

UNIVERSIDAD NACIONAL DE FRONTERA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS Y BIOTECNOLOGÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS



TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS
TÍTULO: “Evaluación de la frecuencia y tiempo de
exposición al ultrasonido para incorporar hierro y ácido
ascórbico en camote (*Ipomoea batatas*)”

Autor: Bch. Kateryn Dianitza Purizaca Santisteban
Asesora: Mg. Milagros del Pilar Espinoza Delgado

Registro: PY-EPIIA-031

SULLANA - PERÚ

2022

DEDICATORIA

A Dios, todo el honor y la gloria para él, Señor yo eche mis redes en tu nombre y tú me devolviste el mil por ciento. San Lucas, 5.

Dedico este trabajo a las mujeres de mi familia, mis abuelas, tías, hermanas, y a mi madre, quienes con su ejemplo de lucha, valentía y abnegación me han enseñado a sobresalir en la tempestad.

A mi padre Jean Purizaca, ejemplo de superación y perseverancia.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por ser mi luz, mi guía, mi fortaleza, mi inspiración y mi horizonte y por darme sabiduría en el desarrollo de esta investigación. A mi madre celestial, la Virgen María, por brindarme su auxilio en todo momento.

A mi familia, mi fuente de motivación y perseverancia, gracias por todo. Mi más profundo agradecimiento a mi asesora Mg. Milagros Espinoza, quien me ha ayudado con mucha paciencia y sabiduría en el transcurso de esta investigación, y por la confianza que ha puesto en mí.

Al Dr. Eduardo Chaves y la Mg. Zury Sócola, quienes han sido parte de este proyecto y me han transmitido todos sus conocimientos con mucha humildad y dedicación. Al Dr. Luis Espinoza, por acogerme en su laboratorio con gran calidez.

Al Ing. Luis Ruiz y al futuro Ing., Jesús Rivera, quienes han cooperado y asistido en mi proyecto cada vez que he acudido a su ayuda, realmente muchas gracias.

A mis amigos (a) del alma por sus palabras de aliento.

A mis hermanos en Cristo y María por sus oraciones.

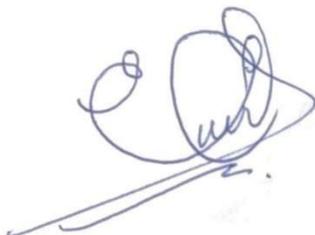
Asimismo, agradezco a mi alma mater Universidad Nacional de Frontera, por el financiamiento de la presente tesis mediante el programa “Proyectos de Investigación con Fondos Concursables”

VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS

La docente de la Universidad Nacional de Frontera, Mg. MILAGROS DEL PILAR ESPINOZA DELGADO asesor designado según resolución N° 163-2021-UNF-VPAC/FIIA, hace constar que ha asesorado la tesis titulada “Evaluación de la frecuencia y tiempo de exposición al ultrasonido para incorporar Hierro y Ácido Ascórbico en camote (*Ipomoea batatas*)”, de la bachiller Kateryn Dianitza Purizaca Santisteban de la facultad de Ingeniería de Industrias Alimentarias y Biotecnología, escuela profesión al de Ingeniería de Industrias Alimentarias.

La suscrita da visto bueno del informe de investigación previo a la evaluación del jurado evaluador y posterior obtención de la constancia de aprobación por parte de las autoridades de la facultad de Ingeniería de Industrias Alimentarias y Biotecnología.

Sullana, 07 de Diciembre del 2022



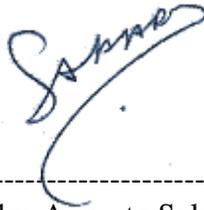
.....
Mg. Milagros del Pilar Espinoza Delgado
Asesor

Jurado Evaluador



Dr. William Rolando Miranda Zamora

Presidente



MBA. Carlos Augusto Salazar Sandoval

Secretario



MSc. Milagros del Pilar Espinoza Delgado

Vocal



UNIVERSIDAD NACIONAL DE FRONTERA

ANEXO 3-K

Acta de Evaluación de Sustentación del Informe de Tesis

Siendo las 08:00 horas del día jueves 29 de diciembre de 2022 se reunieron en la sala virtual:

<https://meet.google.com/wia-zfoz-osh?pli=1&authuser=1> de la Universidad Nacional de Frontera,

los miembros del Jurado de Tesis para evaluar el Informe de Tesis, denominado: “EVALUACIÓN DE LA FRECUENCIA Y TIEMPO DE EXPOSICIÓN AL ULTRASONIDO PARA

INCORPORAR HIERRO Y ÁCIDO ASCÓRBICO EN CAMOTE (*Ipomoea*

batatas”, siendo sustentado en sesión pública por la autora: Bach. KATERYN

DIANTZA PURIZACA SANTISTEBAN y como requisito para obtener el Título Profesional

de Ingeniero de Industrias Alimentarias.

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

Seguidamente, el Jurado solicitó el retiro de todos los asistentes y del (los) sustentante(s) de la sala virtual o física según sea el caso; el Jurado de Tesis determinó la calificación concedida a la sustentación del Informe de Tesis para la Obtención de Título Profesional, en términos de:

Aprobado (a) con el calificativo de **diecinueve (19)**, levantándose la sesión a las 9:00 horas del mismo día. Se concluye el acto de sustentación, suscribiendo el acta.

Presidente

Dr. William Rolando Miranda Zamora

Secretario

Mg. Carlos Augusto Salazar Sandoval

Vocal

Mg. Milagros del Pilar Espinoza Delgado

No.	DESCRIPCIÓN	RECOMENDAR	
		SI	NO
1.	Recomendar para presentar en eventos	X	
2.	Recomendar para publicación	X	
3.	Recomendar para patente		
4.	Recomendar para Meritorio		
5.	Recomendar para Laureado		

Informe de similitud del evaluador

DATOS DEL EVALUADOR

Facultad / dependencia	Ingeniería de Industrias Alimentarias y Biotecnología
Nombre del evaluador	Milagros del Pilar Espinoza Delgado
Cargo del evaluador	Asesor de tesis

DATOS DEL DOCUMENTO EVALUADO

Tipo de documento	Informe de tesis
Título del documento	“Evaluación de la frecuencia y tiempo de exposición al ultrasonido para incorporar hierro y ácido ascórbico en camote (Ipomoea batatas)”
Autor (es)	Kateryn Dianitza Purizaca Santisteban
Fecha de presentación	07/12/2022

DE LA EVALUACIÓN DE SIMILITUD

Fecha de revisión	07/12/2022	¿Se aplicaron exclusiones?	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
-------------------	------------	----------------------------	--	-----------------------------

Detalle de las exclusiones

ITE M	%	JUSTIFICACIÓN
Referencias bibliográficas	6%	Conforme a lo establecido en el literal "f" del numeral 6.2 de la Directiva para el uso del software de similitud (RCO N° 442-2021-UNF/CO)
Frases cortas que no superan las 10 palabras	2%	Conforme a lo establecido en el literal "f" del numeral 6.2 de la Directiva para el uso del software de similitud (RCO N° 442-2021-UNF/CO)

Comentarios / observaciones

--

RESUMEN DE LA EVALUACIÓN

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

% DE REFERENCIA

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

CONCLUSIÓN

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

Se adjunta reporte de similitud del software Turnitin.


 Firma del Evaluador

ÍNDICE

Dedicatoria.....	2
Agradecimiento.....	3
Visto bueno del asesor de tesis	4
Índice.....	5
Índice de tabla.....	6
Índice de figuras	7
Resumen.....	8
Abstract.....	9
I. INTRODUCCIÓN.....	13
II. MATERIALES Y MÉTODOS	18
2.1. Materia prima, materiales, equipos y reactivos	18
2.1.1. Materia prima	18
2.1.2. Materiales.....	18
2.1.3. Equipos.....	19
2.1.4. Reactivos	19
2.2. Metodología.....	20
2.2.1. Población	20
2.2.2. Muestra	20
2.2.3. Muestreo	20
2.2.4. Variables de estudio	20
2.2.5. Tipo de investigación	20
2.3. Procedimiento para la incorporación de hierro y ácido ascórbico en camote (<i>Ipomoea batatas</i>).	22
2.4. Métodos de análisis para la determinación de hierro y ácido ascórbico.....	22
2.5. Análisis de datos.....	24
III. RESULTADOS	27
3.1. Evaluar el efecto de la frecuencia y tiempo de exposición al ultrasonido para la incorporación de hierro y ácido ascórbico en camote (<i>Ipomoea batatas</i>).	27
3.2. Analizar las concentraciones de hierro y ácido ascórbico incorporado en cada uno de los tratamientos aplicados.....	30
3.3. Optimización del proceso de incorporación de hierro y ácido ascórbico en camote (<i>Ipomoea batatas</i>).	31
IV. DISCUSIONES	36

V. CONCLUSIONES.....	41
VI. RECOMENDACIONES.....	42
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	43

ÍNDICE DE TABLAS

<u>Tabla 1.</u> <i>Contenido nutrimental de camote base húmeda</i>	17
<u>Tabla 2.</u> <i>Contenido nutrimental</i>	17
<u>Tabla 3.</u> <i>Materiales utilizados en la investigación</i>	18
<u>Tabla 4.</u> <i>Equipos utilizados en la investigación</i>	19
<u>Tabla 5.</u> <i>Reactivos utilizados en la investigación</i>	19
<u>Tabla 6.</u> <i>Diseño experimental</i>	21
<u>Tabla 7.</u> <i>Combinaciones de los niveles de los factores</i>	21
<u>Tabla 8.</u> <i>Plan experimental del camote tratado con ultrasonido para la incorporación de hierro y ácido ascórbico</i>	26
<u>Tabla 9.</u> <i>Prueba no paramétrica Kruskal – Wallis</i>	27
<u>Tabla 10.</u> <i>Prueba no paramétrica Kruskal – Wallis</i>	28
<u>Tabla 11.</u> <i>Prueba no paramétrica Kruskal – Wallis</i>	29
<u>Tabla 12.</u> <i>Prueba no paramétrica Kruskal – Wallis</i>	29
<u>Tabla 13.</u> <i>ANOVA para la combinación de tratamientos en la incorporación de hierro</i>	30
<u>Tabla 14</u> <i>ANOVA para la combinación de tratamientos en la incorporación de ácido ascórbico</i>	31
<u>Tabla 15.</u> <i>Prueba de normalidad para el factor frecuencia en la incorporación de Hierro</i>	47
<u>Tabla 16.</u> <i>Prueba de normalidad para el factor tiempo en la incorporación de Hierro</i>	47
<u>Tabla 17.</u> <i>Prueba de normalidad para el factor frecuencia en la incorporación de ácido ascórbico</i>	48
<u>Tabla 18.</u> <i>Prueba de normalidad para el factor tiempo en la incorporación de ácido ascórbico</i>	48
<u>Tabla 19.</u> <i>Prueba de normalidad para el factor frecuencia en la incorporación de Hierro</i>	49
<u>Tabla 20</u> <i>Prueba de normalidad para la interacción de frecuencia y tiempo en la incorporación de Vit C</i>	49

ÍNDICE DE FIGURAS

<u>Figura 1.</u> <i>Comportamiento de las burbujas durante la cavitación.....</i>	15
<u>Figura 2.</u> <i>Mecanismo de daño celular inducido por ultrasonido.....</i>	15
<u>Figura 3.</u> <i>Flujograma para la incorporación de hierro y ácido ascórbico en camote (Ipomoea batatas).....</i>	23
<u>Figura 4.</u> <i>Prueba de Comparaciones por parejas de tiempo en la incorporación de hierro.....</i>	28
<u>Figura 5.</u> <i>Prueba de Comparaciones por parejas de tiempo en la incorporación de ácido ascórbico.....</i>	30
<u>Figura 6.</u> <i>Combinación de los tratamientos: efectos de frecuencia y tiempo de exposición de camote al ultrasonido sobre el contenido de hierro</i>	31
<u>Figura 7.</u> <i>Combinación de los tratamientos: efectos de frecuencia y tiempo de exposición de camote al ultrasonido sobre el contenido de ácido ascórbico</i>	32
<u>Figura 8.</u> <i>Diagrama de Pareto del tiempo, frecuencia e interacción de frecuencia*tiempo en contenido de hierro en camote tratado por ultrasonido.....</i>	32
<u>Figura 9.</u> <i>Gráfico de interacción del tiempo y frecuencia en el contenido de hierro tratado por ultrasonido.....</i>	33
<u>Figura 10.</u> <i>Gráfica de superficie respuesta de la frecuencia y tiempo en el contenido de hierro en la muestra de camote tratada con ultrasonido</i>	33
<u>Figura 11.</u> <i>Diagrama de Pareto del tiempo, frecuencia e interacción de frecuencia*tiempo en contenido de ácido ascórbico en camote tratado por ultrasonido</i>	34
<u>Figura 12.</u> <i>Gráfico de interacción del tiempo y frecuencia en el contenido de ácido ascórbico tratado por ultrasonido.....</i>	34
<u>Figura 13.</u> <i>Gráfica de superficie respuesta de la frecuencia y tiempo en el contenido de ácido ascórbico en la muestra de camote tratada con ultrasonido.....</i>	35
<u>Figura 14.</u> <i>Pesado de camote</i>	50
<u>Figura 15.</u> <i>Lavado y pelado.....</i>	50
<u>Figura 16.</u> <i>Cortado y cubeteado</i>	50
<u>Figura 17.</u> <i>Pesado de los cubos de camote</i>	50
<u>Figura 18.</u> <i>Homogenización de hierro y ácido ascórbico en agua destilado</i>	50
<u>Figura 19.</u> <i>Inmersión de muestras en soluciones de soluciones de sulfato ferroso y ácido ascórbico.....</i>	50
<u>Figura 20.</u> <i>Incorporación de hierro y ácido ascórbico aplicando tratamiento con Ultrasonido ...</i>	51

<u>Figura 21.</u> Secado de las muestras tratadas con Ultrasonidos	51
<u>Figura 22.</u> Curva de calibración para cuantificar hierro	51
<u>Figura 23.</u> <i>Comportamiento de las burbujas durante la cavitación</i>	52
<u>Figura 23.</u> Curva de calibración para cuantificar vitamina C, usando como patrón ácido ascórbico	52
<u>Figura 24.</u> Pesado de las muestras	52
<u>Figura 25.</u> Crisoles en interior de la mufla	52
<u>Figura 26.</u> Muestras deshidratadas y molidas en crisoles	52
<u>Figura 27.</u> Preparación de las muestras o.....	52
<u>Figura 28.</u> Preparación de tubos de ensayo.....	53
<u>Figura 29.</u> Lectura en espectrofotómetro UV-VIS	53
<u>Figura 30.</u> Pesado de las muestras	53
<u>Figura 31.</u> Preparación de las muestras	53
<u>Figura 32.</u> Incubación de las muestras	53
<u>Figura 33.</u> Lectura en espectrofotómetro UV-VIS	53

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar los parámetros óptimos (frecuencia y tiempo de exposición) del equipo ultrasónico para la incorporación de hierro y ácido ascórbico en camote (*Ipomoea batatas*), con el fin de obtener un camote enriquecido con hierro, junto a la vitamina C para obtener una mayor absorción y disminuir los efectos indeseables producidos. La incorporación se realizó utilizando sulfato ferroso al 0.1% y ácido ascórbico al 1%. Las muestras se trataron en un baño ultrasónico a dos frecuencias (37- 80 kHz) y 6 tiempos (10, 20, 30, 40, 50 y 60 min), posteriormente se deshidrataron a 45°C durante 8 horas. El contenido de hierro se determinó por el método AOAC (944.02) y el ácido ascórbico fue determinado por el método colorimétrico, ambas analizadas en un espectrofotómetro UV-Vis. Para el análisis estadístico se utilizó la prueba ANOVA, Kruskal Wallis, y la optimización del proceso mediante la metodología superficie de respuesta. El factor frecuencia no tuvo efecto significativo ($p>0.05$) en el contenido de hierro y ácido ascórbico; sin embargo, el tiempo si demostró efecto significativo ($p<0.05$), el tiempo de 60 min obtuvo el mayor de contenido de hierro y ácido ascórbico. La frecuencia de 80 kHz a cortos tiempos alcanza un alto impacto, sin embargo, a partir del tiempo de 30 min la frecuencia de 37 kHz incrementó en mayor cantidad. Los valores optimizados fueron frecuencia de 37 kHz y tiempo de exposición de 60 min, su contenido aumentó en un 5605.5% para hierro y 482.7% para ácido ascórbico.

Palabras claves: Ultrasonido, camote, ácido ascórbico, hierro, tiempo, frecuencia.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the optimal parameters (frequency and exposure time) of the ultrasonic equipment for the incorporation of iron and ascorbic acid in sweet potato (*Ipomoea batatas*), in order to obtain an iron-enriched sweet potato, together with the vitamin C to obtain greater absorption and reduce the undesirable effects produced. The incorporation was carried out using 0.1% ferrous sulfate and 1% ascorbic acid. The samples were treated in an ultrasonic bath at two frequencies (37-80 kHz) and 6 times (10, 20, 30, 40, 50 and 60 min), later they were dehydrated at 45°C for 8 hours. The iron content was determined by the AOAC method (944.02) and the ascorbic acid was determined by the colorimetric method, both analyzed in a UV-Vis spectrophotometer. For the statistical analysis, the ANOVA test, Kruskal Wallis, and the optimization of the process through the response surface methodology were used. The frequency factor had no significant effect ($p>0.05$) on the content of iron and ascorbic acid; however, the time did show a significant effect ($p<0.05$), the time of 60 min obtained the highest content of iron and ascorbic acid. The frequency of 80 kHz at short times reaches a high impact, however from the time of 30 min the frequency of 37 kHz increased in greater quantity. The optimized values were a frequency of 37 kHz and an exposure time of 60 min, its content increased by 5605.5% for iron and 482.7% for ascorbic acid.

Key words: Ultrasound, sweet potato, ascorbic acid, iron, time, frequency.

I. INTRODUCCIÓN

La necesidad y el consumo de alimentos fortificados ha incrementado notablemente en el transcurso de los últimos años, existe una gran preocupación por los aspectos nutricionales y el procesamiento de los productos alimenticios consumidos en la dieta diaria, esto se debe a las altas deficiencias nutricionales en la población mundial. La anemia por deficiencia de hierro llamada también anemia ferropénica, es la deficiencia nutricional más prevalente a nivel mundial, considerada un problema de salud pública (MINSA, 2017), afectando a un 28,4% de la población mundial según la (OMS, 2015) y en el Perú trasciende a un 40,1% (INS, 2021).

Esta problemática se puede abordar cumpliendo una dieta estricta, que contenga alimentos ricos en hierro, consumiendo suplementos o alimentos enriquecidos y/o fortificados. El enriquecimiento y/o fortificación con hierro se considera la opción más eficaz para combatir la desnutrición a gran escala, esta estrategia se ha aplicado en diferentes programas gubernamentales (Jhosi et al., 2020).

El hierro es un micronutriente necesario para el cuerpo humano, participa en la producción de hemoglobina y mioglobina las cuales son las responsables del transporte de oxígeno; también contribuye en el metabolismo de ciertas enzimas y en la síntesis y catabolismo de neurotransmisores, por eso su deficiencia repercute en el desarrollo conductual, mental y motor, además ocasiona una velocidad de conducción más lenta de los sistemas sensoriales, auditivo y visual (MINSA, 2017; Rivera et al., 2012).

El enriquecimiento y/o fortificación consiste en la adición de un micronutriente a un alimento, con el fin de aumentar el contenido de uno o más micronutrientes esenciales, corregir o prevenir una deficiencia demostrada (dietética, bioquímica, funcional y/o clínica) de un nutriente en la población (FAO, 2002). La fortificación con hierro es una de las más complejas, existen diferentes compuestos de hierro con respecto a su solubilidad y estado químico, el sulfato ferroso es la fuente de hierro más empleado en la industria debido a su alta biodisponibilidad del micronutriente, y a su bajo costo (Shubham et al., 2020).

Para una mejor absorción el hierro se utiliza en combinación con vitamina C, ya que actúa como potenciador, esta vitamina en relaciones molares con hierro superiores a 1:1 (≈ 25 mg) puede duplicar la absorción del hierro no hemínico, aun en presencia de factores dietéticos inhibidoras (Tostado et al., 2015).

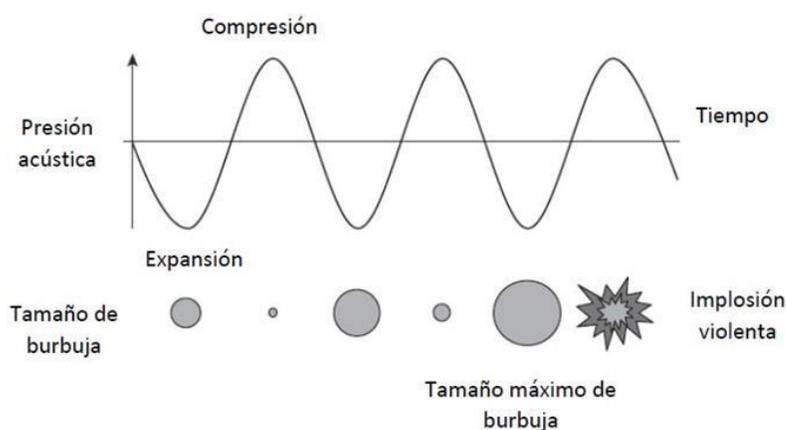
Sin embargo, cuando el hierro se incorpora directamente a la matriz alimentaria este puede oxidarse y generar cambios indeseables en las propiedades organolépticas (olor, sabor, color), (Genevois et al., 2020); por ello, un óptimo enriquecimiento en alimentos de estructura compleja como las frutas y vegetales requiere de un gran estudio, la mayoría de tecnologías tradicionales utilizadas ocasionan inestabilidad en los nutrientes agregados; debido a ello se viene apostando por el uso de nuevas tecnologías como el ultrasonido (US) (Carvalho et al., 2021).

La tecnología ultrasónica viene siendo estudiada para mejorar la transferencia de masa, en un inicio se han utilizado como pretratamiento para el secado de alimentos, el medio que se utiliza para transmitir las ondas acústicas a los alimentos como agua, soluciones osmóticas o etanol puede ser aprovechado para incorporar compuestos a la matriz alimentarias como el hierro, mejorando la incorporación y obteniendo una dispersión homogénea de los micronutrientes (Lindsay et al., 2019), su aplicación ayuda reduciendo la pérdida de nutrientes y los tiempos de proceso, favoreciendo la calidad de las propiedades sensoriales (Bhargava et al., 2020). Por ejemplo, Carvalho et al. (2021) dio a conocer la eficacia de la combinación de la tecnología ultrasónica, microencapsulación y secado por convección en la elaboración de chips de piñas fortificadas. Demostró que el pretratamiento de etanol con ultrasonidos óptimo (25 kHz- 30 min) aumenta significativamente el contenido de hierro (hasta 1000% más que la muestra de control) en el producto. De igual manera, Bonto et al., (2020) incorporó hierro en arroz con tecnología ultrasónica (40 kHz- 5 min). La absorción de hierro fue de $321 \pm 13,43$ mg por kg de arroz, logrando un aumento de 28 veces en comparación con la muestra de arroz sin tratar. Además, se observó una difusión eficiente del hierro y se obtuvo una retención del 82.9% después de lavarlo y cocinarlo. Asimismo, Lindsay et al. (2019) incorporó microencapsulados de hierro y carotenoides en calabaza y manzana, respectivamente. El tratamiento con ultrasonidos dio como resultado una incorporación de hierro más homogénea y aumentó su contenido en más de 1000% en comparación con las muestras de control. Maskhour et al., (2018) incorporó hierro en papa entera mediante impregnación al vacío (IV) en combinación con la tecnología ultrasónica (37 kHz – 45 min) como pretratamiento, demostró que la combinación de IV con US generó una mayor incorporación de hierro (210%); Además, no encontró efectos significativos en los parámetros de color y textura. Miano y Duarte (2018) incorporó hierro durante el proceso de hidratación del frijol con aplicación de ultrasonido (91 W/L; 25 kHz), la aplicación obtuvo una incorporación de 60.1 mg Fe/100 g después de 510 min, en comparación con 34.4 mg Fe/100 g sin aplicación ultrasónica.

Mason et al., (2015) mencionan que el ultrasonido genera efectos positivos sobre el procesamiento de alimentos, esto se debe al colapso de las burbujas de cavitación ocasionadas por las fluctuaciones de presión, ejercidas por el paso de las ondas acústicas del baño de US, esta disrupción celular puede producir una mayor transferencia de masa (ganancia de sólidos y pérdida de agua), permitiendo una mejor impregnación del disolvente y por ende facilitando la incorporación de los micronutrientes en alimentos (Mehmet y Ersus, 2018; Bonto et al, 2018).

Figura 1

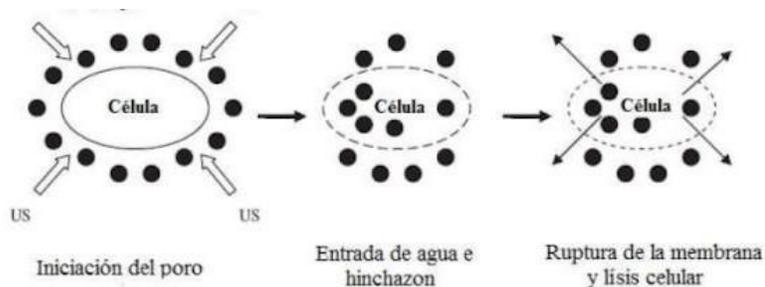
Comportamiento de las burbujas durante la cavitación



Nota. Adaptado de *Ultrasonidos: aplicaciones en la industria* [Imagen], por Revista Fuente nueva época, 2014, época, 14. ISSN 2007 – 0713.

Figura 2

Mecanismo de daño celular inducido por ultrasonido



Nota. Adaptado de *Ultrasonidos: aplicaciones en la industria* [Imagen], por Revista Fuente nueva época, 2014, época, 14. ISSN 2007 – 0713.

Se ha investigado la incorporación de hierro en diferentes alimentos obteniendo resultados positivos, reflejados en el incremento del contenido de este micronutriente. En tal medida, es interesante estudiar la incorporación en otras matrices alimentarias, siendo el camote un tubérculo muy poco estudiado y de gran interés en la actualidad, se cultiva alrededor del mundo, y posee un contenido nutricional muy valioso siendo altamente rico en nutrientes y con bajos costes de producción. Este tubérculo es rico en vitamina C, Fe, K y Ca, pertenece a la familia convolvulaceae, del género *Ipomoea* y el tipo de especie *Ipomoea batatas L.* Tiene propiedades antioxidantes, actividades antiinflamatorias y de bajo índice glucémico. Este alimento es un gran aliado en países que sufren escasez alimentaria (Renee et al., 2018; Olayemi et al., 2017).

Su contenido nutricional es el siguiente:

Tabla 1

Contenido nutrimental de camote base húmeda

Contenido	Unidad/100g
Agua	64 - 74 gr
Fibra	1.2 - 3.5 gr
Lípidos	0.5 - 2.1 gr
Proteína	1.2 - 7.2 gr
Grasas	0.4 - 3 gr
Carbohidratos	20.19 - 27.3 gr
Azúcar	4.18 - 9.7 gr
Glucosa	2.37 - 4.68 mg
Sacarosa	56.94 - 59.97 mg
Fructosa	1.43 - 4 mg
Almidones	11.8 gr

Fuente: Renee et al. (2018)

Tabla 2*Contenido nutrimental*

Contenido	Unidad/100g
Ácido ascórbico	2.4 - 25 mg
Retinol	0.1 - 4.256 mg
Tiamina	0.078 - .7 mg
Riboflavina	0.05 - 0.061 mg
Niacina	0.557 - 52 mg
Ácido pantoténico	0.800 mg
Piridoxina	0.209 - .27 mg
Folato	11 - 17 µg
Colina	12.3 mg
Vit K	1.84 mg
B- caroteno	5.63 - 15.63 mg
Sodio	19 - 55 mg
Potasio	200 - 385 mg
Fósforo	47 - 55 mg
Calcio	7 - 34 mg
Magnesio	18 - 25 mg
Hierro	0.61 - 1 mg
Zinc	0.30 - .39 mg
Selenio	0.6 - 1 mg
Cobre	0.151 mg
Manganeso	0.258 mg

Fuente: Renee et al. (2018)

El objetivo de este proyecto fue evaluar la frecuencia y el tiempo de exposición al ultrasonido para la incorporación de hierro y ácido ascórbico en camote (*Ipomea batatas*). Para la investigación se planteó los siguientes objetivos específicos:

- a) Evaluar el efecto de la frecuencia y tiempo de exposición al ultrasonido para la incorporación de hierro y ácido ascórbico en camote (*Ipomoea batatas*).
- b) Comparar la efectividad del ultrasonido en las concentraciones de hierro y ácido ascórbico en cada uno de los tratamientos aplicados.
- c) Optimizar el proceso mediante metodología superficie de respuesta.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Materia prima, materiales, equipos y reactivos

2.1.1. Materia prima

Se empleó camote amarillo (*Ipomea batatas*), obtenido del Supermercado Makro, ubicado en la provincia de Sullana, departamento de Piura. Se clasificó las muestras de mejor calidad, con índice de madurez característico de la materia prima, exento de plagas, heridas externas, piel uniforme y sin daños por insectos o ralladuras, con buenas propiedades organolépticas.

2.1.2. Materiales

Tabla 3.
Materiales utilizados en la investigación

Descripción	Cantidad
Crisoles de porcelana con tapa	12
Pinzas metálicas	1
Micropipetas cap: 10 ml y 1000, 200, 100 uL	4
Vasos de precipitado cap: 50, 80, 100 y 250 ml	4
Tubos de ensayo de vidrio C/tapa de 15 ml	18
Matraz Erlenmeyer, vidrio cap. 500ml	1
Matraz Erlenmeyer, vidrio cap. 1000ml	1
Probeta graduada B/ hexagonal D/ vidrio, cap. 20, 250 y 500 ml	1
Fiola volumétrica C/ tapa de vidrio de 100 y 500 ml	4
Fiola volumétrica ámbar C/ tapa de vidrio de 100 ml	1
Gradilla plastificada para 48 tubos- INTEK	1
Papel aluminio, 5 m	1
Lunas de reloj	2
Pilón y mortero, porcelana	1
Cubeta de plástico/ espectrofotómetro x 1.5 ml pqt und-Deltalab	4
Papel Filtro, Whatman N°1. caja	1
Cuchillo	1
Hielo	1
Guardapolvo	1
Mascara de gases	1

2.1.3. Equipos

Tabla 4.

Equipos utilizados en la investigación

Descripción	Cantidad
Baño ultrasónico ELMASONIC P 30 H (220-240 V)	1
Cortadora de alimentos	1
Agitador magnético, Ingenieurburo Cat, M. Zipperer GmbH D-79282 Ballrechten-Dottingen	1
Agitador Vórtex, Vórtex mixer, SAB, VWR - 97043-566	1
Balanza analítica digital, Kern AeJ 220-AM, e=0.001g d=0.0001 g	1
Balanza digital, cap 50 kg, Precix - Weight - 8513	1
Deshidratador de bandejas, Dehydrator ST-04, 30 -90°C, 0-15 h	1
Espectrofotómetro UV-visible, Thermoscientific Genesys 150 1	1
Estufa, Memmert, Mod: UN110, col, cromado 1	1
Horno mufla, SEL-HORN "R-8 L" 1	1
Molino de cuchillas	1
Termómetro	1
Placa calefactora	1
Cámara extractora de gases	1
Incubadora	1

2.1.4. Reactivos

Tabla 5.

Reactivos utilizados en la investigación

Descripción
Estándar hierro
Ácido clorhídrico concentrado (p.a 98%)
Ácido nítrico concentrado (p.a 98%)
Clorhidrato hidroxilamina
1,10-fenantrolina
Buffer acetato
Estándar ácido ascórbico (C ₆ H ₈ O ₆), ACS, CAS 50-81-7
2,4 – dinitrofenilhidrazina
Ácido sulfúrico
Agua de bromo
Tiourea
Ácido acético glacial P.A
Ácido metafosfórico
Sulfato ferroso
Ácido ascórbico G.A

2.2. Metodología

2.2.1. Población

Se empleó camote amarillo (*Ipomea batatas*), obtenido del Supermercado Makro, ubicado en la provincia de Sullana, departamento de Piura.

2.2.2. Muestra

La muestra estuvo compuesta por doce camotes.

2.2.3. Muestreo

El muestro fue no probabilístico a conveniencia del investigador. Los camotes escogidos estuvieron exentos de golpes, cortes, plagas u cualquier otro defecto.

2.2.4. Variables de estudio

2.2.4.1. Variables independientes

- Frecuencia (37-80 kHz)
- Tiempo de exposición (10, 20, 30, 40, 50 y 60 min).

2.2.4.2. Variables dependientes

- Contenido de hierro y ácido ascórbico.

2.2.5. Tipo de investigación

- Aplicativa: puesto que se aplicaron conocimientos adquiridos con respecto al tema de investigación.
- Experimental: ya que se manipulan las variables intencionalmente a conveniencia del investigador.
- Longitudinal: las variables fueron medidas antes y después del tratamiento para poder apreciar si existe alguna diferencia.

2.2.6. Diseño de investigación

El diseño de la investigación es de tipo experimental, se utilizó un diseño bifactorial con tres repeticiones con el siguiente modelo estadístico.

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \epsilon_{ij}$$

Tabla 6

Diseño experimental

Factor	Niveles	Código
Frecuencia	37 kHz	A1
	80 kHz	A2
Tiempo	10 min	R1
	20 min	R2
	30 min	R3
	40 min	R4
	50 min	R5
	60 min	R6

Fuente: Elaboración propia (2022)

Tabla 7

Combinaciones de los niveles de los factores

Combinaciones	R1	R2	R3	R4	R5	R6
A1	A1 R1	A1 R2	A1 R3	A1 R4	A1 R5	A1 R6
A2	A2 R1	A2 R2	A2 R3	A2 R4	A2 R5	A2 R6

Fuente: Elaboración propia (2022)

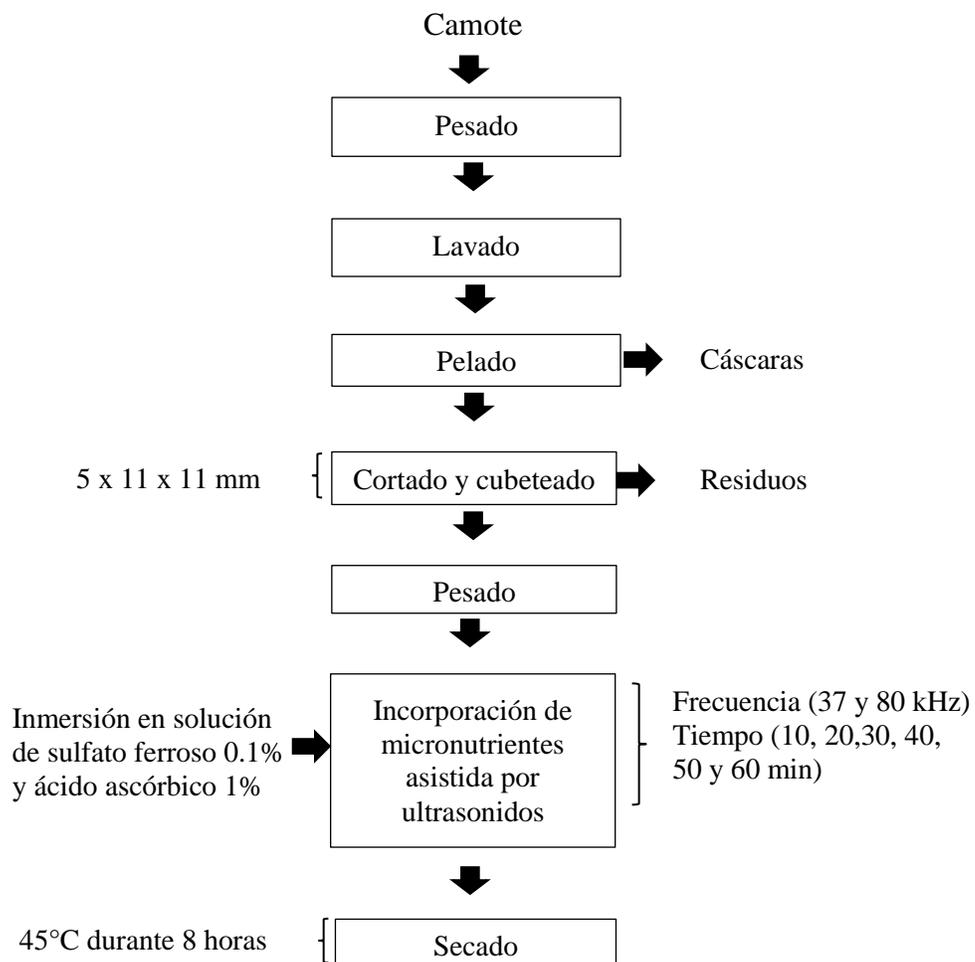
2.3. Procedimiento para la incorporación de hierro y ácido ascórbico en camote (*Ipomoea batatas*).

La metodología del proceso se muestra en la Figura 5, la cual consta de las siguientes etapas.

- 2.3.1. Pesado (Anexo C).** La materia prima se pesó al inicio del proceso y también fueron pesadas las mermas a lo largo del procesamiento.
- 2.3.2. Lavado.** La materia prima se lavó con agua corriente hasta eliminar todas las partículas de tierra.
- 2.3.3. Pelado.** La materia prima se pelo totalmente retirando las cascaras, se hizo manualmente utilizando cuchillos.
- 2.3.4. Cortado y cubeteado.** La materia prima se colocó en la cortadora de alimentos de la cual se obtuvieron láminas de 5 mm posteriormente se utilizó una cubeteadora manual para obtener los cubos de 5*11*11mm.
- 2.3.5. Pesado.** Se procedió a pesar la materia prima para evaluar el rendimiento del proceso.
- 2.3.6. Tratamiento con ultrasonidos.** Se pesó 16.66 g de los cubos de camotes en 3 vasos de precipitado de 100ml, añadiendo la solución fortificada la cual contenía 0.1% de sulfato ferroso y 1% g de ácido ascórbico preparada con agua destilada, estos se colocaron en el interior del baño ultrasónico se trabajó con las frecuencias de 37 y 80 kHz y una potencia de 100 watts, se utilizó 6 tiempos diferentes 10, 20, 30, 40,50 y 60 minutos. La temperatura fue de 30°C.
- 2.3.7. Secado.** Se procedió a deshidratar las muestras en el secador de bandejas (Dehydrator ST-04, 30 -90°C, 0-15h), a velocidad de aire constante (2,5 m/s), durante 8 horas a 45°C, de la misma manera se repitió el procedimiento para la muestra fresca, excluyendo el tratamiento Ultrasónico.

Figura 3

Flujograma para la incorporación de hierro y ácido ascórbico en camote (Ipomoea batatas).



2.4. Métodos de análisis para la determinación de hierro y ácido ascórbico

Se analizó el contenido inicial y final de hierro y ácido ascórbico en todos los tratamientos realizados para poder obtener la cantidad incorporada.

2.4.1. Determinación del contenido de hierro

La determinación de hierro total se realizó con adaptaciones del método AOAC (944.02). En este método el Fe^{2+} reacciona con 1,10-fenantrolina produciendo un complejo de color rojo característico. El clorhidrato hidroxilamina es un agente reductor que debe ser puesto en la solución para reducir el Fe^{3+} a Fe^{2+} .

Preparación de la muestra

Se pesó 1g de la muestra en un crisol, se rotuló y se colocó en un horno mufla (Sel-Horn "R-8 L) a $550^{\circ}\text{C} \pm 15^{\circ}\text{C}$ por 5 horas. Se utilizó 3 repeticiones en todos los análisis. Se adicionó 0,100 mL de ácido nítrico en la muestra incinerada, se homogeneizó y se evaporó hasta secar en placa calefactora. Posteriormente, se adicionó 1 mL de ácido clorhídrico y se colocó a evaporar en placa calefactora. Después, se adicionó 0,200 mL de ácido clorhídrico, se transfirió la muestra a tubos de ensayo aforado de 10 mL y se llenó el volumen con agua destilada. Además, se realizó un muestra blanco y se repitió todos los pasos.

Determinación de la concentración total de hierro

Para la muestra en blanco y fresca se transfirió 2 mL de la solución obtenida después del tratamiento anterior a un tubo de ensayo, para las muestras en las que se incorporó hierro se utilizó una alícuota de 0,200 mL. Posteriormente, se adicionó 0,600 mL de clorhidrato hidroxilamina y se dejó reposar en un lugar oscuro durante 5 min, a continuación, se adiciono 1,500 mL de buffer acetato y 0,600 mL de 1,10-fenantrolina, se llenó el volumen hasta 10 mL. Finalmente, se agitó en vortex a 1000 rpm x 10s y se dejó reposar en un lugar oscuro durante 10 min. La absorbancia se midió a 510 nm utilizando un espectrofotómetro de UV-visible (marca Thermoscientific, modelo Genesys 150). Todas las determinaciones se realizaron por triplicado.

2.4.2. Determinación del contenido de *ácido ascórbico*

La vitamina C total (ácido ascórbico + ácido dehidroascórbico) se determinó por el método espectrofotométrico UV presentado por Mizanur et. al, (2007). En este método el bromo oxida el ácido ascórbico a ácido dehidroascórbico en presencia de ácido acético.

Preparación de la muestra

Se pesó 1 g de muestra y se mezcló con 20 mL de una solución de ácido metafosfórico al 5% y ácido acético al 10%. Se agitó en el agitador magnético durante 4 min a 2500 rpm. Posteriormente se filtró la solución y se recogió el filtrado transparente.

Determinación de la concentración total de ácido ascórbico

Para la muestra en blanco se utilizó 3 mL de la solución de ácido metafosfórico al 5% y ácido acético al 10%, para la muestra fresca se utilizó 3 mL de la solución filtrada y para las muestras en las que se incorporó ácido ascórbico se utilizó una alícuota de 0,200 mL. Posteriormente se añadió 0,150 mL de agua con bromo a la solución de muestra filtrada para oxidar el ácido ascórbico a ácido dehidroascórbico.

Luego se le agregó 0,080 mL de tiourea 10% para eliminar el exceso de bromo, después se añadió 1 mL de solución de 2,4-DNPH y se agitó en vórtex durante 10 seg a 1500 rpm. Para finalizar la reacción, las muestras se incubaron a 37°C de temperatura durante 3 horas. Después de esta incubación, las muestras fueron enfriadas en un baño de hielo y se agregó 1 mL de H₂SO₄ al 85% con agitación constante y suave; posteriormente se completó el volumen de 5 mL con agua destilada. Como resultado, se obtuvo una solución coloreada cuya absorbancia se tomó a 521 nm.

2.5. Análisis de datos

Para el desarrollo de esta presente investigación se empleó un diseño estadístico de arreglo factorial de tipo 2 x 6; el factor frecuencia (37-80 kHz) y el factor de tiempo de exposición al ultrasonido (10, 20, 30, 40, 50 y 60 min) como se muestra en la presente tabla 6.

Tabla 8

Plan experimental del camote tratado con ultrasonido para la incorporación de hierro y ácido ascórbico.

Tratamiento	Frecuencia (kHz)	Tiempo
T1	80 kHz	10 minutos
T2	80 kHz	20 minutos
T3	80 kHz	30 minutos
T4	80 kHz	40 minutos
T5	80 kHz	50 minutos
T6	80 kHz	60 minutos
T7	37 kHz	10 minutos
T8	37 kHz	20 minutos
T9	37 kHz	30 minutos
T10	37 kHz	40 minutos
T11	37 kHz	50 minutos
T12	37 kHz	60 minutos

Nota: Cada tratamiento se realizó por triplicado; y se expresaron tomando los promedios \pm desviación estándar. Los datos que fueron obtenidos en la experimentación en la determinación de ácido ascórbico y hierro fueron analizados utilizando el análisis de varianza (ANOVA) y *Kruskall Wallis*, debido a que algunos datos cumplieron y otros no cumplieron con los supuestos de normalidad, por consiguiente, se utilizaron métodos paramétricos y no paramétricos. Se permitió establecer diferencias significativas entre los tratamientos usando la prueba de Tukey. Se utilizó el Software SPSS. La optimización del proceso se llevó a cabo utilizando el software Statgraphics Centurión XVI.

III. RESULTADOS

3.1. Evaluar el efecto de la frecuencia y tiempo de exposición al ultrasonido para la incorporación de hierro y ácido ascórbico en camote (*Ipomoea batatas*).

Se realizó la incorporación de hierro y ácido ascórbico y, se determinó el efecto de la frecuencia y tiempo de exposición al ultrasonido en el contenido de hierro y ácido ascórbico.

Para el análisis estadístico del contenido de hierro y ácido ascórbico, se efectuó la prueba de normalidad Shapiro-Wilk. La variable frecuencia y tiempo arrojaron un p-Valor menor al 0.05; lo que permitió realizar la prueba no paramétrica Kruskal – Wallis, dando como resultado que, el factor frecuencia no produce diferencia significativa con respecto al contenido de hierro. Para el factor tiempo se obtuvo como resultado, que el tiempo si produce diferencia significativa por lo tanto, se efectuó la prueba de comparaciones por pareja.

Para el análisis estadístico del contenido de ácido ascórbico, se efectuó la prueba de normalidad Shapiro-Wilk. El factor frecuencia y tiempo arrojaron un p-Valor mayor al 0.05; lo que permitió realizar la prueba paramétrica ANOVA, las diferencias significativas se evaluaron con la prueba de Tukey.

Tabla 9

Prueba no paramétrica Kruskal – Wallis

Resumen de contrastes de hipótesis			
Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
La distribución de Hierro es la misma entre las categorías de Frecuencia.	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	0.476	Conserve la hipótesis nula.

Nota. En la tabla 9, se observa que el valor de significancia es mayor a 0.05, por lo tanto; se conserva la hipótesis nula, el factor frecuencia no produce ninguna diferencia significativa en el contenido de hierro.

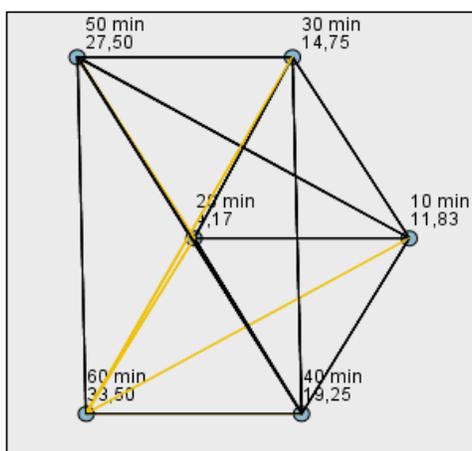
Tabla 10*Prueba no paramétrica Kruskal – Wallis*

Resumen de contrastes de hipótesis			
Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
La distribución de Hierro es la misma entre las categorías de Tiempo.	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	0	Rechace la hipótesis nula.

Nota. En la tabla 10, se observa que el valor de significancia es menor a 0.05, por lo tanto; se rechaza la hipótesis nula, es decir al menos uno de los tiempos produce diferencia significativa en el contenido de hierro.

Figura 4

Prueba de Comparaciones por parejas de tiempo en la incorporación de hierro.

Comparaciones por parejas de Tiempo

Nota. En la figura 1, se observa que existe diferencia estadísticamente significativa en los tiempos 20-50, 20-60, 10-60 y 30-60.

Tabla 11*Prueba no paramétrica Kruskal – Wallis*

Resumen de contrastes de hipótesis			
Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
La distribución de ácido ascórbico es la misma entre las categorías de Frecuencia.	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	0,268	Conserve la hipótesis nula.

Nota. En la tabla 11, se observa que el valor de significancia es mayor a 0.05, por lo tanto; se conserva la hipótesis nula, el factor frecuencia no produce ninguna diferencia significativa en el contenido de ácido ascórbico.

Tabla 12*Prueba no paramétrica Kruskal – Wallis*

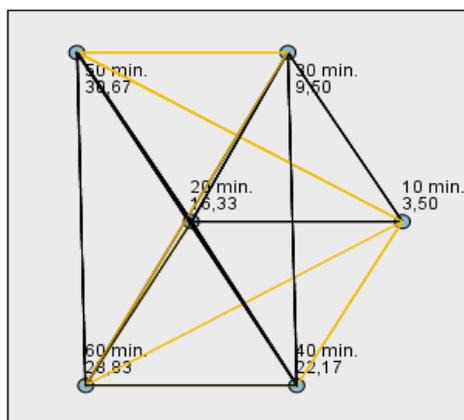
Resumen de contrastes de hipótesis			
Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
La distribución de ácido ascórbico es la misma entre las categorías de Tiempo.	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	0,000	Rechace la hipótesis nula.

Nota. En la tabla 12, se observa que, el valor de significancia es menor a 0.05, por lo tanto; se rechaza la hipótesis nula, es decir al menos uno de los tiempos produce diferencia significativa en el contenido de hierro.

Figura 5

Prueba de Comparaciones por parejas de tiempo en la incorporación de ácido ascórbico

Comparaciones por parejas de Tiempo



Nota. En la figura 1, se observa que existe diferencia estadísticamente significativa en los tiempos 10-40, 10-50, 10-60, 30-50 y 30-60.

3.2. Analizar las concentraciones de hierro y ácido ascórbico incorporado en cada uno de los tratamientos aplicados.

Se determinó el efecto de la combinación de la frecuencia y tiempo de exposición al ultrasonido en el contenido de hierro y ácido ascórbico en cada uno de los tratamientos incorporados.

Para el análisis estadístico en el contenido de hierro y ácido ascórbico, se efectuó la prueba de normalidad Shapiro-Wilk, el p-Valor fue mayor al 0.05 por lo cual se realizó la prueba ANOVA la cual arrojó como resultado un p-Valor menor al 0.05; las diferencias significativas se evaluaron con la prueba comparación múltiple de Tukey.

Tabla 13

ANOVA para la combinación de tratamientos en la incorporación de hierro

Hierro					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Tratamientos	22001,931	11	2000,176	3879.045	0,000
Error	12,375	24	0,516		
Total	22014,307	35			

Nota. Dado que el valor de la significancia calculada mediante la prueba ANOVA es menor que el 5%, indica que los tratamientos si producen diferencia significativa en el contenido de hierro.

Tabla 14

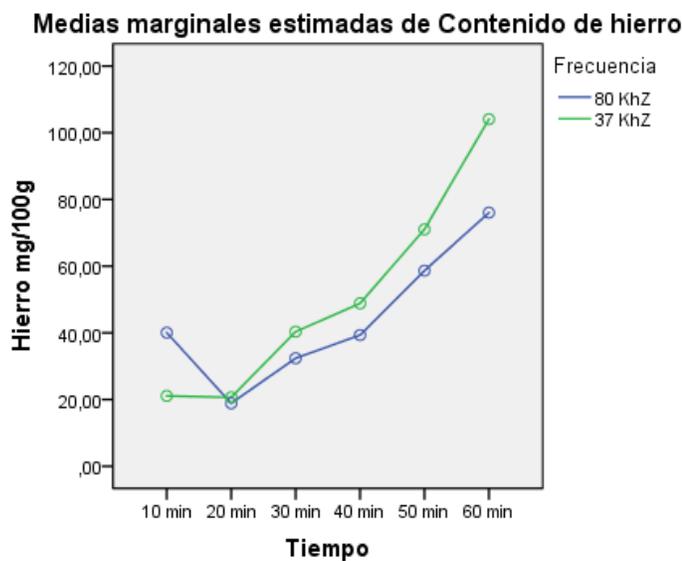
ANOVA para la combinación de tratamientos en la incorporación de ácido ascórbico

Ácido ascórbico					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Tratamientos	287572.87	11	26142.99	642.43	0,000
Error	976.65	24	40.69		
Total	288549.51	35			

Nota. Dado que el valor de la significancia calculada mediante la prueba ANOVA es menor que el 5%, indica que los tratamientos si producen diferencia significativa en el contenido de ácido ascórbico.

Figura 6

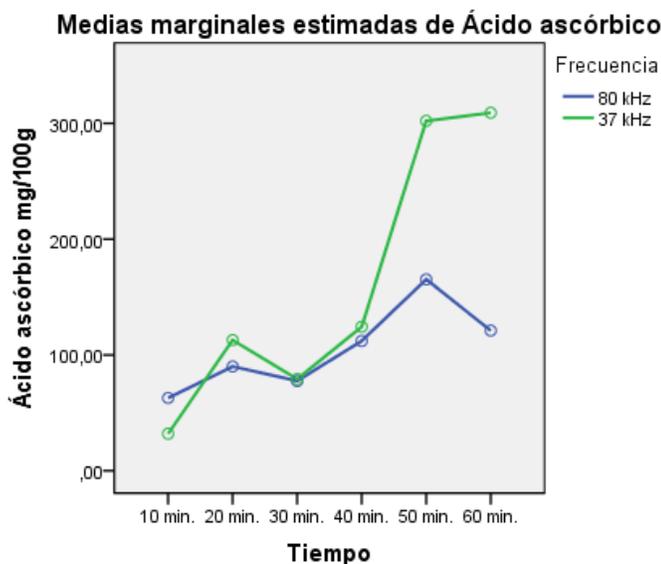
Combinación de los tratamientos: efectos de frecuencia y tiempo de exposición de camote al ultrasonido sobre el contenido de hierro.



Nota: La gráfica muestra que el T11 (37 kHz – 50 min) y T12 (37 kHz – 60 min) obtuvieron los mayores promedios de contenido de hierro.

Figura 7

Combinación de los tratamientos: efectos de frecuencia y tiempo de exposición de camote al ultrasonido sobre el contenido de ácido ascórbico.



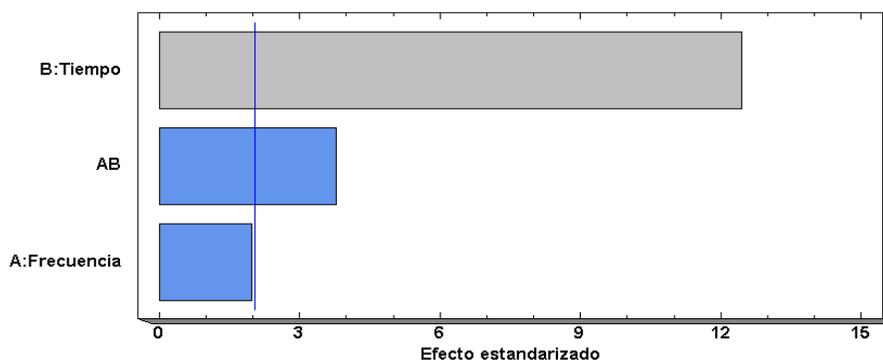
Nota: La gráfica muestra que el T5 (37 kHz – 50 min) y T12 (37 kHz – 60 min) obtuvieron los mayores promedios del contenido de ácido ascórbico.

3.3. Optimización del proceso de incorporación de hierro y ácido ascórbico en camote (*Ipomoea batatas*)

Se optimizó el proceso utilizando la metodología de superficie de respuesta (RSM)

Figura 8

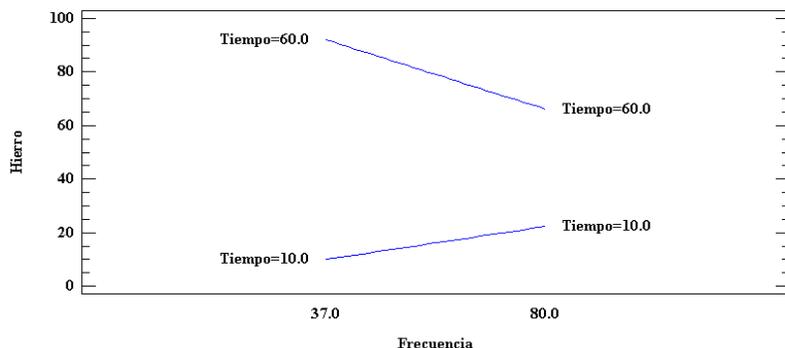
Diagrama de Pareto del tiempo, frecuencia e interacción de frecuencia*tiempo en contenido de hierro en camote tratado por ultrasonido.



Nota: La figura 8 muestra que existe un efecto significativo del factor tiempo y la interacción de la frecuencia y tiempo de exposición en la incorporación de hierro, sin embargo el factor frecuencia no tuvo un efecto significativo en el contenido de hierro en camote tratado con ultrasonido.

Figura 9

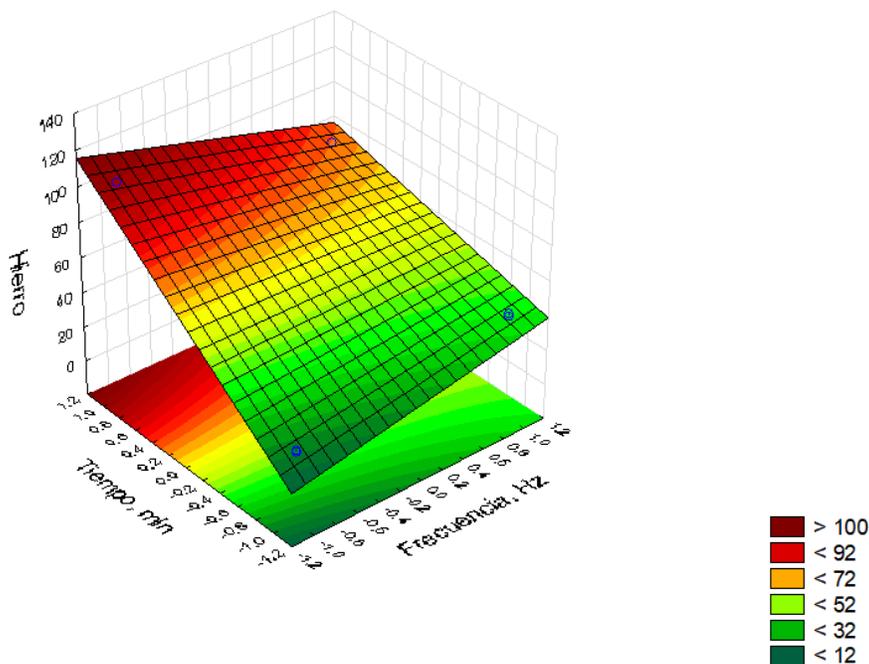
Gráfico de interacción del tiempo y frecuencia en el contenido de hierro tratado por ultrasonido.



Nota: La figura 9 muestra que a menor frecuencia (37 kHz) y mayor tiempo de exposición (60 min) al ultrasonido el contenido de hierro en camote tratado con ultrasonido aumenta, sin embargo la frecuencia de 80 kHz incorporó un mayor contenido en el mínimo tiempo de exposición.

Figura 10

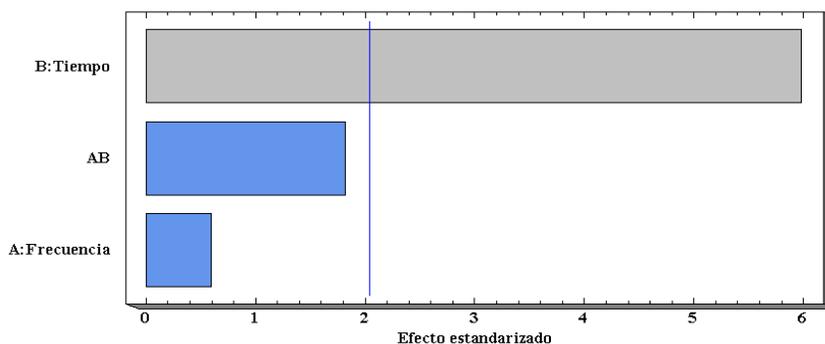
Gráfica de superficie respuesta de la frecuencia y tiempo en el contenido de hierro en la muestra de camote tratada con ultrasonido



Nota: La figura 10, muestra los valores de contenido de hierro, la frecuencia de 37 kHz y el tiempo de exposición de 60 min, permitieron obtener el contenido de hierro más alto a 104.05 mg/100 gr de muestra.

Figura 11

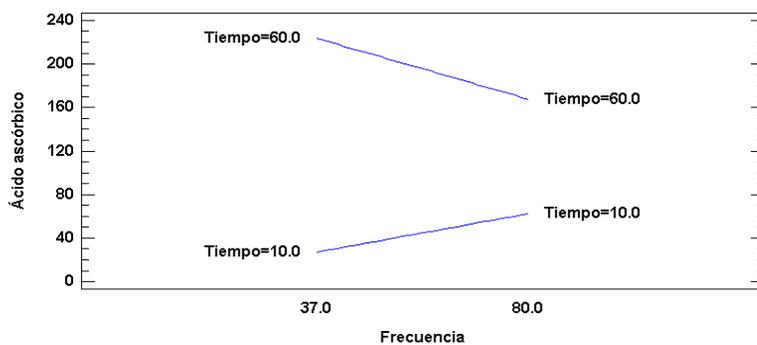
*Diagrama de Pareto del tiempo, frecuencia e interacción de frecuencia*tiempo en contenido de ácido ascórbico en camote tratado por ultrasonido.*



Nota: La figura 11 muestra que no existe un efecto significativo del factor frecuencia y la interacción de frecuencia y tiempo, sin embargo el factor tiempo logró un efecto significativo en el contenido de ácido ascórbico en camote tratado con ultrasonido.

Figura 12

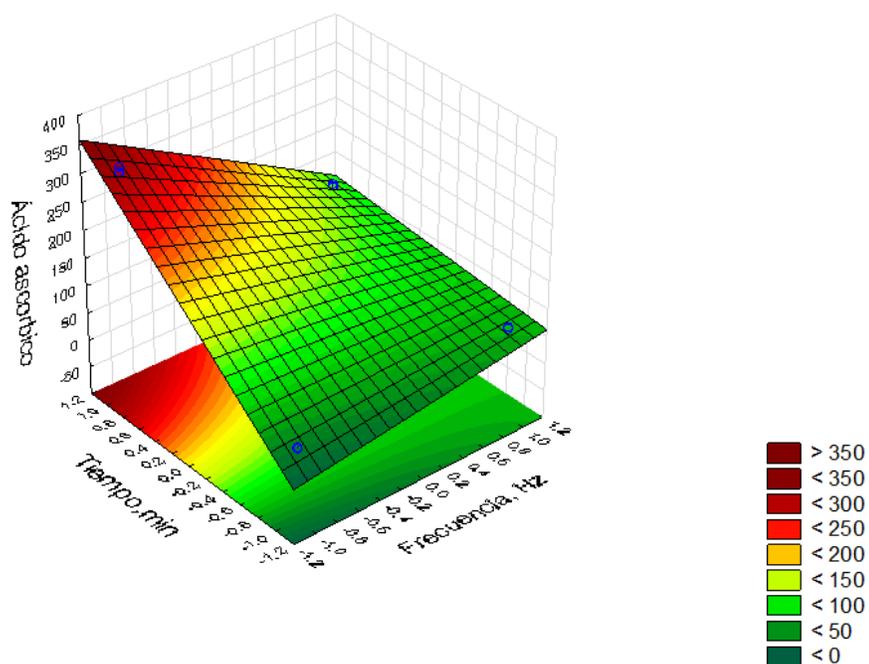
Gráfico de interacción del tiempo y frecuencia en el contenido de ácido ascórbico tratado por ultrasonido.



Nota: La figura 12 muestra que la menor frecuencia (37 kHz) y el mayor tiempo de exposición (60 min) al ultrasonido el contenido de ácido ascórbico en camote tratado con ultrasonido aumenta, sin embargo la frecuencia de 80 kHz incorporó un mayor contenido en el mínimo tiempo de exposición.

Figura 13

Gráfica de superficie respuesta de la frecuencia y tiempo en el contenido de ácido ascórbico en la muestra de camote tratada con ultrasonido



Nota: La figura, muestra los valores de contenido de ácido ascórbico, lo cual la frecuencia de 37 kHz y el tiempo de exposición de 60 min, permitieron obtener el contenido de ácido ascórbico más alto a 388.4 mg/100 gr de muestra.

IV. DISCUSIONES

4.1. Evaluar el efecto de la frecuencia y tiempo de exposición al ultrasonido para la incorporación de hierro y ácido ascórbico en camote (*Ipomoea batatas*).

Según los resultados obtenidos mediante la prueba Kruskal - Wallis el factor frecuencia no produce ningún efecto o variación en la incorporación de hierro y ácido ascórbico en camote, algunos autores obtuvieron diferentes resultados, Makshour et al., (2018) encontró que la frecuencia si produce diferencia significativa en cuanto a la incorporación de hierro en patata, la frecuencia de 37 kHz generó una mayor incorporación del micronutriente en comparación con la frecuencia de 80 kHz, el autor afirma que esto se debe al fenómeno de cavitación ocasionado por el US, el colapso cavitacional produce la ruptura celular del tejido vegetal, lo cual permite el aumento de la permeabilidad celular, dando como resultado una mejor transferencia de masa. Las frecuencias más bajas de US, generan ondas de mayor longitud, ciclos de compresión más largos y produce una implosión cavitacional violenta, como resultado da una mayor disrupción celular. Por otro lado, Yu et al., (2015) utilizó tres diferentes frecuencias (25, 45, 100 kHz) para enriquecer maní con resveratrol con US como pretratamiento, el encontró que la frecuencia óptima fue la de 100 kHz, cabe recalcar que el autor realiza la comparación de los resultados con respecto a la retención del micronutriente incorporado después de 5 días. La diferencia de estos resultados puede ser ocasionada por la diferente matriz alimentaria empleada, se puede atribuir a la estructura morfológica dura y compacta del camote (Olayemi et al., 2017) que genera una mayor dificultad de transferencia de masa. Además, se debe considerar los diferentes tipos de pre tratamiento que han realizado los autores, asimismo, las diferentes frecuencias utilizadas.

El valor más alto del contenido de hierro se produjo en los tratamientos con mayores tiempos de exposición al ultrasonido; los cuales fueron 50 y 60 min incorporando 71.04 mg/100g y 104.05 mg/100g, respectivamente, no existen antecedentes que hayan realizado incorporación de micronutrientes en camote, sin embargo, en otros alimentos se ha logrado incorporar hierro utilizando la misma tecnología.

Resultados similares encontró Carvalho et al., (2021), incorporó sulfato ferroso microencapsulado en piña, el autor menciona que los tiempos más prolongado obtuvieron un mayor contenido ($p < 0.05$), el pre tratamiento de 30 min aumentó en 1157.5% su contenido, sin embargo, el uso de US no afectó significativamente en la incorporación, a pesar de ello permite una mayor homogeneidad del proceso y producto. De manera similar, Rojas et al., (2019) tuvo el mismo resultado, el US no afectó en la incorporación de hierro y carotenoides microencapsulado en

calabaza y manzana, a pesar de ello, el tiempo de 30 min, generó un aumento más del 1000% del contenido y su aplicación ayudó a mejorar la dispersión de las micropartículas de etanol.

Asimismo, Miano et al., (2018), encontró que el contenido de hierro en frijoles aumentó significativamente en los mayores tiempos de exposición, obteniendo un aumento de 60.1 mg/100g de hierro después de 510 min de proceso de hidratación con ultrasonidos, el autor menciona que este comportamiento que el ultrasonido mejoró la captación de agua con partículas de hierro.

La cantidad de incorporación de ácido ascórbico en camote depende significativamente del factor tiempo ($p < 0.05$), siendo el tiempo de 50 y 60 min los que obtuvieron los valores más altos de incremento de la vitamina (302,17 y 309,15 mg/100g), respectivamente. No hay antecedentes que empleen la técnica para incorporar hierro y ácido ascórbico en camote, debido a que esta se viene estudiando recientemente para la incorporación, sin embargo, se logró encontrar estudios en los que se incorporó vitaminas en otras matrices alimentarias.

Tiozon et al., (2020) incorporó ácido fólico (vit B) en arroz aplicando US como pre tratamiento, utilizaron 3 diferentes tiempos (1, 3 y 5 min), cabe recalcar que el tiempo de sonicación depende del tipo de matriz alimentaria, el micronutriente a incorporar, entre otros factores. El tiempo de 5 min fue el tiempo que obtuvo el valor más alto de incorporación, logrando un aumento de ácido fólico de 1 982 veces más en el arroz integral y 4 054 veces en el arroz molido, además el US mejoró la capacidad de retención del micronutriente después del proceso de cocción, en un 93.53% (integral) y 86.52% (molido).

De la misma manera, Bonto et al., (2018) fortificó arroz con vitamina B5 estándar (ácido pantoténico), las muestras se sometieron a un baño ultrasónico durante 5, 15, 25 y 35 min como pre tratamiento, siendo el tiempo de 25 min el que obtuvo una mejor transferencia de masa, siendo la absorción del ácido pantoténico en el arroz 140 % más que el arroz no sonicado. La muestra que estuvo sonicada durante 35 min, el almidón se gelatinizó debido al incremento de t° (42-45°C). El autor menciona que a medida que incrementa el tiempo de sonicación el efecto es mayor, ya que, las ondas ultrasónicas a mayor tiempo de exposición tienden a romper las paredes celulares, lo que permite una mejor transferencia de masa de fragmentos celulares al medio acuoso y que el aumento de la capacidad de absorción de la vitamina se debe a los cambios macroestructurales.

4.2. Comparar la efectividad del ultrasonido en las concentraciones de hierro y ácido ascórbico en cada uno de los tratamientos aplicados.

La fig. 6 muestra el contenido de hierro en los diferentes tiempos de exposición y frecuencias, se observó que en el tiempo de 10 min a una frecuencia de 80 kHz se obtuvo una mayor incorporación en comparación con la frecuencia de 37 kHz, resultados similares obtuvo (García- Noguera et al., 2010), las frecuencias más altas a cortos tiempos obtienen un alto impacto, a los 20 min hubo una interacción en el contenido de hierro para ambas frecuencias, a partir del tiempo de 30 min el contenido aumentó para ambas frecuencias, sin embargo se observó un incremento mayor en la frecuencia de 37 kHz.

El valor más alto de contenido de hierro se obtuvo con 104.05 mg/100g en base seca, en el tratamiento de 37 kHz - 60 min. Estos resultados son comparables con los estudios de Carvalho et al., 2021; Lindsay et al., 2019, en el que obtuvieron un significativo aumento del contenido de hierro en piña (1157.5%), y en calabaza (1552%) en comparación con la muestra testigo, en el tratamiento de 25 kHz-30 min. Como se mencionó anteriormente no hubo diferencia significativa con la muestra sin aplicación de ultrasonidos, pero mejoró la homogeneidad de las micro partículas de hierro agregadas. No obstante, el aumento del contenido de hierro fue inferior al del presente estudio (5605.5%), esto se puede justificar por la diferente cantidad de hierro empleado y la diferencia de tiempo máximo de exposición de nuestra investigación el cual fue de 60 min.

Por otro lado, Miano et al (2018) obtuvo resultados similares al presente estudio, el autor aprovechó el proceso de hidratación asistido por US (25kHz-91W/L) para incorporar hierro en frijoles, su contenido aumento en 2659% en comparación de la muestra control en un tiempo de 510 min, sin embargo, desde los 60 min de exposición al ultrasonido su contenido incrementó en un aprox. de 778%. Olayemi et al., (2017) informó un resultado diferente en su estudio, efecto del ultrasonidos y la deshidratación osmótica en la cinética de transferencia de masa en camote, el autor menciona que la acción del ultrasonido debilita la membrana celular y crea espacios intracelulares que potencia la captación de sólidos, cuanto mayor es la pérdida de agua y la ganancia sólida, más colapsa la estructura celular. Sin embargo a mayor tiempo de exposición los vacíos se llenan de solutos lo que conduce a una menor pérdida de agua y ganancia de solutos, cabe que recalcar que la ganancia de solutos depende de la resistencia de la pared celular y el peso molecular del soluto, y el autor trabajó con sacarosa.

La fig. 7 muestra el contenido de ácido ascórbico en los diferentes tiempos de exposición y frecuencias, se observó que, en el tiempo de 10 min, la frecuencia de 80 kHz obtuvo una mayor incorporación en comparación con la de 37 kHz, sustentando anteriormente. A partir de los 20 min el contenido de ácido ascórbico incrementó en ambas frecuencias, sin embargo, se observó un incremento mayor en la frecuencia de 37 kHz.

El valor más alto de contenido de ácido ascórbico fue de 309,15 mg/100g en base seca, en el tratamiento de 37 kHz - 60 min, sin embargo, no hubo una diferencia significativa con el tratamiento de 37 kHz – 50 min el cual incorporó una cantidad similar de ácido ascórbico siendo esta de 302,17 mg/100g. Estos resultados son comparables con el estudio de Martínez et al., (2022), impregnó ácido ascórbico en banano, utilizando deshidratación osmótica asistida con ultrasonidos, el tiempo de exposición al ultrasonido fue de 30 min con una frecuencia de 80 kHz, como resultado el contenido aumentó en 285% de su contenido inicial, resultado bastante similar en comparación con el tratamiento de (80 kHz- 30min) el cual aumentó en 322%, se fundamenta que el valor incrementado de ácido ascórbico en banano es menor ya que el autor utilizó 1g de ácido ascórbico en su metodología de incorporación.

Asimismo, Vasile et al., (2022), impregnó vitamina B12 en cubos de manzanas con US e impregnación al vacío, el autor comparó 3 tiempos de pretratamiento para el US (5, 10 y 15 min), encontró que el mayor tiempo de exposición (15min – 24 kHz) permitió un valor más alto de contenido de la vitamina, en un 69% más en comparación con la muestra de 5 min.

4.3. Optimización del proceso de incorporación de hierro y ácido ascórbico en camote (*Ipomoea batatas*)

Se optimizó el proceso utilizando la metodología de superficie de respuesta (MRS), los resultados obtenidos fig. 10 y fig. 13, indicaron que la frecuencia y el tiempo de exposición al ultrasonido óptimo para la incorporación de hierro y ácido ascórbico es de 37 kHz y 60 min, ya que estos obtuvieron los valores más altos en comparación a su contenido inicial. El fundamento principal para dichos resultados se debe como se mencionó anteriormente a la mayor permeabilidad del tejido del alimento como resultado de la cavitación ocasionada por el US. Olayemi et al., (2016) obtuvo resultados similares en su estudio, el autor optimizó el proceso de deshidratación osmótica asistida con ultrasonidos mediante (MRS), como resultado obtuvo que la frecuencia óptima fue 33,93 kHz, y el tiempo óptimo fue de 30 min siendo este su tiempo máximo de exposición, obteniendo una ganancia de sólidos del 4,40%.

El autor menciona que a medida que la frecuencia aumentó la pérdida de agua y la reducción del peso disminuyó; por lo tanto, una frecuencia más baja favorece la deshidratación osmótica de camote.

Mashkour et al., (2018) obtuvo resultados diferentes, incorporó hierro en patata utilizando frecuencia de 37-80 kHz y diferentes tiempos de exposición, el autor concluye que a mayor tiempo de exposición observó una mayor fuga de los componentes de la patata, cabe recalcar que este es un efecto secundario de la impregnación al vacío, y se vio reforzada al combinarlo con US, la optimización del proceso dio como resultado que las patatas deben ser pretratadas a una frecuencia de 37 kHz durante 24 min, dicha aplicación mejoró significativamente el contenido de hierro de 137,5 y 210% ($p < 0.05$). De manera similar, Maleki et al., (2019) encontró en la zanahoria el tiempo óptimo (25 kHz – 10 min) para la ganancia de sólidos e impregnación de fenoles fue el menor, ya que el tiempo más alto tuvo efectos negativos debido al efecto destructivo del tejido.

Por otro lado, Sucheta et al., (2019) optimizó la impregnación de solutos y especias en zanahorias mejorada por ultrasonidos (37 kHz – 550 W), utilizando un diseño compuesto central de Metodología Superficie de respuesta (RSM), como resultado las mejores variables para la impregnación fueron: 8,18% de NaCl, 4,30% mezcla de especias y 14,47 min de exposición al ultrasonido. El ultrasonido mejoró la transferencia de masa, textura, retención de antiocianinas, actividad antimicrobiana contra *Aspergillus niger* y *E. coli*, e impregnación de las especias, el autor sustenta que esto se debe a la transferencia de masa, la ultrasonicación ayuda en la rotura de la estructura del tejido y a los cambios en el grado de cristalinidad de la pectina y NaCl esto se observó por el difractograma de rayos X.

Asimismo, Azarpazhooh1 et al., (2020) optimizó la impregnación de fenoles de orujo uva en aloe vera combinando deshidratación osmótica con ultrasonidos (25kHz, 200 - 400 W) los tiempos de exposición al US fueron (30, 135, 210 min). Los parámetros de optimización se obtuvieron utilizando un diseño RSM los cuales fueron: 50% sacarosa, 50°C, 59% amplitud, 20% extracto de orujo de uva y 173 min de tiempo de inmersión. La combinación de estas técnicas logró una mayor ganancia de sólidos, aumentando el contenido y la retención de compuestos fenólicos. Los modelos desarrollados tuvieron una correlación con los datos obtenidos por la fase experimental de 95%.

V. CONCLUSIONES

- El contenido de hierro y ácido ascórbico no se vio afectado por el factor frecuencia, sin embargo el factor tiempo si condujo a una diferencia significativa entre los 6 diferentes tiempos de exposición, se obtuvo el valor más alto en el contenido de hierro y ácido ascórbico a los 60 min de tratamiento en el ultrasonido.
- El tratamiento 1 (80kHz-10 min) en el cual se utilizó el tiempo mínimo de exposición de las muestras al baño ultrasónico permitió incorporar en mayor cantidad en comparación del tratamiento 7 (37 kHz -10 min), sin embargo el tratamiento 12 (37 kHz-60 min) fue el que generó un mayor contenido de ácido ascórbico y hierro contenido en comparación con todos los demás tratamientos.
- Los valores optimizados obtenidos fueron frecuencia de 37 kHz y tiempo de exposición de 60 min, su contenido aumentó en 104.05 mg/100g para hierro y 388.4 mg/100g para ácido ascórbico.

VI. RECOMENDACIONES

- Para obtener mejores resultados en la incorporación de hierro y ácido ascórbico se puede utilizar la tecnología ultrasónica en combinación con otras tecnologías como, impregnación al vacío y deshidratación osmótica.
- Controlar la temperatura del baño ultrasónico, cambiar el agua o combinarla con agua fría cuando las muestras se someten mayor tiempo de exposición, si se trabaja incorporando vitaminas, se recomienda mantener una temperatura por debajo de los 40°C porque están suelen ser termosensibles.
- Realizar la incorporación con hierro y ácido ascórbico microencapsulado, lo cual puede permitir una mayor cantidad de incorporación y reducir los efectos indeseables en las características organolépticas de los alimentos.
- Evaluar los cambios microestructurales ocasionados por el ultrasonido mediante microscopía de barrido, asimismo realizar los análisis microestructurales y la retención de los micronutrientes después de 30 días del proceso.
- Realizar un análisis de biodisponibilidad de los micronutrientes, ya que la formulación de un alimento fortificado se rige en función a la biodisponibilidad de estos.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Association of Official Analytical Chemistry AOAC, O. M. A. (s.f.). *Methodo AOAC 944.02*. (16th edition ed.). United States

Armando, J., Rosas, P., Ramírez, J. y Ulloa, B. (2014). Ultrasonido: aplicaciones en el campo de los alimentos. *Revista Fuente nueva época*, 14. ISSN2007 – 0713.

Azarpazhooh, E., Sharayei, P. y Ramaswamy, H. (2020). Optimization of ultrasound-assisted osmotic treatment of Aleo vera gel impregnated with grape pomace phenolic compounds using response surface methodology. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 22(3):202-212. Recuperado de <https://cigrjournal.org/index.php/Ejournal/article/view/5602/3391>

Bhargava, N., Mor, R., Kumar, K. y Sharanagat, V. (2020). Advances in application of ultrasound in food processing: A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 70. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105293>

Bonto, A., Jearanaikoon, N., Sreenivasulu, N. y Camacho, D. (2020). High uptake and inward diffusion of iron fortificant in ultrasonicated milled rice. *LWT - Food Science and Technology*, 128. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109459>

Carvalho, G., Massarioli, A., Dutra, I. y Duarte, P. (2020). Iron Fortified Pineapple Chips Produced Using Microencapsulation, Ethanol, Ultrasound and Convective Drying. *Food Engineering Reviews*, <https://doi.org/10.1007/s12393-020-09259-4>.

Latham, M. (2002). *Nutrición humana en el mundo en desarrollo. Procesamiento y fortificación de los alimentos*. Ithaca, Nueva York, Estados Unidos. *FAO*, (29). Recuperado de <https://www.fao.org/3/w0073s/w0073s10.htm#bm36x>

Garcia-Noguera, J., Oliveira, P., Gallão, I., Weller, C., Rodrigues, S. y Fernandes, F. (2010). Ultrasound-Assisted Osmotic Dehydration of Strawberries: Effect of Pretreatment Time and Ultrasonic Frequency, *Drying Technology: An International Journal*, 28 (2), 294-303, DOI: 10.1080/07373930903530402

Genevois, C., Flores, S. y Escalada, M. (2014). Effect of iron and ascorbic acid addition on dry infusion process and final color of pumpkin tissue. *LWT - Food Science and Technology*, (58), 563-570. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2014.03.020>

Instituto Nacional de Salud. (2020). *Situación actual de la anemia*. <https://anemia.ins.gob.pe/situacion-actual-de-la-anemia-c1>

Joshi, A., Prajapati, U., Sethi, S., Arora, B., & Sharma, R. R. (2019). Fortification in fresh and fresh-cut horticultural products. In *Fresh-Cut Fruits and Vegetables: Technologies and Mechanisms for Safety Control*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816184-5.00009-4>

Lindsay, M., Dutra, I. y Duarte, P. (2019). Incorporation of microencapsulated hydrophilic and lipophilic nutrients into foods by using ultrasound as a pre-treatment for drying: a prospective study. *Ultrasonics Sonochemistry*, 54, 153-161. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.02.004>

Maleki, M., Shahidi, F., Varidi, M. y Azarpazhooh, E. (2019). Hot air drying kinetics of novel functional carrot snack: Impregnated using polyphenolic rich osmotic solution with ultrasound pretreatment. *Journal of Food Process Engineering*. DOI: 10.1111/jfpe.13331

Martínez, C. E., Solis, A. C., Rodríguez, J., Juárez, J. M., Ramírez, E. J., Ruiz, I. I., Gómez, C. A., & Herman, E. (2022). Evaluation of ascorbic acid impregnation by ultrasound-assisted osmotic dehydration in plantain. *Journal of Food Processing and Preservation*, February, 1–14. <https://doi.org/10.1111/jfpp.16839>

Mashkour, M., Maghsoudlou, Y., Kashaninejad, M. y Aalami, M. (2017). Effect of ultrasound pretreatment on iron fortification of potato using vacuum impregnation. *Journal of Processing and Preservation*, 24(5). <https://doi.org/10.1111/jfpp.13590>

Mason, T., Chemat, F. y Ashokkumar, M. (2015). Power ultrasonics for food processing. *Power Ultrasonics*, 815–843. <https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-028-6.00027-2>

Mehmet, F. y Ersus, (2018). Ultrasound-assisted vacuum impregnation on the fortification of fresh-cut Apple with calcium and black carrot phenolics. *Ultrasonics Sonochemistry*, 18. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.07.007>

Miano, A. y Duarte, P. (2018). The ultrasound assisted hydration as an opportunity to incorporate nutrients into grains. *Food Research International*, 106, 928-935. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.02.006>

Ministerio de Salud (2017). Norma técnica de Salud para el manejo terapéutico y preventivo de la anemia en los niños, adolescentes, mujeres gestantes y puérperas. (Norma núm. 134)

- Mizanur, M., Rahman, M. y Mazedul, M. (2007). Analysis of Vitamin C (ascorbic acid) Contents in Various Fruits and Vegetables by UV-spectrophotometry. *Bangladesh Journal Science Industrial Research*. 42(4), 417-424.
- Olayemi, A., Ma, H., Qu, W., Zhou, C., y Wu, B. (2017). Effects of Ultrasound on Mass Transfer Kinetics, Structure, Carotenoid and Vitamin C Content of Osmodehydrated Sweet Potato (*Ipomea Batatas*). *Food and Bioprocess Technology*, 10(6), 1162–1172. doi:10.1007/s11947-017-1890-7
- Olayemi, A, y Haile, M. (2016). Optimisation of ultrasound-assisted osmotic dehydration of sweet potato (*Ipomea batatas*) using response surface methodology. *J Sci Food Agric* 96, 3688–3693. DOI 10.1002/jsfa.7552
- OMS (2015). La prevalencia mundial de la anemia en 2011.
- Shubham, K., Anukiruthika, T., Dutta, S., Kashyap, A., Moses, J. y Anandharamakrishnan, C. (2020). Iron deficiency anemia: A comprehensive review on iron absorption, bioavailability and emerging food fortification approaches. *Trends in Food Science & Technology* (99), 58–75. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.02.021>
- Suchetaa, K., Chaturvedi, K. y Kumar, S. (2019). Ultrasonication assisted salt-spices impregnation in black carrots to attain anthocyanins stability, quality retention and antimicrobial efficacy on hot air convective drying. *Ultrasonics – Sonochemistry*, 58. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.104661>
- Tiozon, R. N., Camacho, D. H., Bonto, A. P., Oyong, G. G., & Sreenivasulu, N. (2021). Efficient fortification of folic acid in rice through ultrasonic treatment and absorption. *Food Chemistry*, 335. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127629>
- Tostado-Madrid, T., Benítez-Ruiz, I., Pinzón-Navarro, A., Bautista-Silva, M. y Ramírez-Mayans, J. (2015). Actualidades de las características del hierro y su uso en pediatría. *Acta Pediatr Mex*, (36), 189-200. Recuperado de <https://www.scielo.org.mx/pdf/apm/v36n3/v36n3a8.pdf>
- Renne, A., Zaucedo, A. & Ramos., (2018). Propiedades nutrimentales del camote (*Ipomoea batatas* L.) y sus beneficios en la salud humana. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, vol. 19, núm. 2, <https://www.redalyc.org/journal/813/81357541001/html/>.
- Rivera, I., Rivera, M. & Rivera, R. (2012). Deficiencia de hierro y su relación con la función cognitiva en escolares. *Revista Ciencia y Tecnología*, 10.

Vasile, F. E., Simal, S., Rosselló, C., & Eim, V. S. (2022). Power Ultrasound-Assisted Impregnation of Apple Cubes with Vitamin B12. *Food and Bioprocess Technology*, 15(1), 219–229. <https://doi.org/10.1007/s11947-021-02752-6>

Yu, M., Liu, H., Shi, A., Liu, L. y Wang, Q. (2015) Preparation of resveratrol-enriched and poor allergic protein peanut sprout from ultrasound treated peanut seeds, *Ultrasonics Sonochemistry*, 28,334-340. [http:// dx.doi.org/10.1016/j.ultsonch.2015.08.008](http://dx.doi.org/10.1016/j.ultsonch.2015.08.008)

ANEXOS

Anexo 1. Pruebas de Normalidad

Tabla 15

Prueba de normalidad para el factor frecuencia en la incorporación de Hierro

Frecuencia	Shapiro-Wilk			
	Estadístico	Gl	Sig.	
Hierro	80 kHz	0,738	18	0,000
	37 kHz	0,821	18	0,003

Nota. Dado que el valor de la significancia calculada mediante la prueba de Shapiro-Wilk es menor que el 5%, indica que la variable frecuencia, no cumple con el supuesto de normalidad, por lo tanto, se aplicó la prueba Kruskal-Wallis como prueba no paramétrica.

Tabla 16

Prueba de normalidad para el factor tiempo en la incorporación de Hierro

Tiempo	Shapiro-Wilk			
	Estadístico	Gl	Sig.	
Hierro	10 min.	0,705	6	0,008
	20 min.	0,868	6	0,968
	30 min.	0,933	6	0,235
	40 min.	0,843	6	0,042
	50 min.	0,734	6	0,005
	60 min.	0,779	6	0,004

Nota. Dado que el valor de la significancia calculada mediante la prueba de Shapiro-Wilk es menor que el 5%, indica que la variable tiempo, no cumple con el supuesto de normalidad, por lo tanto, se aplicó la prueba Kruskal-Wallis como prueba no paramétrica.

Tabla 17

Prueba de normalidad para el factor frecuencia en la incorporación de ácido ascórbico

Frecuencia	Shapiro-Wilk			
	Estadístico	Gl	Sig.	
Ácido ascórbico	80 kHz	0,857	18	0,011
	37 kHz	0,810	18	0,002

Nota. Dado que el valor de la significancia calculada mediante la prueba de Shapiro-Wilk es menor que el 5%, indica que la variable frecuencia, no cumple con el supuesto de normalidad, por lo tanto, se aplicó la prueba Kruskal-Wallis como prueba no paramétrica.

Tabla 18

Prueba de normalidad para el factor tiempo en la incorporación de ácido ascórbico

Tiempo	Shapiro-Wilk			
	Estadístico	gl	Sig.	
Ácido ascórbico	10 min.	0,719	6	0,010
	20 min.	0,929	6	0,576
	30 min.	0,808	6	0,069
	40 min.	0,902	6	0,387
	50 min.	0,757	6	0,023
	60 min.	0,718	6	0,010

Nota. Dado que el valor de la significancia calculada mediante la prueba de Shapiro-Wilk es menor que el 5%, indica que la variable tiempo, no cumple con el supuesto de normalidad, por lo tanto, se aplicó la prueba Kruskal-Wallis como prueba no paramétrica.

Tabla 19

Prueba de normalidad para el factor frecuencia en la incorporación de Hierro

Tratamientos (Tiempo y frecuencia)	Shapiro-Wilk			
	Estadístico	gl	Sig.	
Hierro	1	0,816	3	0,152
	2	0,987	3	0,783
	3	0,750	3	0,000
	4	0,765	3	0,032
	5	0,818	3	0,157
	6	0,907	3	0,407
	7	0,976	3	0,702
	8	0,927	3	0,479
	9	0,789	3	0,089
	10	0,991	3	0,817
	11	0,997	3	0,900
	12	0,993	3	0,843

Nota. Dado que el valor de la significancia calculada mediante la prueba de Shapiro-Wilk es mayor que el 5%, indica que los tratamientos (interacción de la variable frecuencia y tiempo), cumple con el supuesto de normalidad, por lo tanto, se aplicó la prueba Anova como prueba paramétrica.

Tabla 20

Prueba de normalidad para la interacción de frecuencia y tiempo en la incorporación ácido ascórbico

Tratamientos (Tiempo y frecuencia)	Shapiro-Wilk			
	Estadístico	gl	Sig.	
Hierro	1	0,965	3	0,642
	2	0,919	3	0,449
	3	0,984	3	0,756
	4	0,951	3	0,572
	5	0,998	3	0,909
	6	0,965	3	0,638
	7	0,924	3	0,466
	8	0,895	3	0,370
	9	0,993	3	0,841
	10	0,797	3	0,107
	11	0,988	3	0,789
	12	0,942	3	0,537

Nota. Dado que el valor de la significancia calculada mediante la prueba de Shapiro-Wilk es mayor que el 5%, indica que los tratamientos (interacción de la variable frecuencia y tiempo), cumple con el supuesto de normalidad, por lo tanto, se aplicó la prueba Anova como prueba paramétrica.

Anexo 2. Fotografías del proceso de incorporación de hierro y ácido ascórbico en camote (*Ipomoea batatas*)

Figura 14

Pesado de camote



Figura 15

Lavado y pelado



Figura 16

Cortado y cubeteado



Figura 17

Pesado de los cubos de camote



Figura 18

Homogenización de hierro y ácido ascórbico en agua destilada



Figura 19

Inmersión de muestras en soluciones de sulfato ferroso y ácido ascórbico



Figura 20

Incorporación de hierro y ácido ascórbico aplicando tratamiento con Ultrasonidos

**Figura 21**

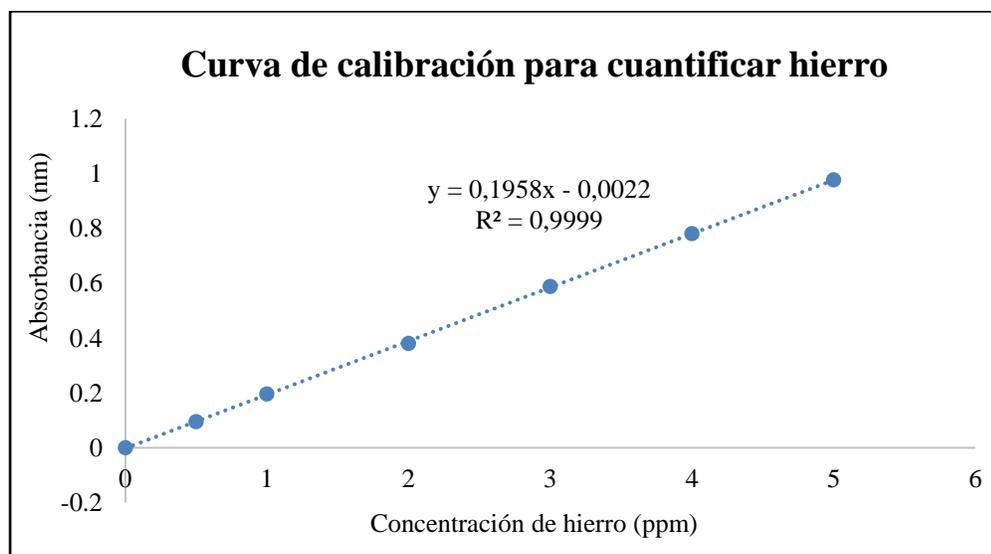
Secado de las muestras tratadas con Ultrasonidos



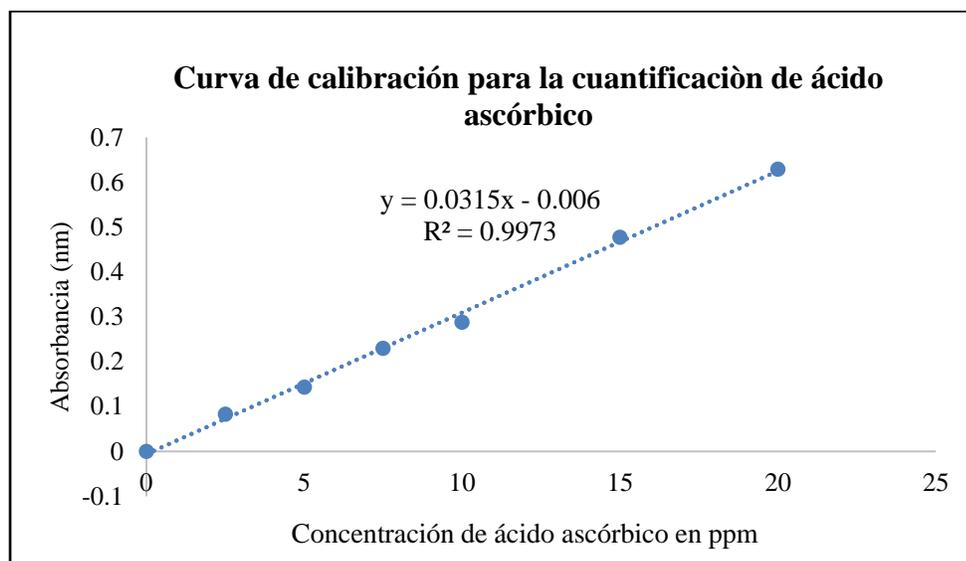
Anexo 3. Curvas de calibración utilizadas para la determinación de ácido ascórbico y hierro

Figura 22

Curva de calibración para cuantificar hierro

**Figura 23**

Curva de calibración para cuantificar vitamina C, usando como patrón ácido ascórbico



Anexo 4. Fotografías de los análisis realizados

a) Determinación de contenido de hierro

Figura 24

Pesado de las muestras



Figura 26

Muestras deshidratadas y molidas en crisoles



Figura 25

Crisoles en interior de la mufla



Figura 27

Preparación de las muestras



Figura 28

Preparación de tubos de ensayo

b) *Determinación de contenido de vit C***Figura 29**

Lectura en espectrofotómetro UV-VIS

**Figura 30**

Pesado de las muestras

**Figura 31**

Preparación de las muestras

**Figura 32**

Incubación de las muestras

**Figura 33**

Lectura en espectrofotómetro UV-VIS

