el tratamiento de baño de ultrasonidos (US), con diferentes tiempos, temperatura y potencias, luego se realizaron los análisis fisicoquímicos como pérdida de peso, pH, °Brix y Acidez (%) de las naranjas.

a) Pérdida de peso:

En la Figura 9 se presenta la pérdida de peso de la naranja, se observa que las muestras T1 y T3 experimentaron variaciones notables en la pérdida de peso, cuyos valores se encuentran estipulados en la Tabla 8 que se muestra en anexos.

Figura 9

Comportamiento de la pérdida de peso (g) de los tratamientos durante el almacenamiento bajo condiciones ambientales.



En la Semana 0, ambos tratamientos iniciaron con pérdidas mínimas, el T1 registró 0.12, mientras que T3 fue ligeramente menor con 0.08.

En la Semana 1, se observa un aumento en ambos casos, el T1 alcanzó 4.9, mostrando una fuerte tendencia ascendente, mientras que T3 subió de manera más leve hasta 1.45.

En la Semana 2, la diferencia entre tratamientos se acentúa, el T1 llegó a 10.3, consolidando una pérdida marcada, mientras que T3 descendió ligeramente a 1.04, estabilizándose en valores bajos

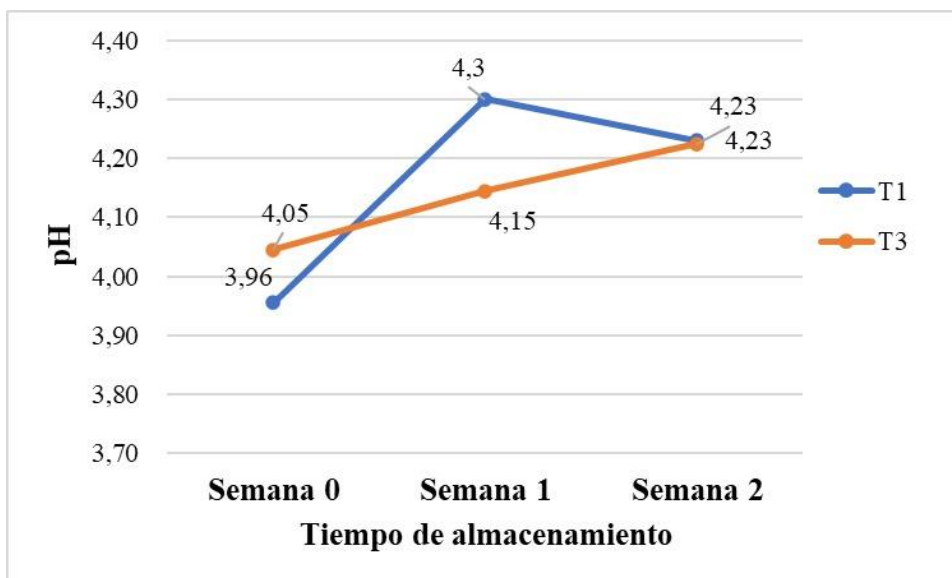
Conclusión: El tratamiento T1 presentó una pérdida de peso progresiva y significativa a lo largo de las semanas, mientras que T3 se mantuvo con pérdidas mínimas y estables, con apenas un ligero descenso en la segunda semana.

b) pH

En la Figura 10 se presenta el pH de la naranja, donde se observa que los tratamientos T1(R1 y R2), T3 (R1 y R2) experimentaron variaciones notables en el pH, cuyos valores se encuentran estipulados en la Tabla 9 que se muestra en anexos:

Figura 10

Variación del pH de los tratamientos durante el almacenamiento bajo condiciones ambientales.



En la Semana 0, el tratamiento T1 inició con un valor de 3.96, mientras que T3 fue ligeramente mayor con 4.05, ambos en rangos similares.

En la Semana 1, ambos tratamientos mostraron un pequeño incremento, el T1 llegó a 4.3 y T3 alcanzó 4.15, manteniéndose bastante cercanos.

En la Semana 2, ambos tratamientos T1 y T3 obtuvieron el mismo valor de 4.23.

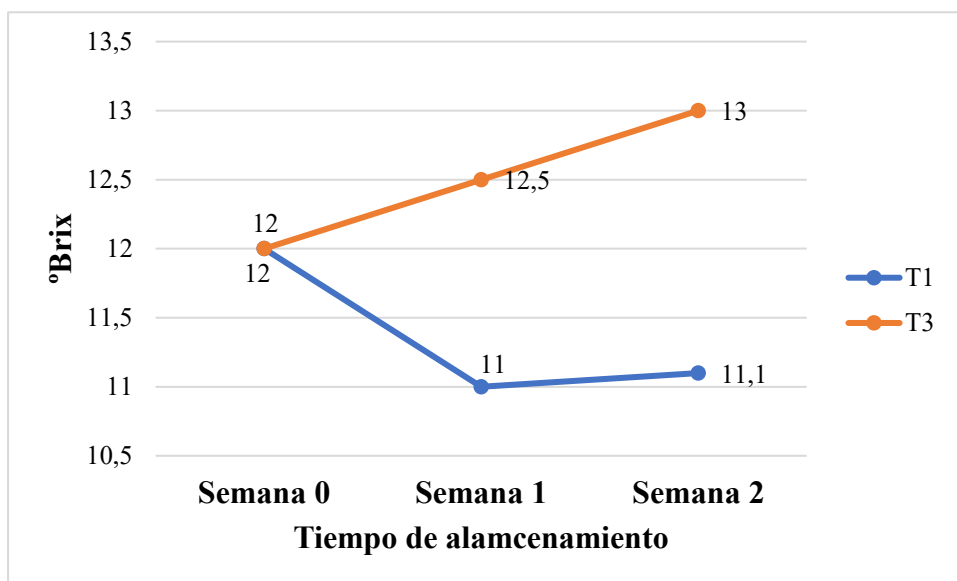
Conclusión: Durante el almacenamiento, tanto en el tratamiento T1 como en el T3, se observa un incremento gradual del pH respecto a la semana inicial, se refleja una tendencia natural hacia la disminución de la acidez en el tiempo. Sin embargo, al final del periodo de almacenamiento, ambos tratamientos convergen en un valor cercano (4.23), indicando que la aplicación de ultrasonido no generó diferencias significativas en la evolución del pH entre T1 y T3 a las dos semanas.

c) °Brix

En la Figura 11 se presenta la variación de los grados °Brix de la naranja en el tiempo bajo condiciones ambientales, se observa un incremento en los valores de °Brix a lo largo de las 3 semanas, cuyos valores se encuentran estipulados en la Tabla 10 que se muestra en anexos.

Figura 11

Análisis de los sólidos solubles totales °brix de los tratamientos durante el almacenamiento bajo condiciones ambientales.



En la Semana 0, ambos tratamientos comenzaron con el mismo valor de 12 °Brix, mostrando condiciones iniciales similares.

En la Semana 1, el tratamiento T1 descendió a 11 °Brix, indicando una ligera reducción, mientras que T3 aumentó a 12.5 °Brix, mostrando una tendencia de concentración de azúcares.

En la Semana 2, el tratamiento T1 se mantuvo casi estable, con un leve aumento a 11.1 °Brix, mientras que T3 continuó incrementando hasta 13 °Brix, consolidando una diferencia marcada respecto a T1.

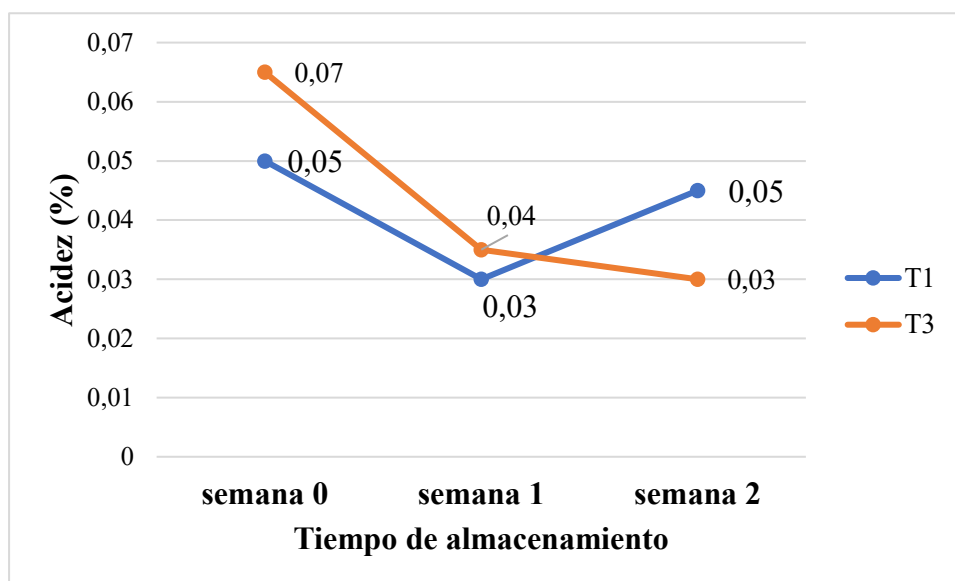
Conclusión: El tratamiento T3 mostró una tendencia ascendente en °Brix a lo largo del almacenamiento, alcanzando su punto máximo en la semana 2, mientras que T1 presentó una disminución inicial con una ligera recuperación final, manteniéndose siempre por debajo de T3.

d) Acidez

En la Figura 12, se presenta la acidez, donde los tratamientos T1(R1 y R2), T3 (R1 y R2) tiene una reacción más variada en términos de acidez, cuyos valores se encuentran estipulados en la Tabla 11 que se muestra en anexos:

Figura 12

Variación de la acidez (%) de los tratamientos durante el almacenamiento bajo condiciones ambientales.



En la Semana 0, el tratamiento T1 inició con 0.05, mientras que T3 fue mayor con 0.07, mostrando un nivel inicial más ácido.

En la Semana 1, ambos tratamientos disminuyeron. T1 bajó a 0.03, mientras que T3 descendió a 0.04, reduciendo la diferencia entre ellos.

En la Semana 2, el tratamiento T1 aumentó nuevamente a 0.05, recuperando su nivel inicial, mientras que T3 continuó descendiendo hasta 0.03, marcando la menor acidez registrada.

Conclusión: El tratamiento T1 mostró una tendencia en forma de “V”, con una caída inicial seguida de una recuperación en la semana 2. En contraste, el tratamiento T3 presentó una disminución constante en la acidez durante el almacenamiento.

A continuación, se presenta las semanas (semana 0, semana 1 y semana 2) que fueron evaluadas bajo condiciones ambientales en refrigeración: Se analizó 24 naranjas que pasaron por el tratamiento de baño de ultrasonidos (US), con diferentes tiempos, temperatura y potencias, luego se realizaron los análisis fisicoquímicos como pérdida de peso, pH, °Brix y Acidez (%) de las naranjas, por lo tanto, se describirá cada análisis:

e) Pérdida de peso (g)

En la Figura 13 se presenta la pérdida de peso en las muestras tratadas con ultrasonido y posteriormente almacenadas en condiciones refrigeradas. en cuatro tratamientos distintos T2 y T4 durante un periodo de almacenamiento de 3 semanas (semana 0, semana 1 y semana 2), cuyos valores se encuentran estipulados en la Tabla 12 que se muestra en anexos:

En la Semana 0, ambos tratamientos (T2 y T4) iniciaron prácticamente sin pérdida de peso.

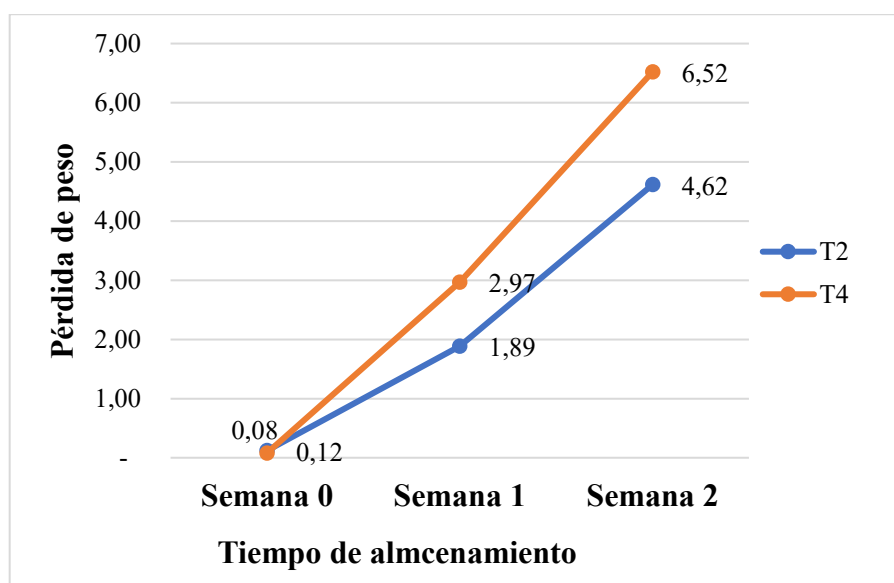
En la Semana 1, se observa un incremento moderado, el T2 alcanzó aproximadamente 2.0, mientras que T4 fue mayor con 3.0, mostrando que este tratamiento pierde más peso en menor tiempo.

En la Semana 2, la diferencia se acentuó, el T2 llegó a 4.5, mientras que T4 alcanzó un valor mucho más alto, cerca de 6.6, evidenciando una mayor pérdida acumulada en refrigeración.

Conclusión: Bajo condiciones de refrigeración, el tratamiento T4 presentó una pérdida de peso más acelerada y pronunciada durante el almacenamiento, mientras que T2 mostró un incremento progresivo, pero menos intenso.

Figura 13

Variación de la pérdida de peso (g) bajo condiciones en refrigeración.



f) pH

En la Figura 14 se presenta el pH en las muestras tratadas con ultrasonido y posteriormente almacenadas en condiciones refrigeradas. en cuatro tratamientos distintos T2 y T4 durante un periodo de almacenamiento de 3 semanas (semana 0, semana 1 y semana 2), cuyos valores se encuentran estipulados en la Tabla 13 que se muestra en anexos:

En la Semana 0, el tratamiento T2 inició con un valor de 3.98, mientras que T4 comenzó ligeramente más alto, con 4.23.

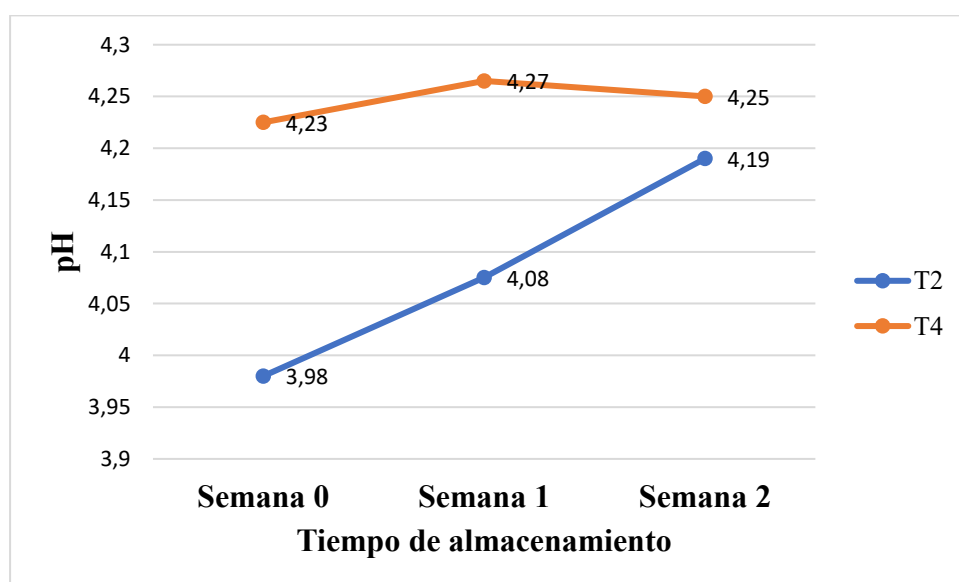
En la Semana 1, T2 mostró un ascenso a 4.08, mientras que T4 subió levemente a 4.27, manteniéndose como el de mayor pH.

En la Semana 2, T2 continuó aumentando hasta 4.19, mientras que T4 descendió apenas a 4.25, manteniendo su estabilidad.

Conclusión: En refrigeración, el tratamiento T2 presentó un incremento progresivo y sostenido de pH durante el almacenamiento, mientras que T4 se mantuvo estable con ligeras variaciones, conservando un nivel de pH siempre superior al de T2.

Figura 14

Análisis del pH bajo condiciones en refrigeración.



g) °Brix

En la Figura 15 se presenta los °Brix en las muestras tratadas con ultrasonido y posteriormente almacenadas en condiciones refrigeradas. en cuatro tratamientos distintos T2 y T4 durante un periodo de almacenamiento de 3 semanas (semana 0, semana 1 y semana 2), cuyos valores se encuentran estipulados en la Tabla 14 que se muestra en anexos:

En la Semana 0, el tratamiento T2 inició con 11 °Brix, mientras que T4 presentó un valor mayor de 12 °Brix.

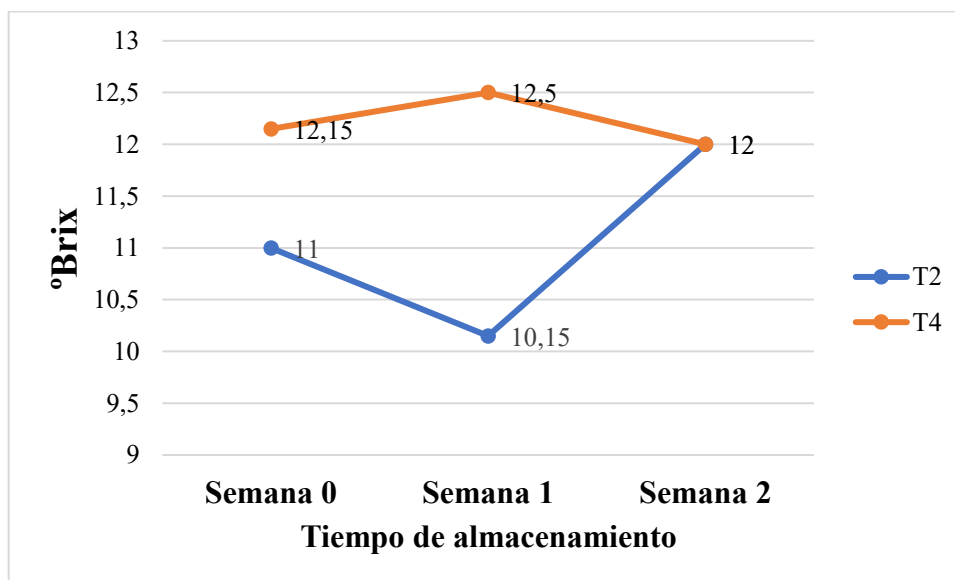
En la Semana 1, T2 disminuyó a 10 °Brix, mostrando una ligera reducción en el contenido de sólidos solubles, mientras que T4 aumentó a 12.5 °Brix, reflejando una concentración ligera de azúcares.

En la Semana 2, ambos tratamientos convergieron en 12 °Brix. T2 mostró una recuperación respecto a la semana 1, y T4 descendió ligeramente respecto a su pico en la semana 1.

Conclusión: En refrigeración, el tratamiento T2 presentó una disminución inicial seguida de una recuperación, mientras que T4 mostró un incremento hasta la semana 1 y luego una ligera reducción, terminando ambos en un valor similar (12 °Brix).

Figura 15

Análisis de los sólidos solubles totales bajo condiciones de refrigeración.



h) Acidez (%)

En la Figura 16 se presenta la acidez (%) en las muestras tratadas con ultrasonido y posteriormente almacenadas en condiciones refrigeradas. en cuatro tratamientos distintos

T2 y T4 durante un periodo de almacenamiento de 3 semanas (semana 0, semana 1 y semana 2), cuyos valores se encuentran estipulados en la Tabla 15 que se muestra en anexos.

En la Semana 0, el tratamiento T2 inició con 0.06%, mientras que T4 comenzó con un valor menor de 0.03%.

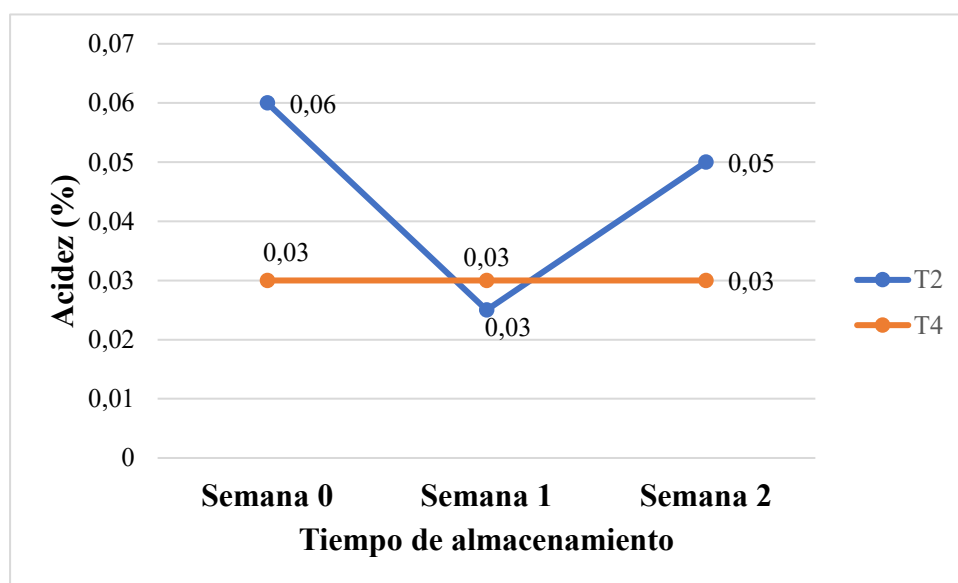
En la Semana 1, T2 descendió marcadamente hasta 0.03%, igualando el valor constante de T4.

En la Semana 2, T2 mostró una recuperación hasta 0.05%, mientras que T4 permaneció estable en 0.03% durante todo el almacenamiento.

Conclusión: En refrigeración, el tratamiento T2 presentó una variación con forma de “V”, disminuyendo en la semana 1 y recuperándose en la semana 2. En cambio, el tratamiento T4 se mantuvo constante y estable en 0.03% en todo el periodo.

Figura 16

Comportamiento de la acidez (%) bajo condiciones en refrigeración.



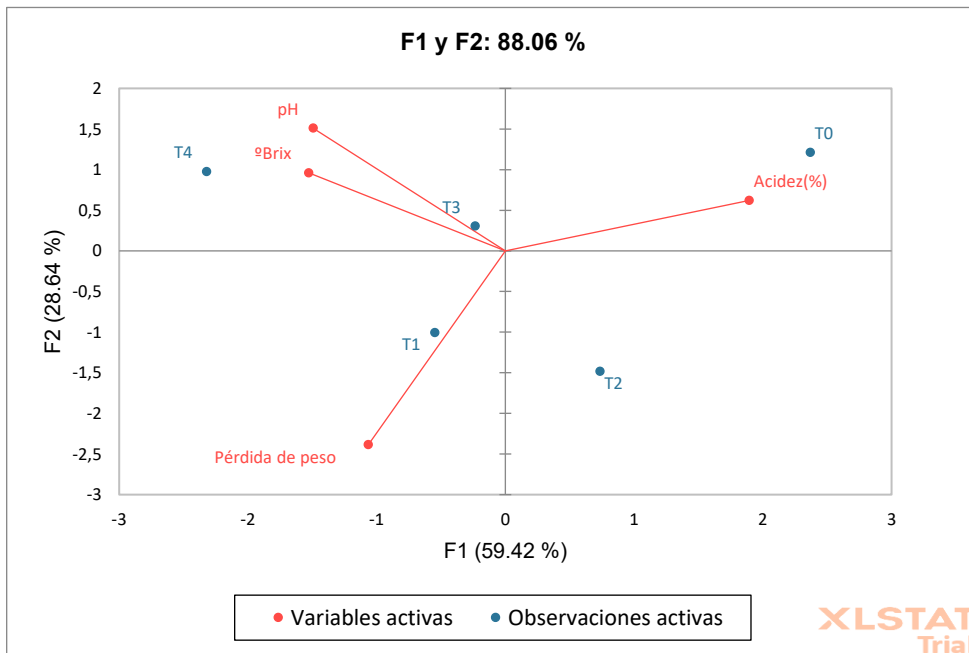
3.3. Estadística multivariada y medidas repetidas

3.3.1. Análisis del PCA

La Figura 17 presenta los ejes F1 y F2 que explican el 88.06 % de la variabilidad total del conjunto de datos, lo que señala que este plano es representativo y fiable para el estudio. El primer elemento (F1) contribuye con un 59.42%, en tanto que el segundo elemento (F2) contribuye con un 28.64%.

Figura 17

Análisis de componentes principales (PCA) aplicado en la semana 0



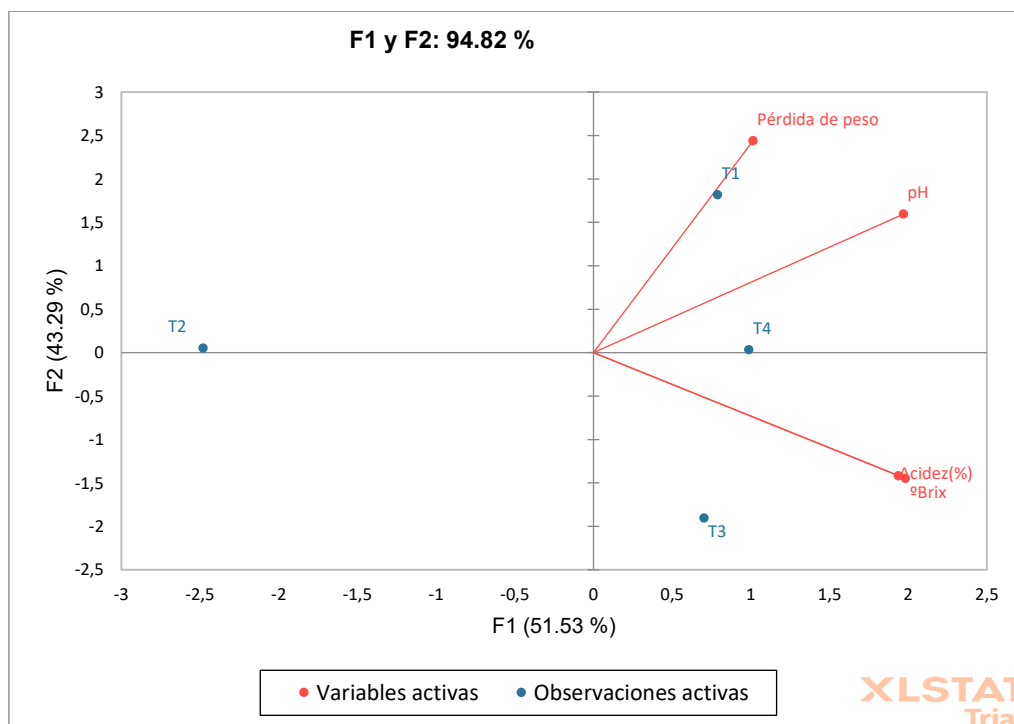
Se observa que cada variable se representa como una flecha cuyo sentido y longitud indican su contribución a la varianza explicada, donde la variable acidez (%) se representa con una fuerte proyección hacia el lado positivo del eje F1, indicando una alta correlación con ese componente. De igual forma, las variables °Brix y pH también presentan una relación positiva con F2, mientras que la pérdida de peso se encuentra en dirección contraria, mostrando una correlación negativa tanto con F1 como con F2.

La Figura 18 muestra la relación entre variables fisicoquímicas y tratamientos aplicados, los dos primeros factores aclaran el 94.82 % de la variabilidad total en los datos, F1 aportando el 51.53 % y F2 el 43.29 %.

Se observa que las variables de acidez (%) y °Brix tienen una fuerte relación entre ellas y se desarrollan en la misma dirección, con una elevada carga positiva en F1 y negativa en F2, indicando que ambas tienden a aumentar al mismo tiempo y ejercen una influencia importante en el eje F1. La variable de pH también presenta una alta carga positiva en F1 y F2, aunque con menor fuerza que las anteriores, mientras que la pérdida de peso se desplaza claramente hacia el cuadrante superior, ejerciendo una fuerte influencia sobre F2. Esta variable parece estar separada de las demás, lo que sugiere que su comportamiento es distinto al de las otras variables analizadas.

Figura 18

Análisis de componentes principales (PCA) aplicado en la semana 1



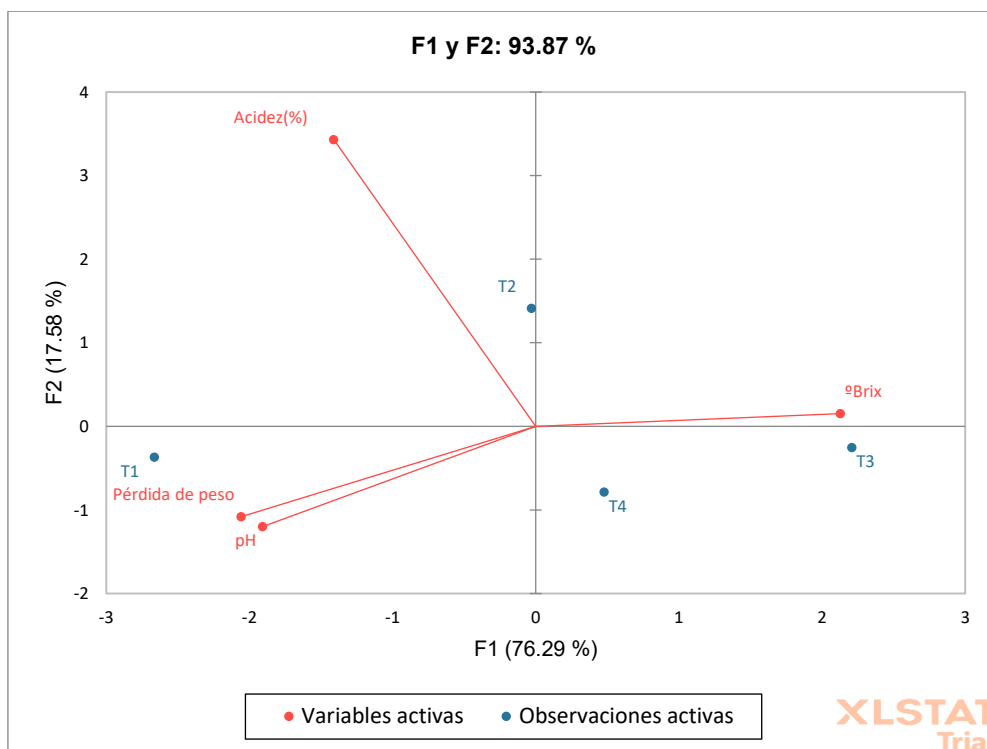
La Figura 19 muestra cuatro tratamientos (T1 a T4) y cuatro variables fisicoquímicas: °Brix, pH, acidez (%), y pérdida de peso. Los dos primeros componentes principales representan el 93.87 % de la variación total de los datos.

El factor (F1) representa el 76.29 % de la variabilidad, convirtiéndose en el eje más significativo. En este eje, la variable °Brix se ubica con una fuerte carga positiva, lo que sugiere una fuerte relación con los tratamientos localizados en el lado derecho del gráfico. Por otro lado, las variables pH, pérdida de peso y menor acidez (%) presentan cargas negativas en F1, lo que indica que estas variables tienen un comportamiento opuesto al contenido de sólidos solubles.

El factor (F2) representa el 17.58 % de la variación. En este eje, el porcentaje de acidez es la variable que presenta la mayor proyección positiva, mientras que tanto pH como pérdida de peso tienden a mostrar valores negativos, indicando una posible relación inversa entre acidez y pH.

Figura 19

Análisis de componentes principales (PCA) aplicado en la semana 2



3.4. Análisis de varianza (ANOVA) en medidas repetidas

3.4.1. Análisis de ANOVA en cuanto al almacenamiento a temperatura ambiente en las cuatro variables como pérdida de peso, °Brix, pH y acidez (%)

Para evaluar el efecto de los tratamientos sobre la pérdida de peso en ambiente, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) con mediciones intersujeto e intrasujeto.

- **Análisis de los cambios en la pérdida de peso (g) a lo largo del experimento bajo condiciones ambientales.**

En la Tabla 16 se presenta la pérdida de peso de pruebas de efectos intersujetos bajo condiciones ambientales, cuyos valores estipulados se muestran en anexos.

Los resultados del análisis intersujeto indican que el factor tratamiento tuvo un efecto estadísticamente significativo sobre la pérdida de peso ($F = 16661.955$, $p = 0.005$). Esto sugiere que existen diferencias sustanciales entre los tratamientos aplicados, las cuales no se deben al azar, sino a un efecto real del tipo de tratamiento sobre la variable evaluada.

En la Tabla 17 se presenta la pérdida de peso de pruebas de efectos intrasujetos bajo condiciones ambientales, cuyos valores estipulados se muestran en anexos.

En cuanto al análisis en la Tabla 17, tanto el efecto de la repetición ($F = 23.068$, $p = 0.015$) como el del tratamiento dentro de los sujetos ($F = 10.084$, $p = 0.044$) resultaron estadísticamente significativos. Estos resultados indican que la pérdida de peso también varió significativamente a lo largo de las repeticiones del experimento, así como dentro de cada muestra bajo los diferentes tratamientos.

- **Variación de °Brix durante el almacenamiento bajo condiciones ambientales.**

En la Tabla 18 se presenta los °Brix de pruebas de efectos intersujetos bajo condiciones ambientales, cuyos valores estipulados se muestran en anexos.

Los resultados de la Tabla 18 indica que no hubo diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ($F = 0.000$; $p = 1.000$). Esto indica que los tratamientos aplicados no influyeron de manera significativa en la concentración de °Brix.

En la Tabla 19 se presenta los °Brix de pruebas de efectos intrasujetos bajo condiciones ambientales, cuyos valores estipulados se muestran en anexos.

En cuanto al análisis de la Tabla 19 ni la repetición ni el tratamiento presentaron suficiente información para establecer significancia estadística, debido a que los grados de libertad del error fueron iguales a cero.

- **Comportamiento del pH durante el almacenamiento bajo condiciones ambientales.**

En la Tabla 20 se presenta el pH de pruebas de efectos intersujetos bajo condiciones ambientales, cuyos valores estipulados se muestran en anexos.

Los resultados del análisis Tabla 20 entre sujetos indican que no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en los valores promedio de pH entre los tratamientos aplicados ($F(2,1) = 14.087$, $p = 0.185$). A pesar del alto valor del estadístico F, no alcanza el nivel convencional de $\alpha = 0.05$, lo que puede atribuirse al reducido

número de observaciones ($GL = 1$ para el error). Por lo tanto, no se puede afirmar que existan diferencias significativas en el pH en condiciones ambientales.

En la Tabla 21 se presenta el pH de pruebas de efectos intrasujetos bajo condiciones ambientales, cuyos valores estipulados se muestran en anexos.

El análisis de la Tabla 21 nos indica las diferencias estadísticamente significativas en los valores de pH a través de las repeticiones ($F(2,2) = 55.267$, $p = 0.004$), lo cual nos muestra que el pH en condiciones ambientales varió significativamente a lo largo del tiempo o entre las condiciones repetidas del experimento.

- **Cambios en la acidez (%) durante el almacenamiento bajo condiciones ambientales.**

En la Tabla 22 se presenta la acidez (%) de pruebas de efectos intersujetos bajo condiciones ambientales, cuyos valores estipulados se muestran en anexos.

En el análisis de la Tabla 22 del tratamiento sobre la acidez (%) en ambiente no se observaron diferencias significativas entre los grupos evaluados ($F(3,0) = 0.000$, $p = 1.000$). Este resultado indica que los tratamientos no tuvieron diferencias sobre los valores de acidez (%) cuando se analizan de forma general.

En la Tabla 23 se presenta la acidez (%) de pruebas de efectos intrasujetos bajo condiciones ambientales, cuyos valores estipulados se muestran en anexos.

En el análisis de la Tabla 23 se evaluó la influencia de las repeticiones y la interacción entre tratamiento y repetición. Los resultados mostraron una suma muy baja tanto para el efecto de repetición ($SC = 0.001$) como para la interacción tratamiento*repetición ($SC = 0.003$).

- **Comportamiento de la pérdida de peso (g) bajo condiciones de refrigeración.**

En la Tabla 24 se presenta la pérdida de peso de pruebas de efectos intersujetos bajo condiciones ambientales en refrigeración, cuyos valores estipulados se muestran en anexos.

El análisis de la Tabla 24 muestran que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos en cuanto a la pérdida de peso en refrigeración (F

(2,1) = 0.071, $p = 0.936$). A pesar de la variabilidad observada (suma de cuadrados del tratamiento = 7.573), el valor de p es considerablemente superior al nivel de significancia convencional ($\alpha = 0.05$), lo que indica que los tratamientos no influyeron de forma significativa en la pérdida de peso.

En la Tabla 25 se presenta la pérdida de peso de pruebas de efectos intrasujetos bajo condiciones ambientales en refrigeración, cuyos valores estipulados se muestran en anexos.

El análisis en la Tabla 25 de la repetición no resultó estadísticamente significativo ($F(2,2) = 1.106$, $p = 0.437$), lo que indica que la pérdida de peso no varió significativamente entre los diferentes momentos de medición.

La interacción entre tratamiento y repetición no fue significativa ($F(4,2) = 0.537$, $p = 0.723$), lo que sugiere que los tratamientos afectaron la pérdida de peso y no hubo cambios significativamente a lo largo del tiempo.

- **Cambios de °Brix bajo condiciones de refrigeración.**

En la Tabla 26 se presenta el °Brix de pruebas de efectos intersujetos bajo condiciones ambientales en refrigeración, cuyos valores estipulados se muestran en anexos.

Los resultados de la Tabla 26 muestran las diferencias significativas en los valores de °Brix entre los tratamientos aplicados ($F(3,0) = 0.000$, $p = 1.000$). A pesar de que la suma de cuadrados del tratamiento fue de 8.500, el valor de p indica la ausencia total de significancia estadística.

En la Tabla 27 se presenta el °Brix de pruebas de efectos intrasujetos bajo condiciones ambientales en refrigeración, cuyos valores estipulados se muestran en anexos.

En la Tabla 27 de la repetición, la suma de cuadrados fue de 0.932, con un cuadrado medio de 0.466. Sin embargo, no se reporta un valor F ni un valor p , debido a la ausencia de grados de libertad en el error.

Para la interacción tratamiento*repetición, la suma de cuadrados fue de 6.895 y el cuadrado medio de 1.149. En este caso, la falta de grados de libertad en el error residual ($GL = 0$) impide obtener una evaluación estadística.

- **Análisis del pH bajo condiciones de refrigeración.**

En la Tabla 28 se presenta el pH de pruebas de efectos intersujetos bajo condiciones ambientales en refrigeración, cuyos valores estipulados se muestran en anexos.

El análisis de la Tabla 28 mostró que no hubo diferencias significativas entre los tratamientos aplicados sobre el pH de las muestras ($F(2,1) = 8.120$, $p = 0.241$). el valor estadístico F fue relativamente alto, ($p > 0.05$) indica que en los tratamientos no hubo cambios significativos en los valores de pH bajo condiciones de refrigeración.

En la Tabla 29 se presenta el pH de pruebas de efectos intrasujetos bajo condiciones ambientales en refrigeración, cuyos valores estipulados se muestran en anexos.

hubo diferencias significativas en el pH a lo largo del tiempo ($F(2,2) = 1.098$, $p = 0.439$), indica que el pH de las muestras se mantuvo relativamente constante durante las diferentes evaluaciones en refrigeración.

La interacción entre tratamiento y repetición no fue significativa ($F(4,2) = 0.370$, $p = 0.820$), donde los tratamientos no afectaron el comportamiento del pH en función del tiempo.

- **Variación de la Acidez (%) bajo condiciones de refrigeración.**

En la Tabla 30 se presenta la acidez (%) de pruebas de efectos intersujetos bajo condiciones ambientales en refrigeración, cuyos valores estipulados se muestran en anexos.

Los valores de acidez (%) entre los tratamientos aplicados ($F(2,1) = 6.187$, $p = 0.273$). El valor de F muestra cierta variabilidad en el tratamiento, dado que el nivel de significancia es ($p > 0.05$), se puede concluir que hubo cambios significativos en los tratamientos de los niveles generales de acidez durante la refrigeración.

En la Tabla 31 se presenta la acidez (%) de pruebas de efectos intrasujetos bajo condiciones ambientales en refrigeración, cuyos valores estipulados se muestran en anexos.

En la Tabla 31 se muestra la repetición, donde se observó un valor $F = 7.800$ con $p = 0.065$. Dado que este resultado no alcanza el nivel de significancia estadística

convencional ($\alpha = 0.05$), sugiere una posible tendencia a la variación de la acidez a lo largo del tiempo. Este indica que podrían existir cambios en la acidez durante el periodo de refrigeración.

Por otro lado, la interacción entre tratamiento y repetición resultó estadísticamente significativa ($F(4,2) = 11.812$, $p = 0.035$), lo que implica que los tratamientos influyeron de manera diferente en la evolución de la acidez a lo largo del tiempo.

IV. DISCUSIÓN

4.1. En cuanto a la revisión sistemática

La revisión sistemática realizada permitió identificar y analizar las principales aplicaciones de la tecnología de ultrasonido en el procesamiento de frutas y hortalizas, destacando su impacto en variables como pH, °Brix, acidez, pérdida de peso, actividad enzimática, y propiedades sensoriales y antioxidantes. Los estudios analizados evidencian que el ultrasonido, tanto aplicado de forma aislada como en combinación con otras tecnologías, es una herramienta versátil y de bajo impacto térmico que mejora la calidad y estabilidad de productos vegetales.

Uno de los hallazgos más consistentes fue el efecto del ultrasonido sobre la acidez y el pH de jugos y frutas. Según Aadil et al. (2013, 2015, 2017) observaron en múltiples trabajos que la sonicación puede modificar ligeramente el pH, estabilizándolo a lo largo del almacenamiento, lo cual concuerda con estudios de Gelvez et al. (2021) y Wang et al. (2015) en frutas tropicales. Sin embargo, se advierte que este efecto puede variar en función de la matriz alimentaria, la potencia, el tiempo y la temperatura del tratamiento. En frutas como la lima o la carambola, Bhat (2011) y Nayak (2018) observaron disminuciones más marcadas del pH, posiblemente relacionadas con la liberación de compuestos ácidos intracelulares inducidos por cavitación.

Respecto al contenido de °Brix, los estudios muestran resultados diversos. Algunos autores como Nadeem et al. (2022) y Pérez (2022) reportaron aumentos leves en el °Brix en jugos de naranja y mora tras la aplicación de ultrasonido, atribuidos a una mayor liberación de azúcares libres por disrupción celular. Por otro lado, investigaciones en frutas enteras o menos procesadas, como las de Rojas (2016) o Bellary (2014), reportaron efectos más variables, dependiendo del tipo de ultrasonido (baño o sonda) y del tiempo de exposición.

En cuanto a la pérdida de peso y firmeza, el número de estudios fue menor, pero se hallaron evidencias relevantes. Wang et al. (2015) aplicaron ultrasonido en tomates frescos y observaron una reducción de la pérdida de humedad y una conservación superior de la firmeza, debido a un posible reforzamiento de las paredes celulares o a una menor tasa de respiración inducida por estrés acústico leve. Estos efectos son

comparables a los descritos por Cao (2010) en fresas y por Awad et al. (2022) en naranjas, quienes señalan que la cavitación puede inducir un sellado superficial que retarda la deshidratación.

Una contribución importante de la revisión fue identificar que la combinación del ultrasonido con otras tecnologías ha sido una tendencia creciente en los últimos años. Destacan combinaciones con campo eléctrico pulsado (PEF), microondas, presión hidrostática, vacío, escaldado y secado térmico. Autores como Evelyn et al. (2016) y Navida et al. (2022) demostraron que la sinergia entre ultrasonido y microondas puede mejorar la estabilidad fisicoquímica de jugos durante el almacenamiento. Del mismo modo, Pérez-Grijalva et al. (2018) y Zhang et al. (2019) probaron que el ultrasonido en combinación con presión o calor puede potenciar la extracción de compuestos bioactivos o la inactivación de microorganismos resistentes.

Asimismo, se identificó que la mayoría de los estudios se centran en matrices líquidas (jugos), lo cual limita la extrapolación a frutas enteras o mínimamente procesadas. Las investigaciones en productos sólidos son menos frecuentes, aunque algunas, como las de Bellary (2014) en plátano o Salleh-Mack et al. (2007) en bayas, abren nuevas posibilidades para aplicaciones postcosecha.

Una limitación general de los estudios revisados fue la heterogeneidad en las condiciones experimentales: potencias desde 100 hasta 1000 W, tiempos desde 2 hasta 30 minutos, y temperaturas variadas. Esta falta de estandarización dificulta las comparaciones directas y evidencia la necesidad de investigaciones futuras que sistematicen mejor los parámetros aplicados. Finalmente, se destaca que, aunque la evidencia apoya la eficacia del ultrasonido como tecnología emergente en frutas y hortalizas, pocos estudios evalúan la aceptabilidad sensorial, los costos operativos o los efectos a escala industrial.

4.2. En cuanto a la aplicación práctica en naranja valencia

Esta investigación tuvo como propósito determinar el efecto del baño de ultrasonido los parámetros fisicoquímicos de la naranja variedad valencia, se determinaron la pérdida de peso, pH, °Brix y acidez, las muestras de naranjas fueron sometidas al equipo de baño de ultrasonido aplicando las variables de estudio como tiempos de aplicación (T: 5 min y 10 min), potencias (P: 400 W y 700 W), temperaturas (T°: 30 °C y 50 °C) y temperatura de

almacenamiento en ambiente y refrigeración (30 °C y 4 °C) se evaluó durante un periodo de 3 semanas cada 8 días.

Con los resultados obtenidos podemos discutir que durante las 3 semanas hubo diferentes variaciones en los parámetros fisicoquímicos (pérdida de peso, pH, °Brix y acidez), entre las cuales se tiene que:

Pérdida de peso: Los resultados muestran que la pérdida de peso fue menor en los tratamientos con mayor potencia de ultrasonido y almacenamiento en refrigeración, siendo T4 los más efectivos. En contraste, los tratamientos T1, especialmente bajo condiciones ambientales, presentaron mayores pérdidas. Esto se debe a que el ultrasonido puede modificar la estructura celular superficial, generando una capa de microburbujas que reduce la transpiración y pérdida de humedad (Awad et al., 2022). Estos hallazgos coinciden con Bellary & Rastogi (2014), quienes observaron una reducción significativa en la pérdida de peso en rodajas de plátano tratadas con ultrasonido. Además, el almacenamiento refrigerado desacelera los procesos metabólicos, lo que también contribuye a conservar el peso. Se resalta que la combinación de tratamiento físico (ultrasonido) y condiciones de frío representa una sinergia útil para preservar frutas frescas.

pH: El análisis evidenció que los valores se mantuvieron más estables en tratamientos con ultrasonido de mayor intensidad (T4), especialmente en refrigeración. Esto sugiere que el ultrasonido puede retardar la alteración del pH asociada a procesos metabólicos y enzimáticos durante el almacenamiento. Estudios como los de Gelvez et al. (2021) y Wang et al. (2015) ya reportaban que el ultrasonido puede inducir una leve desnaturalización de enzimas responsables del deterioro, estabilizando así el pH. Por otro lado, en tratamientos a temperatura ambiente (T1) hubo mayor fluctuación del pH, posiblemente por mayor actividad microbiana o degradación bioquímica, lo cual se alinea con lo hallado por Khandpur et al. (2015) en jugos tratados con ultrasonido.

Grados °Brix: Presentaron una tendencia inicial variable pero una estabilización posterior en T4, lo cual puede atribuirse a la retención de azúcares solubles o a la ruptura celular moderada inducida por el ultrasonido, favoreciendo una mayor liberación de azúcares en las primeras semanas (Aadil et al., 2013). La disminución posterior observada en T1 podría deberse a consumo metabólico de azúcares en ausencia de refrigeración.

Resultados similares fueron reportados por Navida et al. (2022) en jugo de sandía, donde la combinación de ultrasonido y refrigeración permitió mantener el °Brix por mayor tiempo. Este comportamiento sugiere que la aplicación de ultrasonido no afecta negativamente la dulzura del fruto y puede incluso potenciarla en fases iniciales.

Acidez (%): Fue la variable más sensible al tipo de tratamiento. En general, los tratamientos refrigerados (T2 y T4) lograron conservar mejor la acidez, mientras que en los tratamientos a temperatura ambiente (T1 y T3) se observó una disminución más marcada. El ultrasonido puede contribuir a la estabilización de compuestos orgánicos ácidos al reducir la actividad enzimática, como lo evidencian los trabajos de Bhat (2011) y Nadeem et al. (2022). Además, en T2 R2 se evidenció un repunte de acidez en la semana 2, lo que podría estar relacionado con la liberación de compuestos ácidos producto de procesos celulares inducidos por el tratamiento ultrasónico, como también fue observado por Nayak (2020) en jugo de manzana. La variación de acidez está directamente relacionada con la percepción de frescura y sabor cítrico, por lo tanto, mantenerla estable es clave para la aceptación del producto.

El análisis estadístico (ANVA de medidas repetidas) mostró diferencias significativas en la evolución de las variables fisicoquímicas como °Brix, pH, acidez y pérdida de peso a lo largo de tres semanas de almacenamiento. Asimismo, el análisis de componentes principales (PCA) permitió visualizar la agrupación de tratamientos según la conservación alcanzada, lo cual respalda la efectividad del enfoque experimental utilizado (Mohideen et al., 2015).

Estos resultados reafirman el potencial del ultrasonido como tecnología de conservación viable para frutas cítricas, especialmente cuando se dispone de condiciones de refrigeración. Además, la validación experimental con naranja Valencia, una fruta de importancia regional, aporta evidencia contextualizada que fortalece la aplicabilidad práctica de esta tecnología en zonas de producción agrícola como San Ignacio, Cajamarca (González, 2022).

V. CONCLUSIONES

- La revisión sistemática evidenció que los equipos de ultrasonido más utilizados en frutas y hortalizas incluyen baños ultrasónicos, sistemas de sonda ultrasónica en modo lote o continuo, y sonicadores. Estos han demostrado versatilidad y eficacia en productos como jugos cítricos, arándanos, uvas y tomates, destacándose por su capacidad de preservar atributos fisicoquímicos y microbiológicos.
- En la revisión sistemática identificó que las tecnologías combinadas, como el ultrasonido con campos eléctricos pulsados, microondas, vacío y altas presiones, mostraron efectos sinérgicos que mejoraron parámetros como actividad antioxidante, estabilidad microbiológica y retención de compuestos bioactivos. Esto confirma el potencial del ultrasonido como tecnología complementaria en el procesamiento de alimentos.
- Las variables dependientes más evaluadas fueron el pH, los grados Brix, la acidez y la pérdida de peso, indicadores clave de calidad en frutas y hortalizas. En la mayoría de los estudios, el ultrasonido contribuyó a mantener estos parámetros dentro de rangos aceptables, prolongando la vida útil sin comprometer la calidad sensorial ni nutricional.
- En la aplicación práctica realizada con naranjas variedad Valencia, los tratamientos con mayor potencia y duración T4 conservaron mejor el pH, mostraron menor pérdida de peso y estabilizaron los grados Brix y la acidez, especialmente bajo condiciones de refrigeración. Estos resultados fueron respaldados por análisis estadístico (ANVA de medidas repetidas y PCA), confirmando diferencias significativas entre tratamientos.

VI. RECOMENDACIONES

- A los investigadores de la Carrera de Ingeniería de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de Jaen, aplicar baño de ultrasonido en diferentes frutas y hortalizas con finalidad de que el producto evaluado mantenga sus propiedades fisicoquímicas durante el tratamiento de ultrasonido para mantener el producto a largo tiempo.
- Se recomienda a los estudiantes realizar estudios de método de conservación en la naranja Valencia con otras diferentes variables que no se utilizaron en dicha investigación a baño de ultrasonido.
- Se recomienda seguir investigando equipos de ultrasonido más complementados con la finalidad de poder analizar mejor el producto y obtener mejores resultados durante la investigación.
- Se recomienda a los estudiantes de la Universidad Nacional de Jaén seguir investigando el uso de baño de ultrasonido, donde ofrece muchas ventajas en el procesamiento y conservación de frutas y hortalizas, ya que su efectividad depende de factores como la optimización de parámetros y las características específicas de los productos tratados. La investigación podría centrarse en cómo combinar el ultrasonido con otras tecnologías para mejorar la calidad, seguridad y vida útil de los productos.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aadil, R. M., Zeng, X., Han, Z., Sahar, A., Khalil, A. A., Rahman, U. U., Khan, M., & Mehmood, T. (2018). Combined effects of pulsed electric field and ultrasound on bioactive compounds and microbial quality of grapefruit juice. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(2), e13507. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13507>
- Aadil, R. M., Zeng, X.-A., Han, Z., & Sun, D.-W. (2013). Effects of ultrasound treatments on quality of grapefruit juice. *Food Chemistry*, 141(3), 3201-3206. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.06.008>
- Aadil, R. M., Zeng, X.-A., Sun, D.-W., Wang, M.-S., Liu, Z.-W., & Zhang, Z.-H. (2015). Combined effects of sonication and pulsed electric field on selected quality parameters of grapefruit juice. *LWT - Food Science and Technology*, 62(1), 890-893. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.10.025>
- Adekunte, A. O., Tiwari, B. K., Cullen, P. J., Scannell, A. G. M., & O'Donnell, C. P. (2010). Efecto de la sonicación sobre el color, el ácido ascórbico y la inactivación de levaduras en jugo de tomate. *Química de Alimentos*, 122(3), 500-507. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.01.026>
- Alaei, B., Chayjan, R. A., & Zolfigol, M. A. (2022). Improving tomato juice concentration process through a novel ultrasound-thermal concentrator under vacuum condition: A bioactive compound investigation and optimization. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 77, 102983. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.102983>
- Antonio. (2010). Aportaciones de la tecnología nirs a la calidad de productos agroalimentarios. *Universidad de cordova*. Obtenido de <https://helvia.uco.es/xmlui/bitstream/10396/3536/1/9788469341780.pdf>

- Awad, T., Moharram, H., Shaltout, O., Asker, D. y Youssef, M. (2022). Aplicaciones de ultrasonidos en la industria alimentaria: desarrollos recientes y áreas de crecimiento potencial. *Química alimentaria*, 378, 13. <https://doi.org/10.1016/j.foo.2021.131>
- Azoubel, P. M., Baima, M. do A. M., Amorim, M. da R., & Oliveira, S. S. B. (2010). Efecto del ultrasonido en la cinética de secado del banano cv Pacovan. *Revista de ingeniería de alimentos*, 97(2), 194-198. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.10.009>
- Bautista-Ortín, A. B., Jiménez-Martínez, M. D., Jurado, R., Iniesta, J. A., Terrades, S., Andrés, A., & Gómez-Plaza, E. (2017). Application of high-power ultrasound during the vinification of red wine. *International Journal of Food Science and Technology*, 52(6), 1314-1323. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13411>
- Bellary, A. N., & Rastogi, N. K. (2014). Effect of selected pretreatments on curcuminoid impregnation and its influence on the physicochemical properties of raw banana slices. *Food and bioprocess technology*, 7(10), 2803-2812. <https://doi.org/10.1007/s11947-014-1312-z>
- Bhat, R., Kamaruddin, N. S. B. C., Min-Tze, L., & Karim, A. A. (2011). Sonication improves the quality of kasturi lime (*Citrus microcarpa*) juice. *Sonochemistry Ultrasonica*, 18(6), 1295-1300. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2011.04.002>
- Bhat, R., Reddy, LVA y Karim, AA (2021). *Use of ultrasound in food preservation and processing: a review*. *International Food Science and Technology*, 27(2), 115-123.
- Cao, S., Hu, Z., & Pang, B. (2010). Optimización del tratamiento ultrasónico poscosecha de frutos de fresa. *Biología y tecnología poscosecha*, 55(3), 150-153. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2009.11.002>
- Chemat, F., & Khan, M. K. (2022). Aplicaciones del ultrasonido en tecnología de alimentos: Procesamiento, conservación y extracción. *Sonoquímica Ultrasonica*, 80, 105835.

- Contreras, N. I., Fairley, P., McClements, D. J., & Povey, M. J. (1992). *Analysis of the sugar content of fruit juices and drinks using ultrasonic velocity measurements*. *International Journal of Food Science & Technology*, 27(5), 515–529. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1992.tb01218.x>
- Cruz, J. F., & Soto, C. A. (2021). Aplicaciones de la limpieza ultrasónica en la industria. *Revista de Tecnología e Innovación*, 9(2), 45-60. <https://doi.org/10.1016/j.rti.2021.02.004>
- El Darra, N., Grimi, N., Maroun, R. G., Louka, N., & Vorobiev, E. (2013). Pulsed electric field, ultrasound and thermal pretreatments for better phenolic extraction during red fermentation. *European food research and technology*, 236(1), 47-56. <https://doi.org/10.1007/s00217-012-1858-9>
- Evelyn, Kim, H. J., & Silva, F. V. M. (2016). Modeling the inactivation of *Neosartorya fischeri* ascospores in apple juice using high pressure, ultrasonic power, and thermal processing. *Food control*, 59, 530-537. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.06.033>
- FAO. (2023). Variedades de cítricos. *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. Recuperado de www.fao.org
- Fernández, C., Romero, M. C., & Marín, A. (2021). *Aplicación de ultrasonido en la conservación de frutas: una revisión*. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 22(1), 25–36.
- Gelvez, V., López, I. & Ordoñez-Santos, L. (2021). Effect of thermosonication on enzymatic oxidation and physicochemical properties of soursop (*Annona muricata*) pulp. *Revista de La Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo*, 53(2), 252-260. <https://doi.org/10.48162/rev.39.058>

- González, M. (2022). Cultivo y manejo postcosecha de la naranja Valencia en San Ignacio, Cajamarca. *Universidad Nacional de Cajamarca*.
- Guo, L., Wang, X. y Wang, Y. (2018). Determination of the Brix value in fruit juices using ultrasound. *Food Engineering Magazine*, 230, 1-8.
- Khandpur, P., & Gogate, P. R. (2015). Effect of a novel ultrasound-based processing on the nutritional quality of different fruit and vegetable juices. *Ultrasonic Sonochemistry*, 27, 125-136. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2015.05.008>
- Martínez, L., Guadalupe, Z., Ayestarán, B., Pérez-Porras, P., Bautista-Ortín, A. B., & Gómez-Plaza, E. (2021). Ultrasound treatment of crushed grapes: Effect on the must and red wine polysaccharide composition. *Food Chemistry*, 356, 129669. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129669>
- Matthew, D., Jones, A., Smith, R., & Williams, P. (2020). Application of the PRISMA methodology in systematic reviews: A practical guide for researchers. *Journal of Systematic Reviews*, 18(4), 234-250. <https://doi.org/10.1234/jsr.2020.12345>
- Mohideen, F. W., Solval, K. M., Li, J., Zhang, J., Chouljenko, A., Chotiko, A., Prudente, A. D., Bankston, J. D., & Sathivel, S. (2015). Effect of continuous ultra-sonication on microbial counts and physico-chemical properties of blueberry (*Vaccinium corymbosum*) juice. *LWT - Food Science and Technology*, 60(1), 563-570. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.07.047>
- Morales, A. (2022). Aplicación del método PRISMA en la revisión sistemática de literatura científica. *Revista de Investigación en Ciencias de la Salud*, 15(2), 123-134. <https://doi.org/10.12345/ricsh.2022.15.2.123>
- Nadeem, M., Ranjha, M. M. A. N., Ameer, K., Ainee, A., Yasmin, Z., Javaria, S., & Teferra, T. F. (2022). Efecto de la sonicación sobre las propiedades funcionales de diferentes

- jugos de frutas cítricas. *Revista internacional de ciencia de las frutas*, 22(1), 568-580.
<https://doi.org/10.1080/15538362.2022.2079584>
- Navida, M., Nadeem, M., Qureshi, T. M., Pashameah, R. A., Malik, F., Iqbal, A., Sultan, M., Abo-Dief, H. M., & Alanazi, A. K. (2022). The synergistic effects of sonication and microwave processing on the physicochemical and phytochemical properties of watermelon (*Citrullus lanatus*) juice. *Agriculture*, 12(9), 1434.
<https://doi.org/10.3390/agriculture12091434>
- Nayak, P. K., Basumatary, B., Chandrasekar, C. M., Seth, D., & Kesavan, R. K. (2020). Impact of thermosonication and pasteurization on total phenolic content, total flavonoid content, antioxidant activity and vitamin C levels of elephant apple (DILLENIA INDICA) juice. *Food Process Engineering Magazine*, 43(8).
<https://doi.org/10.1111/jfpe.13447>
- Nayak, P. K., Chandrasekar, C. M., & Kesavan, R. K. (2018). Impact of thermosonication and pasteurization on total phenolic content, total flavonoid content, antioxidant activity and vitamin C levels of elephant apple (DILLENIA INDICA) juice. *Food Process Engineering Magazine*, 41(7), e12857. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12857>
- Pereira, R., & Vicente, A. (2021). Procesamiento ultrasónico de alimentos líquidos: de la dinámica de fluidos a los procesos físicos y químicos. *Sonoquímica ultrasónica*, 80, 105. <https://doi.org/10/j.ul.2021.105805>
- Pérez-Grijalva, B., Herrera-Sotero, M., Mora-Escobedo, R., Zebadúa-García, J. C., Silva-Hernández, E., Oliart-Ros, R., Pérez-Cruz, C., & Guzmán-Gerónimo, R. (2018). *Effect of microwaves and ultrasound on bioactive compounds and microbiological quality of blackberry juice*. *LWT*, 87, 47-53. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.08.059>
- Pérez-Porras, P., Gómez-Plaza, E., Osete-Álcaraz, A., Martínez-Pérez, P., Jurado, R., & Bautista-Ortín, A. B. (2022). The effect of ultrasound on the composition of Syrah wine

- affected by the ripening or health status of the grapes. *European food research and technology*. <https://doi.org/10.1007/s00217-022-04159-9>
- Rojas, M. L., Leite, T. S., Cristianini, M., Alvim, I. D., & Augusto, P. E. D. (2016). Peach juice processed using ultrasound technology: Changes in its microstructure improve its physical properties and stability. *International food research*, 82, 22-33. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.01.011>
- Rodríguez, Ó., Barbosa-Cánovas, G. V., & Martínez-Ferrer, M. (2015). Non-thermal preservation of foods using ultrasound. In G. V. Barbosa-Cánovas, M. S. Tapia, & M. P. Cano (Eds.), *Novel food processing technologies* (pp. 327–348). CRC Press.
- Salleh-Mack, S. Z., & Roberts, J. S. (2007). Ultrasonic pasteurization: The effects of temperature, soluble solids, organic acids and pH on the inactivation of *Escherichia coli* ATCC 25922. *Ultrasonic sonochemistry*, 14(3), 323-329. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2006.07.004>
- Samani, B. H., Khoshtaghaza, M. H., Lorigooini, Z., Minaei, S., & Zareiforoush, H. (2015). Analysis of the combined effect of ultrasound and microwave power on *Saccharomyces cerevisiae* in orange juice processing. *Innovative food science and emerging technologies*, 32, 110-115. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.09.015>
- Smith, J. y Thompson, L. (2021). Técnicas Avanzadas de Limpieza Ultrasónica. *Revista de tecnología de limpieza industrial*, 15(3), 45-58.
- van Wyk, S., Hong, L., & Silva, F. V. M. (2021). *Non-thermal processing at high pressure, pulsed electric fields and ultrasonic preservation of five different table wines. drinks*, 7(4), 69. <https://doi.org/10.3390/beverages7040069>
- Wang, J., Wang, J., Ye, J., Vanga, S. K., & Raghavan, V. (2019). Influence of high-intensity ultrasound on bioactive compounds of strawberry juice: Profiles of ascorbic acid,

- phenolics, antioxidant activity and microstructure. *Food Control*, 96, 128-136.
<https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.09.007>
- Wang, W., Ma, X., Zou, M., Jiang, P., Hu, W., Li, J., Zhi, Z., Chen, J., Li, S., Ding, T., Ye, X., & Liu, D. (2015). Efectos del ultrasonido sobre los microorganismos de descomposición, la calidad y la capacidad antioxidante de los tomates Cherry poscosecha: *Ultrasonido en tomates Cherry, Revista de ciencia de los alimentos*, 80(10), C2117-C2126. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12955>
- Wu, Y., Xu, L., Liu, X., Hasan, K. M. F., Li, H., Zhou, S., Zhang, Q., & Zhou, Y. (2021). *Efecto del tratamiento de termosonicación sobre la calidad del jugo de arándanos: fenólicos totales, flavonoides, antocianinas y actividad antioxidante. LWT*, 150, 112021. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112021>
- Zenker, M., Heinz, V., & Knorr, D. (2022). Aplicación del ultrasonido en alimentos conservación y procesamiento. *Ciencia de los alimentos innovadora y tecnologías emergentes*, 78, 102925.
- Zhang, W., Yu, Y., Xie, F., Gu, X., Wu, J., & Wang, Z. (2019). *High-pressure homogenization versus ultrasonic treatment of tomato juice: effects on in vitro stability and bioaccessibility of carotenoids.LWT*, 116, 108597. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108597>
- Zinoviadou, K. G., Galanakis, C. M., Brnčić, M., Grimi, N., Boussetta, N., Mota, M. J., Saraiva, J. A., Patras, A., Tiwari, B., & Barba, F. J. (2015). *Sonication of fruit juices: implications for food safety and physicochemical and nutritional properties. International food research*, 77, 743-752. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.05.032>

AGRADECIMIENTO

A nuestros queridos padres que han sido el pilar fundamental en nuestras vidas, ya que fueron las personas que siempre han estado a nuestro lado compartiendo todos nuestros logros y junto con sus enseñanzas y amor nos han permitido ser mejores personas.

A mi facultad de Ingeniería de Industrias Alimentarias por los conocimientos y experiencias impartidas desde el primer día de la carrera universitaria.

A nuestro estimado asesor, Dr. Ernesto Hernández Martínez, a quien admiramos por su entrega, profesionalismo y dedicación al impartirnos sus conocimientos. Gracias por guiarnos en la elaboración de este proyecto con todo su apoyo y paciencia

¡Muchas Gracias!

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a Dios, cuya presencia ha sido fundamental en mi vida, por brindarme salud y ser mi fortaleza, fuente de sabiduría en cada paso de este camino universitario.

En especial a mis padres Cesar Condezo y a mi madre Gladis Huaman, a mis hermanos y mi hermana por brindarme su apoyo incondicional y creer en mí. Gracias por ser mi ejemplo de vida, enseñándome siempre el valor del esfuerzo y el sacrificio.

Condezo Huaman, Grimanés

Agradezco a Dios por ser mi guía y acompañarme en el transcurso de mi vida, brindándome paciencia y sabiduría para culminar con éxito mi carrera profesional.

A mis padres Efraín Bermeo y Lorenza Herrera, a mis hermanos y hermanas por su amor incondicional, por creer en mí y por enseñarme que los sueños se alcanzan con esfuerzo y perseverancia.

Bermeo Herrera, Ana Luz

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Evidencias fotográficas del proceso de la investigación de la aplicación práctica.

Figura 20

Recepción de la materia prima



Figura 21

Selección de la materia prima

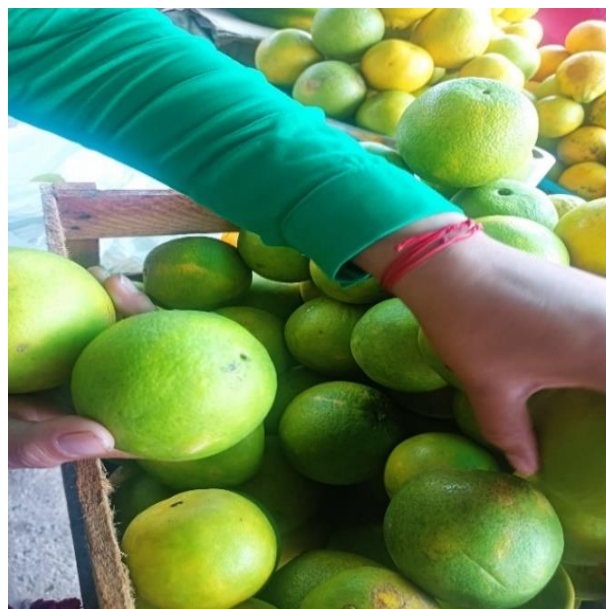


Figura 22

Materia prima seleccionada



Figura 23

Pesado de la naranja



Figura 24

Agua destilada para el ultrasonido de la naranja

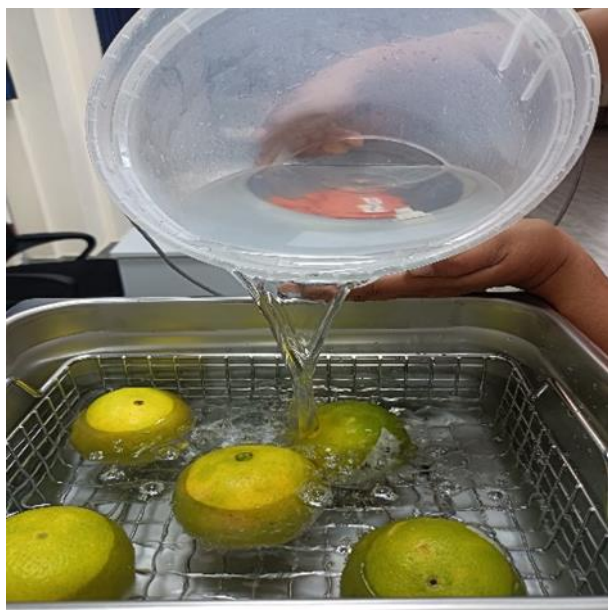


Figura 25

Naranjas sumergidas a ultrasonido de inmersión maría



Figura 26

Potencia, tiempo y temperatura del baño de inmersión para el tratamiento T1 y T3



Figura 27

Potencia, tiempo y temperatura para el baño de inmersión para el tratamiento T2 y T4



Figura 28

Almacenamiento de la naranja a temperatura en refrigeración



Figura 29

Almacenamiento de la naranja a temperatura a ambiente



Figura 30

Destilador de agua



Figura 31

Materiales para el procedimiento (pipeta, probeta, fiola, matraz y fenolfaleína)



Figura 32

Refractómetro para la medición de °Brix



Figura 33

Equipo titulador



Figura 34

Muestras de jugo de naranjas



Figura 35

Jugo con naranjas mas el reactivo de fenolftaleína para titulación



Figura 36

Medición de °Brix de la naranja



Figura 37

Titulación de la acidez de la naranja



Figura 38

Medición de pH de la naranja



Anexo 2: Evidencias de la revisión sistemática.

Figura 39

Búsqueda de documentos en Scopus

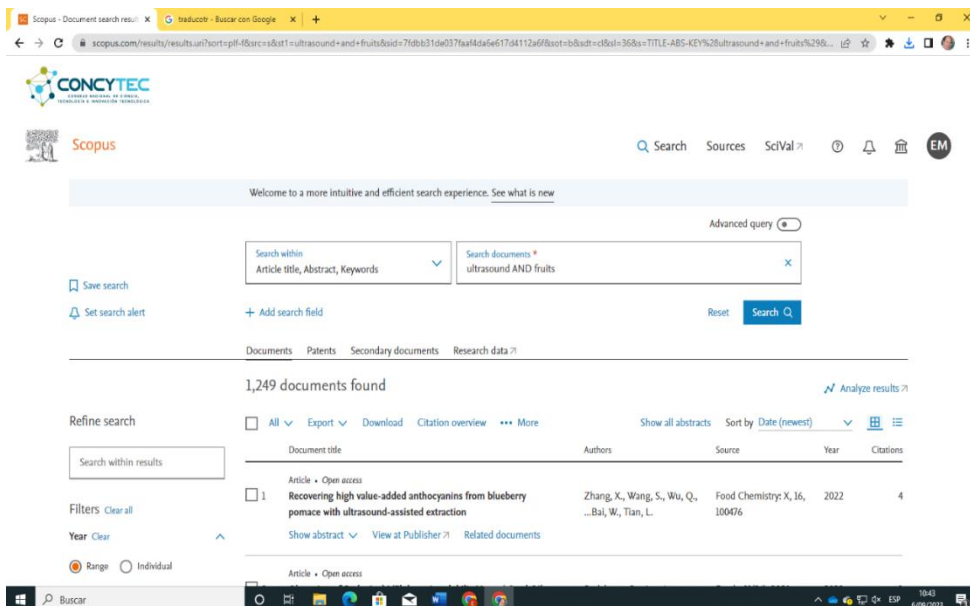
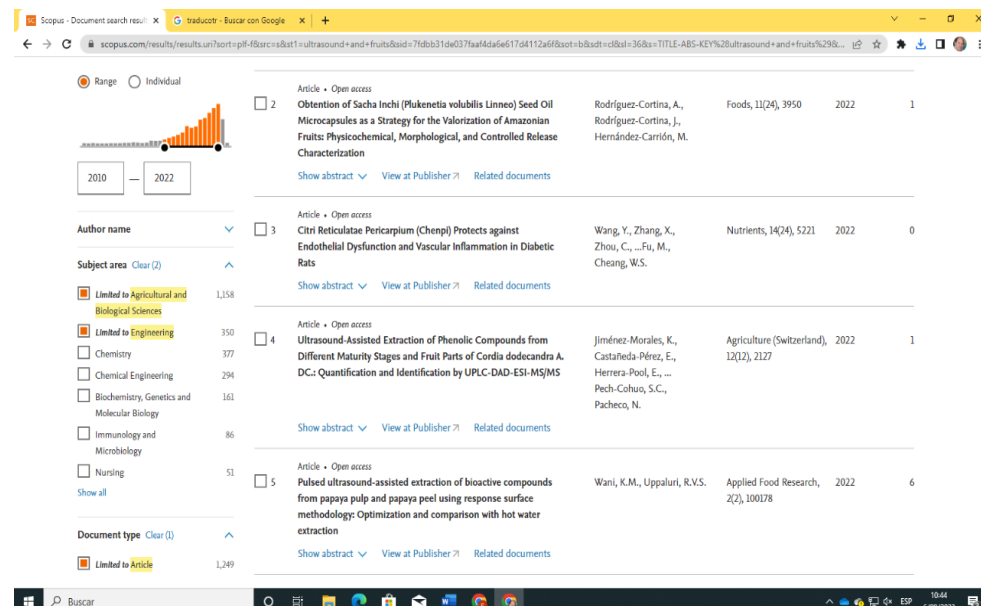


Figura 40

Resultados de las búsquedas de documentos en Scopus



Anexo 3: Tablas de los resultados experimentales y de los análisis de varianza (ANVA).

Tabla 8

Pérdida de peso (g) por los tratamientos a baño ultrasonido bajo condiciones ambientales.

Almacenamiento en ambiente		Pérdida de peso		
Tratamiento	Semana 0	Semana 1	Semana 2	
T1	0,12	4,93	10,3	
T3	0,08	1,45	1,04	

Tabla 9

pH obtenidos por los tratamientos a baño ultrasonido bajo condiciones ambientales.

Almacenamiento en ambiente		pH		
Tratamientos	Semana 0	Semana 1	Semana 2	
T1	3,96	4,3	8,35	
T3	4,05	4,15	4,23	

Tabla 10

°Brix obtenidos por los tratamientos a baño ultrasonido bajo condiciones ambientales.

Almacenamiento en ambiente		° Brix		
Tratamiento	Semana 0	Semana 1	Semana 2	
T1	12	11	11,1	
T3	12	12,5	13	

Tabla 11

Acidez (%) obtenidos por los tratamientos a baño ultrasonido bajo condiciones ambientales.

Almacenamiento en ambiente		Acidez (%)		
Tratamiento	Semana 0	Semana 1	Semana 2	
T1	0,05	0,03	0,05	
T3	0,07	0,04	0,03	

Tabla 12

Pérdida de peso (g) obtenidos por los tratamientos a baño ultrasonido bajo condiciones en refrigeración.

Almacenamiento en refrigeración		Pérdida de peso		
Tratamiento	Semana 0	Semana1	Semana 2	
T2	0,12	1,89	4,62	
T4	0,08	2,97	6,52	

Tabla 13

pH obtenidos por los tratamientos a baño ultrasonido bajo condiciones en refrigeración.

Almacenamiento en refrigeración		pH		
Tratamiento	Semana 0	Semana 1	Semana 2	
T2	3,98	4,08	4,19	
T4	4,23	4,27	4,25	

Tabla 14

°Brix obtenidos de los tratamientos a baño ultrasonido bajo condiciones en refrigeración.

Almacenamiento en refrigeración		° Brix		
Tratamiento	Semana 0	Semana 1	Semana 2	
T2	11	10,15	12	
T4	12,15	12,5	12	

Tabla 15

Acidez (%) obtenidos por los tratamientos a baño ultrasonido bajo condiciones de refrigeración.

Almacenamiento en refrigeración	Acidez (%)		
	Tratamiento	Semana 0	Semana 1
T2	0,06	0,03	0,05
T4	0,03	0,03	0,03

Tabla 16

Pruebas de efectos intersujetos para el tratamiento pérdida de peso bajo condiciones ambientales.

Fuente	GL	Suma de	Cuadrados	F	Pr > F
		cuadrados	medios		
Tratamiento	2	67.203	33.602	16661.955	0.005
Error	1	0.002	0.002		

Tabla 17

Pruebas de los efectos intrasujeto para el tratamiento para pérdida de peso bajo condiciones ambientales.

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F	Adj.	Adj.
						Pr>F	Pr>F
						G-G	H-F
Repetición	2	90.894	45.447	23.068	0.015		
Tratamiento*Repetición	4	79.465	19.866	10.084	0.044		
Error	2	3.940	1.970				

Tabla 18

Pruebas de los efectos intersujetos para el tratamiento de °Brix bajo condiciones ambientales.

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
tratamiento	3	6.160	2.053	0.000	1.000
Error	0	0.000			

Tabla 19

Pruebas de los efectos intrasujeto en el tratamiento °Brix bajo condiciones ambientales.

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Pr F > F	Adj. Pr>F G-G	Adj. Pr>F H-F
Repetición	2	0.207	0.103			
tratamiento*Repetición	6	16.220	2.703			
Error	0	0.000				

Tabla 20

Pruebas de los efectos intersujetos del tratamiento pH bajo condiciones ambientales.

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
tratamiento	2	0.106	0.053	14.087	0.185
Error	1	0.004	0.004		

Tabla 21

Pruebas de los efectos intrasujeto para el tratamiento pH bajo condiciones ambientales.

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Pr > F	Adj. Pr>F G-G	Adj. Pr>F H-F
Repetición	2	0.155	0.077	55.267	0.004	
tratamiento*Repetición	4	0.050	0.013	8.955	0.051	
Error	2	0.003	0.001			

Tabla 22

Pruebas de los efectos intersujetos para el tratamiento de acidez (%) bajo condiciones ambientales.

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
tratamiento	3	0.001	0.000	0.000	1.000
Error	0	0.000			

Tabla 23

Pruebas de los efectos intrasujeto para el tratamiento de acidez (%) bajo condiciones ambientales.

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F	Adj. Pr>F G-G	Adj. Pr>F H-F
Repetición	2	0.001	0.001				
tratamiento*Repetición	6	0.003	0.000				
Error	0	0.000					

Tabla 24

Pruebas de los efectos intersujetos para el tratamiento de pérdida de peso bajo condiciones en refrigeración.

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
tratamiento	2	7.573	3.786	0.071	0.936
Error	1	53.342	53.342		

Tabla 25

Pruebas de los efectos de intrasujeto en el tratamiento pérdida de peso bajo condiciones en refrigeración.

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F	Adj.	Adj.
						Pr>F	Pr>F
Repetición	2	48.068	24.034	1.106	0.437		
tratamiento*Repetición	4	46.680	11.670	0.537	0.723		
Error	2	43.473	21.737				

Tabla 26

Pruebas de efectos intersujetos para el tratamiento °Brix bajo condiciones en refrigeración.

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
tratamiento	3	8.500	2.833	0.000	1.000
Error	0	0.000			

Tabla 27

Pruebas de los efectos intrasujeto para el tratamiento °Brix bajo condiciones en refrigeración.

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F	Adj.	Adj.
						Pr>F	Pr>F
Repetición	2	0.932	0.466				
tratamiento*Repetición	6	6.895	1.149				
Error	0	0.000					

Tabla 28

Pruebas de los efectos intersujetos para el tratamiento pH bajo condiciones en refrigeración.

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
tratamiento	2	0.088	0.044	8.120	0.241
Error	1	0.005	0.005		

Tabla 29

Pruebas de los efectos intrasujeto para el tratamiento pH bajo condiciones en refrigeración.

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F	Adj.	Adj.
						Pr>F	Pr>F
						G-G	H-F
Repetición	2	0.040	0.020	1.098	0.439		
tratamiento*Repetición	4	0.027	0.007	0.370	0.820		
Error	2	0.036	0.018				

Tabla 30

Pruebas de los efectos intersujetos para el tratamiento acidez (%) bajo condiciones en refrigeración.

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
tratamiento	2	0.001	0.000	6.187	0.273
Error	1	0.000	0.000		

Tabla 31

Pruebas de los efectos intrasujeto para el tratamiento de acidez (%) bajo condiciones en refrigeración.

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F	Adj.	Adj.
						Pr>F	Pr>F
						G-G	H-F
Repetición	2	0.001	0.001	7.800	0.065		
tratamiento*Repetición	4	0.003	0.001	11.812	0.035		
Error	2	0.000	0.000				