



Esta obra está bajo una

[Licencia Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

[Atribución - 4.0 Internacional \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Vea una copia de esta licencia en

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>





FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

Tesis

Extracción de capsaicinoides del *Capsicum frutescens* (Ají Charapita) por ultrasonido y ultra-turrax

Para optar el título profesional de Ingeniero Agroindustrial

Autora:

Karina Isabel Castillo Grández

<https://orcid.org/0000-0002-7713-9209>

Asesor:

Ing. Dr. José Luis Pasquel Reátegui

<https://orcid.org/0000-0001-6467-394X>

Coasesor:

Ing. Dr. Thony Arce Saavedra

<https://orcid.org/0000-0002-2300-9169>

Tarapoto, Perú

2024



FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

Tesis

Extracción de capsaicinoides del *Capsicum frutescens* (Ají Charapita) por ultrasonido y ultra-turrax

Para optar el título profesional de Ingeniero Agroindustrial

Autor:0

Karina Isabel Castillo Grández

Sustentado y aprobado el 25 de noviembre del 2024, ante el honorable jurado:

Presidente de Jurado
Ing. Dra. Mari Luz Medina Vivanco

Secretario de Jurado
Ing. Mg. Juan José Salazar Díaz

Vocal de Jurado
Ing. M. Sc. Enrique Terleira García

Asesor
Ing. Dr. José Luis Pasquel Reátegui

Coasesor
Ing. Dr. Thony Arce Saavedra

Tarapoto, Perú

2024



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN CONDUCTENTE A GRADOS Y TÍTULOS N° 037-2024

Jurado reconocido con Resolución N° 040-2023-UNSM/FIAI-CF/NLU.

A las 12:00 horas del día 25 de noviembre del 2024, en el auditorio de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial – Ciudad Universitaria, inició el acto público de sustentación del trabajo de tesis "EXTRACCIÓN DE CAPSAICINOIDES DEL Capsicum frutescens (AJÍ CHARAPITA) POR ULTRASONIDO Y ULTRA-TURRAX." para optar el título profesional de INGENIERO AGROINDUSTRIAL, presentado por la Bach. Karina Isabel Castillo Grandez.

Instalada la Mesa Directiva conformada por Ing. Dra. Mari Luz MEDINA VIVANCO (presidente del jurado), Ing. Mg. Juan José SALAZAR DÍAZ (secretario), Ing. M. Sc. Enrique TERLEIRA GARCÍA (vocal), acompañado por el Ing. Dr. José Luis PASQUEL REÁTEGUI (asesor); el presidente del jurado dirigió brevemente unas palabras y a continuación el secretario dio lectura a la Resolución N° 040-2023-UNSM/FIAI-CF/NLU.

Seguidamente el autor expuso el trabajo de investigación y el jurado evaluador realizó las preguntas pertinentes, respondidas por el sustentante y eventualmente, con la venia del jurado, y aclaraciones del asesor.

Una vez terminada la ronda de preguntas, el jurado procedió a deliberar para determinar la calificación final, para lo cual dispuso un receso de quince (15) minutos, con participación del asesor con voz, pero sin voto; sin la presencia del sustentante y otros participantes del acto público.

Luego de aplicar los criterios de calificación con estricta observancia del principio de objetividad y de acuerdo con los puntajes en escala vigesimal (de 0 a 20), según el Anexo 4.2 del RG-CTI, la nota de sustentación otorgada resultante del promedio aritmético de los calificativos emitidos por cada uno de los miembros del jurado fue Dieciséis (16).

De acuerdo con el Artículo 40° del RG-CTI, la nota obtenida es Aprobatoria y correspondiente a la calificación de Bueno. Leído este resultado en presencia de todos los participantes del acto de sustentación, el secretario dio lectura a las observaciones subsanables al informe final que el autor deberá corregir y alcanzar al jurado en un plazo máximo de treinta (30) días calendario.

Se deja constancia que la presente acta se inscribe en el Libro de Sustentaciones N° 001-2024 de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial.

Firman los integrantes del jurado calificador y el autor del trabajo de investigación en señal de conformidad, dando por concluido el acto a las 11:30 horas, el mismo día 25 de noviembre del 2024.

Ing. Dra. Mari Luz Medina Vivanco
Presidente

Ing. Mg. Juan José Salazar Díaz
Secretario

Ing. M. Sc. Enrique Terleira García
Vocal

Ing. Dr. José Luis Pasquel Reátegui
Asesor

Bach. Karina Isabel Castillo Grandez
Autor

Declaratoria de autenticidad

Karina Isabel Castillo Grández, con DNI N° 43369159, bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, Facultad de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional de San Martín, autor de la tesis titulada: **Extracción de capsaicinoides del *Capsicum frutescens* (Ají Charapita) por ultrasonido y ultraturrax**

Bajo juramento, afirmo que:

1. La disertación expuesta es de mi autoría.
2. La elaboración de la redacción se llevó a cabo respetando las referencias y citas de las fuentes bibliográficas consultadas.
3. La totalidad de la información contenida en la tesis no ha sido objeto de plagio autoinfringido.
4. Los datos expuestos en los hallazgos son auténticos, no han sufrido alteraciones ni copias, por lo que la información derivada de este estudio debe ser interpretada como un aporte a la realidad en estudio.

Por lo expuesto, asumo la responsabilidad de las consecuencias derivadas de mi acción, sujetándome a las leyes de nuestro país y a las regulaciones actuales de la Universidad Nacional de San Martín.

Tarapoto, 25 de noviembre del 2024



.....
Karina Isabel Castillo Grández
DNI N° 43369159

Ficha de identificación

<p>Título: Extracción de capsaicinoides del <i>Capsicum frutescens</i> (ají charapita) por ultrasonido y ultra-turrax</p>	<p>Área de investigación: Ingeniería y Tecnología Línea de investigación: Ingeniería de Procesos Sublínea de investigación: Ingeniería de procesos Agroindustriales. Grupo de investigación: Ingeniería y Tecnología Agroindustrial (ITAG) – Resolución N0 056-2021-UNSM/FIAI-D-NLU. Tipo de investigación: Básica <input checked="" type="checkbox"/>, Aplicada <input type="checkbox"/>, Desarrollo experimental <input type="checkbox"/></p>
<p>Autor: Karina Isabel Castillo Grández</p>	<p>Facultad de Ingeniería Agroindustrial Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial https://orcid.org/0000-0002-7713-9209</p>
<p>Asesor: Ing. Dr. José Luis Pasquel Reátegui</p>	<p>Dependencia local de soporte: Facultad de Ingeniería Agroindustrial Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial Unidad o Laboratorio Ingeniería Agroindustrial https://orcid.org/0000-0001-6467-394X</p>
<p>Coasesor: Ing. Dr. Thony Arce Saavedra</p>	<p>Contraparte científica: Universidad Nacional Autónoma de Chota Facultad de Ciencias Agrarias Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial https://orcid.org/0000-0002-2300-9169</p>

Dedicatoria

A mis padres, Isabel Grández y Manuel Castillo, por ser el fundamento de mi formación personal y profesional. Su amor, sus enseñanzas y sus consejos han sido guía constante en cada paso que he dado.

A mi esposo, Michel Paredes, por su incondicional apoyo, por motivarme en cada desafío y por ser fuente de fortaleza en cada proyecto que he emprendido.

A mis hijos, Pablo y Fátima, por su paciencia, comprensión y amor. Ellos han sido mi inspiración más profunda para culminar esta etapa académica con dedicación y propósito.

Agradecimientos

Mi gratitud, en primer lugar, a Dios, por el don de la vida y por permitirme alcanzar este momento significativo en mi formación académica.

A mi madre, por su apoyo incondicional, fortaleza y presencia constante, pilares fundamentales para llegar hasta aquí.

A la memoria de mi padre, quien desde el cielo ha sido mi guía espiritual y mi inspiración silenciosa en cada paso de este camino.

A mi familia y amigos, por su aliento permanente, por creer en mí y por sostenerme en los momentos de mayor desafío.

A mis asesores de tesis, el Dr. José Luis Pasquel Reátegui y el Dr. Thony Arce Saavedra, por su orientación, compromiso y generosa disposición durante el desarrollo de esta investigación.

A todos los docentes de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial, por compartir sus conocimientos y por contribuir a mi crecimiento profesional.

Índice general

Ficha de identificación.....	6
Dedicatoria.....	7
Agradecimientos	8
Índice general.....	9
Índice de tablas	11
Índice de figuras.....	12
RESUMEN	13
ABSTRACT	14
CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN	15
1.1. Formulación del problema de investigación.....	17
1.2. Hipótesis de investigación	17
1.3. Objetivos	17
1.3.1. Objetivo general	17
1.3.2. Objetivos específicos.....	17
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....	18
2.1. Antecedentes de la investigación	18
2.2. Fundamentos teóricos.....	19
2.2.1. Generalidades del <i>Capsicum frutescens</i>	19
2.2.2. Procesos de extracción	23
CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS	27
3.1. Ámbito y condiciones de la investigación	27
3.1.1. Contexto de la investigación.....	27
3.1.2. Periodo de ejecución	27
3.1.3. Autorizaciones y permisos.....	27
3.1.4. Control ambiental y protocolos de bioseguridad	28
3.1.5. Aplicación de principios éticos internacionales	28
3.2. Sistema de variables	28

	10
3.2.1. Variables principales.....	28
3.3. Procedimientos de la investigación	28
3.3.1. Caracterización de la materia prima	29
3.3.2. Procedimiento en la Primera etapa:.....	30
3.3.3. Procedimiento en la Segunda etapa	33
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	38
4.1. Caracterización de la materia prima	38
4.2. Resultados en la primera etapa.....	39
4.2.1. Extracción maceración-agitación	39
4.3. Resultados en la segunda etapa	42
4.3.1. Extracción asistida por ultrasonido y ultra-turrax	42
CONCLUSIONES	64
RECOMENDACIONES	66
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67
ANEXOS	80
Anexo 1. Materia prima, procedimiento de extracción y análisis.....	80
Anexo 2. ANOVA unifactorial para rendimiento de los extractos-Primera Etapa	81
Anexo 3. ANOVA unifactorial para TPC de los extractos-Primera etapa	81
Anexo 4. ANOVA unifactorial para CA-DPPH de los extractos-Primera etapa	81
Anexo 5. ANOVA unifactorial para CA-ABTS de los extractos-Primera etapa.....	81
Anexo 6. Flujograma de la cuantificación de capsaicina.....	82
Anexo 7. Espectro para la determinación de la absorbancia de la capsaicina.....	83
Anexo 8. Curva de capsaicina a 291nm.	83
Anexo 9. Tabla de unidades de picor scoville.....	84
Anexo 10. Flujograma general 1	85

Índice de tablas

Tabla 1	Composición centesimal de ají Charapita fresco en 100 gramos.	20
Tabla 2	Composición centesimal de ají Charapita liofilizado en 100 gramos.	21
Tabla 3	Parámetros de extracción aplicando ultrasonido	25
Tabla 4	Matriz de diseño experimental factorial completo - Primera etapa.....	31
Tabla 5	Matriz de diseño experimental factorial completo-Segunda etapa.....	34
Tabla 6	Caracterización centesimal del Ají Charapita fresca y liofilizada	38
Tabla 7	Caracterización fisicoquímica por maceración-agitación	41
Tabla 8	Caracterización fisicoquímica por ultrasonido.....	44
Tabla 9	Caracterización fisicoquímica por ultra-turrax.....	45
Tabla 10	ANOVA – Rendimiento global de extracción por ultrasonido.....	46
Tabla 11	Test de Tukey para el Rendimiento total por ultrasonido.....	48
Tabla 12	ANOVA – Rendimiento global por ultra-turrax	48
Tabla 13	ANOVA - Concentración de capsaicina por ultrasonido.....	49
Tabla 14	Test de Tukey para Concentración de capsaicina por ultrasonido.....	51
Tabla 15	ANOVA - Concentración de capsaicina por ultra-turrax.....	52
Tabla 16	Test de Tukey para la Concentración de capsaicina por ultra-turrax	53
Tabla 17	ANOVA – Contenido de compuestos fenólicos por ultrasonido	54
Tabla 18	Test de Tukey para contenido de compuestos fenólicos por ultrasonido	55
Tabla 19	ANOVA – Contenido de compuestos fenólicos por ultra-turrax	56
Tabla 20	Test de Tukey para el contenido de compuestos fenólicos por ultra-turrax.....	57
Tabla 21	ANOVA – Capacidad antioxidante (DPPH) por ultrasonido	58
Tabla 22	ANOVA - Capacidad antioxidante (ABTS) por ultrasonido	58
Tabla 23	Test de Tukey para Capacidad antioxidante (DPPH) por ultrasonido	60
Tabla 24	Test de Tukey para Capacidad antioxidante (ABTS) por ultrasonido	60
Tabla 25	ANOVA – Capacidad antioxidante (DPPH) por ultra-turrax	61
Tabla 26	ANOVA – Capacidad antioxidante (ABTS) por ultraturrax	61
Tabla 27	Test de Tukey para la Capacidad antioxidante (DPPH) por ultra-turrax .	63
Tabla 28	Test de Tukey para la Capacidad antioxidante (ABTS) por ultra-turrax..	63

Índice de figuras

Figura 1.	Fruto Ají Charapita entero.	21
Figura 2.	Estructura de la capsaicina.	22
Figura 3.	Principio de cavitación acústica por ultrasonido.	24
Figura 4.	Acción de mezclado y dispersión por ultra-turrax.	25
Figura 5.	Diagrama de Pareto para rendimiento global por ultrasonido.....	47
Figura 6.	Diagrama de Pareto para rendimiento global por Ultra-turrax.	49
Figura 7.	Diagrama de Pareto Concentración de Capsaicina por ultrasonido. ...	50
Figura 8.	Diagrama de Pareto concentración de capsaicina por Ultra-turrax.....	52
Figura 9.	Diagrama de Pareto para TPC de los extractos por ultrasonido.....	54
Figura 10.	Diagrama de Pareto para TPC de los extractos por Ultra-turrax.	56
Figura 11.	Diagrama de Pareto para DPPH de los extractos con ultrasonido.	59
Figura 12.	Diagrama de Pareto para ABTS de los extractos con ultrasonido.	59
Figura 13.	Diagrama de Pareto para DPPH de los extractos con Ultra-turrax.	62
Figura 14.	Diagrama de Pareto para ABTS de los extractos con Ultra-turrax.....	62

RESUMEN

Extracción de capsaicinoides del *Capsicum frutescens* (ají charapita) por ultrasonido y ultra-turrax

El fruto de ají charapita (*Capsicum frutescens*) producido en la región San Martín es altamente apreciado por su picor, sabor y aroma; además de estas características posee un gran potencial en el uso medicinal. Por tanto, el objetivo general de la investigación fue determinar el contenido de capsaicinas, compuestos fenólicos y antioxidantes presentes en los extractos de ají charapita por ultrasonido y ultra-turrax. En la primera etapa de extracciones, se estudiaron las variables independientes: proporción Etanol/Agua (%v/v) y tipo de muestra (fresca y liofilizada) por el método de maceración/agitación sobre el contenido de compuestos fenólicos (26.14 ± 0.03 mg EAG/g de materia prima), capacidad antioxidante por el método de DPPH (27.35 ± 0.04 $\mu\text{mol TE/g}$ de materia prima), ABTS (666.38 ± 0.04 $\mu\text{mol TE/g}$ de materia prima), mostrando cierta influencia en la recuperación de los compuestos bioactivos y rendimiento global de extracción ($9.81 \pm 0.03\%$). Cabe señalar, que los mayores resultados se encontraron a una proporción de Etanol/agua de 50/50 (%v/v), con tipo de muestra liofilizada. En la segunda etapa de extracciones se dividió en dos técnicas de extracción: ultrasonido y ultraturrax. Los efectos de las variables independientes que fueron estudiadas por ultrasonido: tiempo de extracción (5, 10 y 15 min) y potencia aplicada (100, 200 y 300 watts); sobre la concentración de capsaicina (200.69 mg/mL ± 1.5 mg/mL) a 15 minutos y 200 watts, mostraron cierta influencia en la recuperación de los compuestos bioactivos y rendimiento global de extracción ($28.79\% \pm 0.6\%$). El contenido de compuestos fenólicos (46.16 ± 0.42 mg EAG/g de materia prima) logrados a 5 min y 100 watts, capacidad antioxidante por DPPH (37.01 ± 0.32 $\mu\text{mol TE/g}$ de materia prima) a 15 min y 200 watts, ABTS (2252.63 ± 8.13 $\mu\text{mol TE/g}$ de materia prima) a 15 min y 300 watts. Los efectos de las variables independientes que fueron estudiadas por ultra-turrax: tiempo de extracción (5, 10 y 15 min) y agitación (200, 500 y 800 rpm); sobre la concentración de capsaicina (173.70 mg/ml de extracto) a 15 minutos y 200 rpm, contenido de compuestos fenólicos (50.44 ± 1.11 mg EAG/gramo de materia prima) logrados a 5 min y 800 rpm, capacidad antioxidante por DPPH (32.96 ± 0.52 $\mu\text{M TE/g}$ materia prima) a 15 min y 200 rpm, ABTS ($1811.70 \pm 7,23$ $\mu\text{M TE/g}$ materia prima) a 5 min y 200 rpm. Finalmente, la técnica de extracción asistida por ultrasonido obtuvo mayor concentración de capsaicina y demás compuestos activos según las variables independientes establecidas. No obstante, la técnica de ultra-turrax también mostró resultados notablemente altos, lo que sugiere que ambas metodologías son valiosas para la recuperación de compuestos bioactivos, utilizando como solvente la proporción etanol/agua 50/50 % v/v%.

Palabras clave: Ají Charapita, Capsaicina, ultrasonido, ultra-turrax, compuestos bioactivos.

ABSTRACT

Extraction of capsaicinoids from *Capsicum frutescens* (charapita chili) by ultrasound and ultra-turrax

The fruit of charapita chili (*Capsicum frutescens*) produced in the San Martín region is highly valued for its spiciness, flavor, and aroma; in addition to these characteristics, it has great potential for medicinal use. Therefore, the general objective of the research was to determine the content of capsaicins, phenolic compounds, and antioxidants present in charapita chili extracts obtained by ultrasound and Ultra-Turrax. In the first stage of extractions, the independent variables studied were ethanol/water ratio (% v/v) and sample type (fresh and freeze-dried) using the maceration/agitation method regarding the content of phenolic compounds (26.14 ± 0.03 mg GAE/g of raw material), antioxidant capacity by the DPPH method (27.35 ± 0.04 μ mol TE/g of raw material), and by ABTS (666.38 ± 0.04 μ mol TE/g of raw material), showing some influence on the recovery of bioactive compounds and overall extraction yield ($9.81 \pm 0.03\%$). It should be noted that the highest results were found at an ethanol/water ratio of 50/50 (% v/v), with freeze-dried sample type. In the second stage of extractions, the process was divided into two extraction techniques: ultrasound and Ultra-Turrax. The effects of the independent variables studied by ultrasound were extraction time (5, 10, and 15 min) and applied power (100, 200, and 300 watts); the concentration of capsaicin (200.69 mg/mL ± 1.5 mg/mL) at 15 minutes and 200 watts showed some influence on the recovery of bioactive compounds and overall extraction yield ($28.79\% \pm 0.6\%$). The content of phenolic compounds (46.16 ± 0.42 mg GAE/g of raw material) achieved at 5 min and 100 watts, antioxidant capacity by DPPH (37.01 ± 0.32 μ mol TE/g of raw material) at 15 min and 200 watts, and ABTS (2252.63 ± 8.13 μ mol TE/g of raw material) at 15 min and 300 watts were observed. The effects of the independent variables studied by Ultra-Turrax were extraction time (5, 10, and 15 min) and agitation (200, 500, and 800 rpm); the concentration of capsaicin (173.70 mg/mL of extract) at 15 minutes and 200 rpm, phenolic compound content (50.44 ± 1.11 mg GAE/g of raw material) achieved at 5 min and 800 rpm, antioxidant capacity by DPPH (32.96 ± 0.52 μ M TE/g of raw material) at 15 min and 200 rpm, and ABTS (1811.70 ± 7.23 μ M TE/g of raw material) at 5 min and 200 rpm were found. Finally, the ultrasound-assisted extraction technique achieved a higher concentration of capsaicin and other active compounds according to the established independent variables. However, the Ultra-Turrax technique also showed notably high results, suggesting that both methodologies are valuable for recovering bioactive compounds, using a solvent ratio of ethanol/water 50/50 % v/v.

Keywords: Charapita pepper, Capsaicin, Ultrasound, Ultra-turrax, bioactive compounds



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN

El género *Capsicum*, perteneciente a la familia botánica *Solanaceae*, agrupa especies de frutos pungentes con alto valor agroeconómico. Este género tiene su centro de origen en zonas tropicales y húmedas del continente americano, específicamente en América Central y del Sur. Se han identificado más de treinta entidades taxonómicas dentro del género, de las cuales cinco han sido objeto de domesticación: *Capsicum pubescens*, *C. baccatum*, *C. annuum*, *C. frutescens* y *C. chinense*. Entre estas, *C. annuum*, *C. chinense* y *C. frutescens* destacan por su extensa distribución geográfica y por la elevada pungencia de sus frutos, características que las posicionan como las más relevantes en términos de producción y consumo (Stoical et al., 2016).

El ají charapita (*Capsicum frutescens*) es un fruto que se produce en la región San Martín, es comercializado a granel en los principales mercados locales y una parte importante es procesada y presentada en frascos transparentes con granos enteros en vinagre, encurtidos y crema pura o mixta. Su consumo estaría relacionado a su grado de picor, y muy apreciado por su sabor y aroma característico. Pero poco o nada se conoce sobre capsaicinoides presentes en el ají charapita, siendo que la obtención del extracto de este fruto se sustentaría en sus excelentes propiedades nutricionales y farmacológicas conocidas (De Aguiar et al., 2013). Gran parte del valor nutricional reside en su bajo contenido calórico y altos niveles de antioxidantes, especialmente en ácido ascórbico (vitamina C) y β -caroteno (provitamina A) (Palma et al., 2015).

La pungencia típica de los frutos del género *Capsicum* se atribuye a la acumulación de metabolitos secundarios de naturaleza alcaloide, conocidos como capsaicinoides. Entre estos compuestos, la capsaicina y la dihidrocapsaicina constituyen los principales agentes bioactivos (González et al., 2011). Los capsaicinoides han sido ampliamente estudiados por su implicancia en diversas funciones fisiológicas, destacándose sus propiedades farmacológicas con efectos antitumorales, antiinflamatorios y antioxidantes (Bogusz et al., 2018).

La etapa de extracción constituye el proceso fundamental en la obtención de metabolitos bioactivos con relevancia nutricional y valor económico a partir de matrices vegetales. La eficiencia de esta operación está condicionada por múltiples factores, entre los que destacan la composición química del compuesto objetivo, el tipo de disolvente empleado, el protocolo de extracción seleccionado y la posible interferencia de otras sustancias presentes en la muestra vegetal (Stalikas, 2007).

La obtención de capsaicinoides, compuestos bioactivos presentes en especies del género *Capsicum*, se ha realizado tradicionalmente mediante técnicas de extracción convencionales que emplean disolventes orgánicos de diversa polaridad, tales como metanol, etanol, acetona, acetato de etilo y agua, en forma pura o combinada (Barbero, 2008; Stálikas, 2007). Aunque estos métodos han demostrado eficacia, presentan limitaciones importantes: requieren grandes volúmenes de solventes, implican tiempos prolongados de procesamiento y generan residuos que demandan tratamiento especializado (Sunarso & Ismadji, 2009).

En los últimos años, se ha evidenciado una transición hacia metodologías emergentes que permiten optimizar la recuperación de metabolitos de interés nutricional y farmacológico, reduciendo significativamente el consumo de solventes y el tiempo de extracción (Pasquel Reátegui, 2014). Entre estas estrategias destacan la extracción con líquidos presurizados (PLE) (Machado et al., 2015), la extracción asistida por microondas (MAE) (Prakash Maran et al., 2013), la extracción con fluidos supercríticos (SFE) (De Aguiar et al., 2013) y la extracción asistida por ultrasonido (EAU) (Sahin & Samli, 2013).

La Extracción asistida por ultrasonido, en particular, ha ganado reconocimiento por su capacidad para liberar analitos de alta pureza desde matrices sólidas mediante la aplicación de ondas acústicas de alta frecuencia (≥ 20 kHz). Es una técnica eficiente y de bajo consumo energético. Su aplicación en la extracción de compuestos bioactivos provenientes de productos naturales y residuos agroindustriales refuerza su valor como herramienta ambientalmente responsable (Carrera et al., 2012).

Diversos estudios han abordado la extracción de compuestos bioactivos en especies del género *Capsicum*; sin embargo, se ha identificado una carencia significativa de información bibliográfica relacionada con la recuperación de capsaicina y otros metabolitos funcionales presentes en el ají charapita (*Capsicum frutescens*) cultivado en la región San Martín. En este contexto, se planteó como objetivo evaluar la influencia de variables como la potencia y el tiempo, en el rendimiento del proceso de extracción asistida por ultrasonido (EAU), utilizando solventes orgánicos. Se evaluaron parámetros clave como el contenido de capsaicina, la concentración de compuestos fenólicos totales y la capacidad antioxidante de los extractos obtenidos. Estos resultados fueron contrastados con los obtenidos mediante la técnica de extracción por Ultra-Turrax, con el propósito de identificar diferencias significativas en términos de eficiencia del proceso y calidad del producto final.

1.1. Formulación del problema de investigación

En qué medida la extracción asistida por ultrasonido supera en eficiencia a la técnica de Ultra-Turrax en la recuperación de capsaicina y compuestos bioactivos presentes en los extractos de *Capsicum frutescens* (ají charapita).

1.2. Hipótesis de investigación

H₀: No se observan diferencias estadísticamente significativas en la eficiencia de recuperación de capsaicina y compuestos bioactivos entre la extracción asistida por ultrasonido y la extracción mecánica mediante Ultra-Turrax aplicadas al *Capsicum frutescens* (ají charapita).

H₁: Existen diferencias estadísticamente significativas en la recuperación de capsaicina y compuestos bioactivos entre la extracción asistida por ultrasonido y la técnica de Ultra-Turrax, lo que indica una variación en la eficiencia de los métodos aplicados al ají charapita (*Capsicum frutescens*)

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Evaluar la eficiencia de las técnicas de extracción asistida por ultrasonido y Ultra-Turrax en la recuperación de capsaicina a partir de extractos de *Capsicum frutescens* (ají charapita), mediante la cuantificación de su concentración como indicador de rendimiento.

1.3.2. Objetivos específicos

1. Caracterizar la composición centesimal de la materia prima, tanto fresca como liofilizada.
2. Determinar el efecto de la proporción etanol/agua (25:75, 50:50 y 75:25 % v/v) y del tipo de muestra (fresca y liofilizada) sobre el contenido de compuestos fenólicos totales y la capacidad antioxidante, utilizando los métodos DPPH y ABTS mediante la técnica de maceración-agitación.
3. Evaluar la influencia de la potencia (100, 200 y 300 watts) y el tiempo (5, 10 y 15 min.) en la concentración de capsaicina obtenida en los extractos del ají charapita.
4. Evaluar la influencia de la velocidad de agitación (200, 500 y 800 rpm) y tiempo (5, 10 y 15 min.) en la concentración de capsaicina de los extractos obtenidos por ultra-turrax.
5. Determinar el contenido de fenólicos y capacidad antioxidante por DPPH Y ABTS de los extractos obtenidos a partir de la extracción por ultrasonido y ultra-turrax.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

La extracción asistida por ultrasonido (EAU) ha demostrado ventajas significativas frente a métodos convencionales como Soxhlet, particularmente en términos de eficiencia energética, reducción del tiempo de procesamiento y operación a temperaturas más bajas. Andrade et al. (2023) evaluaron la eficiencia de recuperación de capsaicina en dos especies del género *Capsicum*: *C. chinense* y *C. pubescens*. El estudio determinó que el tiempo óptimo de sonicación fue de 20 minutos para *C. chinense* y de 30 minutos para *C. pubescens*, mientras que la fracción volumétrica de etanol más efectiva en ambos casos correspondió al 75%. Estos resultados respaldan el uso de la extracción asistida por ultrasonido como una técnica selectiva y ambientalmente sostenible, especialmente útil para la obtención de compuestos bioactivos en matrices vegetales complejas.

Xu et al. (2016), investigaron la “Extracción asistida por ultrasonido basada en Ultraturrax de cinco ácidos orgánicos de madreselva (*Lonicera japonica* Thunb.) y optimización del proceso de extracción”, demostraron que el método de extracción ultraturrax (UTE) y método de extracción asistida por ultrasonido (EAU) tuvieron rendimientos de cinco ácidos orgánicos en un tiempo más corto, las condiciones óptimas de extracción fueron: velocidad homogénea de 8000 rpm, intensidad ultrasónica 347 W/cm², concentración de etanol 65%, tiempo 10 min. y relación líquida/sólido 20:1 ml/g., concluyendo que UTE-UAE podría ser un prometedor método para la extracción rápida de los compuestos bioactivos de plantas.

Chinn et al. (2011), en su trabajo “Extracción por solventes y cuantificación de capsaicinoides de *Capsicum chinense*” demostraron que la eficiencia de la extracción puede variar según el chile, sus partes y el procesamiento previo a la extracción.

En el estudio realizado por Civan y Kumcuoglu (2019), se aplicó un enfoque de extracción verde asistida por ultrasonido (EAU) para recuperar carotenoides y capsaicinoides a partir de la pulpa de pasta de pimiento picante, dentro del marco conceptual de la biorrefinería. Los autores demostraron que la EAU resultó significativamente más eficiente que la maceración convencional, al obtener mayores rendimientos de extracto en tiempos considerablemente más cortos, lo que refuerza su aplicabilidad como técnica sostenible y de alta productividad en matrices vegetales.

López 2017, en su trabajo “Optimización del proceso de extracción de oleorresinas de *Capsicum frutescens* L. aplicando la tecnología de fluidos supercríticos y extracción asistida por ultrasonido.” Demostró que la extracción asistida por ultrasonido es una técnica eficiente para la obtención de oleorresinas de *Capsicum frutescens* L.

Fernández Barbero G. (2007), en su investigación “Extracción, Análisis, Estabilidad y Síntesis De Capsaicinoides” desarrolló un protocolo de extracción caracterizado por su rapidez, simplicidad operativa, bajo costo y capacidad cuantitativa, empleando muestras frescas de pimientos. El estudio evidenció que los capsaicinoides extraídos mediante esta metodología no presentan degradación térmica significativa hasta los 50 °C, lo que refuerza la estabilidad de estos compuestos bajo condiciones controladas de sonicación.

En el estudio desarrollado por Hernández & Velásquez (2018), en la Universidad Nacional del Santa, se evaluó la extracción de capsaicinoides a partir de residuos orgánicos generados en la industria del jalapeño verde (*Capsicum annuum*). Los autores identificaron que la combinación óptima de solventes correspondía a una mezcla de 80 % etanol y 20 % acetonitrilo, aplicada durante 30 minutos de sonicación. Esta condición permitió alcanzar el mayor rendimiento de extracción, lo que respalda la eficiencia de la técnica asistida por ultrasonido en matrices vegetales de desecho

Boonkird et al. (2008), llevaron a cabo un estudio sobre la extracción asistida por ultrasonido de capsaicinoides a partir de *Capsicum frutescens*, evaluando su desempeño tanto a escala de laboratorio como en planta piloto. En su investigación, se analizaron variables operativas críticas como el tipo de disolvente, la proporción sólido-disolvente y la temperatura de extracción. Los resultados evidenciaron que la aplicación de ultrasonido permitió reducir significativamente el tiempo de procesamiento y operar a temperaturas más bajas en comparación con la maceración convencional, lo que posiciona esta técnica como una alternativa eficiente y ambientalmente favorable para la recuperación de compuestos bioactivos

2.2. Fundamentos teóricos

2.2.1. Generalidades del *Capsicum frutescens*

Las especies del género *Capsicum spp.*, pertenecientes a la familia Solanaceae, han sido cultivadas históricamente en regiones tropicales y húmedas de América del Sur y Central. Su relevancia botánica y económica se refleja en su amplia distribución global y en su posicionamiento como uno de los grupos vegetales más antiguos y comercializados en el mundo (de Sá Mendes et al., 2020).

En el Perú, la diversidad genética de los ajíes nativos se refleja en la existencia de 19 variedades distribuidas entre cinco especies domesticadas del género *Capsicum*, cultivadas según su adaptación a diversos agroecosistemas. Estas especies se encuentran establecidas en una amplia gama de condiciones edafoclimáticas, que incluyen desde los ecosistemas altoandinos hasta los desiertos costeros y la región amazónica, lo que evidencia su plasticidad ecológica y valor genético (Riva Ruiz, 2019).

El género *Capsicum* comprende una amplia variedad de plantas pertenecientes a la familia de las solanáceas, incluyendo chiles, pimientos dulces y picantes. Los frutos pueden presentar diferentes colores, desde amarillo y rojo hasta negro. El pimiento (*Capsicum frutescens*) se encuentra con mayor frecuencia en regiones tropicales o subtropicales y requiere un clima cálido y húmedo (Sricharoen et al., 2017).

Las plantas de *Capsicum frutescens* tienen hojas lisas, medianas y elípticas, y ramas delgadas de entre 30 y 120 cm de largo. Alcanzan su tamaño máximo en climas cálidos. Una planta puede producir unas 120 vainas de pungencia intermedia en una temporada, con índices Scoville de entre 30 000 y 60 000 unidades. Las vainas son erectas y presentan menor variación de color, forma y tamaño que las de *Capsicum annuum*, *C. chinense* y *C. baccatum* (Ng et al, 2011).

El pimiento *capsicum* fresco tiene un alto contenido de agua, mientras que el seco es mucho más concentrado en nutrientes, al secar el contenido de carbohidratos, proteínas y fibra aumenta en proporción. La concentración de compuestos como la vitamina C disminuye al secar, mientras que la cantidad de capsaicina (el compuesto que determina el picor) se eleva en el pimiento seco, lo que lo hace más picante y concentrado en su sabor.

En la Tabla 1 y Tabla 2 se observa la composición del *Capsicum frutescens*, en 100 gramos de muestra fresca y seca respectivamente.

Tabla 1
Composición centesimal de ají Charapita fresco en 100 gramos

Composición centesimal	(100 g)
Humedad	87.01g
Cenizas	2.31g
Grasa	4.00g
Proteína total	1.31g
Carbohidratos	5.37g
Fibra total	13.10g

Fuente: Chávez (2017)

Tabla 2*Composición centesimal de ají Charapita liofilizado en 100 gramos.*

Composición centesimal	(100 g)
Agua	5.9g
Cenizas	7.8g
Fibra bruta	27.2g
Grasa	16.1g
Proteína total	13.5g

Fuente: Olatunji & Afolayan (2017)

2.2.1.1. Importancia del *Capsicum Frutescens*

El *Capsicum frutescens* se ha descrito como fuente de nuevos compuestos antimicrobianos y antioxidantes, además de ser un aromatizante y colorante. Además, goza de prestigio etnomedicinal y se utiliza en el tratamiento de diversas enfermedades humanas (Gurnani et al., 2016; Nascimento et al., 2014).

Todos los pimientos contienen una amplia gama de compuestos bioactivos con propiedades funcionales y tecnológicas de gran interés industrial (de Sá Mendes et al., 2020). Son buenas fuentes de nutrientes, como vitamina C (Navarro et al., 2006), flavonoides (Lee et al., 2005), compuestos fenólicos (Estrada et al., 2000) y carotenoides (Deepa et al, 2007).

Entre estos compuestos también destacan los capsaicinoides, sin embargo, su concentración puede variar según la cantidad de luz solar, el suelo, la estación del año, la región de cultivo, los cambios de temperatura, la variedad de fruto y el grado de madurez (Dias et al., 2016; Menichini et al., 2009).

**Figura 1***Fruto Ají Charapita entero.*

Los capsaicinoides, compuestos bioactivos presentes en especies del género *Capsicum*, han sido ampliamente estudiados por sus propiedades farmacológicas.

Diversos estudios han demostrado su eficacia en el alivio del dolor, la prevención de ciertos tipos de cáncer, la regulación del peso corporal y la mejora de funciones gastrointestinales y cardiovasculares cuando se consumen de forma regular (Luo et al., 2011).

Los capsaicinoides son alcaloides que en frutos maduros sólo se sintetizan en las células de la superficie de la placenta, los cuales se especializan como glándulas que segregan estos compuestos depositándolos en las semillas y paredes de la capa más interna de la pared frutal llamada endocarpio (Khachik, et al., 1991). Iwai et al. (1979) indicaron que el capsaicinoide fue detectado por primera vez 20 días después de floración y depende de las condiciones del cultivo como temperatura, período de exposición de luz y fertilización.

La capsaicina es el compuesto más pungente dentro del grupo de los capsaicinoides. En su forma pura, se presenta como un sólido cristalino, ceroso, hidrofóbico e incoloro, con baja solubilidad en agua, pero alta afinidad por medios lipofílicos como grasas, aceites y alcoholes (Molina, 2009). La biosíntesis de los capsaicinoides se desarrolla a través de dos rutas metabólicas principales: la vía de los fenilpropanoides y la síntesis de ácidos grasos de cadena ramificada. Según Fernández Barbero (2007), la fracción aromática de estos compuestos corresponde a la vainillilamina, derivada de la fenilalanina mediante la ruta de los fenilpropanoides. En paralelo, el componente alifático se origina a partir de aminoácidos de cadena lateral ramificada —valina, leucina o isoleucina— que participan en la formación del ácido graso. La condensación de ambas fracciones da lugar al capsaicinoide funcional, responsable del picor característico de los frutos del género *Capsicum*.

A continuación, en la figura 2 se muestra el esqueleto de la capsaicina.

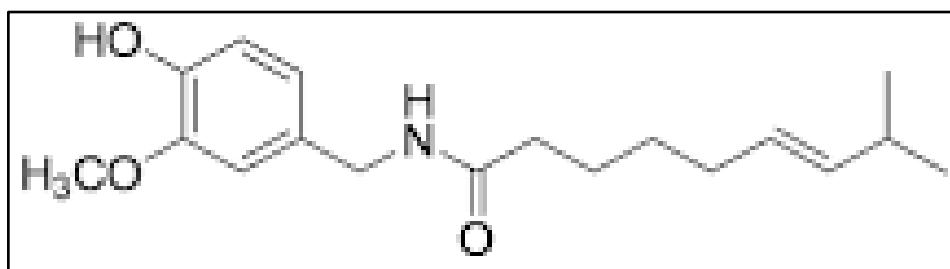


Figura 2

Estructura de la capsaicina.

Fuente: Cedrón (2013)

2.2.2. Procesos de extracción

2.2.2.1. Extracción asistida por ultrasonido

La extracción asistida por ultrasonido (EAU) se fundamenta en la transducción de la energía ultrasónica para facilitar la transferencia de analitos desde la matriz de muestra hacia el disolvente orgánico seleccionado, conforme a la matriz y la naturaleza de los solutos objetivo; en sistemas líquidos, la cavitación genera microburbujas que, tras fases de compresión y colapso, liberan energía, promoviendo un flujo de masa y aumentando la eficiencia de extracción (Fernández Barbero, 2007) (Ver figura 3).

La extracción asistida por ultrasonido (EAU) ha sido ampliamente investigada como una técnica eficiente para la recuperación de compuestos bioactivos, mediante la optimización de parámetros operativos como el tiempo de sonicación, la potencia aplicada y la temperatura del proceso. Estas variables permiten ajustar la selectividad del disolvente y establecer condiciones específicas para la extracción dirigida de metabolitos funcionales. El principio de acción de la EAU se basa en la cavitación acústica, fenómeno generado por ondas ultrasónicas de alta intensidad que inducen la formación, crecimiento e implosión de microburbujas en el medio líquido. Este proceso produce efectos mecánicos que incrementan la penetración del disolvente en la matriz sólida, amplían la superficie de contacto entre fases y favorecen la transferencia de masa. Además, el colapso de las burbujas genera microchorros y ondas de choque que provocan la disrupción celular, facilitando la liberación de compuestos intracelulares al medio de extracción (Paniwnyk et al., 2001; Lambropoulou et al., 2006). Se ha reportado que el uso de temperaturas elevadas durante la sonicación intensifica la formación de cavitación, lo que se traduce en una mayor eficiencia de extracción. En la Tabla 3 se resumen diversos estudios que han aplicado esta técnica para la recuperación de compuestos específicos, destacando los parámetros más relevantes y sus efectos sobre el rendimiento y la calidad del extracto. En la Tabla 3, se muestra estudios realizados de algunos compuestos específicos que fueron extraídos mediante esta técnica, algunos de los aspectos más importantes que se han reportado en los estudios se presentan a continuación:

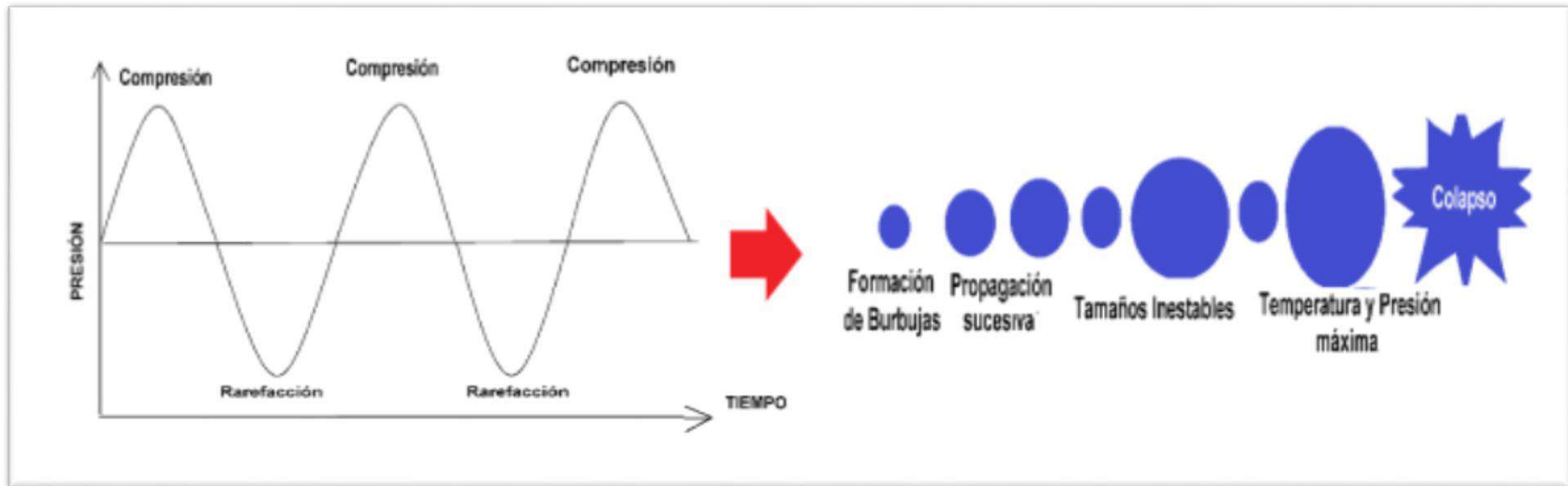


Figura 3

Principio de cavitación acústica por ultrasonido.

Fuente: Medina (2017)

Tabla 3
Parámetros de extracción aplicando ultrasonido

Materia prima	Solvente	Compuestos	Tiempo min.	Potencia watts	Referencia
DEDO DE MOÇA	Metanol y etanol	Capsaicinoides	20 y 60	800	(Dias et al.,2016)
PIMIENTO	Metanol	Capsaicinoides	10-20	300	(Fernández Barbero et al., 2008)
AJI MALAGUETA	Etanol	Capsaicinoides	20	200 y 600	(De Aguiar et al.,2013)
CÁSCARA UVA	Etanol	Fenoles totales	5-15	600	(Dueñas Zurita, 2017)
ORUJO DE UVA	Etanol	Fenoles totales	25	150	(Spigno et al., 2007)
MADRESELVA	Etanol	Capsaicinoides totales	10	250	(Xu et al., 2016).

2.2.2.2. Extracción por ultra-turrax

La extracción ultra-turrax ha sido considerado ventajoso ya que produce una angosta y uniforme distribución del tamaño de partículas. Puede proporcionar una eficaz transferencia másica, además de hacer que los componentes activos fluyan más fácilmente en el solvente de extracción (Yolmeh et al., 2014). La técnica de extracción asistida por ultrasonido se caracteriza por alcanzar altos rendimientos, atribuibles al efecto del dispersor ultrasónico, el cual induce la ruptura de las paredes celulares. Este fenómeno facilita la liberación de compuestos intracelulares, que posteriormente son solubilizados por el disolvente, optimizando así la eficiencia del proceso (Pereira, 2017).

Durante la extracción las partículas viajan a altas velocidades. Cuando las partículas chocan entre sí, la fuerza del impacto puede ser suficiente para erosionar la superficie de la partícula o facilitar la ruptura completa de la partícula o de un aglomerado. Este es un factor en todos los tipos de homogeneización que involucran partículas que viajan a altas velocidades (O'Driscoll, 2019).

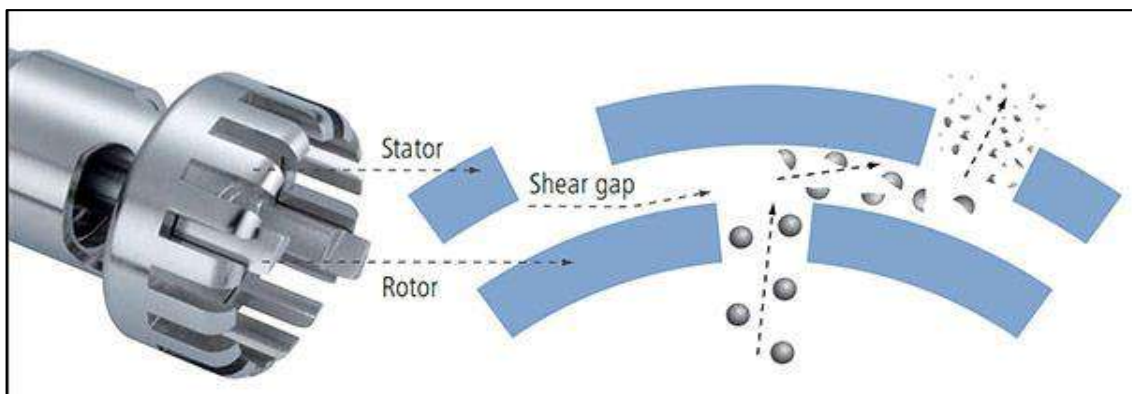


Figura 4
Acción de mezclado y dispersión por ultra-turrax.
Fuente: O'Driscoll (2019)

Las fuerzas de corte son clave en la homogeneización rotor-estator. En este proceso, un eje metálico (rotor) gira dentro de una carcasa estacionaria (estator) (Figura 4). La muestra se introduce en el estrecho espacio entre el rotor y el estator. Las leyes de la mecánica de fluidos establecen que la velocidad del fluido inmediatamente adyacente al rotor es la misma que la velocidad del rotor. Mientras tanto, se deduce que la velocidad del fluido inmediatamente adyacente al estator estacionario es cero. Esto da como resultado un gradiente de velocidad alto en el pequeño espacio entre el rotor y el estator, y somete a la muestra a altas fuerzas de corte.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. **Ámbito y condiciones de la investigación**

3.1.1. **Contexto de la investigación**

La presente investigación fue desarrollada en el Laboratorio de Ingeniería de Procesos (LABIP), perteneciente a la Facultad de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional de San Martín, ubicado en la ciudad universitaria de Tarapoto.

El estudio se centró en la recuperación de capsaicina y otros metabolitos bioactivos a partir de *Capsicum frutescens* (ají charapita), cultivado en el distrito de Sauce, provincia de San Martín. Para ello, se emplearon dos técnicas de extracción: extracción asistida por ultrasonido (EAU) y extracción mediante Ultra-Turrax.

La metodología experimental se dividió en dos etapas:

Etapa 1: Maceración-agitación

Se evaluó el efecto de tres proporciones de disolvente etanol/agua (75:25, 50:50 y 25:75 % v/v) y dos tipos de muestra (fresca y liofilizada), aplicando un tiempo de extracción de 10 minutos. Se determinaron los siguientes parámetros:

- Rendimiento total de extracción
- Contenido de compuestos fenólicos totales
- Capacidad antioxidante mediante los métodos DPPH y ABTS

Etapa 2: Extracción asistida por ultrasonido y Ultra-Turrax

- Ultrasonido (Biobase): Se evaluaron tres niveles de potencia (100, 200 y 300 watts) y tres tiempos de sonicación (5, 10 y 15 minutos).
- Ultra-Turrax (R50 CAT): Se aplicaron tres velocidades de agitación (200, 500 y 800 rpm) y tres tiempos de procesamiento (5, 10 y 15 minutos).

En ambas técnicas se determinaron:

- Rendimiento total
- Contenido de compuestos fenólicos totales
- Capacidad antioxidante (DPPH y ABTS)
- Concentración de capsaicina.

3.1.2. **Periodo de ejecución**

La investigación comprende de 8 meses.

3.1.3. **Autorizaciones y permisos**

No aplica.

3.1.4. Control ambiental y protocolos de bioseguridad

Si bien este estudio no requirió la aplicación directa de protocolos éticos específicos, se siguieron las recomendaciones institucionales pertinentes para garantizar el correcto desarrollo del proyecto y prevenir cualquier inconveniente durante su ejecución.

3.1.5. Aplicación de principios éticos internacionales

Durante la ejecución del presente proyecto se respetaron los principios éticos internacionales establecidos para investigaciones científicas, conforme a las recomendaciones institucionales emitidas por la Universidad Nacional de San Martín.

3.2. Sistema de variables

3.2.1. Variables principales

Las variables independientes y dependientes que se estudiaron en esta investigación fueron:

3.2.1.1. Variables independientes

Método de extracción por maceración-agitación:

Solvente: Etanol/Agua (75:25, 50:50 y 25:75 %v/v).

Tipo de muestra: Fresca y liofilizada en polvo.

Método de extracción por ultrasonido:

Tiempo: 5, 10 y 15 min.

Potencia: 100, 200 y 300 watts.

Método de extracción por ultra-turrax:

Tiempo: 5, 10 y 15 min

Agitación: 200, 500 y 800 rpm

3.2.1.2. Variables dependientes

Concentración de Capsaicina (CC)

Rendimiento global del extracto (X_0)

Contenido de compuestos fenólicos (TPC)

Capacidad antioxidante (DPPH y ABTS)

3.3. Procedimientos de la investigación

El ají charapita (*Capsicum frutescens*) se recolectó en el distrito de Sauce, provincia de San Martín, región San Martín. La muestra se acondicionó extrayendo materiales

extraños y ajíes magullados. Posteriormente los ajíes fueron liofilizados en una LABCONCO a $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ y presión de 0,002 Mbar. A continuación, los ajíes deshidratados fueron reducidos de tamaño en una licuadora, para lograr una buena homogenización de las partículas y que el solvente alcance una mayor penetración y extracción. Para finalizar, los ajíes frescos y deshidratados fueron almacenados en frascos de vidrio protegidos de la luz, debidamente identificados en una refrigeradora hasta el momento de las extracciones.

3.3.1. Caracterización de la materia prima

La presente investigación fue desarrollada en el Laboratorio de Ingeniería de Procesos (LABIP), perteneciente a la Facultad de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional de San Martín, ubicado en la ciudad universitaria de Tarapoto. El estudio se centró en la recuperación de capsaicina y otros metabolitos bioactivos a partir de *Capsicum frutescens* (ají charapita), cultivado en el distrito de Sauce, provincia de San Martín, región San Martín. Para ello, se emplearon dos técnicas de extracción: extracción asistida por ultrasonido (EAU) y extracción mecánica mediante Ultra-Turrax.

La metodología se dividió en dos etapas. En la primera, se evaluó el efecto de tres proporciones de disolvente etanol/agua (75:25, 50:50 y 25:75 % v/v) y dos tipos de muestra (fresca y liofilizada), aplicando un tiempo de extracción de 10 minutos mediante maceración-agitación. Se determinaron el rendimiento total, el contenido de compuestos fenólicos totales y la capacidad antioxidante mediante los métodos DPPH y ABTS.

En la segunda etapa, se realizaron extracciones por ultrasonido utilizando un equipo Biobase, evaluando tres niveles de potencia (100, 200 y 300 watts) y tres tiempos de sonicación (5, 10 y 15 minutos). Paralelamente, se aplicó extracción por Ultra-Turrax (R50 CAT) con velocidades de agitación de 200, 500 y 800 rpm, y tiempos de procesamiento de 5, 10 y 15 minutos. En ambas técnicas se determinaron el rendimiento total, los compuestos fenólicos totales, la capacidad antioxidante (DPPH y ABTS) y la concentración de capsaicina.

Las muestras fueron analizadas en sus formas enteras frescas, liofilizadas y trituradas. Los análisis fisicoquímicos se realizaron en el LABIP, aplicando los siguientes métodos estandarizados:

- **Cenizas totales:** Método AOAC 930.05 (2019), mediante calcinación en mufla a $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ (celda JSR, modelo JSMF-30T).

- **Humedad:** Método AOAC 930.04 (2019), por secado en estufa a 105 °C (estufa Memmert, modelo 600).
- **Proteínas:** Método AOAC 978.04 (2019), mediante digestión Kjeldahl, utilizando un factor de conversión de nitrógeno a proteína de 6,25.
- **Lípidos totales:** Método AOAC 922.06 (2019), mediante extracción Soxhlet automatizada (Buchi FatExtractor E-500), empleando éter de petróleo como disolvente.
- **Carbohidratos:** Calculados por diferencia entre la masa inicial de la muestra (100 g) y la suma de proteínas, lípidos, cenizas y humedad.
- **Fibra cruda:** Determinada según el método NTP 205.003 (2011).

Durante la ejecución del proyecto se respetaron todos los principios éticos internacionales establecidos para investigaciones científicas, conforme a las recomendaciones institucionales emitidas por la Universidad Nacional de San Martín. Aunque no se requirió la aplicación directa de protocolos éticos específicos, se siguieron las directrices pertinentes para garantizar el desarrollo responsable y transparente de todas las actividades experimentales.

3.3.2. Procedimiento en la Primera etapa:

3.3.2.1. Extracción por Maceración-Agitación

Se realizaron las extracciones mediante la técnica de maceración con agitación, para evaluar la mejor proporción de Etanol/Agua (75:25, 50:50 y 25:75 %v/v), muestras (ají fresco y ají liofilizado), en un tiempo de extracción (10 min) y siendo definidos de acuerdo con la necesidad de determinar la mejor proporción etanol/agua, para pasar a la segunda etapa de extracciones como se muestra en la Tabla 4. Para las extracciones se determinó la muestra en 5 g con un volumen del solvente en 100 mL. Se fijó para la proporción etanol/agua utilizando etanol de 96°. Previo a la extracción se homogenizó la muestra con el solvente por 1 minuto. Posterior a las extracciones, se centrifugaron y filtraron con papel filtro 150mm, para almacenarlos en frascos rotulados de color ámbar y llevado a refrigeración (marca SAMSUNG) hasta su posterior análisis.

En esta primera etapa se utilizó un diseño factorial completo. Se analizó la materia prima en dos estados (fresco y liofilizado), y la proporción del solvente: Etanol/Agua (25/75, 50/50 y 75/25 %v/v). Todos los tratamientos fueron sometidos a 10 minutos de extracción.

Tabla 4
Matriz de diseño experimental factorial completo - Primera etapa

Experimentos	Materia prima	Proporción Etanol/agua
1		75/25
2	Ají charapita fresco	50/50
3		25/75
4		75/25
5	Ají charapita liofilizado	50/50
6		25/75

Luego de realizar los experimentos de la primera etapa los extractos fueron almacenados en un refrigerador (marca Samsung) en frascos rotulados color ámbar.

3.3.2.2. Rendimiento global de extracción (X_0)

El rendimiento global de extracción (X_0) ha sido definido por Pereira & Meireles (2010) como la proporción máxima de soluto que puede ser disuelto y posteriormente aislado desde una matriz vegetal, bajo condiciones controladas de temperatura, presión y tipo de disolvente. Para su determinación, se emplea la relación entre la masa total del extracto obtenido (M_{extracto}) y la masa de la muestra en base seca (M_{muestra}), conforme a lo establecido en la Ecuación 1. Este parámetro constituye un indicador clave en la evaluación de la eficiencia de los procesos de extracción, permitiendo comparar el desempeño de distintas metodologías bajo condiciones experimentales definidas.

$$x_0 = \frac{M_{\text{extracto}}}{M_{\text{muestra}}} \quad \text{Ecuación 1}$$

Se indica que la M_{extracto} (extracción) se determinó retirando 3,0 mL de los extractos líquidos, los cuales se dispusieron en vasos de precipitado previamente tarados. Posteriormente, los vasos con la muestra se sometieron a secado en estufa a 105 °C hasta alcanzar peso constante, de modo que el cálculo de la M_{extracto} se efectuó en función del volumen inicial de cada extracto.

3.3.2.3. Compuestos fenólicos totales (TPC)

La cuantificación del contenido total de compuestos fenólicos en extractos vegetales se ha realizado comúnmente mediante el método espectrofotométrico Folin–Ciocalteu, con modificaciones propuestas por Singleton et al. (1999). Este procedimiento analítico implica la preparación de una mezcla reactiva mediante la adición de una alícuota de la solución etanol/extracto junto con el reactivo Folin–Ciocalteu en tubos de ensayo. Para la cuantificación de compuestos fenólicos totales, se empleó el reactivo de Folin–Ciocalteu. Tras un periodo de espera de 5 minutos, se añadió una solución alcalina de carbonato de sodio al 7 %, la cual favorece el desarrollo de la coloración azul característica del complejo fenólico. Las muestras fueron mantenidas en reposo durante

30 minutos, protegidas de la luz, con el fin de asegurar la estabilidad del complejo formado. La absorbancia se midió a una longitud de onda de 765 nm utilizando un espectrofotómetro UV-Vis (ThermoScientific, modelo Genesys 50). Para la interpretación cuantitativa, se construyó una curva de calibración utilizando ácido gálico como patrón, y los resultados se expresaron en miligramos equivalentes de ácido gálico por gramo de extracto (mg EAG/g extracto).

3.3.2.4. Actividad antioxidante (DPPH)

La capacidad antioxidante de los extractos fue evaluada mediante el método de captura de radicales libres DPPH, siguiendo el protocolo propuesto por Brand-Williams et al. (1995), por su simplicidad, rapidez, estabilidad y aplicabilidad práctica. Este método se basa en la reducción del radical 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH), que presenta una absorción máxima a 515 nm. Al ser neutralizado por compuestos antioxidantes, el DPPH cambia de coloración violeta a incolora o amarillenta, dependiendo del grado de inhibición.

Para la cuantificación, se elaboró una curva de calibración utilizando Trolox como estándar, expresando los resultados en función de la concentración equivalente (μM Trolox). La solución estándar de DPPH se preparó disolviendo 0,0985 g en 50 mL de etanol. A partir de esta solución, se generó una solución "blanco", compuesta por 3,5 mL de etanol y 300 μL de la solución de DPPH, cuya absorbancia fue ajustada a 0,80 y medida a 515 nm en un espectrofotómetro UV-Vis Thermo Fisher (modelo Genesys 50). Para el ensayo, se colocaron en tubos analíticos 500 μL del extracto o disolvente, seguidos de 3 mL de etanol y 300 μL de la solución de DPPH previamente ajustada. Las muestras se mantuvieron en reposo durante 45 minutos, protegidas de la luz, antes de realizar la lectura de absorbancia a 515 nm. El porcentaje de inhibición se calculó comparando la absorbancia de la muestra frente al blanco.

3.3.2.5. Actividad antioxidante (ABTS)

La actividad antioxidante de los extractos fue determinada mediante el método propuesto por Re et al. (1999), reconocido por su versatilidad y aplicabilidad en matrices solubles tanto en medios acuosos como lipídicos, con adaptaciones específicas según el tipo de muestra. La metodología emplea Trolox como antioxidante estándar, disuelto en metanol para la elaboración de la curva de calibración.

La generación del radical ABTS se realizó mediante la disolución de 0,0384 g de ABTS y 0,00662 g de persulfato de potasio (2,45 mM) en 3 mL de agua destilada. Ambas soluciones se combinaron en una fiola de 10 mL y se dejaron reaccionar durante 16 horas a 25 °C en condiciones de oscuridad, permitiendo la formación estable del radical

ABTS. Previo al análisis espectrofotométrico, la solución de ABTS se diluyó en etanol en una proporción 1:100, ajustando la absorbancia a un valor aproximado de 0,70 a 734 nm. Para el ensayo, se colocaron en una fiola 0,5 mL del extracto previamente disuelto en etanol (10 mL), seguido de 20 µL de dicha solución y 2 mL de la solución de ABTS. Las muestras se mantuvieron en reposo durante 6 minutos, protegidas de la luz, antes de registrar la absorbancia a 734 nm en un espectrofotómetro UV-Vis. La actividad antioxidante se cuantificó en función de la reducción del radical ABTS, expresada como concentración equivalente de Trolox (µM).

3.3.3. Procedimiento en la Segunda etapa

Con base en los resultados obtenidos durante la primera etapa de la investigación, se determinó que la proporción de disolvente etanol/agua 50:50 % v/v fue la más eficiente en términos de rendimiento de extracción. Esta relación permitió una mayor recuperación de compuestos bioactivos en comparación con las otras proporciones evaluadas (75:25 y 25:75 % v/v). Cabe destacar que el etanol utilizado fue de grado 96°, y que para cada ensayo se fijó una masa de muestra de 3 g, empleando un volumen constante de 50 mL de disolvente. Estas condiciones fueron aplicadas de manera uniforme en ambos métodos de extracción: maceración-agitación y extracción asistida por ultrasonido.

3.3.3.1. Extracción asistida por ultrasonido (EAU) y Ultra-turrax (UTE)

Los extractos se obtuvieron mediante dos técnicas de extracción: Ultrasonido (Biobase): se evaluó el tiempo de extracción en tres niveles (5, 10 y 15 minutos) y la potencia en tres niveles (100, 200 y 300 W). Ultra-Turrax: se utilizó un equipo R50 CAT, evaluando el tiempo de extracción en los mismos tres niveles (5, 10 y 15 minutos) y la velocidad de agitación en tres niveles (200, 500 y 800 rpm), definidos conforme a las limitaciones del equipo. El procedimiento completo se documenta en el Anexo 10. La muestra se fijó en 3 g con un volumen (etanol/agua) 50 ml para el solvente con una proporción de 50/50 %v/v. Los extractos se centrifugaron y se filtraron con papel filtro de 150 mm y se almacenaron a refrigeración hasta los análisis posteriores. Cabe señalar que para el solvente se utilizó etanol de 96°. El diseño experimental empleado fue un diseño factorial completo con dos factores y tres niveles cada uno. Donde se evaluaron tiempo y potencia aplicada para las extracciones por ultrasonido y tiempo y velocidad de agitación para las extracciones por ultra-turrax. Las variables evaluadas por cada técnica fueron: Rendimiento global (X0), Concentración de capsaicina (CC), Contenido de compuestos fenólicos (TPC) y Capacidad antioxidante por métodos DPPH y ABTS. En la Tabla 5 se presenta la matriz del diseño experimental factorial completo para cada técnica de extracción.

Tabla 5
Matriz de diseño experimental factorial completo-Segunda etapa

Experimento	Técnica de extracción	Tiempo (min)	Potencia (watts)/Agitación (rpm)
1	Ultrasonido	5	100
2		5	200
3		5	300
4		10	100
5		10	200
6		10	300
7		15	100
8		15	200
9		15	300
1	Ultra-turrax	5	200
2		5	500
3		5	800
4		10	200
5		10	500
6		10	800
7		15	200
8		15	500
9		15	800

Los extractos obtenidos en cada condición experimental por cada método de extracción se almacenaron en refrigeración a -18°C hasta que se utilizaron en los análisis.

3.3.3.2. Rendimiento global de extracción (X_0)

El rendimiento global de extracción (X_0) ha sido definido por Pereira & Meireles (2010) como la proporción máxima de soluto que puede ser disuelto y posteriormente aislado desde una matriz vegetal, bajo condiciones controladas de temperatura, presión y tipo de disolvente. Para su determinación, se emplea la relación entre la masa total del extracto obtenido (M_{extracto}) y la masa de la muestra en base seca (M_{muestra}), conforme a lo establecido en la Ecuación 2.

$$x_0 = \frac{M_{\text{extracto}}}{M_{\text{muestra}}} \quad \text{Ecuación 2}$$

Este parámetro constituye un indicador clave en la evaluación de la eficiencia de los procesos de extracción, permitiendo comparar el desempeño de distintas metodologías bajo condiciones experimentales definidas.

Se indica que la M_{extracto} (extracción) se determinó retirando 3,0 mL de los extractos líquidos, los cuales se dispusieron en vasos de precipitado previamente tarados. Posteriormente, los vasos con la muestra se sometieron a secado en estufa a 105 °C hasta alcanzar peso constante, de modo que el cálculo de la M_{extracto} se efectuó en función del volumen inicial de cada extracto.

3.3.3.3. Concentración de capsaicina (CC)

La cuantificación de la concentración de la capsaicina en extractos de *Capsicum frutescens* (ají charapita) se realizó mediante espectrofotometría UV-Vis, utilizando un espectrofotómetro Thermoscientific (modelo Genesys 50), siguiendo el protocolo descrito por Cruz & Mendoza (2015), con modificaciones específicas (ver Anexo 6). Para la construcción de la curva de calibración, se preparó una solución reguladora de capsaicina a una concentración de 1 mg/mL, disolviendo 10 mg del estándar en 10 mL de etanol grado HPLC. La solución fue almacenada en frasco ámbar con el fin de evitar la fotodegradación del compuesto. El punto máximo de absorbancia se determinó mediante un barrido espectral en el rango de 230 a 320 nm, identificándose el valor óptimo en 291 nm, correspondiente a la máxima absorción de capsaicina en medio etanólico (véase Anexo 7). Este valor fue utilizado como longitud de onda de referencia para las lecturas espectrofotométricas en el análisis cuantitativo de los extractos.

A partir de la solución reguladora, se elaboraron diluciones de trabajo con concentraciones de 0,02; 0,04; 0,06 y 0,08 mg/mL, ajustadas a un volumen final de 2 mL mediante la adición de etanol. Las mediciones se realizaron en cubetas de cuarzo, utilizando etanol como blanco, y se registraron las absorbancias a 291 nm. La curva de calibración obtenida presentó una regresión lineal de la forma $y = 0,082x - 0,0455$ (Anexo 8).

Para el análisis de los extractos, se realizaron diluciones controladas con el fin de mantener las muestras dentro del rango de la curva de calibración. En particular, se preparó una dilución de 0,2 mL de extracto en una fiola de 10 mL (relación 0,2:10), de la cual se tomaron 1400 μ L y se completó a 2 mL con etanol. Las lecturas se efectuaron por triplicado, empleando el mismo procedimiento de referencia, y se registraron las absorbancias a 291 nm, correspondiente al máximo de absorbancia identificado en el barrido espectral. La concentración de capsaicina fue calculada según la siguiente fórmula:

$$\text{Concentración Final de Capsaicina (mg/ml)} = \text{CC (de la curva tipo)} * F$$

Ecuación 3

Donde:

CC: Concentración de Capsaicina; F: Factor de Dilución

Además, el valor de concentración de capsaicina obtenido fue convertido a Unidades Scoville (SHU), considerando que una parte por millón (ppm) de capsaicina pura equivale a 16,10 unidades Scoville, según lo reportado por Villalba et al. (2017). Esta relación permite expresar el nivel de pungencia de los extractos en términos sensoriales

estandarizados, facilitando su interpretación en aplicaciones alimentarias y farmacológicas. Las unidades de picor Scoville se pueden ver en el Anexo 9.

3.3.3.4. Compuestos fenólicos totales (TPC)

La cuantificación del contenido total de compuestos fenólicos en extractos vegetales se ha realizado comúnmente mediante el método espectrofotométrico Folin–Ciocalteu, con modificaciones propuestas por Singleton et al. (1999). Este procedimiento analítico implica la preparación de una mezcla reactiva mediante la adición de una alícuota de la solución etanol/extracto junto con el reactivo Folin–Ciocalteu en tubos de ensayo. Para la cuantificación de compuestos fenólicos totales, se empleó el reactivo de Folin–Ciocalteu. Tras un periodo de espera de 5 minutos, se añadió una solución alcalina de carbonato de sodio al 7 %, la cual favorece el desarrollo de la coloración azul característica del complejo fenólico. Las muestras fueron mantenidas en reposo durante 30 minutos, protegidas de la luz, con el fin de asegurar la estabilidad del complejo formado. La absorbancia se midió a una longitud de onda de 765 nm utilizando un espectrofotómetro UV-Vis (ThermoScientific, modelo Genesys 50). Para la interpretación cuantitativa, se construyó una curva de calibración utilizando ácido gálico como patrón, y los resultados se expresaron en miligramos equivalentes de ácido gálico por gramo de extracto (mg EAG/g extracto).

3.3.3.5. Actividad antioxidante (DPPH)

La capacidad antioxidante de los extractos fue evaluada mediante el método de captura de radicales libres DPPH, siguiendo el protocolo propuesto por Brand-Williams et al. (1995), por su simplicidad, rapidez, estabilidad y aplicabilidad práctica. Este método se basa en la reducción del radical 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH), que presenta una absorción máxima a 515 nm. Al ser neutralizado por compuestos antioxidantes, el DPPH cambia de coloración violeta a incolora o amarillenta, dependiendo del grado de inhibición.

Para la cuantificación, se elaboró una curva de calibración utilizando Trolox como estándar, expresando los resultados en función de la concentración equivalente (μM Trolox). La solución estándar de DPPH se preparó disolviendo 0,0985 g en 50 mL de etanol. A partir de esta solución, se generó una solución, blanco, compuesta por 3,5 mL de etanol y 300 μL de la solución de DPPH, cuya absorbancia fue ajustada a 0,80 y medida a 515 nm en un espectrofotómetro UV-Vis Thermo Fisher (modelo Genesys 50). Para el ensayo, se colocaron en tubos analíticos 500 μL del extracto o disolvente, seguidos de 3 mL de etanol y 300 μL de la solución de DPPH previamente ajustada. Las muestras se mantuvieron en reposo durante 45 minutos, protegidas de la luz, antes de

realizar la lectura de absorbancia a 515 nm. El porcentaje de inhibición se calculó comparando la absorbancia de la muestra frente al blanco.

3.3.3.6. Actividad antioxidante (ABTS)

La actividad antioxidante de los extractos fue determinada mediante el método propuesto por Re et al. (1999), reconocido por su versatilidad y aplicabilidad en matrices solubles tanto en medios acuosos como lipídicos, con adaptaciones específicas según el tipo de muestra. La metodología emplea Trolox como antioxidante estándar, disuelto en metanol para la elaboración de la curva de calibración.

La generación del radical ABTS se realizó mediante la disolución de 0,0384 g de ABTS y 0,00662 g de persulfato de potasio (2,45 mM) en 3 mL de agua destilada. Ambas soluciones se combinaron en una fiola de 10 mL y se dejaron reaccionar durante 16 horas a 25 °C en condiciones de oscuridad, permitiendo la formación estable del radical ABTS. Previo al análisis espectrofotométrico, la solución de ABTS se diluyó en etanol en una proporción 1:100, ajustando la absorbancia a un valor aproximado de 0,70 a 734 nm. Para el ensayo, se colocaron en una fiola 0,5 mL del extracto previamente disuelto en etanol (10 mL), seguido de 20 µL de dicha solución y 2 mL de la solución de ABTS. Las muestras se mantuvieron en reposo durante 6 minutos, protegidas de la luz, antes de registrar la absorbancia a 734 nm en un espectrofotómetro UV-Vis. La actividad antioxidante se cuantificó en función de la reducción del radical ABTS, expresada como concentración equivalente de Trolox (µM).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se presenta a continuación los resultados de la caracterización de la materia prima y de las extracciones de la primera y segunda etapa del ají Charapita.

1.1. Caracterización de la materia prima

En el presente estudio se empleó ají charapita (*Capsicum frutescens*) en dos presentaciones: fresca y liofilizada. La caracterización centesimal de ambas formas permitió establecer diferencias significativas en su composición nutricional, atribuibles al efecto del proceso de liofilización sobre la concentración de sólidos.

Los resultados obtenidos se detallan en la Tabla 6, donde se presentan los valores correspondientes a humedad, cenizas, proteínas, lípidos, carbohidratos y fibra cruda. Esta información constituye un punto de partida fundamental para interpretar el comportamiento de la matriz vegetal frente a los procesos de extracción aplicados en etapas posteriores.

Tabla 6
Caracterización centesimal del Ají Charapita fresca y liofilizada

Análisis (g/100 g de muestra)	Muestra fresca Media ± DE	Muestra liofilizada Media ± DE
Lípidos (%)	1.39 ± 0,02	6.3 ± 0,01
Carbohidratos (%)	0.99	71.4
Proteína total (%)	2.7 ± 0,00	12.2 ± 0,00
Fibra cruda (%)	6.19 ± 0,031	28.0 ± 0,021
Cenizas (%)	1.24 ± 0,025	5.6 ± 0,035
Humedad (%)	77.86 ± 0,026	4.5 ± 0,028

El ají charapita fresco muestra un contenido de humedad bajo en comparación con el rango típico, esto podría deberse a que el ají fue expuesto a condiciones que redujeron su contenido de agua como el transporte y el tiempo de almacenamiento antes de los análisis. Su contenido de proteína es relativamente más alto que otras variedades indicando que esta variedad podría ser más rica en proteínas.

La composición centesimal del ají charapita liofilizado muestra valores consistentes en comparación con otros *Capsicum*, específicamente el contenido de fibra y proteína está en un rango normal y el contenido de lípidos y carbohidratos se ajusta bien a un producto liofilizado. Sin embargo, algunos factores como la posibilidad de cruce de especies y

una gran cantidad de genotipos de pimiento pueden explicar las diferencias en la composición química de los pimientos *Capsicum*. Además de los factores climáticos, la madurez del fruto, calidad del suelo además de otras propiedades que le dan sus propiedades del ají charapita.

Es importante mencionar que la materia prima que utilizamos en esta investigación contiene una rica fuente de nutrientes, que las condiciones de su cosecha, postcosecha y almacenamiento han sido las adecuadas, cuidando de proteger su calidad durante todo el proceso de la investigación.

1.2. Resultados en la primera etapa

1.2.1. Extracción maceración-agitación

Las condiciones experimentales fueron definidas de acuerdo con la necesidad de determinar la proporción etanol/agua con mayores rendimientos y que sean constantes en todas las muestras de ají. En la Tabla 7 se presentan los resultados obtenidos al evaluar dos variables independientes: la proporción de disolvente etanol/agua (% v/v) y el tipo de muestra (fresca y liofilizada), aplicadas mediante el método de maceración/agitación. Los parámetros analizados incluyeron el contenido de compuestos fenólicos totales ($26,14 \pm 0,03$ mg EAG/g de materia prima), la capacidad antioxidante por los métodos DPPH ($27,35 \pm 0,04$ μ mol TE/g) y ABTS ($666,38 \pm 0,04$ μ mol TE/g), así como el rendimiento global de extracción ($9,81 \pm 0,03$ %).

Los resultados más destacados se obtuvieron utilizando una proporción etanol/agua de 50:50 % v/v en muestras liofilizadas, lo que sugiere una mayor eficiencia en la recuperación de compuestos bioactivos bajo estas condiciones. Esta tendencia puede atribuirse al incremento en la capacidad extractiva de compuestos polares e hidrofílicos cuando se emplean disolventes con constantes dieléctricas elevadas, como ha sido reportado previamente en la literatura especializada (De la Cruz, 2011).

Los resultados obtenidos evidenciaron que las muestras liofilizadas presentaron mayores rendimientos de extracción en comparación con las muestras frescas. Esta tendencia coincide con lo reportado por Caballero et al. (2017), quienes observaron un incremento significativo en la capacidad antioxidante y el contenido de fenoles totales en *Capsicum pubescens* sometido a liofilización, tanto con cómo sin semillas, en relación con el producto fresco.

Además, la reducción del tamaño de partícula desempeña un papel relevante en la eficiencia del proceso de extracción, ya que incrementa el área de contacto entre la

matriz vegetal y el disolvente, y reduce el tiempo necesario para alcanzar el equilibrio de difusión (Casanova-Ortíz et al., 2015).

Para validar estadísticamente estos hallazgos, se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) unifactorial con un nivel de confianza del 95 %. La comparación de medias se realizó mediante la prueba de Tukey ($p < 0,05$), utilizando el software MINITAB. Los resultados del análisis estadístico se presentan en los siguientes anexos:

- Anexo 2: Rendimiento global de extracción
- Anexo 3: Contenido de compuestos fenólicos totales
- Anexo 4: Capacidad antioxidante por el método DPPH
- Anexo 5: Capacidad antioxidante por el método ABTS

Tabla 7
Caracterización fisicoquímica por maceración-agitación

Materia prima	Proporción E/A	Yld	TPC	CA ($\mu\text{mol TE/g}$ materia prima)	
				DPPH	ABTS
Ají charapita fresco	75/25	$4.35 \pm 0.02f$	$8.44 \pm 0.02e$	$8.74 \pm 0.06f$	$412.7 \pm 0.15e$
	50/50	$4.51 \pm 0.02e$	$7.46 \pm 0.03f$	$14.13 \pm 0.03e$	$557.81 \pm 0.08d$
	25/75	$7.47 \pm 0.02d$	$8.82 \pm 0.02d$	$20.19 \pm 0.02d$	$563.68 \pm 0.03c$
Ají charapita liofilizado	75/25	$9.64 \pm 0.07b$	$20.65 \pm 0.00c$	$20.91 \pm 0.02c$	$412.7 \pm 0.15e$
	50/50	$9.81 \pm 0.03a$	$26.14 \pm 0.03a$	$27,35 \pm 0.04a$	$666.38 \pm 0.04a$
	25/75	$7.67 \pm 0.03c$	$22.9 \pm 0.04b$	$21.38 \pm 0.03b$	$655.41 \pm .03b$

Nota: Los datos se muestran como medias \pm desviaciones estándar ($n = 3$). Letras minúsculas diferentes en la misma columna presentan diferencia significativa ($p < 0,05$) por el test de Tukey. Yld= Rendimiento global (%). TPC = Contenido de compuestos fenólicos (mg EAG/g de materia prima); CA= Capacidad antioxidante, fue expresada como $\mu\text{mol TE/g}$ de materia prima). proporción etanol/agua(%v/v)

1.3. Resultados en la segunda etapa

1.3.1. Extracción asistida por ultrasonido y ultra-turrax

Para las extracciones por ultrasonido se utilizó un equipo de última generación (Biobase) y para las extracciones por ultra-turrax se utilizó el equipo marca R50 CAT. Los experimentos de extracción por ultrasonido y ultra-turrax se realizaron utilizando un diseño factorial completo con dos factores y tres niveles cada uno.

En la Tabla 8 se presentan los efectos de las variables independientes evaluadas mediante extracción asistida por ultrasonido: tiempo de extracción (5, 10 y 15 minutos) y potencia aplicada (100, 200 y 300 watts). Estas condiciones mostraron una influencia significativa en la recuperación de compuestos bioactivos, particularmente en la concentración de capsaicina y el rendimiento global de extracción.

El mayor contenido de capsaicina se obtuvo a 15 minutos y 200 watts, alcanzando una concentración de $200,69 \pm 1,5$ mg/mL, junto con un rendimiento global de extracción de $28,79 \pm 0,6$ %. En cuanto a los compuestos fenólicos totales, el valor más alto se registró a 5 minutos y 100 watts ($46,16 \pm 0,42$ mg EAG/g de materia prima), lo que sugiere que tiempos cortos y potencias moderadas favorecen la preservación de estos compuestos sensibles.

La capacidad antioxidante mostró variaciones según el método de evaluación:

- Por DPPH, el valor más alto se obtuvo a 15 minutos y 200 watts ($37,01 \pm 0,32$ μ mol TE/g).
- Por ABTS, se alcanzó el máximo a 15 minutos y 300 watts ($2252,63 \pm 8,13$ μ mol TE/g), lo que indica una mayor eficiencia en la neutralización del radical ABTS⁺ bajo condiciones de alta potencia.

Estos resultados evidencian que la modulación de tiempo y potencia en la extracción por ultrasonido permite optimizar selectivamente la recuperación de distintos metabolitos, dependiendo de su sensibilidad estructural y polaridad.

En la Tabla 9, se evidencian los efectos de las variables independientes que fueron estudiadas por ultra-turrax: tiempo de extracción (5, 10 y 15 min) y agitación (200, 500 y 800 rpm); sobre la concentración de capsaicina (173.70 mg/ml de extracto) a 15 minutos y 200 rpm, contenido de compuestos fenólicos (50.44 ± 1.11 mg EAG/gramo de materia prima) logrados a 5 min y 800 rpm, capacidad antioxidante por DPPH (32.96 ± 0.52 μ M TE/g materia prima) a 15 min y 200 rpm, ABTS ($1811.70 \pm 7,23$ μ M TE/g materia prima) a 5 min y 200 rpm.

A continuación, se presentan los resultados del análisis estadístico realizado con el propósito de evaluar las diferencias significativas entre los tratamientos aplicados en los procesos de extracción. Para ello, se empleó un análisis de varianza (ANOVA) unifactorial, con un nivel de confianza del 95 %, con el fin de determinar la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre las medias de los grupos evaluados.

Como herramienta complementaria, se utilizó un diagrama de Pareto para visualizar la distribución e impacto relativo de las variables independientes sobre los parámetros de respuesta, facilitando la identificación de los factores más influyentes en el rendimiento y recuperación de compuestos bioactivos. Asimismo, se aplicó la prueba de comparación múltiple de Tukey ($p < 0,05$) para establecer diferencias significativas entre los tratamientos y agrupar los promedios en conjuntos homogéneos.

Todo el procesamiento estadístico fue realizado mediante el software MINITAB, y los resultados detallados del ANOVA.

Tabla 8
Caracterización fisicoquímica por ultrasonido

Experimento	X ₁	X ₂	Yld (%)	CC (mg/mL)	TPC	CA (µM ET/g materia-prima)	
						DPPH	ABTS
1	5	100	25.39 ± 2.02	126.18 ± 3.60	46.16 ± 0.42	20.53 ± 0.00	1485.14 ± 5.93
2	5	200	26.43 ± 1.40	144.45 ± 4.53	48.66 ± 1.92	33.32 ± 0.32	1437.75 ± 10.05
3	5	300	26.39 ± 2.02	182.62 ± 0.61	48.72 ± 0.33	33.63 ± 0.52	1480.78 ± 2.44
4	10	100	28.74 ± 4.46	114.03 ± 2.96	41.49 ± 3.57	30.24 ± 0.58	1663.14 ± 5.77
5	10	200	28.09 ± 0.96	154.50 ± 0.53	47.89 ± 3.26	32.36 ± 0.00	1595.42 ± 11.97
6	10	300	27.93 ± 1.50	163.11 ± 0.61	52.00 ± 1.95	35.15 ± 0.00	2252.63 ± 8.13
7	15	100	27.59 ± 0.89	182.88 ± 0.47	46.16 ± 0.03	35.05 ± 0.00	1608.95 ± 11.77
8	15	200	27.74 ± 0.90	200.69 ± 1.75	46.55 ± 0.17	37.01 ± 0.32	1535.90 ± 5.24
9	15	300	27.72 ± 1.25	196.77 ± 0.69	47.89 ± 0.60	36.94 ± 0.00	1745.74 ± 5.35

Resultados fueron expresados como la media ± desviación estándar. X₁ = Tiempo de extracción (min); X₂ = Potencia aplicada (watts); Yld = Rendimiento global (%); CC = Concentración capsaicina; TPC = Contenido de compuestos fenólicos (mg EAG/g de materia prima); CA = Capacidad antioxidante.

Tabla 9
Caracterización fisicoquímica por ultra-turrax

Experimento	X ₁	X ₂	Yld (%)	CC (mg/mL)	TPC	CA (µM ET/g materia-prima)	
						DPPH	ABTS
1	5	200	27.11 ± 2.47	151.02 ± 0.98	50.44 ± 1.11	29.84 ± 3.80	1761.76 ± 6.01
2	5	500	27.59 ± 0.33	176.20 ± 7.82	50.67 ± 0.19	28.13 ± 0.00	1811.70 ± 7.23
3	5	800	28.69 ± 0.70	180.30 ± 9.04	50.95 ± 1.09	29.58 ± 0.00	1536.77 ± 5.69
4	10	200	28.11 ± 1.39	162.87 ± 1.00	47.89 ± 0.01	30.91 ± 0.77	1525.83 ± 0.00
5	10	500	28.20 ± 0.92	191.65 ± 4.61	45.83 ± 1.32	31.91 ± 0.77	1518.06 ± 11.46
6	10	800	27.13 ± 2.15	171.17 ± 8.01	49.44 ± 1.55	32.03 ± 0.00	1604.93 ± 7.28
7	15	200	28.67 ± 0.60	173.70 ± 2.56	44.1 ± 2.39	32.96 ± 0.52	1760.36 ± 8.13
8	15	500	27.93 ± 0.50	171.04 ± 1.18	48.33 ± 1.90	32.51 ± 1.63	237.87 ± 9.95
9	15	800	28.39 ± 0.15	117.84 ± 0.85	49.44 ± 0.51	32.55 ± 1.46	1653.20 ± 4.97

Resultados fueron expresados como la media ± desviación estándar. X₁ = Tiempo de extracción (min); X₂ = Agitación (rpm); Yld = Rendimiento global (%); CC = Concentración capsaicina; TPC = Contenido de compuestos fenólicos (mg EAG/g de materia prima); CA = Capacidad antioxidante.

1.3.1.1. Rendimiento global de extracción (%) por ultrasonido

El análisis de varianza (ANOVA) aplicado al rendimiento global de extracción permitió evaluar la significancia estadística de los efectos de las variables independientes sobre la respuesta experimental. Según los datos presentados en la Tabla 10, el valor de F calculado superó el valor crítico correspondiente al p-valor bajo un nivel de confianza del 95 %, lo que indica un ajuste adecuado del modelo propuesto.

Tabla 10
ANOVA – Rendimiento global de extracción por ultrasonido

Fuente	GL	SC		Valor F	Valor p
		Ajust.	MC Ajust.		
Modelo	8	8,5030	1,06287	0,65	0,728
Lineal	4	1,7535	0,43839	0,27	0,895
Tiempo(min)	2	1,6340	0,81699	0,50	0,616
Potencia (W)	2	0,1196	0,05979	0,04	0,964
Interacciones de 2 términos	4	6,7494	1,68736	1,03	0,419
Tiempo(min)*Potencia (W)	4	6,7494	1,68736	1,03	0,419
Error	18	29,4918	1,63843		
Total	26	37,9947			

Con el objetivo de optimizar el rendimiento global de extracción, se estudiaron dos variables operativas clave: el tiempo de extracción (5, 10 y 15 minutos) y la potencia aplicada (100, 200 y 300 watts), empleando como matriz vegetal ají charapita (*Capsicum frutescens*) en estado liofilizado y triturado. Según el principio de Pareto se espera que aproximadamente el 20% de los factores, represente el 80% del impacto total de los resultados. Sin embargo, en el diagrama (Figura 5), observamos que las barras están detrás de la línea acumulativa, indicando que los factores de tiempo y potencia y la interacción de ambas tienen un impacto menor y contribuyen relativamente poco al total de resultados. El efecto estandarizado implica que los datos han sido ajustados para ser comparables aún incluso si las barras están detrás de la línea acumulativa, con esto se puede evaluar el potencial de cada factor.

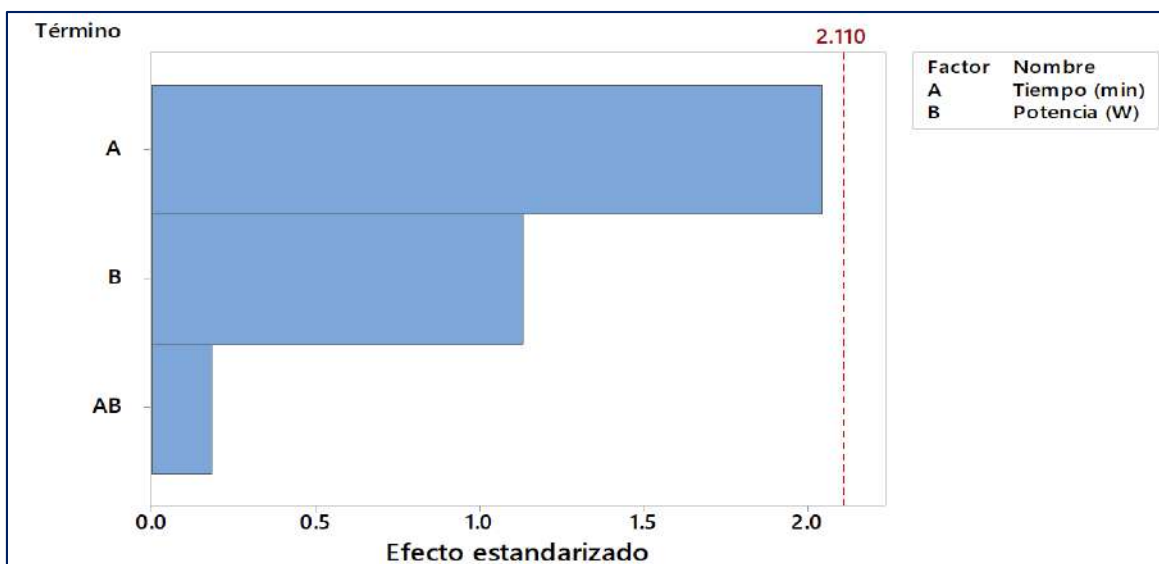


Figura 5
 Diagrama de Pareto para rendimiento global por ultrasonido.

En la Tabla Tukey (Tabla 11), se observa que las letras minúsculas iguales en una misma columna indican que no existen diferencias significativas entre los tiempos de extracción para un mismo nivel de potencia, mientras que las letras mayúsculas iguales en una misma fila reflejan ausencia de diferencias significativas entre los niveles de potencia para un mismo tiempo. Esta codificación facilita la identificación de tratamientos estadísticamente equivalentes, permitiendo una interpretación clara de los efectos individuales y combinados de las variables evaluadas.

El mejor rendimiento de extracción ($25,39 \pm 2,02$ %) se obtuvo a 5 minutos y 100 watts, lo que sugiere que condiciones moderadas de ultrasonido favorecen la liberación eficiente de compuestos bioactivos. Este comportamiento puede atribuirse a la acción mecánica del ultrasonido, que genera cavitación y ruptura de las paredes celulares, facilitando la difusión de los metabolitos hacia el medio solvente.

Asimismo, el uso de una mezcla etanol/agua al 50/50 % v/v proporciona un entorno polar balanceado que potencia la extracción de compuestos tanto polares como apolares. El etanol, al ser menos polar que el agua, contribuye a la disolución de compuestos lipofílicos como la capsaicina, mientras que el agua favorece la solubilización de compuestos hidrofílicos como los fenoles. Esta sinergia solvente mejora la eficiencia global del proceso de extracción.

Tabla 11
Test de Tukey para el Rendimiento total por ultrasonido

Tiempo (min)	Potencia (watts)		
	100	200	300
5	25.39 ± 2.02aA	26.43 ± 1.40aA	26.39 ± 2.02aA
10	26.17 ± 0.16aA	28.79 ± 0.96aA	27.93 ± 1.50aA
15	27.59 ± 0.89aA	27.74 ± 0.90aA	27.72 ± 1.25aA

Nota. Los resultados se muestran como promedio ± desvió padrón (n=3), Rendimiento total (%)

1.3.1.2. Rendimiento global de extracción (%) por Ultra-turrax

En la Tabla 12 se presenta la interpretación del análisis de varianza (ANOVA) aplicado al rendimiento global de extracción mediante el método Ultra-Turrax. El valor de F calculado fue inferior al valor crítico asociado al p-valor, bajo un nivel de confianza del 95 %, lo que indica que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados. Este resultado respalda la hipótesis nula, sugiriendo que las condiciones operativas aplicadas (variaciones en tiempo y potencia) no ejercen una influencia significativa sobre el rendimiento de extracción en las muestras analizadas. Por tanto, se concluye que, bajo los parámetros estudiados, el método Ultra-Turrax no presenta sensibilidad suficiente para modificar la eficiencia del proceso en términos de recuperación de compuestos bioactivos.

Tabla 12
ANOVA – Rendimiento global por ultra-turrax

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	8	21,522	2,6903	1,39	0,268
Lineal	4	19,282	4,8204	2,49	0,082
Tiempo(min)	2	13,222	6,6110	3,42	0,056
Agitación (RPM)	2	5,425	2,7123	1,40	0,273
Interacciones de 2 términos	4	2,536	0,6340	0,33	0,855
Tiempo(min)*Agitación (RPM)	4	2,536	0,6340	0,33	0,855
Error	17	32,850	1,9323		
Total	25	54,372			

En la figura 6, se presenta el Diagrama de Pareto que se utilizó para evaluar el impacto de los factores tiempo de extracción (5,10 y 15 min) y agitación (200, 500 y 800 rpm). Se observa que las barras están detrás de la línea acumulativa, indicando claramente que los factores de tiempo y agitación y la interacción de ambas tienen un impacto menor y contribuyen relativamente poco al total de resultados. El efecto estandarizado implica que los datos han sido ajustados para ser comparables aún incluso si las barras están detrás de la línea acumulativa, con esto se puede evaluar el potencial de cada factor.

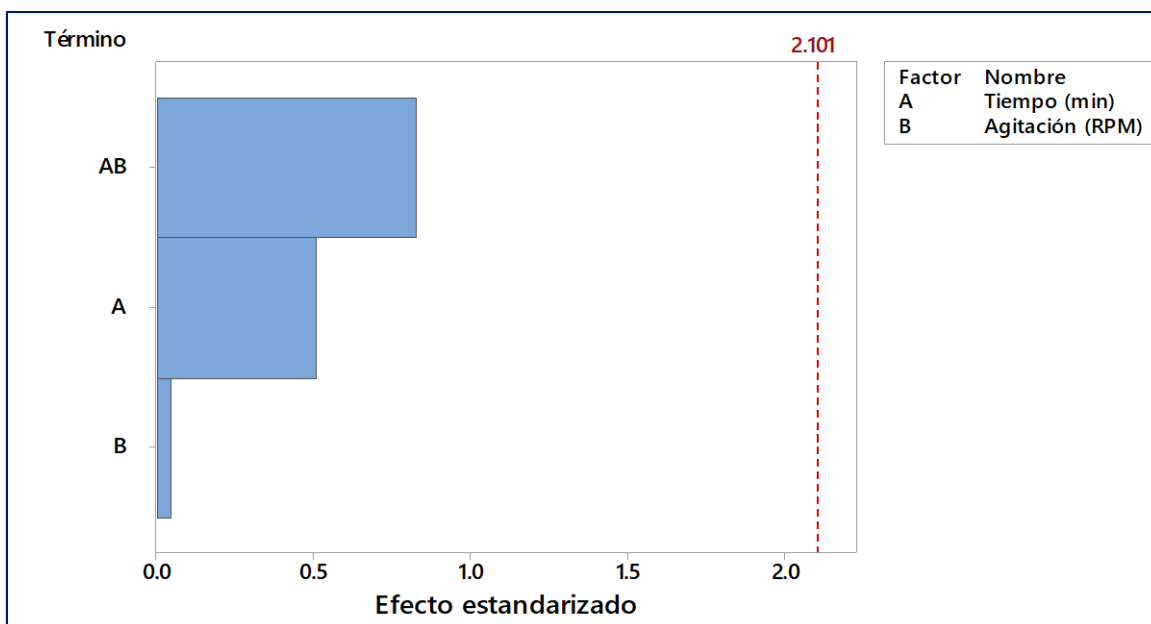


Figura 6

Diagrama de Pareto para rendimiento global por Ultra-turrax.

1.3.1.3. Concentración de capsaicina por ultrasonido

Según los datos presentados en la Tabla 13, el análisis de varianza (ANOVA) evidenció diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados. El valor de F calculado fue superior al valor crítico asociado al p-valor, bajo un nivel de confianza del 95 %, lo que indica un ajuste adecuado del modelo y permite rechazar la hipótesis nula.

Dado que el p-valor fue menor a 0,05, se concluye que al menos uno de los niveles de tiempo de extracción (5, 10 y 15 minutos) y potencia aplicada (100, 200 y 300 watts) generó variaciones significativas en la concentración de capsaicina extraída. Estos resultados confirman que las condiciones operativas del proceso de extracción asistida por ultrasonido influyen directamente en la eficiencia de recuperación de este compuesto bioactivo.

Tabla 13

ANOVA - Concentración de capsaicina por ultrasonido

Fuente	GL	SC		Valor F	Valor p
		Ajust.	MC Ajust.		
Modelo	8	20733,9	2591,74	684,20	0,000
Lineal	4	18801,2	4700,31	1240,85	0,000
Tiempo(min)	2	12573,1	6286,54	1659,60	0,000
Potencia (W)	2	6669,5	3334,77	880,36	0,000
Interacciones de 2 términos	4	2151,3	537,82	141,98	0,000
Tiempo(min)*Potencia (W)	4	2151,3	537,82	141,98	0,000
Error	17	60,6	3,79		
Total	25	20794,5			

Según el principio de Pareto se espera que una pequeña cantidad de causas (aproximadamente el 20%) represente una gran porción (aproximadamente el 80%) del impacto total de los resultados. En el diagrama (Figura 7), observamos que las barras están por delante de la línea roja (línea acumulativa), visualizando que ambos factores influyeron en los resultados obtenidos. Además, el efecto estandarizado implica que los datos han sido ajustados para ser comparables, permitiendo evaluar el rendimiento de cada factor de manera equitativa e identificar más fácilmente cuáles factores tienen el mayor impacto.

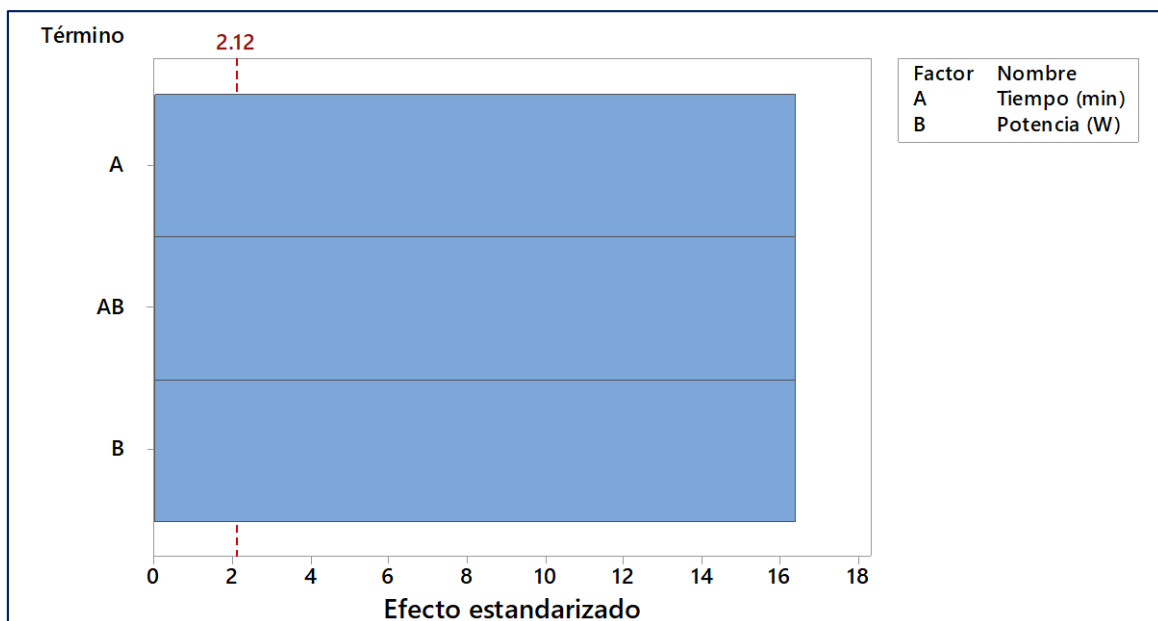


Figura 7

Diagrama de Pareto Concentración de Capsaicina por ultrasonido.

Estas diferencias significativas también se reflejan en los datos obtenidos en el test de Tukey (Tabla 14) donde se puede evidenciar que las letras minúsculas diferentes en la misma columna presentan diferencias significativas entre tiempos para el mismo nivel de potencia y letras mayúsculas diferentes en la misma fila presentan diferencias significativas entre potencia para el mismo nivel de tiempo. Por tanto, puede concluirse que la mayor concentración de capsaicina (200,69 mg/ml de extracto) lograda a 15 minutos de extracción y 200 watts de potencia aplicada y la menor concentración a 10 min y 100 watts de aplicación de ultrasonido.

Fernández (2007), destaca que, en el caso específico de los capsaicinoides, se obtienen recuperaciones cuantitativas cuando el tiempo de extracción alcanza o supera los 10 minutos. Estos hallazgos subrayan la necesidad de establecer condiciones temporales adecuadas para maximizar el rendimiento en técnicas de extracción, especialmente aquellas aplicadas a matrices vegetales ricas en metabolitos funcionales. La selección del disolvente constituye un factor determinante en la eficiencia de los procesos de extracción

de capsaicinoides. Rostagno et al. (2003), señalan que estos compuestos deben ser solubles en el medio extractante para garantizar una recuperación efectiva, y que el agua, por sí sola, no representa un disolvente adecuado para este propósito. No obstante, se ha observado que la incorporación de pequeñas proporciones de agua en mezclas hidroalcohólicas puede mejorar significativamente la eficacia del proceso, debido al incremento en la capacidad de solubilización de compuestos polares. Por otro lado, aunque el etanol presenta limitaciones como disolvente único principalmente por su baja difusividad y elevada viscosidad, su combinación con agua en proporción 50/50 % v/v ha demostrado ser efectiva en la extracción de capsaicinoides. Esta eficiencia se atribuye a las interacciones sinérgicas entre ambos componentes, que favorecen la penetración celular y mejoran la transferencia de masa, permitiendo una solubilización más eficiente que la obtenida con disolventes apolares puros. Este comportamiento resalta la importancia crítica de una adecuada selección de disolventes en el diseño de metodologías de extracción.

Tabla 14

Test de Tukey para Concentración de capsaicina por ultrasonido

Tiempo (min)	Potencia (watts)		
	100	200	300
5	126.18 ± 3.60bC	144.45 ± 4.53cB	182.62 ± 0.61bA
10	114.03 ± 2.96cC	154.50 ± 0.53bB	163.11 ± 0.61cA
15	182.88 ± 047aB	200.69 ± 1.75aA	196.77 ± 0.69aA

Nota. Los resultados se muestran como promedio ± desvió padrón (n=3); Concentración de capsaicina (mg/ml).

1.3.1.4. Concentración de capsaicina por ultraturrax

En la Tabla 15 se presentan los resultados del análisis de varianza (ANOVA) aplicado a la concentración de capsaicina obtenida mediante el método Ultra-Turrax. Los factores evaluados: tiempo de extracción, velocidad de agitación y su interacción, mostraron valores de F calculado superiores al valor crítico asociado al p-valor, bajo un nivel de confianza del 95 %.

Este comportamiento estadístico indica la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos. Dado que el p-valor fue menor a 0,05, se concluye que al menos uno de los niveles de tiempo (5, 10 y 15 minutos) y velocidad de agitación (200, 500 y 800 rpm) generó variaciones significativas en la concentración de capsaicina extraída. Por tanto, se confirma la significancia estadística del modelo, lo que valida la influencia de las condiciones operativas sobre la eficiencia del proceso de extracción.

Tabla 15
ANOVA - Concentración de capsaicina por ultra-turrax

Fuente	GL	SC		Valor F	Valor p
		Ajust,	MC Ajust,		
Modelo	8	10688,5	1336,07	57,33	0,000
Lineal	4	4658,0	1164,49	49,97	0,000
Tiempo(min)	2	2099,6	1049,81	45,04	0,000
Agitación (RPM)	2	2474,3	1237,13	53,08	0,000
Interacciones de 2 términos	4	5645,0	1411,26	60,55	0,000
Tiempo(min)*Agitación (RPM)	4	5645,0	1411,26	60,55	0,000
Error	17	396,2	23,31		
Total	25	11084,7			

El diagrama de Pareto se utilizó para evaluar el impacto de los factores tiempo de extracción (5,10 y 15 min) y agitación (200, 500 y 800 rpm) en la concentración de capsaicina. En el diagrama (Figura 8), observamos que las barras están por delante de la línea roja (línea acumulativa), visualizando que la interacción de ambos factores son los que influyeron más en los resultados. Además, el efecto estandarizado implica que los datos han sido ajustados para ser comparables, permitiendo evaluar el rendimiento de cada factor de manera equitativa e identificar más fácilmente cuáles factores tienen el mayor impacto.

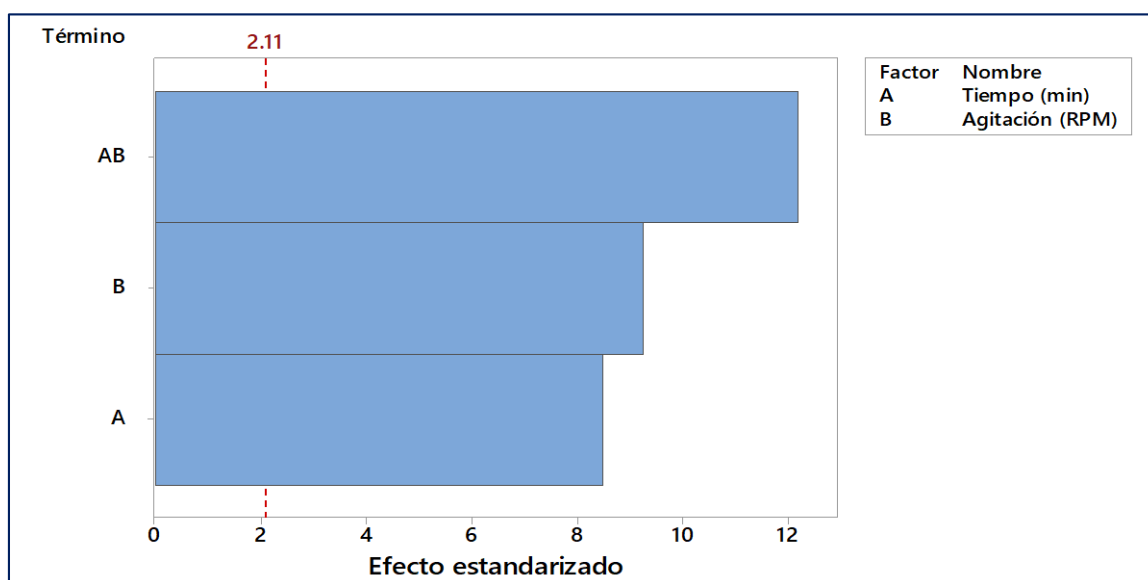


Figura 8
Diagrama de Pareto concentración de capsaicina por Ultra-turrax.

En la tabla 16 (test de Tukey) se puede evidenciar esta tendencia ya que las letras minúsculas diferentes en la misma columna presentan diferencias significativas entre tiempos para el mismo nivel de agitación y las letras mayúsculas diferentes en la misma fila presentan diferencias significativas entre la agitación para el mismo nivel de tiempo. Se

ha encontrado la mayor concentración a 500 rpm y 10 min, sin embargo, no hay diferencia si se trabaja a 15 minutos de extracción y 200 rpm obteniendo (173.70 mg/ml de extracto).

Torres et al (2015), afirma que los altos rendimientos por ultra-turrax se debe a la alta turbulencia y el alto caudal de circulación del disolvente de extracción, producido gracias al hueco entre el rotor y estator.

De la Cruz (2011) indica que la agitación es parte fundamental en el proceso extractivo, ya que el movimiento del líquido hace que se produzca una recirculación del solvente, haciendo más eficiente el proceso extractivo. Además, el tiempo de extracción debe ser suficiente para agotar completamente el material vegetal, aunque no excesivo.

Tabla 16

Test de Tukey para la Concentración de capsaicina por ultra-turrax

Tiempo (min)	Velocidad de agitación (rpm)		
	200	500	800
5	151.02 ± 0.98cB	176.20 ± 7.82bA	180.30 ± 9.04aA
10	162.87 ± 1.00bB	191.65 ± 4.61aA	171.17 ± 8.01aB
15	173.70 ± 2.56aA	171.04 ± 1.18bA	117.84 ± 0.85bB

Nota. Los resultados se muestran como promedio ± desvió padrón (n=3); Concentración de capsaicina (mg/ml)

1.3.1.5. Contenido total de fenoles (TPC) con ultrasonido

En la Tabla 17, se muestra el ANOVA para el contenido total de fenoles (TPC) con ultrasonido. Podemos observar que el factor tiempo posee un $F_{\text{calculado}}$ mayor al valor de p-valor y que el factor potencia y la interacción de ambas poseen un $F_{\text{calculado}}$ menor al valor de p-valor a un nivel de confianza del 95 %. Dado que el valor p-valor es menor que 0.05, en el factor potencia se puede concluir que al menos uno de los niveles de potencia (100, 200 y 300 watts) produjeron resultados diferentes en los tres tiempos. En ese sentido, podemos asegurar la significancia estadística del modelo.

Tabla 17
ANOVA – Contenido de compuestos fenólicos por ultrasonido

Fuente	GL	SC Ajust	MC Ajust	Valor F	Valor p
Modelo	8	190,850	23,856	5,66	0,001
Lineal	4	116,559	29,140	6,92	0,001
Tiempo(min)	2	4,670	2,335	0,55	0,584
Potencia (W)	2	111,890	55,945	13,28	0,000
Interacciones de 2 términos	4	74,291	18,573	4,41	0,012
Tiempo(min)*Potencia (W)	4	74,291	18,573	4,41	0,012
Error	18	75,809	4,212		
Total	26	266,659			

En la figura 9, se presenta el Diagrama de Pareto que se utilizó para evaluar el impacto de los factores tiempo de extracción (5,10 y 15 min) y potencia (100, 200 y 300 watts). Observamos que la barra de potencia y de la interacción de ambos factores están por delante de la línea roja (línea acumulativa), visualizando que la potencia y la interacción de ambos factores son los que influyeron más en los resultados. Además, el efecto estandarizado implica que los datos han sido ajustados para ser comparables, permitiendo evaluar el rendimiento de cada factor de manera equitativa e identificar más fácilmente cuáles factores tienen el mayor impacto, validando los resultados presentados en el ANOVA.

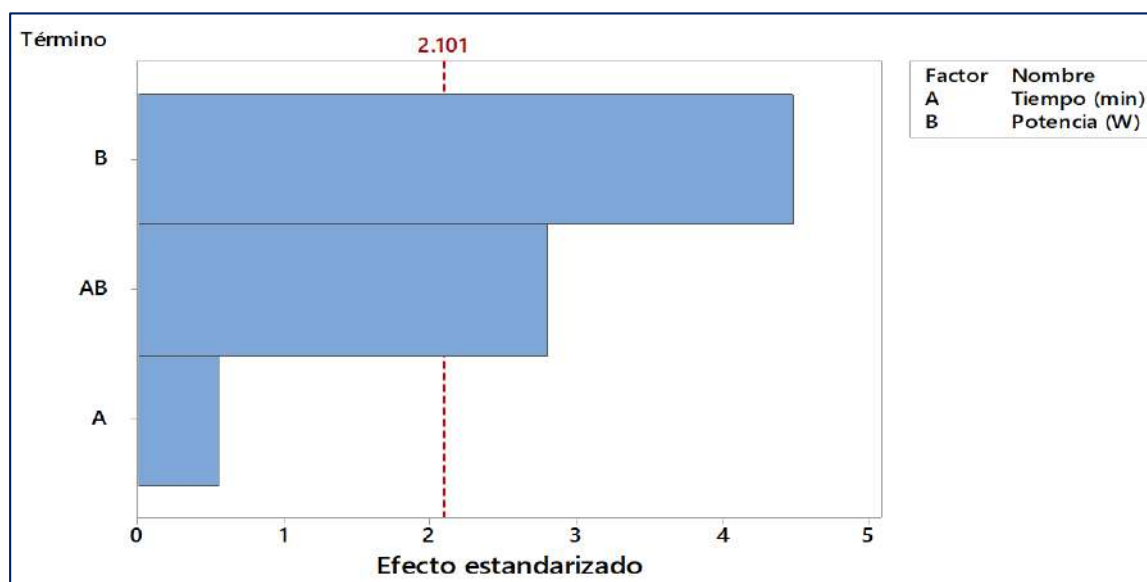


Figura 9
Diagrama de Pareto para TPC de los extractos por ultrasonido.

La tendencia observada en los datos del test de Tukey (Tabla 18) confirma que las letras minúsculas iguales en una misma columna indican ausencia de diferencias significativas entre los tiempos de extracción para un mismo nivel de potencia, mientras que letras

mayúsculas diferentes en una misma fila evidencian diferencias significativas entre los niveles de potencia para un mismo tiempo.

El mayor contenido de compuestos fenólicos ($46,16 \pm 0,42$ mg EAG/g de materia prima) se obtuvo a 5 minutos de extracción y 100 watts de potencia aplicada, lo que sugiere que condiciones moderadas favorecen la preservación de estos metabolitos sensibles. No obstante, se observa una tendencia general en la que a mayor potencia ultrasónica, mayor contenido de fenoles, independientemente del tiempo de exposición.

Este comportamiento puede explicarse por la naturaleza hidrosoluble de la mayoría de los compuestos fenólicos, los cuales presentan alta afinidad por solventes polares como el agua (Corona et al., 2016). En este estudio, se utilizó una mezcla etanol/agua al 50/50 % v/v, lo que proporcionó un entorno polar balanceado que favorece la solubilización de compuestos tanto polares como ligeramente apolares. Además, la potencia ultrasónica aplicada se considera un factor determinante en la eficiencia de extracción, ya que intensifica la cavitación y la ruptura celular, facilitando la liberación de los compuestos fenólicos atrapados en la matriz vegetal (Priego & Luque, 2004).

Tabla 18

Test de Tukey para contenido de compuestos fenólicos por ultrasonido

Tiempo (min)	Potencia (watts)		
	100	200	300
5	$46.16 \pm 0.42aA$	$48.66 \pm 1.92aA$	$48.72 \pm 0.33aA$
10	$41.49 \pm 3.57bB$	$47.89 \pm 3.26aA$	$52.00 \pm 1.95aA$
15	$46.16 \pm 2.53aA$	$46.55 \pm 0.17aA$	$47.89 \pm 0.60aA$

Nota. Los resultados se muestran como promedio \pm desvió padrón (n=3); contenido total de fenoles:mg EAG/gramo de materia prima.

1.3.1.6. Contenido total de fenoles (TPC) con ultra-turrax

El ANOVA que se muestra en la Tabla 19, para el contenido total de fenoles (TPC) por ultra-turrax, podemos observar que los factores tiempo, agitación y su interacción poseen un $F_{\text{calculado}}$ mayor al valor de p-valor a un nivel de confianza del 95 %. Esto indica que hay diferencias significativas en el contenido total de fenoles. Dado que el valor p-valor es menor que 0.05, se puede concluir que al menos uno de los niveles de tiempo (5,10 y 15 min) y velocidad de agitación (200, 500 y 800 rpm) produjeron resultados diferentes. En ese sentido, podemos asegurar la significancia estadística del modelo.

Tabla 19
ANOVA – Contenido de compuestos fenólicos por ultra-turrax

Fuente	GL	SC		Valor F	Valor p
		Ajust,	MC Ajust,		
Modelo	8	129,27	16,159	7,05	0,000
Lineal	4	90,03	22,507	9,82	0,000
Tiempo(min)	2	61,51	30,756	13,43	0,000
Agitación (RPM)	2	28,52	14,258	6,22	0,009
Interacciones de 2 términos	4	39,25	9,811	4,28	0,013
Tiempo(min)*Agitación (RPM)	4	39,25	9,811	4,28	0,013
Error	18	41,27	2,293		
Total	26	170,54			

El diagrama de Pareto (Figura 10), se utilizó para evaluar el impacto de los factores tiempo de extracción (5,10 y 15 min) y agitación (200, 500 y 800 rpm) en el contenido total de fenoles. En el diagrama, observamos que las barras están por delante de la línea roja (línea acumulativa), visualizando que el factor tiempo es quien más influyó en los resultados. Seguido de la agitación y de la interacción de ambos factores. Además, el efecto estandarizado implica que los datos han sido ajustados para ser comparables, permitiendo evaluar el rendimiento de cada factor de manera equitativa e identificar más fácilmente cuáles factores tienen el mayor impacto.

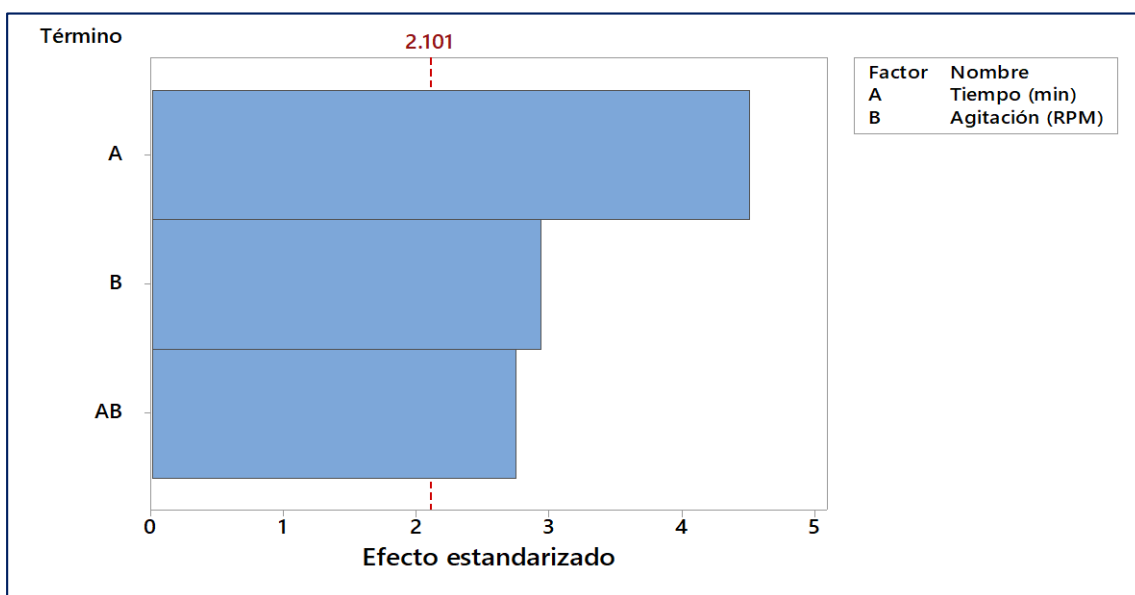


Figura 10
Diagrama de Pareto para TPC de los extractos por Ultra-turrax.

El análisis estadístico mediante el test de Tukey, presentado en la Tabla 20, permitió identificar diferencias significativas entre los tratamientos evaluados en función del tiempo de extracción y la velocidad de agitación. Las letras minúsculas distintas dentro de una misma columna indican diferencias significativas entre los tiempos de extracción para un

mismo nivel de agitación, mientras que las letras mayúsculas iguales en una misma fila reflejan la ausencia de diferencias significativas entre los niveles de agitación para un mismo tiempo de sonicación. Los resultados evidenciaron que la mayor concentración de compuestos fenólicos se obtuvo a 800 rpm y 5 min de extracción. No obstante, se observó que a 5 min y 200 rpm también se alcanzó una concentración considerable (50.44 ± 1.11 mg EAG/g de materia prima), sin diferencias significativas respecto al tratamiento óptimo. Estos hallazgos sugieren que, bajo ciertas condiciones, es posible reducir la intensidad de agitación sin comprometer significativamente la eficiencia del proceso.

De la Cruz (2011), indica que la agitación es parte fundamental en el proceso extractivo, ya que el movimiento del líquido hace que se produzca una recirculación del solvente, haciendo más eficiente el proceso extractivo. Además, el tiempo de extracción debe ser suficiente para agotar completamente el material vegetal, aunque no excesivo.

Torres et al (2015), afirma que los altos rendimientos por ultra-turrax se debe a la alta turbulencia y el alto caudal de circulación del disolvente de extracción.

Tabla 20

Test de Tukey para el contenido de compuestos fenólicos por ultra-turrax

Tiempo	Velocidad de agitación		
	(rpm)		
	200	500	800
5	50.44 ± 1.11 aA	50.67 ± 0.19 aA	50.95 ± 1.09 aA
10	47.89 ± 1.3 aB	45.83 ± 1.55 bB	49.44 ± 2.11 aA
15	44.10 ± 2.39 bB	48.33 ± 1.90 abA	49.44 ± 0.51 aA

Nota. Los resultados se muestran como promedio \pm desvió padrón (n=3); contenido total de fenoles:mg EAG/gramo de materia prima.

1.3.1.7. Capacidad antioxidante DPPH y ABTS por ultrasonido

El ANOVA que se muestra en la Tabla 21 y 22, para la capacidad antioxidante por el método de DPPH y ABTS mostraron que los factores tiempo, potencia y su interacción poseen un $F_{\text{calculado}}$ mayor al valor de p-valor a un nivel de confianza del 95 %. Esto indica que hay diferencias significativas en la capacidad antioxidante por DPPH y ABTS. De esta forma se asegura que el modelo otorga significancia estadística y que puede ser empleado para fines predictivos.

Tabla 21
ANOVA – Capacidad antioxidante (DPPH) por ultrasonido

Fuente	GL	SC Ajust	MC Ajust	Valor F	Valor p
Modelo	8	610,501	76,313	848,49	0,000
Lineal	4	461,400	115,350	1282,53	0,000
Tiempo(min)	2	231,609	115,804	1287,58	0,000
Potencia (W)	2	229,791	114,896	1277,48	0,000
Interacciones de 2 términos	4	149,101	37,275	414,45	0,000
Tiempo(min)*Potencia (W)	4	149,101	37,275	414,45	0,000
Error	18	1,619	0,090		
Total	26	612,120			

Tabla 22
ANOVA - Capacidad antioxidante (ABTS) por ultrasonido

Fuente	GL	SC Ajust	MC Ajust	Valor F	Valor p
Modelo	8	1472471	184059	2860,14	0,000
Lineal	4	1077870	269468	4187,32	0,000
Tiempo(min)	2	616269	308135	4788,18	0,000
Potencia (W)	2	461601	230801	3586,47	0,000
Interacciones de 2 términos	4	394601	98650	1532,95	0,000
Tiempo(min)*Potencia (W)	4	394601	98650	1532,95	0,000
Error	18	1158	64		
Total	26	1473630			

En el diagrama de Pareto se espera que una pequeña cantidad de causas (aproximadamente el 20%) represente una gran porción (aproximadamente el 80%) del impacto total de los resultados. En la Figura 11 y 12, observamos que las barras están por delante de la línea roja (línea acumulativa), visualizando que ambos factores influyeron en los resultados obtenidos. Además, el efecto estandarizado implica que los datos han sido ajustados para ser comparables, permitiendo evaluar el rendimiento de cada factor de manera equitativa e identificar más fácilmente cuáles factores tienen el mayor impacto.

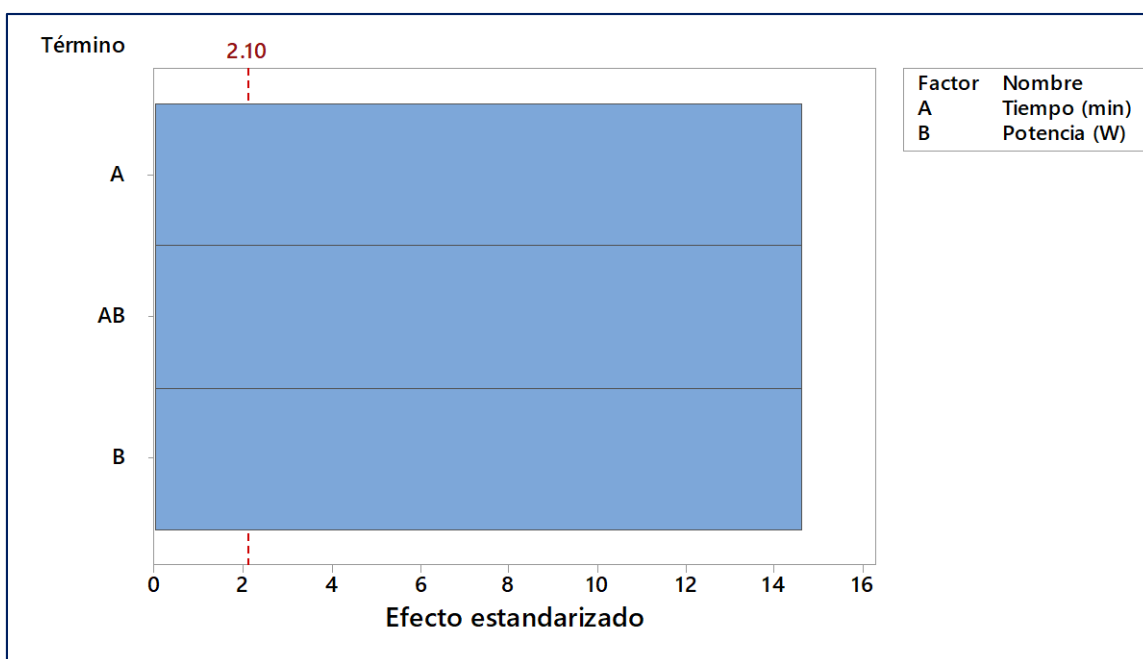


Figura 11
Diagrama de Pareto para DPPH de los extractos con ultrasonido.

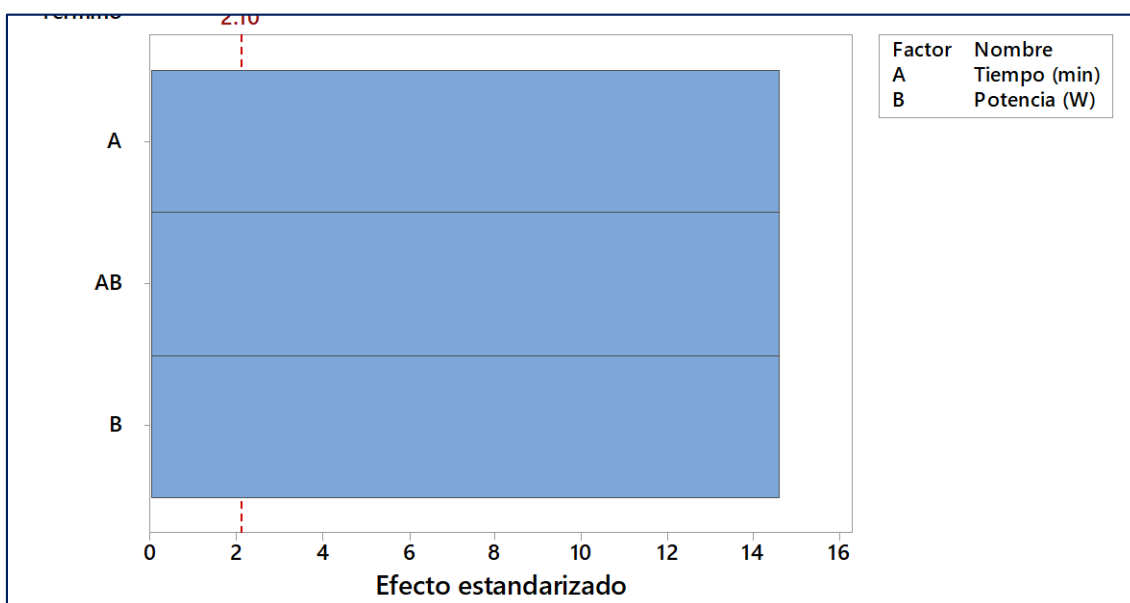


Figura 12
Diagrama de Pareto para ABTS de los extractos con ultrasonido.

En el Test de Tukey (Tabla 23 y 24), se corrobora los hallazgos en el ANOVA y Diagrama de Pareto mostrando diferencias significativas entre los tratamientos. Observamos que las letras minúsculas diferentes en la misma columna presentan diferencias significativas entre tiempos para el mismo nivel de potencia y las letras mayúsculas iguales en la misma fila presentan diferencias significativas entre la potencia para el mismo nivel de tiempo. Por tanto, se obtuvo el mayor contenido de antioxidantes por el método de DPPH (37.01 ± 0.32)

$\mu\text{mol TE/g}$ de materia prima) y ABTS ($2252.63 \pm 8,3 \mu\text{mol TE/g}$ de materia prima) ambos a un tiempo de 15 minutos y potencia de 200 y 300 watts respectivamente. La capacidad antioxidante de un extracto está estrechamente relacionada con la estructura química de los compuestos antioxidantes presentes, así como con las interacciones entre ellos. La eficiencia en la extracción de dichos compuestos depende en gran medida del tipo de solvente utilizado, particularmente de su polaridad. En este sentido, se ha observado que los solventes polares, como el etanol y el agua, facilitan la solubilización de los antioxidantes, lo cual favorece su recuperación (Casas et al., 2009). No obstante, también es posible extraer antioxidantes utilizando solventes con diferentes grados de polaridad. Los resultados obtenidos indican que tiempo de extracción y potencia están influenciadas por la proporción (50:50 % v/v) de etanol/agua (favoreciendo la solubilización de compuestos antioxidantes y permitiendo su conservación durante un mayor periodo sin pérdida significativa de actividad antioxidante).

Tabla 23*Test de Tukey para Capacidad antioxidante (DPPH) por ultrasonido*

Tiempo (min)	Potencia (watts)		
	100	200	300
5	20.53 \pm 0.00cB	33.32 \pm 0.32bA	33.63 \pm 0.52cA
10	30.24 \pm 0.58bC	32.36 \pm 0.00cB	35.15 \pm 0.00bA
15	35,5 \pm 0.00aB	37.01 \pm 0.32aA	36.94 \pm 0.00aA

Nota. Los resultados se muestran como promedio \pm desvió padrón (n=3); Capacidad antioxidante por DPPH ($\mu\text{mol TE/g}$ de materia prima)

Tabla 24*Test de Tukey para Capacidad antioxidante (ABTS) por ultrasonido*

Tiempo (min)	Potencia (watts)		
	100	200	300
5	1485.14 \pm 5.93cA	1437.75 \pm 10.05cB	1480.78 \pm 2.44cA
10	1663.14 \pm 5.77aB	1595.42 \pm 11.97aC	2252.63 \pm 8.13aA
15	1608.95 \pm 11.77bB	1535.90 \pm 5.24bC	174.74 \pm 5.35bA

Nota. Los resultados se muestran como promedio \pm desvió padrón (n=3); Capacidad antioxidante por ABTS ($\mu\text{mol TE/g}$ de materia prima)

1.3.1.8. Capacidad antioxidante DPPH y ABTS por ultra-turrax

En ANOVA que se muestra en la Tabla 25 y 26, muestra que el factor tiempo es quién más influyo en los resultados obtenidos por el método DPPH, y los factores tiempo, agitación y su interacción por el método ABTS ya que poseen un $F_{\text{calculado}}$ mayor al valor de p-valor a un nivel de confianza del 95 %. Esto indica que hay diferencias significativas en la

capacidad antioxidante por DPPH y ABTS. De este modo se garantiza que el modelo presenta significancia estadística y puede emplearse con fines predictivos.

Tabla 25
ANOVA – Capacidad antioxidante (DPPH) por ultra-turrax

Fuente	GL	SC Ajust,	MC Ajust,	Valor F	Valor p
Modelo	8	65,496	8,1870	3,56	0,012
Lineal	4	59,149	14,7873	6,43	0,002
Tiempo(min)	2	57,777	28,8883	12,56	0,000
Agitación (RPM)	2	1,373	0,6864	0,30	0,746
Interacciones de 2 términos	4	6,345	1,5866	0,69	0,609
Tiempo(min)*Agitación (RPM)	4	6,346	1,5866	0,69	0,609
Error	18	41,411	2,3006		
Total	26	106,907			

Tabla 26
ANOVA – Capacidad antioxidante (ABTS) por ultraturrax

Fuente	GL	SC Ajust,	MC Ajust,	Valor F	Valor p
Modelo	8	3958825	494853	9443,91	0,000
Lineal	4	1961750	490438	9359,64	0,000
Tiempo(min)	2	1011360	505680	9650,53	0,000
Agitación (RPM)	2	1131664	565832	10798,49	0,000
Interacciones de 2 términos	4	2656457	664114	12674,13	0,000
Tiempo(min)*Agitación (RPM)	4	2656457	664114	12674,13	0,000
Error	17	891	52		
Total	25	3959716			

Se observa en el diagrama de Pareto de la Figura 13, para el método DPPH que la barra del tiempo está por delante de la línea roja (línea acumulativa) siendo este el factor más influyente en los resultados. A diferencia que con el método ABTS (Figura 14) que además del tiempo, la agitación y la interacción de ambos factores son los que más influyeron en los resultados aplicando ultra-turrax. Además, el efecto estandarizado implica que los datos han sido ajustados para ser comparables, permitiendo evaluar el rendimiento de cada factor de manera equitativa e identificar más fácilmente cuáles factores tienen el mayor impacto.

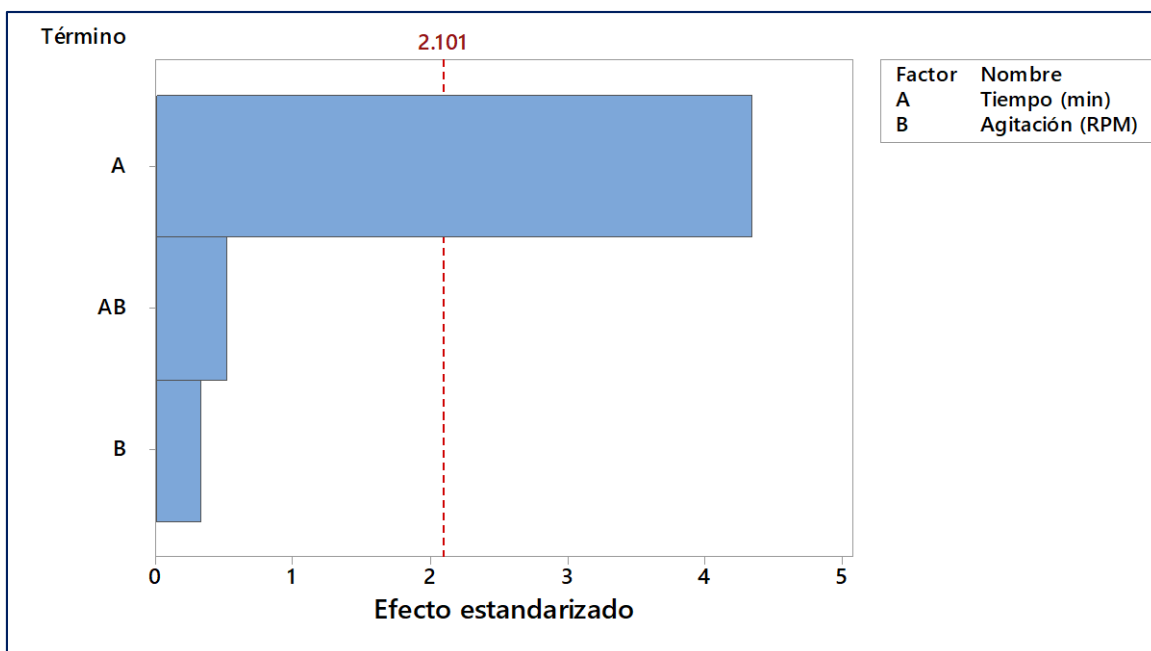


Figura 13
Diagrama de Pareto para DPPH de los extractos con Ultra-turrax.

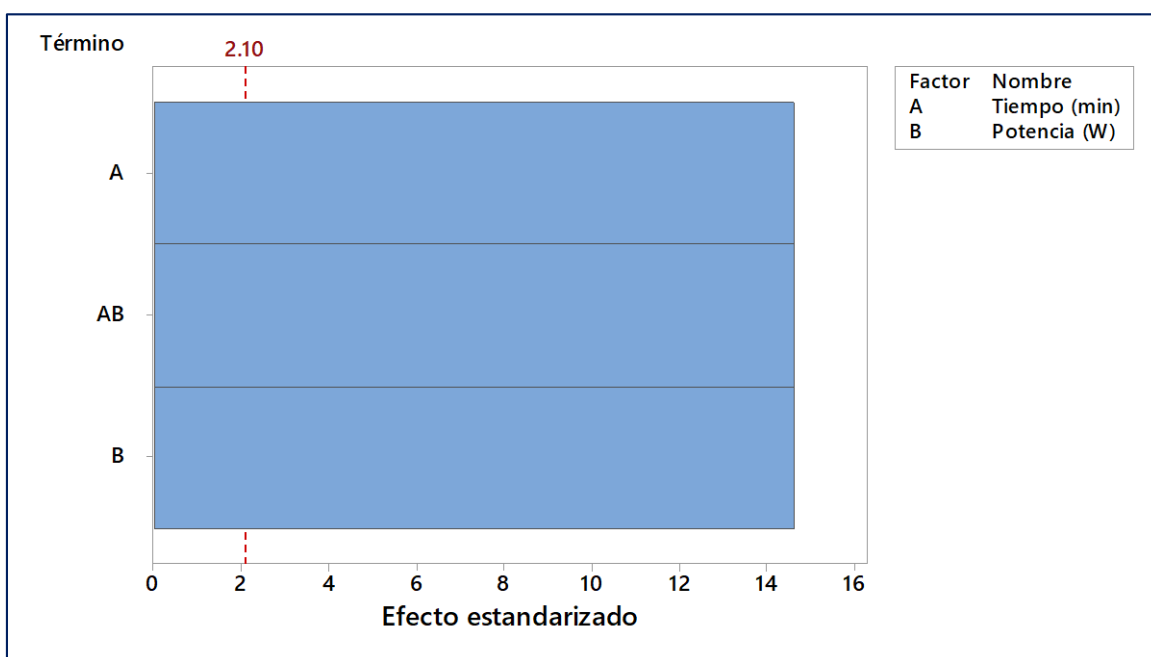


Figura 14
Diagrama de Pareto para ABTS de los extractos con Ultra-turrax.

En la Tabla 27 y 28 del Test de Tukey, se corrobora los hallazgos del ANOVA y el diagrama de Pareto para ambos métodos. Según el test de tukey las letras minúsculas diferentes en la misma columna presentan diferencias significativas entre tiempos para el mismo nivel de agitación y las letras mayúsculas iguales en la misma fila presentan diferencias significativas entre la agitación para el mismo nivel de tiempo. Por tanto, la capacidad de antioxidante por DPPH muestra la influencia del tiempo sobre los resultados, teniendo el

mayor contenido de antioxidantes ($32.96 \pm 0.52 \mu\text{M TE/g}$ materia prima) logrados con 15 min a 200 rpm. Para la capacidad antioxidante por ABTS se ve la influencia de ambos factores y la interacción de ambos, teniendo como mayor contenido de antioxidantes ($1811.70 \pm 7.23 \mu\text{M TE/g}$ materia prima) logrados con 5 min a 500 rpm, Sin embargo, dado que el análisis estadístico indica que no hubo diferencia significativa entre algunos tratamientos, indica que también se podría trabajar con 15 min a 200 rpm. No obstante, se debe tener en cuenta que un tiempo de extracción demasiado corto puede resultar en una extracción insuficiente de compuestos antioxidantes, mientras que un tiempo excesivo podría provocar la degradación de algunos compuestos más sensibles. En nuestros resultados, hay una interacción entre el tiempo de extracción y la velocidad de agitación que nos indica que a mayor tiempo se obtuvo menor capacidad antioxidante, por tanto, basado en esta tendencia, tomaremos 5 min y 500 rpm por el método ABTS.

Tabla 27*Test de Tukey para la Capacidad antioxidante (DPPH) por ultra-turrax*

Tiempo (min)	Velocidad de agitación (rpm)		
	200	500	800
5	$29.84 \pm 3.80\text{bA}$	$28.13 \pm 0.00\text{bA}$	$29.58 \pm 0.00\text{bA}$
10	$30.91 \pm 0.77\text{aA}$	$31.91 \pm 0.77\text{aA}$	$32.03 \pm 0.00\text{aA}$
15	$32.96 \pm 0.52\text{aA}$	$32.51 \pm 1.63\text{aA}$	$32.55 \pm 1.46\text{aA}$

Nota. Los resultados se muestran como promedio \pm desvió padrón (n=3), letras minúsculas; Capacidad antioxidante: $\mu\text{M TE/g}$ materia prima.

Tabla 28*Test de Tukey para la Capacidad antioxidante (ABTS) por ultra-turrax*

Tiempo (min)	Velocidad de agitación (rpm)		
	200	500	800
5	$1761.76 \pm 6,01\text{aB}$	$1811.70 \pm 7.23\text{aA}$	$1536.77 \pm 5.69\text{cC}$
10	$1525.83 \pm 0,00\text{bB}$	$1518.06 \pm 11.46\text{bB}$	$1604.93 \pm 7.28\text{bA}$
15	$1760.36 \pm 8.13\text{aA}$	$237.87 \pm 9.95\text{cC}$	$1653.20 \pm 4.97\text{aB}$

Nota. Los resultados se muestran como promedio \pm desvió padrón (n=3), letras minúsculas; Capacidad antioxidante: $\mu\text{M TE/g}$ materia prima.

CONCLUSIONES

1. Se emplearon dos técnicas para la obtención de extractos de ají charapita (*Capsicum frutescens*), siendo una de ellas la extracción asistida por ultrasonido (EAU). Esta metodología se destacó por su rapidez, eficiencia y carácter ambientalmente amigable, al permitir la recuperación de compuestos bioactivos mediante cavitación sin necesidad de condiciones extremas de temperatura o presión. Su aplicación demostró ser una alternativa sostenible frente a métodos convencionales, favoreciendo la liberación de metabolitos funcionales con menor impacto ambiental.
2. La técnica de extracción por ultra-turrax (UTE) que es considerada ventajosa por producir una angosta y uniforme distribución del tamaño de partículas debido a la alta turbulencia en el lecho de material vegetal mediante el disolvente de extracción.
3. El ají charapita fresco, contiene lípidos 1.39 %, fibra cruda 6.19%, cenizas 1.24 %, humedad 77.86 %, proteína total 2.7 % y carbohidratos 0.99 %.
4. El ají charapita liofilizado y triturado contiene lípidos 6,3 %, fibra cruda 28%, cenizas 5,6 %, humedad 4,5 %, proteína total 12,2 % y carbohidratos 71,4 %.
5. En la primera etapa de extracción, se evaluaron dos variables independientes: la proporción de disolvente etanol/agua (% v/v) y el tipo de muestra (fresca y liofilizada), aplicadas mediante el método de maceración/agitación. Los resultados obtenidos para el contenido de compuestos fenólicos ($26,14 \pm 0,03$ mg EAG/g), capacidad antioxidante por DPPH ($27,35 \pm 0,04$ μ mol TE/g) y ABTS ($666,38 \pm 0,04$ μ mol TE/g), así como el rendimiento global de extracción ($9,81 \pm 0,03$ %), evidenciaron una influencia directa de estas variables sobre la recuperación de compuestos bioactivos.
6. En la segunda etapa de extracciones se dividió en dos técnicas de extracción: ultrasonido y ultraturrax.
7. Las variables independientes evaluadas mediante extracción asistida por ultrasonido, tiempo de extracción (5, 10 y 15 minutos) y potencia aplicada (100, 200 y 300 watts) mostraron una influencia significativa en la recuperación de compuestos bioactivos. La mayor concentración de capsaicina ($200,69 \pm 1,5$ mg/mL) se obtuvo a 15 minutos y 200 watts, junto con un rendimiento global de extracción de $28,79 \pm 0,6$ %, lo que evidencia la eficiencia del proceso bajo estas condiciones. En cuanto a los compuestos fenólicos, el contenido más alto ($46,16 \pm 0,42$ mg EAG/g de materia prima) se logró a 5 minutos y 100 watts, lo que sugiere que tiempos cortos y potencias moderadas favorecen la preservación de estos metabolitos sensibles. La capacidad antioxidante mostró

variaciones según el método de evaluación: por DPPH, el valor más alto fue de $37,01 \pm 0,32 \mu\text{mol TE/g}$ a 15 minutos y 200 watts; por ABTS, se alcanzó un máximo de $2252,63 \pm 8,13 \mu\text{mol TE/g}$ a 15 minutos y 300 watts.

8. Los efectos de las variables independientes que fueron estudiadas por ultra-turrax: tiempo de extracción (5,10 y 15 min) y agitación (200, 500 y 800 rpm); sobre la concentración de capsaicina (173.70 mg/ml de extracto) a 15 minutos y 200 rpm, contenido de compuestos fenólicos ($50.44 \pm 1.11 \text{ mg EAG/gramo}$ de materia prima) logrados a 5 min y 800 rpm, capacidad antioxidante por DPPH ($32.96 \pm 0.52 \mu\text{M TE/g}$ materia prima) a 15 min y 200 rpm, ABTS ($1811.70 \pm 7,23 \mu\text{M TE/g}$ materia prima) a 5 min y 200 rpm.
9. Finalmente, la técnica de extracción asistida por ultrasonido (EAU) permitió obtener la mayor concentración de capsaicina y otros compuestos bioactivos, en función de las variables independientes evaluadas (tiempo y potencia). Sin embargo, la técnica de Ultra-Turrax (UTE) también mostró resultados significativamente altos, especialmente en la recuperación de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante, lo que evidencia su eficacia como alternativa tecnológica. Ambas metodologías demostraron ser valiosas para la extracción de metabolitos funcionales, especialmente al emplear como disolvente una mezcla hidroalcohólica de etanol/agua al 50/50 % v/v, cuya polaridad balanceada favorece la solubilización de compuestos tanto polares como ligeramente apolares. Esta convergencia de resultados sugiere que la selección del método puede adaptarse según el tipo de compuesto objetivo y las condiciones operativas disponibles.

RECOMENDACIONES

1. Los valores nutricionales relatados del ají charapita pueden servir como punto de partida para investigaciones posteriores. Así como, el conocimiento del contenido de capsaicina como un potencial valor agregado para diversas formas de transformación y presentación a base de este producto.
2. Es recomendable investigar otros parámetros de extracción, como la temperatura, el tiempo, y la frecuencia en el uso de ultrasonido, así como variaciones en la velocidad de agitación en el método ultra-turrax, para determinar su impacto en la recuperación de capsaicinoides y otros compuestos bioactivos. Además, es aconsejable explorar otros métodos de extracción no convencionales para realizar comparaciones del rendimiento de extracción.
3. Se recomienda realizar la identificación y cuantificación de la capsaicina presente en los extractos mediante cromatografía líquida de alta resolución (HPLC). Esta técnica permitirá obtener datos precisos sobre la concentración y perfil de este compuesto bioactivo, lo cual es fundamental para comprender su potencial funcional y sus propiedades farmacológicas en estudios *in vitro*, especialmente aquellos relacionados con actividad antioxidante y antiinflamatoria.
4. El contenido de capsaicinoides puede variar según las condiciones de cultivo y recolección, se recomienda llevar a cabo estudios sobre las distintas especies de ají charapita y con relación al grado de madurez.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anand, P., & Bley, K. (2011). Capsaicina tópica para el tratamiento del dolor: potencial terapéutico y mecanismos de acción del nuevo parche de capsaicina al 8% de alta concentración.
- Andrade H. A. C., Maldonado M. J. J., & Vera C. L. M. (2023). Extracción asistida por ultrasonido de capsaicina a partir de las especies *Capsicum chinense* y *Capsicum pubescens*. <https://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/43359>
- Barbero, G. F., Liazid, A., Palma, M., & Barroso, C. G. (2008). Ultrasound-assisted extraction of capsaicinoids from peppers. *Talanta*, 75(5), 1332–1337. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2008.01.046>
- Barrionuevo Moreno, J. A., Becerra Heraud, J. J., Uriarte Acosta, R. J., Vegas Cueto, F. A., & Zegarra Vílchez, J. C. (2019). Planeamiento Estratégico para el sector *Capsicum* en el Perú [Tesis de Maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú]. https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/13985/BARRIONUEVO_BECERRA_PLANEAMIENTO_CAPSICUM.pdf?sequence=1
- Bogusz, J., Libardi, S., Dias, F. F. G. b, Couthinho, J., Bochi, V., Daniele, R., Melo, A., & Godoy, H. (2018). Brazilian *Capsicum* peppers: capsaicinoids content and antioxidant activity.
- Boonkird, S., Phisalaphong, C., & Phisalaphong, M. (2008). Extracción asistida por ultrasonido de capsaicinoides de *Capsicum frutescens* a escala de laboratorio y planta piloto. *Ultrasonics Sonochemistry*, 15, 1075-1079. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350417708000734?via%3Dihub>
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Uso de un método de radicales libres para evaluar la actividad antioxidante. *LWT-Ciencia y tecnología de los alimentos*, 28(1), 25-30.
- Caballero G., Márquez C., & Rojano B. (2017) Efecto de la liofilización sobre las propiedades funcionales del ají rocoto (*Capsicum pubescens*). *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 20(1), 111–119. <https://doi.org/10.31910/rudca.v20.n1.2017.68>

- Carrera, R., Rodríguez, A., Palma, M., & Barroso, C. G. (2012). Extracción asistida por ultrasonido de compuestos fenólicos de uvas. *Analytica Chmica Acta*, 732, 1000-104. doi:<https://doi.org/10.1016/j.aca.2011.11.032>
- Casanova-Ortíz J.S., Yah-Nahuat P. N., Bacab-Cocom R., Briceño-Domínguez D. R., & Cruz-Santander I. (2015) Extracción de capsaicina asistida por ultrasonido en chile habanero fresco. https://www.researchgate.net/publication/294893671_Extraccion_de_Capsaicina_asistida_por_ultrasonidos_en_Chile_habanero_fresco
- Casas, L., Mantell, C., Rodríguez, M., Torres, A., Macías, F. A., & de la Ossa, E. M. (2009). Extraction of natural compounds with biological activity from sunflower leaves usingsupercritical carbon dioxide. *Chemical Engineering Journal*, 152(2-3), 301-306
- Cedrón, J.C. (2013). La capsaicina. *Revista de Química*, 271(1-2), 7-7.
- Centa. (2002). Cultivos tropicales. <http://www.centa.gob.sv>
- Cheng, X., Zhang, M., Xu, B., Adhikari, B., & Sun, J. (2015). Los principios del ultrasonido y su aplicación en procesos relacionados con la congelación de materiales alimenticios: una revisión. *Ultrasonics Sonochemistry*, 27, 576-585. <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1350417715001066?token=5E1B4B7E8DF928B02D01E701A6001DC494DC9D7942E289521205184AE980280032150C8F402109CB3F268CEB627B323&originRegion=us-east-1&originCreation=20210817144311>
- Chinn, M. S., Sharma-Shivappa R. R., Cotter J. L. (2015). Solvent extraction and quantification of capsaicinoids from *Capsicum chinense*, *Food and Bioproducts Processing*, Volume 89, Issue 4, Pages 340-345, ISSN 0960-3085, <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2010.08.003>.
- Chuichulcherm, S., Prommakort, S., Srinophakun, P., & Thanapimmetha, A. (2013). Optimización de la purificación de capsaicina de *Capsicum frutescens* Linn. con cromatografía en columna con diseño Taguchi. *Cultivos y productos industriales*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926669012005419?via%3Dihub#!>
- Civan, M., & Kumcuoglu, S. (2019). Extracción verde asistida por ultrasonido de carotenoides y capsaicinoides de la pulpa de pasta de pimiento picante basada en el concepto de biorefinería. *LWT*, 113(2019). doi:<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108320>

- Contreras, M., & Yahia, E. (1998). Cambios en los capsaicinoides durante el desarrollo, maduración y senescencia de los chiles y su relación con la actividad peroxidasa. *Journal Agriculture Chem*, 46, 2075-2079. <http://www.oocities.org/wstarron/capsaicinarticle8.pdf>
- Corona Jimenez, E., Martínez-Navarrete, N., Ruiz Espinosa, H., & Carranza Concha, J. (2016). Extracción asistida por ultrasonido de compuestos fenólicos de semillas de chia (*Salvia hispanica* L.) y su actividad antioxidante. *Agrociencia*, 50(4), 403-412. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952016000400403&lng=es&tlng=es.
- Cruz Arveras, J. E., & Mendoza Suarez, J. I. (2015). Extracción de la capsaicina contenida en la ulupidica (*Capsicum cardenasii*) y cuantificación del extracto. [Tesis de Grado]. *Universidad Mayor de San Andrés*. <https://docplayer.es/97331930-Universidad-mayor-de-san-andres.html>
- De Camargo, A. C., Vieira, T., Regitano-D´Arce, M., Colori-Domingues, M., & Canniatti-Brazaca, S. (2012). Gamma Radiation Effects on Peanut Skin Antioxidants. *Int. J. Mol. Sci.* (Vol. 13).
- De Aguiar, A. C., Sales, L. P., Coutinho, J. P., Barbero, G. F., Godoy, H. T., & Martínez, J. (2013). Extracción supercrítica de dióxido de carbono de pimientos *Capsicum*: rendimiento global y contenido de capsaicinoides, *J. Supercrit. The Journal of Supercritical Fluids*, 81, 210-216. doi:<https://doi.org/10.1016/j.supflu.2013.05.008>
- Deepa, N., Kaur, C., George, B., Singh, B., & Kapoor, H.C. (2007). Antioxidant constituents in some sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) genotypes during maturity. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2005.09.016>
- De la Cruz Leonardo, A. A. (2011). Evaluación del porcentaje de rendimiento y caracterización fisicoquímica de la oleoresina de chile blanco (*Capsicum annuum* a.) proveniente de tres estratos altitudinales utilizando como solvente de extracción soluciones de alcohol etílico-agua, a escala. [Tesis de Grado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1204_Q.pdf
- De Sá Mendes N, Coimbra, P.P.S., Santos M.C.B., Cameron L.C., Ferreira M.S.L., Buera M. del P., & Gonçalves É.C.B.A. (2020). *Capsicum pubescens* as a functional ingredient: Microencapsulation and phenolic profiling by UPLC-MSE, *Food Research International*, Volume 135, 109292, ISSN 0963-9969, <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109292>

- Dias, A. L.B., Arroio , C., Santos, P., Fernández Barbero, G., Alves, C., & Martínez, J. (2016). Efecto de la ecografía sobre la extracción supercrítica de CO₂ de compuestos bioactivos del pimiento dedo de moça (*Capsicum baccatum* L.var . Péndulo). *Ultrasonidos Sonoquímica*, 284-294. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350417716300141?via%3Dihub>
- Dias, A. L.B., Arroio Sergio, C. S., Santos, P., Fernández Barbero, G., Alves Rezende, c., & Martínez, J. (2017). Extracción asistida por ultrasonido de compuestos bioactivos de dedo de moça pepper (*Capsicum baccatum* L.): Efectos sobre la matriz vegetal y el modelo matemático. *Journal of Food Engineering*, 198, 36-44. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0260877416304356?via%3Dihub>
- Dong , J., Liu, Y., Liang, Z., & Wang, W. (2010). Investigación sobre la extracción asistida por ultrasonido de ácido salvianólico B de la raíz de *Salvia miltiorrhiza*. *Ultrasonics Sonochemistry*, 17, 61-65. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350417709000765?via%3Dihub>
- Dorantes, L., Colmenero, R., Hernández, H., Mota, L., Jaramillo, M. E., Fernández, E., & Solano, C. (2000). Inhibición del crecimiento de algunas bacterias patógenas transmitidas por los alimentos por extractos de *Capsicum annum*. *International Journal of Food Microbiology*, 57(1-2), 125-128. doi:[https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(00\)00216-6](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(00)00216-6)
- Dueñas Zurita, J. A. (2017). Optimización de las condiciones de extracción de compuestos fenólicos a partir de cáscara de uva variedad quebranta (Ica, Perú) empleando técnicas convencionales y extracción asistida por ultrasonido. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/9717>
- Estrada, B., Bernal, M. A., Díaz, J., Pomar, F., & Merino, F. (2000). Fruit development in *Capsicum annum*: Changes in capsaicin, lignin, free phenolics, and peroxidase patterns. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(12), 6234–6239. <https://doi.org/10.1021/jf000190x>
- Fernández Barbero, G. (2007). Extracción, análisis, estabilidad y síntesis de capsaicinoides.288.
- Ganoza Yupanqui, M., Cotilla Sánchez, N., Velásquez Arévalo, S., & Polo Vidal, M. (2015). Compuestos fenólicos totales y actividad antioxidante de extractos de especies

vegetales de compuestos fenólicos totales y actividad antioxidante.
http://mail.upagu.edu.pe/files_ojs/journals/27/articles/386/submission/proof/386-133-1375-1-10-20170221.pdf

Gonzalez, E., Reyes, M., & Vazquez, E. (2011). Aspectos químicos y farmacológicos de la capsaicina. (Vol. 16).

Goula, A. M. (2013). Extracción asistida por ultrasonido de aceite de semilla de granada - Modelado cinético. *Journal of Food Engineering*, 117, 492-498.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0260877412004657>

Gurnani, B.N., Gupta, M., Shrivastava R., Mehta, D. (2016). Effect of extraction methods on yield, phytochemical constituents, antibacterial and antifungal activity of *Capsicum frutescens* L.
https://www.researchgate.net/publication/301491546_Effect_of_extraction_methods_on_yield_phytochemical_constituents_antibacterial_and_antifungal_activity_of_Capsicum_frutescens_L

Harborne, J. B., & Williams, C. A. (2000). Avances en la investigación de flavonoides desde 1992. *Phytochemistry*, 55(6), 481-504. doi:[https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(00\)00235-1](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)00235-1)

Hemwimol, S., Pavasant, P., & Shotipruk, A. (2006). Extracción asistida por ultrasonido de antraquinonas de las raíces de *Morinda citrifolia*.

Hemwimol, S., Pavasant, P., & Shotipruk, A. (2006). Extracción asistida por ultrasonido de antraquinonas de las raíces de *Morinda citrifolia*. *Ultrasonics Sonochemistry*, 13(6), 543-548.

<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1350417705000842?token=943DC5F5368823BBCA79412A2186FFE7B99593F2739A4F8CE0B3F6533FEEAA13329D8A0011113E255F14D4524FD19906&originRegion=us-east-1&originCreation=20210818220125>

Hernandez, K., & Velazquez, A. (2018). *Extracción y caracterización de capsaicinoides a partir de desechos orgánicos en la industria de jalapeño verde (capsicum annuum L.)*.
<http://repositorio.uns.edu.pe/bitstream/handle/UNS/2557/23177.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Iwai, K., Susuki, T., & Fujiwake, H. (1979). Microdeterminación simultánea de capsaicina y sus cuatro análogos mediante el uso de cromatografía líquida de alto rendimiento

y cromatografía de gases-espectrometría de masas. *Journal of Chromatography A*, 172, 303-311. doi:[https://doi.org/10.1016/S0021-9673\(00\)90966-JX](https://doi.org/10.1016/S0021-9673(00)90966-JX)

Jäger, M., Jiménez, A., & Amaya, K. (2013). *Las cadenas de valor de los ajíes nativos de Perú. Compilación de los estudios realizados dentro del marco del proyecto "Rescate y Promoción de Ajíes Nativos en su Centro de Origen" para Perú*

Jaime Ruiz, C. A. (2019). Optimización del proceso de extracción de saponinas del escarificado de quinua (*Chenopodium quinoa willd*) asistido por ultrasonido, y caracterización.

Jing Xu, W., Wen Zhai, J., Cui, Q., Zhao Liu, J., Luo, M., Jie Fu, Y., & Gang Zu, Y. (2016). Extracción asistida por ultrasonido basada en ultra-turrax de cinco ácidos orgánicos de madre selva (*Lonicera japonica* Thunb.) Y optimización del proceso de extracción. *Tecnología de separación y purificación*, 166, 73-82. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1383586616301782?via%3Dihub>

Kaufman, B., & Christen, P. (2002). Técnicas de extracción recientes para productos naturales: extracción asistida por microondas y extracción con solvente presurizado, *Phytochem.*

Khachik, F., Beecher, G., & Whitaker, N. (1991). Separación, identificación y cuantificación de los principales componentes de carotenoides y clorofila en extractos de varios vegetales verdes por cromatografía líquida. *Pure & Appl. Chem.*, 63(1), 71-80. <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.1060.7675&rep=rep1&type=pdf>

Kirschbaum, T. P., Hiepler, D., Mueller, S., & Petz, M. (2002). Pungencia en pimentón (*Capsicum annuum*) 1. Disminución del contenido de capsaicinoides después de la alteración celular. *Journal Agriculture Food Chem*, 50, 1260-1263. doi:10.1021/jf010527a. PMID: 11853514.

Lambropoulou, D. A., Konstantinou, L. K., & Triantafyllos, A. A. (2006). Método de pretratamiento de muestras para la determinación de bifenilos policlorados en hígados de aves mediante extracción ultrasónica seguida de microextracción en fase sólida del espacio de cabeza y cromatografía de gases-espectrometría de masas. *Journal of chromatography. A*, 1124(1-2), 97-105. doi:<https://doi.org/10.1016/j.chroma.2006.05.044>

- Lee, J. J., Crosby, K. M., Pike, L. M., Yoo, K. S., & Leskovar, D. I. (2005). Impact of genetic and environmental variation on development of flavonoids and carotenoids in pepper (*Capsicum* spp.). *Scientia Horticulturae*, 106(3), 341–352. <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2005.04.008>
- Li, A. N., Li, S., Xu, D. P., Xu, X. R., Chen, Y. M., Ling, W. H., . . . Li, B. L. (2015). Optimización de la extracción asistida por ultrasonido de licopeno a partir de residuos de procesamiento de papaya por metodología de superficie de respuesta. *Food Analytical Methods*, 8 , 1207-214. doi:<https://doi.org/10.1007/s12161-014-9955-y>
- López, E. (2005). Extracción y cuantificación espectrofotométrica de capsaicina a partir de chile habanero. Universidad Nacional de San Martín.
- López. (2017). Optimización del proceso de extracción de oleorresinas de *Capsicum frutescens* L. aplicando la tecnología de fluidos supercríticos y extracción asistida por ultrasonido. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/59732>
- Luna Panduro, L. F. (2014). Efecto de cuatro dosis de fosfonato de calcio-boro en el cultivo de ají charapita (*Capsicum Frutescens* L.) en la localidad de Lamas. (U. N. Martín, Ed.)http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/575/TFCA_115.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Luo, X. J. , Peng, J., & Li, Y.J. (2011). Recent advances in the study on capsaicinoids and capsinoids. <https://doi.org/10.1016/j.ejphar.2010.09.074>
- Machado, A. P. D. F., Pasquel-Reátegui, J. L., Barbero, G. F., & Martínez, J. (2015). Pressurized liquid extraction of bioactive compounds from blackberry (*Rubus fruticosus* L.) residues: A comparison with conventional methods. *Food Research International*, 77, 675–683. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.12.042>
- Maity, S., Chatterjee, S., Variyar, P. S., Sharma, A., Adhikari, S., & Mazumder, S. (2013). Evaluation of antioxidant activity and characterization of phenolic constituents of *Phyllanthus amarus* root. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(14), 3443–3450. <https://doi.org/10.1021/jf3046686>
- Martínez , F., González , G., Culebras, J., & Tuñón, M. (2002). Los flavonoides: propiedades y acciones antioxidantes. *Nutrición Hospitalaria.*, 6, 271-278. <http://www.nutricionhospitalaria.com/pdf/3338.pdf>

- Medina-Torres, N. C., Pacheco López, N. A., Espinosa-Andrews, H., Sánchez Contreras, M., Ayora-Talavera, T., & Gonzáles Flores, T. (2017). Efecto del ultrasonido en la extracción y nanoencapsulación de polifenoles de limón persa (*Citrus latifolia*).
- Menichini, F., Tundis, R., Bonesi, M., Loizzo, M.R., Conforti, F., Statti, G., De Cindio, B., Houghton, P.J., & Menichini, Francesco (2009). The influence of fruit ripening on the phytochemical content and biological activity of *Capsicum chinense* Jacq. cv Habanero. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.09.086>
- MINAGRI, M. (2017). Plan de Desarrollo Sostenible de las especies del género *Capsicum* 2018-2028. www.minagri.gob.pe, 59. <http://www.minagri.gob.pe/portal/download/pdf/marcolegal/normaslegales/resolucionesministeriales/2017/octubre/rm434-2017-minagri.pdf>
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego-MINAGRI. (05 de Setiembre de 2019). www.minagri.gob.pe. <https://www.minagri.gob.pe/portal/762-notas-de-prensa/notas-de-prensa-2019/24695-gastronomia-peruana-diversifica-oferta-agroexportadora-de-ajies-y-sus-variedades>
- Molina, D. (2009). Contenido de compuestos fitoquímicos y su relación con la capacidad antioxidante de extractos de pimientos (*Capsicum annuum* L.) cultivados en el noroeste de México.[Tesis de Maestría en la Universidad de Mexico]. <http://www.repositorioinstitucional.uson.mx/bitstream/unison/445/1/molinaquijadadulcemariaandream.pdf>
- Montes Hernández, S. (2010). Recopilación y análisis de la información existente de las especies del género *Capsicum* que crecen y se cultivan en México.
- Nascimento, N.F.F do, do Rêgo, E.R., Nascimento M., & Bruckner C.H. (2014). Combining ability for yield and fruit quality in the pepper *Capsicum annuum*. https://www.researchgate.net/publication/262538150_Combining_ability_for_yield_and_fruit_quality_in_the_pepper_Capsicum_annuum.
- Navarro, J. M., Flores, P., Garrido, C., & Martinez, V. (2006). Changes in the contents of antioxidant compounds in pepper fruits at different ripening stages, as affected by salinity. *Food Chemistry*, 96(1), 66–73. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2005.01.057>
- O'Driscoll A. (2019). Ultra-turrax información The Forces Involved in Homogenization. <https://homogenizers.net/blogs/blog/forces-involved-in-homogenization>

- Olatunji, T. L., & Afolayan, A. J. (2019). Comparison of nutritional, antioxidant vitamins and capsaicin contents in *Capsicum annuum* and *C. frutescens*. *International Journal of Vegetable Science*, 26(2), 190–207. <https://doi.org/10.1080/19315260.2019.1629519>
- Palma, J., Sevilla, F., Jiménez, A., del Río, L., Corpas, F., Álvarez de Morales, P., & Camejo, D. (Septiembre de 2015). Fisiología del fruto del pimiento y metabolismo de antioxidantes: cloroplastos, mitocondrias y peroxisomas. *Annals of Botany-Oxford Academic*, 116(4), 627-636. doi:<https://doi.org/10.1093/aob/mcv121>
- Paniwnyk, L., Beaufoy, J. P., Lorimer, T. J., & Mason, T. J. (2001). *Ultrasonido. Sonochem*, 8, 299.
- Pasquel Reátegui, J. L., Machado, A. P. D. F., Barbero, G. F., Rezende, C. A., & Martínez, J. (2014). Extraction of antioxidant compounds from blackberry (*Rubus* sp.) bagasse using supercritical CO₂ assisted by ultrasound. *Journal of Supercritical Fluids*, 94, 223–233. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2014.07.019>
- Pereira, R. G. (2017). Extracción de lignanas a partir de Quebra-Pedra ("Phyllanthus amarus") utilizando fluidos presurizados. Campinas: Universidad Estatal de Campinas. Facultad de Engenharia de Alimentos. http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/CAMP_f6b7ad9a6d4bc53f7a8d20ea90e90d42
- Pereira, C.G., & Meireles, M.A.A. (2010). Supercritical Fluid Extraction of Bioactive Compounds: Fundamentals, Applications and Economic Perspectives. *Food Bioprocess Technol* 3, 340–372 (2010). <https://doi.org/10.1007/s11947-009-0263-2>
- Pérez N., Lugo C., Gutiérrez L. y Del Toro S. Extracción de compuestos fenólicos de la cascara de lima (*Citrus limetta* Risso) y determinación de su actividad antioxidante. *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud*, Vol. XV, N°. 3 (2013) 18-22.
- Perucka, I., & Oleszek, W. (2000). Extracción y determinación de capsaicinoides en frutos de pimiento picante *Capsicum annuum* L. por espectrofotometría y cromatografía líquida de alta resolución. *Food Chemistry*, 71(2), 287-291. doi:[https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(00\)00153-9](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(00)00153-9)
- Ponce, J. C., Taype M. Huamantínco. G. U. (2020). Efecto del ultrasonido y tamaño de partículas en la extracción de la oleorresina a partir de cúrcuma (*Curcuma longa* L.)
- Prakash Maran, J., Sivakumar, V., Thirugnanasambandham, K., & Sridhar, R. (2013). Optimization of microwave assisted extraction of pectin from orange peel.

Carbohydrate Polymers, 97(2), 703–709.
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.05.052>

- Priego-Capote, F., and M. D. Luque De C.. 2004. Analytical uses of ultrasound I. Sample preparation. *Tra-Trend Anal. Chem.* 23: 644-653.
- Rabelo , R. S., Machado, M., Martínez, J., & Hubinger, M. D. (2016). Extracción asistida por ultrasonido y nanofiltración de compuestos fenólicos a partir de desechos sólidos de alcachofa. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*, 178, 170-180. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201900089569>
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying na improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology.* (Vol. 26).
- Riva Ruiz, R. (2019). *Manual de cultivo de Ají Charapita (Capsicum frutescens L.)*.
- Rufino, M., Alves, R. E., Brito, E., Morais, S., Sampaico, C., Pérez-Jiménez, J., & Saura-Calixto, F. D. (2007). Metodología científica: determinación de la actividad antioxidante total en frutos por captura de radicales libres DPPH. *Comunicado Técnico Embrapa Agroindustria Tropical.* <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/426953/metodologia-cientifica-determinacao-da-atividade-antioxidante-total-em-frutas-pela-captura-do-radical-livre-dpph>
- Şahin, S., & Şamli, R. (2013). Optimization of olive leaf extract obtained by ultrasoundassisted extraction with response surface methodology. *Ultrasonics Sonochemistry*, 20(1), 595–602. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2012.07.029>
- Santos, P., Aguiar, A. C., De Barbero, G. F., & Real, P. (2014). Extracción de Chile (*capsicum frutescens l.*) asistida a baja presión. <https://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/17222>
- Scalbert , A., Manach, C., Morand , C., Rémésy , C., & Jiménez. (2005). Los polifenoles dietéticos y la prevención de enfermedades. *Revisiones críticas en ciencia de los alimentos y nutrición*, 45(4), 287-306. doi:10.1080/1040869059096
- Scholz, P., Arntjen, A., Muller, R. H., & Keck, C. M. (2014). Proceso ARTcrystal para la producción industrial de nanocristales: optimización del paso de pre-fresado ART MICCRA. *International journal of pharmaceutics*, 465(1-2), 388-395. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2014.02.026>

- Seeds Gallery. (2021). Semillas de Pimiento Charapita. <https://www.seeds-gallery.shop/es/inicio/semillas-de-pimiento-charapita-mundial-mayoria-caro-de-chile.html>
- Selvanet. (2010). Selva Net Maravilla natural. <http://selvanet20.blogspot.pe/2010/08/aji-charapita-capsicum-frutescens.html>
- Shirsath, S. R., Sonawane, S. H., & Gogate, P. R. (2012). Intensificación de la extracción de productos naturales mediante irradiaciones ultrasónicas: Una revisión del estado actual. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 53, 10-23. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cep.2012.01.003>
- Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventos, R. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folineciocalteu reagent. In: Lester, P. (Ed.), *Meth. Enzymol.* Academic Press.
- Spigno G., Tramelli, L., & De Faveri D.M. (2007). Effects of extraction time, temperature and solvent on concentration and antioxidant activity of grape marc phenolics. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.10.021>
- Spiller, F., Alves, M. K., Vieira, S. M., Carvalho, T. A., Leite, C. E., Lunardelli, A., Poloni, J. A., Cunha, F. Q., & de Oliveira, J. R. (2010). Anti-inflammatory effects of red pepper (*Capsicum baccatum*) on carrageenan- and antigen-induced inflammation. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 60(4), 473–478. <https://doi.org/10.1211/jpp.60.4.0010>
- Stalikas CD. Extraction, separation, and detection methods for phenolic acids and flavonoids. *J Sep Sci.* 2007 Dec;30(18):3268-95. doi: 10.1002/jssc.200700261. PMID: 18069740.
- Stoical, R. M., Moscovici, M., Tomulescu, C., & Narcisa, B. (2016). Métodos de extracción y analítica de capsaicinoides - una revisión. *Scientific Bulletin. Series F. Biotechnologies*, 20, 93-98.
- Srichaeroen P., Lamaiphan N., Patthawaro P., Limchoowong (2016). Phytochemicals in *Capsicum oleoresin* from different varieties of hot chilli peppers with their antidiabetic and antioxidant activities due to some phenolic compounds. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.08.018>.
- Sunarso J. y Ismadji S. (2009). Decontamination of hazardous substances from solid matrices and liquids using supercritical fluids extraction: A review. *Journal of*

Hazardous Materials, Volume 161, Issue 1, 2009, Pages 1-20, ISSN 0304-3894.
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.03.069>.

- Toma, M., Vinatoru, M., Paniwnyk, L., & Mason, T. J. (2001). Investigación de los efectos de los ultrasonidos en los tejidos vegetales durante la extracción con disolventes. *Ultrasonidos Sonoquímica*, 8(2), 137-142.
<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S135041770000033X?token=E7001AFB72615F4D4ED93BE245594456F5FEF95A6FF47770D865FA36C0D79CCA1C4960629D80586C2B474ACD82E433A1&originRegion=us-east-1&originCreation=20210817143405>
- Tsuchiya, H. (2001). Efectos de membrana bifásica de capsaicina, un componente activo en especies de *Capsicum*. *Journal of Ethnopharmacology*, 75(2-3), 295-299.
[doi:https://doi.org/10.1016/S0378-8741\(01\)00200-8](https://doi.org/10.1016/S0378-8741(01)00200-8)
- Tsuchiya, H. (2001). Efectos de membrana bifásica de capsaicina, un componente activo en especies de *Capsicum*. *Journal of Ethnopharmacology*, 75(2-3), 295-299.
[doi:https://doi.org/10.1016/S0378-8741\(01\)00200-8](https://doi.org/10.1016/S0378-8741(01)00200-8)
- Ng, Tzi-Bun, Ngai, Patrick H.K., Cheung, R.C.F., Wong, J.H., Lam, Sze-Kwan, Wang, He-Xiang, Ye, Xiujuan, Chan, Yau-Sang, Fang E.F. (2011). Chapter 41 - Antifungal and Mitogenic Activities of Cluster Pepper (*Capsicum frutescens*) Seeds. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-375688-6.10041-6>
- Varghese, S., Kubatka, P., Rodrigo, L., Gazdikova, K., Caprnda, M., Fedotova, J., & Busselberg, D. (2017). El ají como alimento para bajar de peso. *Revista Internacional de Ciencias de la Alimentación y Nutrición*, 68(4), 392-401.
- Vidal, M. A., Calderón, E., Román, D., Pérez Bustamante, F., & Torres, L. M. (2004). Capsaicina tópica en el tratamiento del dolor neuropático. *Rev. Soc. Esp. Dolor*, 11, 306-318. <https://scielo.isciii.es/pdf/dolor/v11n5/revision2.pdf>
- Villalba C. M., Arrázola P.G., Pardo P.E., (2017). Determinación de capsaicina mediante cromatografía líquida de alta resolución (HPLC-PDA) en la especie *Capsicum frutescens* Determination of capsaicin by high performance liquid chromatography (HPLC-PDA) in the species *Capsicum frutescens*. https://www.researchgate.net/publication/321120137_Determinacion_de_capsaicina_mediante_cromatografia_liquida_de_alta_resolucion_HPLC-PDA_en_la_especie_Capsicum_frutescens

- Wang, L., & Weller, C. L. (2006). Avances recientes en la extracción de nutraceuticos de plantas. *Trends in food Science & Technology*, 17(6), 300-312. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2005.12.004>
- Xu, W. J., Zhai, J. W., Cui, Q., Liu, J. Z., Luo, M., Fu, Y. L., & Zu, Y. G. (2016). Extracción asistida por ultrasonidos basada en Ultra-turrax de cinco ácidos orgánicos de madreSelva (*Lonicera japonica* Thunb.) Y optimización del proceso de extracción. *Tecnología de separación y purificación*, 166, 73–82. doi:<https://doi.org/10.1016/j.seppur>.
- Yolmeh, M., Najafi, M. B., & Farhoosh, R. (2014). Optimización de la extracción asistida por ultrasonido de pigmento natural de semillas de achiote mediante metodología de superficie de respuesta (RSM). *Food Chem*, 319-324. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.01.059>
- Zhang, D., & Hamazu. (2003). Compuestos fenólicos, ácido ascórbico, carotenoides y propiedades antioxidantes de los pimientos verdes, rojos y amarillos. *Food Chemistry*, 88(4), 503-509. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.01.065>

ANEXOS

Anexo 1. Materia prima, procedimiento de extracción y análisis



Materia prima

*Extracción
por Maceración
y Agitación*



*Extracción
por ultrasonido*

*Extracción por
ultra-turrax*



Anexo 2. ANOVA unifactorial para rendimiento de los extractos-Primera Etapa

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	5	85,1534	17,0307	15175,85	0,000
Error	12	0,0135	0,0011		
Total	17	85,1668			

Anexo 3. ANOVA unifactorial para TPC de los extractos-Primera etapa

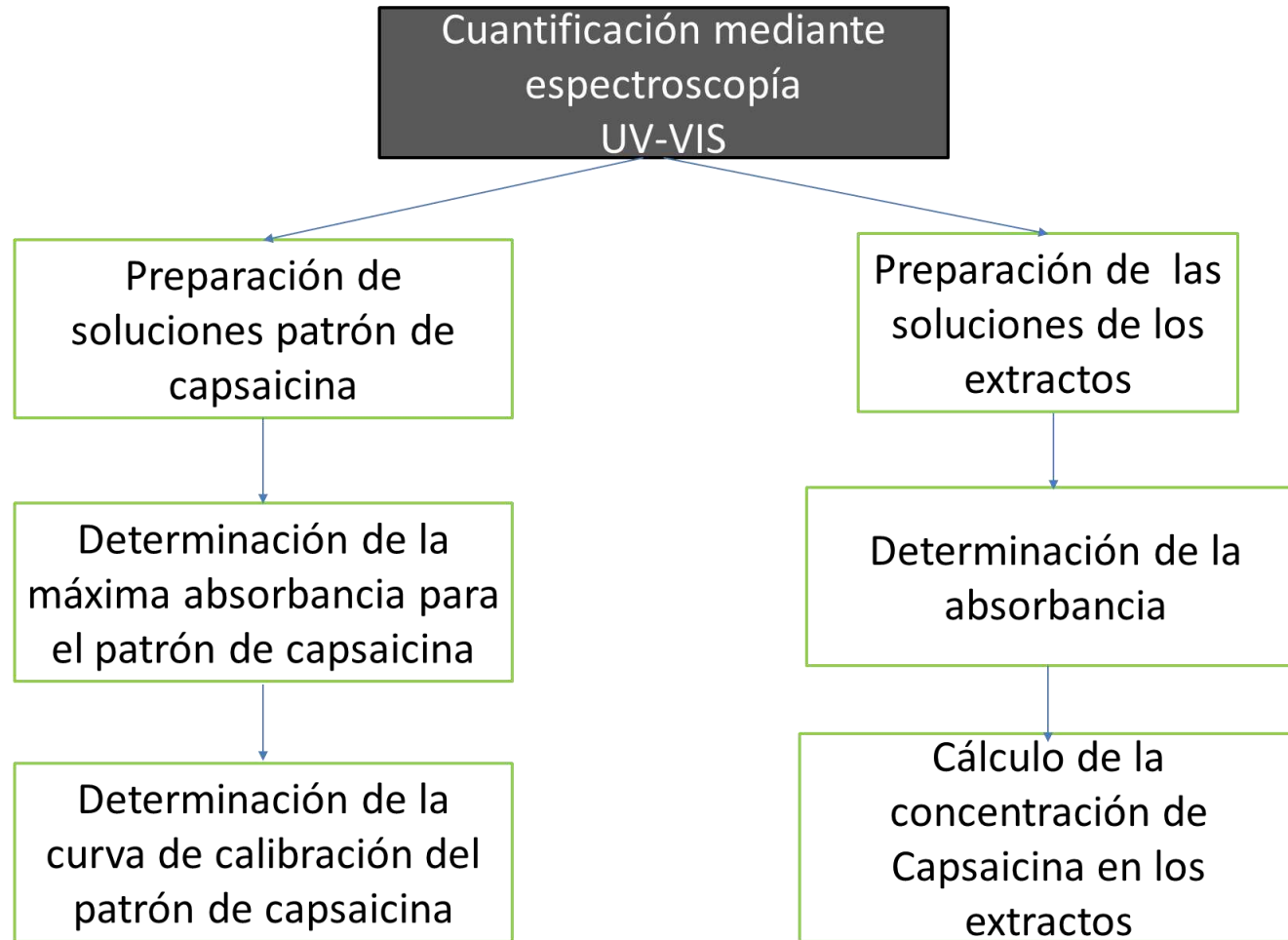
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	5	1059,64	211,928	370359,46	0,000
Error	12	0,01	0,001		
Total	17	1059,65			

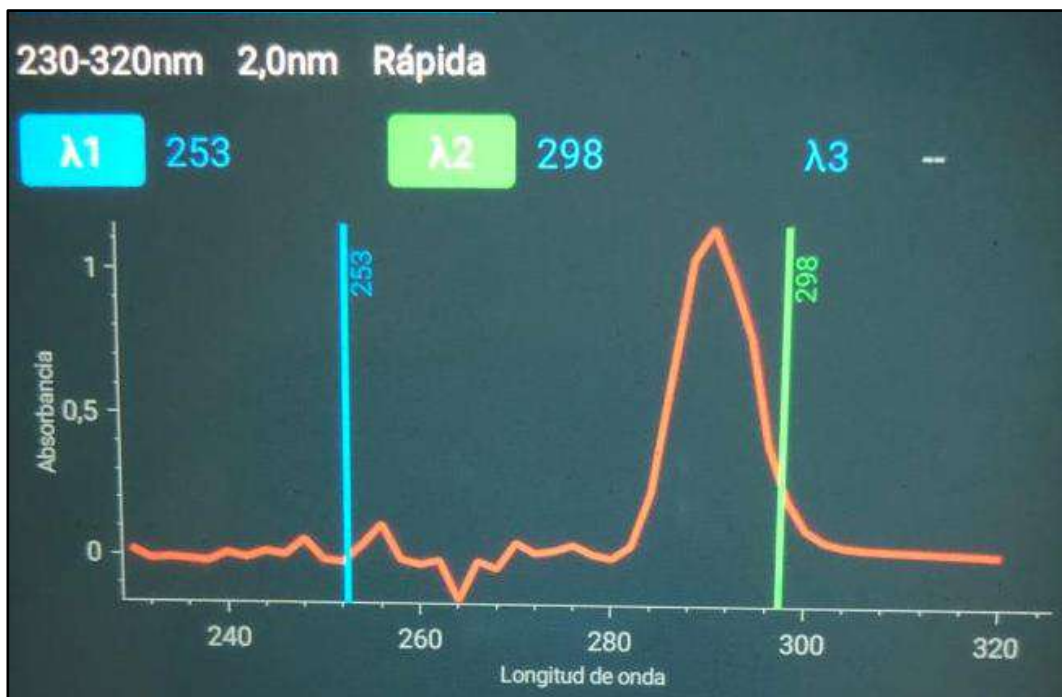
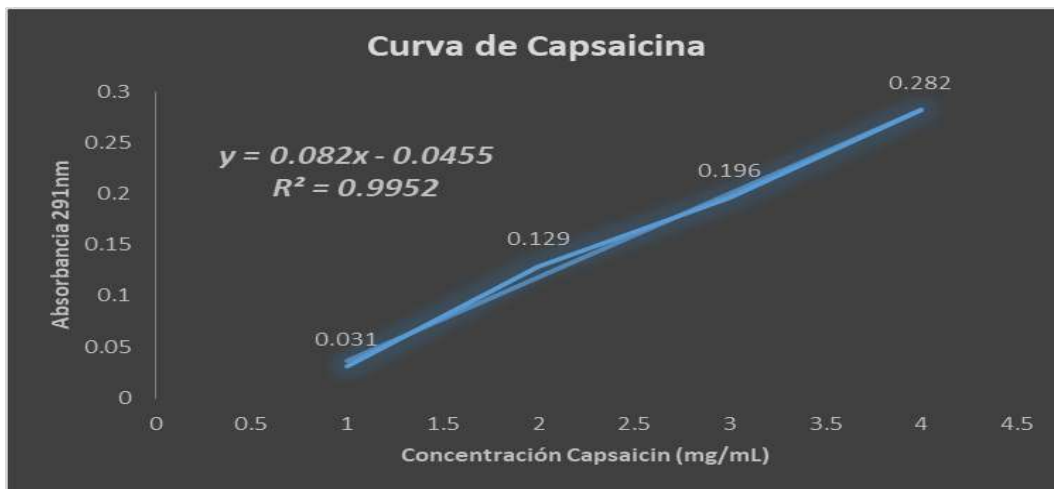
Anexo 4. ANOVA unifactorial para CA-DPPH de los extractos-Primera etapa

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	5	187324	37464,7	4077177,17	0,000
Error	12	0	0		
Total	17	187324			

Anexo 5. ANOVA unifactorial para CA-ABTS de los extractos-Primera etapa

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	5	187324	37464,7	4077177,17	0,000
Error	12	0	0		
Total	17	187324			

Anexo 6. Flujoograma de la cuantificación de capsaicina

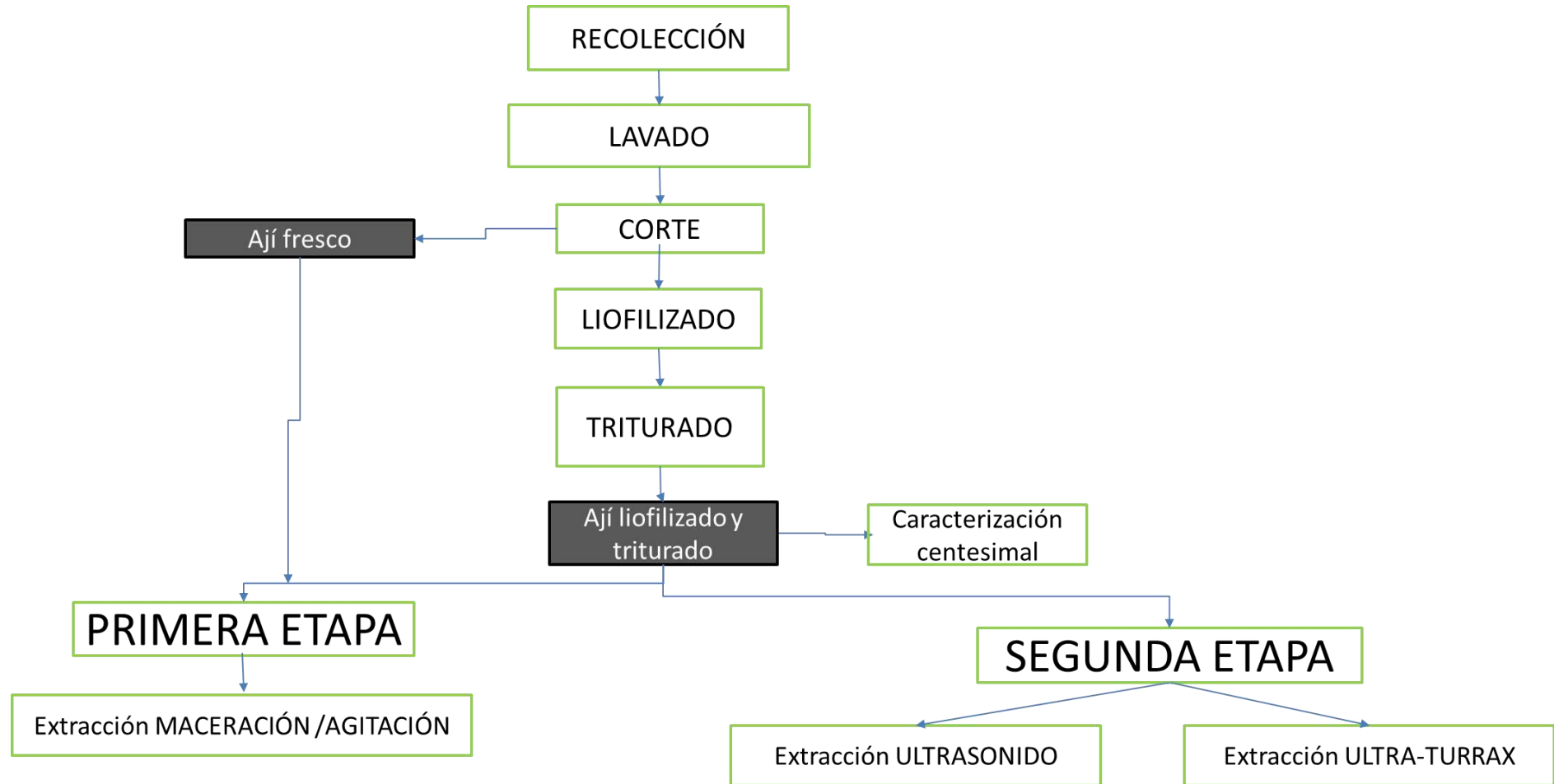
Anexo 7. Espectro para la determinación de la absorbancia de la capsaicina.**Anexo 8. Curva de capsaicina a 291nm.**

Anexo 9. Tabla de unidades de picor scoville

UNIDADES DE PICOR SCOVILLE	
PUNGENCIA	UNIDADES SCOVILLE
No picante	0-700
Ligeramente	700-3000
Moderadamente	3000-25000
Altamente	25000-70000
Muy picante	>80000

Fuente: *Villalba et al., 2017*

Anexo 10. Flujograma general 1



Karina Castillo

Extracción de capsaicinoides del *Capsicum frutescens* (Ají Charapita) por ultrasonido y ultra-turrax

 Revisión Repositorio Institucional UNSM

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::3117:529568264

Fecha de entrega

18 nov 2025, 12:57 GMT-5

Fecha de descarga

18 nov 2025, 13:03 GMT-5

Nombre del archivo

FIAI_Tesis_karina Isabel Castillo Grández octubre (2).pdf

Tamaño del archivo

1.5 MB

85 páginas

22.058 palabras

124.048 caracteres




16% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 14%  Fuentes de Internet
- 4%  Publicaciones
- 10%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

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.