



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons 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

Influencia del ultrasonido y proporción etanol/agua en la obtención de extractos de ají charapita anaranjado (*Capsicum frutescens*)

Para optar el título profesional de Ingeniero Agroindustrial

Autor:

Elferez Rene Collazos Duarez
<https://orcid.org/0009-0007-8600-6145>

Asesor:

Ing. Dr. José Luis Pasquel Reátegui
<https://orcid.org/0000-0001-6467-394X>

Coasesor:

Ing. Dr. Manuel Fernando Coronado Jorge
<https://orcid.org/0000-0002-3263-6869>

Tarapoto, Perú

2023



FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

Tesis

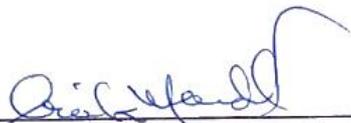
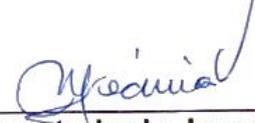
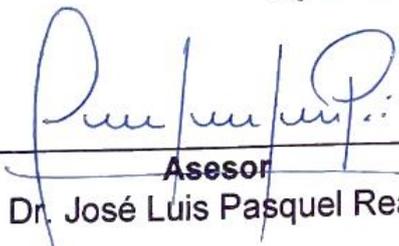
Influencia del ultrasonido y proporción etanol/agua en la obtención de extractos de ají charapita anaranjado (*Capsicum frutescens*)

Para optar el título profesional de Ingeniero Agroindustrial

Autor

Elferez Rene Collazos Duarez

Sustentado y aprobado el 11 de setiembre de 2023, por los siguientes jurados:

 _____ Presidente de Jurado Ing. Dra. Anita Ruth Mendiola Céspedes	 _____ Secretario de Jurado Ing. Dra. Mari Luz Medina Vivanco
 _____ Vocal de Jurado Ing. Dr. Jaime Guillermo Guerrero Marina	
 _____ Asesor Ing. Dr. José Luis Pasquel Reátegui	 _____ Coasesor Ing. Dr. Manuel Fernando Coronado Jorge

Tarapoto, Perú

2023



**UNIVERSIDAD NACIONAL
DE SAN MARTÍN**



**FACULTAD DE INGENIERÍA
AGROINDUSTRIAL**

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN CONDUCTENTES A
GRADOS Y TÍTULOS N° 009-2023**

Jurado reconocido con Resolución N° 016-2026-UNSM/FIAI-D/NLU.

A las 16:00 horas del día once de setiembre del 2023, en el auditorio de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial – Ciudad Universitaria, inició el acto público de sustentación del trabajo de tesis "INFLUENCIA DEL ULTRASONIDO Y PROPORCIÓN ETANOL/AGUA EN LA OBTENCIÓN DE EXTRACTOS DE AJÍ CHARAPITA ANARANJADO (*Capsicum frutescens*)" para optar al título profesional de INGENIERO AGROINDUSTRIAL, presentado por el Bach. Elferez Rene Collazos Duarez.

Instalada la Mesa Directiva conformada por Ing. Dra. Anita Ruth MENDIOLA CÉSPEDES (presidente del jurado), Ing. Dra. Mari Luz MEDINA VIVANCO (secretaria), Ing. Dr. Jaime Guillermo GUERRERO MARINA (vocal), y acompañados por Ing. Dr. José Luis PASQUEL REATÉGUI (asesor) e Ing. Dr. Manuel Fernando CORONADO JORGE (coasesor); el presidente del jurado dirigió brevemente unas palabras y a continuación el secretario dio lectura a la Resolución N° 016-2023-UNSM/FIAI-D/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, por el asesor.

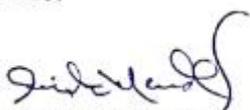
Una vez terminada la ronda de preguntas, el jurado procedió a deliberar para determinar la calificación final, para lo cual dispuso un receso de quince (15) minutos, con participación del asesor con voz, pero sin voto; sin la presencia del sustentante y otros participantes del acto público.

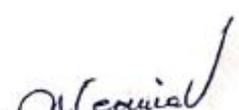
Luego de aplicar los criterios de calificación con estricta observancia del principio de objetividad y de acuerdo con los puntajes en escala vigesimal (de 0 a 20), según el Anexo 4.2 del RG-CTI, la nota de sustentación otorgada resultante del promedio aritmético de los calificativos emitidos por cada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

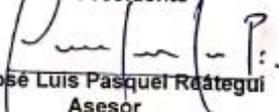
Se deja constancia que la presente acta se inscribe en el Libro de Sustentaciones N° 001-2023 de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial.

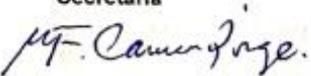
Firman los integrantes de la Mesa Directiva y el autor del trabajo de investigación en señal de conformidad, dando por concluido el acto a las 17:20 horas, el mismo día de 11, de setiembre del 2023.


Dra. Anita Ruth Mendiola Céspedes
Presidenta


Dra. Mari Luz Medina Vivanco
Secretaria


Dr. Jaime Guillermo Guerrero Marina
Vocal


Dr. José Luis Pasquel Reátegui
Asesor


Dr. Manuel Fernando Coronado Jorge
Coasesor


Bach. Elferez Rene Collazos Duarez
Autor

CIUDAD UNIVERSITARIA
3r. Vía Universitaria 3ra. cuadra - Morales, Perú
+51(042) 480128 Anexo 2400

decanaturafiai@unsm.edu.pe
https://unsm.edu.pe

Declaratoria de autenticidad

Elferez Rene Collazos Duarez, con DNI N° 43097589 egresado de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial Facultad de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional de San Martín, autor de la tesis titulada: Influencia del ultrasonido y proporción etanol/agua en la obtención de extractos de ají charapita anaranjado (*Capsicum frutescens*).

Declaro bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de nuestra autoría.
2. La redacción fue realizada respetando las citas y referencia de las fuentes bibliográficas consultadas, siguiendo las normas APA actuales
3. Toda información que contiene la tesis no ha sido plagiada;
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido alterados ni copiados, por tanto, la información de esta investigación debe considerarse como aporte a la realidad investigada.

Por lo antes mencionado, asumimos bajo responsabilidad las consecuencias que deriven de mi accionar, sometiéndome a las leyes de nuestro país y normas vigentes de la Universidad Nacional de San Martín.

Tarapoto, 11 de setiembre de 2023.


Elferez Rene Collazos Duarez
DNI N° 43097589
Autor



Ficha de identificación

<p>Título del proyecto Influencia del ultrasonido y proporción etanol/agua en la obtención de extractos de ají charapita anaranjado (<i>Capsicum frutescens</i>)</p>	<p>Área de investigación: Ingeniería y Tecnología Línea de investigación: Ingeniería de Procesos Sublínea de investigación: Ingeniería de Procesos Agroindustriales Grupo de investigación (indicar resolución): Ingeniería y Tecnología Agroindustrial (ITAG) – Resolución N° 025-2022-UNSM/FIAI-CF-NLU. Tipo de investigación: Básica <input checked="" type="checkbox"/>, Aplicada <input type="checkbox"/>, Desarrollo experimental <input type="checkbox"/></p>
<p>Autor: Elferez Rene Collazos Duarez</p>	<p>Facultad de Ingeniería Agroindustrial Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial https://orcid.org/0009-0007-8600-6145</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. Manuel Fernando Coronado Jorge</p>	<p>Contraparte científica: Facultad o Institución: Ingeniería Agroindustrial Unidad o Laboratorio: Ingeniería Agroindustrial País: Perú https://orcid.org/0000-0002-3263-6869</p>

Dedicatoria

A mi madre Margarita Duarez, quien me ha formado con valores y excelentes hábitos que me han ayudado a lograr mis metas.

A mi padre Fabian Collazos, quien se encuentra en otra dimensión después de su muerte y desde ahí sigue viendo mis logros, eternamente mi gratitud.

A mis hermanos, Renato y Nathali, quienes siempre estuvieron conmigo desde niño.

Agradecimientos

El principal agradecimiento es a Dios, quien me ha guiado toda la vida y dado la inteligencia, sabiduría y fortaleza para seguir adelante.

A mis padres que con lo poco que tuvieron lo invirtieron en mi persona para que pueda ser un profesional.

A mis hermanos y familia en general quienes me animaron para no desistir en la etapa de pregrado.

A mi asesor de Tesis el Dr. José Luis Pasquel Reátegui, quien tuvo la buena voluntad de aceptar asesorarme en este trabajo de investigación.

A todos mis docentes de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial.

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	16
1.2. Hipótesis de investigación.....	16
1.3. Objetivos	16
1.3.1. Objetivo general	16
1.3.2. Objetivos específicos.....	17
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	18
2.1. Antecedentes de la investigación.....	18
2.2. Fundamentos teóricos	19
CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS.....	23
3.1. Ámbito y condiciones de la investigación	23
3.1.1. Contexto de la investigación	23
3.1.2. Control ambiental y protocolos de bioseguridad.....	23
3.1.3. Aplicación de principios éticos internacionales	23
3.2. Sistema de variables.....	23
3.2.1. Variables principales.....	23
3.3. Procedimientos de la investigación	24
3.3.1. Caracterización de la materia prima	24
3.3.2. Extracción asistida por ultrasonido (EAU).....	24

3.3.3. Rendimiento global de extracción (X_0).....	26
3.3.4. Análisis de la composición química de los extractos	26
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	29
4.1. Caracterización de la materia-prima.....	29
4.2. Extracción asistida por ultrasonido (EAU)	30
4.2.1. Rendimiento global de extracción (X_0).....	32
4.3. Análisis de composición química de los extractos	34
4.3.1. Contenido total de compuestos fenólicos (TPC).....	34
4.3.2. Capacidad antioxidante por el método de DPPH y ABTS.....	36
4.3.3. Concentración de la capsaicina (CC)	38
CONCLUSIONES	42
RECOMENDACIONES.....	43
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44
ANEXOS	52

Índice de tablas

Tabla 1	Valor nutricional de 100 gramos de parte comestible	20
Tabla 2	Valores codificados y reales para el diseño de Box-Behnken.....	25
Tabla 3	Diseño experimental tipo Box-Behnken con valores codificados y reales.....	25
Tabla 4	Caracterización centesimal del ají charapita naranja (seca y triturada)	29
Tabla 5	Resultados obtenidos por la extracción asistida por ultrasonido.....	31
Tabla 6	ANOVA – Rendimiento global de extracción.....	32
Tabla 7	ANOVA – Contenido de compuestos fenólicos (TPC).....	35
Tabla 8	ANOVA – Capacidad antioxidante (DPPH).....	36
Tabla 9	ANOVA - Capacidad antioxidante (ABTS)	36
Tabla 10	ANOVA – Concentración de capsaicina.....	38

Índice de figuras

Figura 1. Fruto del ají charapita naranja.....	19
Figura 2. Esqueleto de los capsaicinoides	21
Figura 3. Colapso de las burbujas y liberación de material vegetal, causado por el ultrasonido	22
Figura 4. Superficies de respuesta para el rendimiento global: potencia aplicada x proporción E/A, tiempo de extracción x proporción E/A y potencia aplicada x tiempo de extracción	34
Figura 5. Superficies de respuesta para el contenido de compuestos fenólicos: potencia aplicada x proporción E/A	35
Figura 6. Efecto de las condiciones de extracción sobre la capacidad antioxidante por el método DPPH (A) y ABTS (B)	37
Figura 7. Superficies de respuesta para la concentración de capsaicina: tiempo de extracción x proporción E/A, potencia aplicada x proporción E/A y potencia aplicada x tiempo de extracción.	41

RESUMEN

El creciente interés por plantas con propiedades terapéuticas ha ido incrementado mundialmente en los últimos años. El uso de estas plantas es generalmente a través de extractos obtenidos por métodos tradicionales como por ejemplo la extracción por maceración, esta técnica presenta algunas desventajas con relación al rendimiento y empleo de gran cantidad de disolventes. En ese sentido, este trabajo, presenta como alternativa, el empleo de la técnica de extracción por ultrasonido, con el intuito de evaluar la influencia de la proporción etanol/agua en los extractos. Asimismo, el objetivo principal de este trabajo fue determinar el contenido de compuestos fenólicos y capsaicina presentes en los extractos de ají charapita naranja (*Capsicum frutescens*), empleando la técnica de extracción por ultrasonido. Este trabajo se realizó en las instalaciones del Laboratorio de Ingeniería de Procesos, que pertenece a la facultad de Ingeniería Agroindustrial. Cabe señalar, que el diseño experimental que se utilizó fue el de Box-Behnken, donde se estudiaron tres variables independientes: proporción etanol/agua (25:75, 50:50 y 75:25 %v/v), tiempo de extracción (3, 6 y 9 min) y potencia aplicada (270, 360 y 450 watts). El estudio de las variables independientes sobre el rendimiento global ($12.33 \pm 0.13\%$), contenido de compuestos fenólicos (31.65 ± 0.24 mg EAG/gramo de materia prima), capacidad antioxidante por el método de DPPH (54.87 ± 1.69 $\mu\text{mol TE/gramo de materia prima}$) y ABTS (2966.53 ± 7.86 $\mu\text{mol TE/gramo de materia prima}$), mostraron cierta influencia es los resultados observados. La mayor concentración de capsaicina (184.76 ± 7.33 mg/mL) se encontró a una proporción de Etanol/agua de 50/50 (%v/v), tiempo de extracción de 3 minutos y potencia aplicada de 450 watts. En ese sentido, se observó que el empleo del ultrasonido removi6 los compuestos bioactivos de forma m6s eficiente. Esta remoci6n eficiente, se debi6 a los efectos f6sicos que causa el ultrasonido en las paredes intracelulares de la materia prima.

Palabras clave: Ultrasonido, Capsaicina, compuestos bioactivos, Box-Behnken

ABSTRACT

In the last few years, the growing interest for plants with therapeutic properties has been increasing worldwide. The use of these plants is generally through extracts obtained by traditional methods such as extraction by maceration, a technique that has some disadvantages in relation to yield and the use of large amounts of solvents. In this sense, this work presents the use of the ultrasound extraction technique as an alternative, in order to evaluate the influence of the ethanol/water ratio in the extracts. Likewise, the main objective of this work was to determine the content of phenolic compounds and capsaicin present in the extracts of orange charapita bell pepper (*Capsicum frutescens*), using the ultrasound extraction technique. This work was carried out in the facilities of the Process Engineering Laboratory, which belongs to the Faculty of Agroindustrial Engineering. The experimental design used was the Box-Behnken one, where three independent variables were studied: ethanol/water ratio (25:75, 50:50 and 75:25 %v/v), extraction time (3, 6 and 9 min) and applied power (270, 360 and 450 watts). The study of the independent variables on overall yield ($12.33 \pm 0.13\%$), phenolic compound content (31.65 ± 0.24 mg EAG/gram of raw material), antioxidant capacity by the DPPH method (54.87 ± 1.69 $\mu\text{mol TE/gram}$ of raw material) and ABTS (2966.53 ± 7.86 $\mu\text{mol TE/gram}$ of raw material), showed some influence on the observed results. The highest concentration of capsaicin (184.76 ± 7.33 mg/mL) was found at an Ethanol/water ratio of 50/50 (%v/v), extraction time of 3 minutes and applied power of 450 watts. In this sense, it was observed that the use of ultrasound removed the bioactive compounds more efficiently. This efficient removal was due to the physical effects caused by ultrasound on the intracellular walls of the raw material.

Keywords: Ultrasound, Capsaicin, bioactive compounds, Box-Behnken.



CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN

El interés en el uso de especies de plantas con propiedades terapéuticas en la medicina popular no es nuevo. Sin embargo, gran parte de la riqueza de este material vegetal no se ha evaluado completamente en estudios fitoquímicos y farmacológicos. Aunque, en el ámbito industrial, el uso de especies de plantas ya ocurre en la preparación de una variada gama de productos, a partir de los extractos y sus derivados, donde hay un uso directo de estos principios (Teramoto et al., 2008). Sin embargo, aún necesita ser investigado sobre los compuestos bioactivos presentes en estos materiales, buscando de esta forma su mayor aplicación en productos farmacéuticos, cosméticos y alimenticios.

Los procesos de desarrollo, producción y uso de productos derivados de origen natural con propiedades bioactivas han llamado la atención, especialmente debido a sus aplicaciones en las industrias: alimentaria, farmacéutica y cosmética. Entre estos procesos, la extracción asistida por ultrasonido ha sido ampliamente estudiada, con la ventaja principal de ser una tecnología barata y altamente selectiva.

“El género *Capsicum* se origina en zonas tropicales y húmedas de América Central y del Sur, pertenece a la familia Solanaceae e incluye ajíes de importante valor económico. Existen más de treinta especies de *Capsicum*, dentro de ellas al menos cinco están domesticadas: *C. pubescens*, *C. baccatum*, *C. annuum*, *C. chinense* y *C. frutescens*, siendo las tres últimas especies ampliamente difundidas y caracterizados por producir los frutos más picantes” (Stoica et al., 2016). “Los ajíes picantes contienen altos niveles de antioxidantes, vitaminas A, C y flavonoides” (Palma et al., 2015). “El picor característico de este género se produce por la acumulación de un grupo de alcaloides, llamados capsaicinoides, cuyos principales representantes son la capsaicina y la dihidrocapsaicina” (Reyes-Escogido et al., 2011), el resto corresponde a nordihidrocapsaicina, homocapsaicina y homodihidrocapsaicina (Fernandez-Barbero, 2007).

Estos compuestos capsaicinoides están relacionados a muchas actividades biológicas como antiinflamatorios (Spiller et al., 2010), antioxidantes (Bogusz et al., 2018), antitumorales (Chapa-Oliver & Mejía-Teniente, 2016) y contienen ciertas propiedades que favorecen a la pérdida de peso (Varghese et al., 2017), todos estos efectos sugieren que una ingesta regular de capsaicinoides es beneficioso para la salud (Hardy, 2000).

La extracción de estos compuestos presentes en la especie *Capsicum*, pueden ser realizados por varios métodos. La literatura presenta diversos “métodos para la extracción de compuestos bioactivos a partir de matrices vegetales, como: la extracción a baja presión

con solventes orgánicos” (Maity et al., 2013; Sprenger & Cass, 2013), “la extracción asistida por ultrasonido (EAU)” (Sahin & Samli, 2013), “extracción asistida por microondas (MAE)” (Prakash Maran et al., 2013), “extracción con líquidos presurizados” (PLE) (Machado et al., 2015; Paes et al., 2014) y la “extracción con fluido supercrítico (SFE)” (Barrales et al., 2015; De Aguiar et al., 2013; Pasquel Reátegui et al., 2014).

La extracción asistida por ultrasonido (EAU) es una técnica efectiva en la obtención de extractos de alta pureza. El proceso de EAU ejerce ondas de choque y fuerza hidrodinámica hacia la superficie sólida, permitiendo una alta introducción del solvente en la matriz celular (Yolmeh et al., 2014). Además, es considerado como un método ecológico por lo simple, barato, bajo en consumo de energía y permite la extracción de compuestos activos a partir de residuos agroindustriales, productos naturales, entre otros (Carrera et al., 2012). En vista de todas las ventajas presentadas por la técnica EAU, es necesario que esta técnica sea evaluada para la extracción de compuestos bioactivos presentes en el *Capsicum frutescens*.

1.1. Formulación del problema de investigación

¿Es posible que la técnica de extracción asistida por ultrasonido ayuda a maximizar la recuperación de compuestos bioactivos presentes en el extracto del ají Charapita naranja (*Capsicum frutescens*)?

1.2. Hipótesis de investigación

H₀: No existe influencia de las condiciones de extracción por ultrasonido sobre el rendimiento global de extracción (X_0), contenido de fenólicos, antioxidantes y capsaicinas en los extractos de ají charapita naranja (*Capsicum frutescens*).

H₁: Existe influencia de las condiciones de extracción por ultrasonido sobre el rendimiento global de extracción (X_0), contenido de fenólicos, antioxidantes y capsaicinas en los extractos de ají charapita naranja (*Capsicum frutescens*).

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar el contenido de compuestos fenólicos, antioxidantes y capsaicinas en los extractos de ají charapita naranja (*Capsicum frutescens*), empleando la técnica de extracción asistida por ultrasonido.

1.3.2. Objetivos específicos

1. Caracterizar la materia prima en términos de su composición centesimal.
2. Evaluar la influencia de la proporción Etanol/Agua (25:75, 50:50 y 75:25 %v/v), tiempo de extracción (3, 6 y 9 min) y potencia aplicada (270, 360 y 450 Watts) en el rendimiento global de extracción (X_0).
3. Determinar el contenido de compuestos fenólicos presente en los extractos.
4. Determinar la capacidad antioxidante por los métodos de DPPH y ABTS presente en los extractos.
5. Determinar la concentración de capsaicina presente en los extractos.

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Santos et al. (2014) en su trabajo sobre “Extracción de ají (*Capsicum frutescens* L.) a baja presión asistido por ultrasonido”, a potencias (200 a 600 Watts) y temperaturas (40 a 60 °C), respectivamente, y un tiempo de extracción de 20 minutos, demostraron que la aplicación de ondas ultrasónicas aumentó el rendimiento global.

Dias et al. (2016) en su trabajo sobre “Efecto del ultrasonido en la extracción con CO₂ supercrítico de compuestos bioactivos de dedo de moça (*Capsicum baccatum* L.)”, utilizando cosolventes metanol y etanol a temperaturas de 40, 50 y 60 °C con potencias ultrasónicas de 150, 300 y 450 W/cm², aumentaron el rendimiento de extracción global hasta un 26%, de igual manera los compuestos fenólicos totales, capacidades antioxidantes (DPPH y FRAP), sin embargo, intensidades más altas redujeron sus recuperaciones.

Dias et al. (2017) en su trabajo de investigación “Extracción asistida por ultrasonido de compuestos bioactivos de dedo de pimiento moça (*Capsicum baccatum* L.): Efectos en la matriz vegetal y modelado matemático”, observaron que al secar una muestra fresca al horno a 70 ± 2 °C durante 24 h y triturado en un molino de cuchillos, intensificaron la transferencia de masa durante las extracciones.

Civan y Kumcuoglu (2019) en su trabajo “Extracción verde asistida por ultrasonido de carotenoides y capsaicinoides de la pulpa de pasta de pimiento picante”, emplearon la extracción asistida por ultrasonido (EAU) sobre el aceite de oliva refinado, para optimizar las condiciones de extracción. Asimismo, afirmaron que la EAU tienen más ventajas que la extracción por maceración porque produce mayores cantidades de extracto en un tiempo más corto.

Chuichulcherm et al. (2013) estudiaron la extracción de capsaicinoides mediante extracción asistida por microondas (MAE) y extracción asistida por ultrasonido (EAU), en comparación con el método tradicional Soxhlet, utilizando ajíes secos (*Capsicum frutescens*), donde obtuvieron 5.28 mg/g de ají en la MAE y 4.01 mg/g de ají en la EAU, respectivamente Sin embargo el ultrasonido requirió un consumo mínimo de energía, llegando a la conclusión que la EAU fue el método más óptimo para la extracción de capsaicinoides.

Hernandez y Velazquez (2018) en su trabajo “Extracción y caracterización de capsaicinoides a partir de desechos orgánicos de la industria de jalapeño verde (*Capsicum annuum* L.)”, utilizaron dos solventes (etanol y acetonitrilo) para la extracción por ultrasonido, con una relación: muestra-solvente (1:10 y 1:20 g/ml), temperatura estándar de 50°C y tiempos de extracción (20 – 40 min), concluyendo que el mayor rendimiento observado fue de 11.53 %, con una concentración de capsaicinoides de 0.32 g/g. Las condiciones óptimas fueron 1:10 g/ml, con una mezcla de 80% de etanol y 20% de acetonitrilo, a un tiempo de 30 min.

2.2. Fundamentos teóricos

2.2.1. Materia-Prima

2.2.1.1. *Capsicum frutescens*

“El género *Capsicum* tuvo su origen en la zona andina y selvática de Perú y de Bolivia, zona conocida como alto Perú; también, incluye la cuenca del Lago Titicaca, que hoy pertenece a Bolivia. Desde donde se distribuyó al resto de América del Sur y Centro América, gracias a las corrientes de los ríos y las aves migratorias, que hicieron las labores de propagación natural. Con el descubrimiento de América y los viajes entre continentes, llegó a Europa y se expandió al resto del mundo” (Riva, 2019).

“La Amazonía peruana cuenta con una diversidad de especies de ajíes, unas más picantes que otras, siendo el género *Capsicum frutescens* comúnmente conocido como ají charapita o charapón, el más aceptable por su picor, sabor, aroma, alto contenido de capsaicinoides (629.4 mg/100 g), vitamina E, flavonoides, carbohidratos, grasas, quercetina y capacidad antioxidante” (Jäger et al., 2013). Conforme se muestra en la Figura 1.



Figura 1.

Fruto del ají charapita naranja

“El ají charapita presenta alto contenido de ácido ascórbico (vitamina C), valor que incluso es sobresaliente al de los cítricos como la del limón, naranja, toronja, etc.” (López et al., 2011). Según los análisis dietéticos practicados por el departamento de Nutrición del Ministerio de Salud del Perú (1978), el ají presenta los siguientes valores nutricionales, conforme se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1

Valor nutricional de 100 gramos de parte comestible

Componentes en 100 g	Mínimo	Máximo
Agua	20.7g	93.1g
Hidratos de Carbono	5.30g	63.8g
Proteínas totales	0.80g	6.70g
Fibra bruta	1.40g	23.20g
Cenizas totales	0.60g	7.10g
Calcio	7.00mg	116.00mg
Fósforo	31.00mg	200.00mg
Hierro	1.30 mg	15.10 mg
Tiamina	0.03mg	1.09mg
Riboflavina	0.07mg	1.73mg
Vit. C	14.40mg	157.50mg
Capsaicina*	150.00mg	335.00mg

Fuente: Rodríguez Oré (2016).

Se incluyen 23 especies que se conocen dentro del género *Capsicum*, de las cuales solo cinco son cultivadas: *Capsicum annuum*, *Capsicum baccatum*, *Capsicum frutescens*, *Capsicum pubescens* y *Capsicum chinense*. La especie más reconocida y por ende la más estudiada es la *Capsicum annuum*.

2.2.1.2. Compuestos presentes en los ajíes

Los ajíes presentan diversos compuestos, algunos de ellos son propiedades antioxidantes y biológicas. De acuerdo con Howard et al. (2000) “los niveles de estos compuestos pueden variar dependiendo de la variedad del ají, estado de maduración y de las condiciones de crecimiento”. Además, “la coloración roja y naranja de los ajíes nos indican que es un alimento rico en carotenoides, vitamina C, vitamina A y Licopeno. Asimismo, entre los compuestos con marcadas propiedades biológicas se puede mencionar a los carotenoides”

(Collera-Zúñiga et al., 2005; Márkus et al., 1999), vitamina A (Kidmose et al., 2006), vitamina B (Leonard et al., 2001), vitamina C (Navarro et al., 2006), y vitamina E (Koch et al., 2002; Osuna-García et al., 1998), ácidos fenólicos (Estrada et al., 2000), flavonoides (Lee et al., 2005), compuestos volátiles (Zimmermann y Schieberle, 2000), capsaicinoides (Iwai et al., 1979), y capsinoides (Yazawa et al., 1989).

“Los capsaicinoides son los compuestos que le dan el sabor picante a los ajíes, los cuales son un grupo de amidas ácidas formadas a partir de la vanillilamina y ácidos grasos de 8 y 13 átomos de carbono, entre los cuales se destaca la capsaicina. Por lo general, la capsaicina es el compuesto mayoritario presente en los ajíes picantes, sin embargo, no es extraño encontrar ajíes en la cual el compuesto mayoritario es la dihidrocapsaicina” (Zewdie & Bosland, 2001). En la Figura 2 se muestra la estructura del esqueleto de los capsaicinoides.

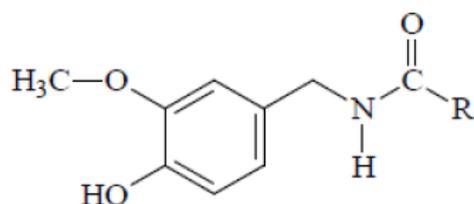


Figura 2.

Esqueleto de los capsaicinoides

Fuente: Fernandez Barbero (2007)

El capsaicinoide que se encuentra mayormente presente en los ajíes picantes es la capsaicina, además, provoca numerosos efectos biológicos. “El contenido de capsaicina puede llegar al 1% del peso seco del ají. El consumo de la capsaicina y la dihidrocapsaicina es muy elevado en productos alimenticios picantes, así como también en la medicina ha demostrado propiedades positivas contra la actividad carcinogénica” (Y.-J. & S.S., 1996), antioxidante (Murakami et al., 2001), analgésico (Bernstein y Phillips, 2006) y anti-inflamatorio (Kim et al., 2003; Park et al., 2000).

2.2.3. Técnicas de extracción de capsaicinoides en ajíes

La extracción va consistir en la separación de los compuestos de interés que se desea cuantificar y analizar. En cada extracción se obtiene un sistema complejo de compuestos activos recuperados a partir de la aplicación de diferentes técnicas. “Las extracciones son llevadas a cabo empleando diversos disolventes orgánicos, como: metanol, etanol, acetonitrilo, acetona, acetato de etilo y cloroformo” (Korel et al., 2002; Poyrazoğlu et al., 2005).

2.2.3.2.1. Extracción asistida por ultrasonido - EAU

La EAU “se basa en el empleo de la energía derivada de los ultrasonidos para facilitar la extracción, a partir de la muestra de los analitos, por el solvente orgánico seleccionado en función de la naturaleza de los solutos a extraer. La aplicación de los ultrasonidos en un medio líquido provoca el fenómeno de la «cavitación»; durante la primera fase, la depresión, se crea en el interior del líquido una infinidad de burbujas (cavidades); durante la segunda fase, la compresión, la enorme presión ejercida sobre estos puntos hacen que estos se compriman hasta hacerlos colapsar en sí mismos (implosión) o simplemente acumular energía para volver a pasar a la primera fase, con el consiguiente desprendimiento de energía que a su vez imprime una velocidad o flujo dentro del fluido produciendo un movimiento de masa. La extracción se ve facilitada y acelerada gracias a esa energía” (Fernandez-Barbero, 2007). De acuerdo con Shirsath et al. (2012) “la EAU tiene como principal fuerza impulsora a la cavitación acústica, capaz de inducir una serie de compresiones y rarefacciones en las moléculas del solvente presente, provocando la formación de burbujas como consecuencia de los cambios de temperatura y de presión”, conforme se muestra en la Figura 3.

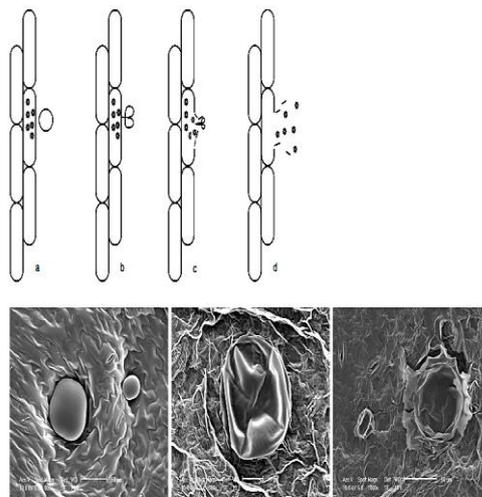


Figura 3.

Colapso de las burbujas y liberación de material vegetal, causado por el ultrasonido

Fuente: Chemat et al. (2011).

El proceso de ultrasonido ejerce un efecto mecánico, permitiendo una mayor introducción del solvente en la matriz de la muestra, aumentando el área de superficie de contacto entre la fase sólida y líquida. Esto, acoplado con la transferencia de masa mejorada e interrupción significativa de células a través del colapso de la burbuja de cavitación, aumenta la liberación de producto intracelular en el medio.

CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ámbito y condiciones de la investigación

3.1.1. Contexto de la investigación

La ejecución de la tesis se desarrolló íntegramente en el Laboratorio de Ingeniería de Procesos (LABIP) de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial, localizada en la ciudad universitaria de la Universidad Nacional de San Martín.

El trabajo de investigación propuesto evaluó la influencia del ultrasonido sobre la recuperación de compuestos bioactivos a partir del ají charapita naranja (*Capsicum frutescens*), proveniente del distrito de Pilluana, Provincia de Picota, Región San Martín. La extracción se realizó en ultrasonido de la marca (Biobase), donde se estudió la proporción etanol/agua (25:75, 50:50 y 75:25 %v/v), tiempo de extracción (3, 6 y 9 min) y potencia aplicada (270, 360 y 450 watts).

3.1.2. Control ambiental y protocolos de bioseguridad

No aplica para este trabajo de investigación. Sin embargo, se siguieron todas las indicaciones recomendadas para evitar inconvenientes en el desarrollo del proyecto.

3.1.3. Aplicación de principios éticos internacionales

Durante la ejecución del proyecto se respetó todos los principios éticos internacionales sugeridas por nuestra casa superior la Universidad Nacional de San Martín.

3.2. Sistema de variables

3.2.1. Variables principales

Dentro de las variables independientes y dependientes que se abordó en esta investigación, tenemos:

3.2.1.1 Variables independientes

- Proporción Etanol/Agua (%v/v) (25:75, 50:50 y 75:25).
- Tiempo de extracción (min) (3, 6 y 9)
- Potencia aplicada (watts) (270, 360 y 450)

3.2.1.2 Variables dependientes

- Rendimiento global de extracción (X_0)
- Contenido de compuestos fenólicos (TPC)
- Capacidad antioxidante por los métodos (DPPH y ABTS)
- Concentración de capsaicina (CC)

3.3 Procedimientos de la investigación

El ají charapita naranja (*Capsicum frutescens*), fue recolectado en el distrito de Pilluana, Provincia de Picota, Región San Martín. Después de la recolección se hizo una selección para retirar materiales extraños, posteriormente la materia prima fue sometida a secado a 60 °C en una estufa (Memmert, modelo 600). A continuación, la materia prima fue molida en una licuadora (Oster, modelo BLSTKAG-RPB), con el objetivo de homogenizar las partículas trituradas para mayor penetración del solvente extractor y de esta forma aumentar el rendimiento. Finalmente, el material triturado fue guardado en frascos de color ámbar, debidamente identificados y almacenado en una refrigeradora hasta el día de las extracciones, conforme se muestra en el anexo 1.

3.3.1. Caracterización de la materia prima

La caracterización química de la materia prima fue realizada en el Laboratorio de Ingeniería de Procesos (LABIP) de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial. En ese sentido, la humedad se determinó en una estufa (Memmert, modelo 600) a 105 °C, siguiendo el método 930.04 (AOAC, 2019). Asimismo, las cenizas fueron determinadas en una mufla (JSR, modelo JSMF-30T) 550 °C según el método 930.05 (AOAC, 2019). Los lípidos totales se determinaron en un Soxhlet automatizado de la marca (Buchi, modelo Fatextractor E-500) utilizando éter de petróleo como solvente, siguiendo el método 922.06 (AOAC, 2019). Las proteínas se determinaron en un digestor de micro-Kjeldahl (Selecta, modelo PRO-NITRO), siguiendo el método 978.04 (AOAC, 2019) y para el cálculo se utilizó el factor de 6.25 para la conversión de nitrógeno en proteína. Asimismo, la fibra cruda se determinó siguiendo el método 205.003 (NTP 2011). El porcentaje de carbohidratos se determinó por la diferencia de la masa inicial de la materia prima (100g) y el total de la masa de proteínas, lípidos, cenizas y humedad.

3.3.2. Extracción asistida por ultrasonido (EAU)

Los extractos se obtuvieron utilizando un ultrasonido de punta (Biobase), donde se estudiaron la proporción Etanol/Agua (25:75, 50:50 y 75:25 %v/v), tiempo de extracción (3, 6 y 9 min) y potencia (270, 360 y 450 watts), siendo definidos de acuerdo con las

limitaciones del equipo, conforme se muestra en la Tabla 2. El proceso de la extracción por ultrasonido se muestra en el anexo 2. Además, se fijó la cantidad de muestra en 3 g y el volumen del solvente (etanol) en 25 mL. El diseño experimental empleado fue el Box-Behnken, donde se evaluaron tres variables: proporción etanol/agua (%v/v), tiempo de extracción (min) y potencia aplicada (watts). Cabe señalar que para la variable independiente (proporción etanol/agua) se tomó como referencia el “etanol de 96°”. Asimismo, las variables respuestas que fueron evaluados por el diseño fueron el rendimiento global (X_0), contenido de compuestos fenólicos (TPC), capacidad antioxidante por los métodos (DPPH y ABTS) y la concentración de capsaicina en los extractos (CC). En la Tabla 3 se muestra los valores codificados y reales que fueron utilizados en el diseño de Box-Behnken.

Tabla 2

Valores codificados y reales para el diseño de Box-Behnken

Variables	Niveles		
	-1	0	1
(X_1) proporción etanol/agua (%v/v)	25/75	50/50	75/25
(X_2) Tiempo de extracción (min)	3	6	9
(X_3) Potencia aplicada (watts)	270	360	450

Tabla 3

Diseño experimental tipo Box-Behnken con valores codificados y reales

X_1 =	Experimento	Variables codificadas			Variables reales		
		X_1	X_2	X_3	X_1	X_2	X_3
	1	-1	-1	0	25:75	3	360
	2	+1	-1	0	75:25	3	360
	3	-1	+1	0	25:75	9	360
	4	+1	+1	0	75:25	9	360
	5	-1	0	-1	25:75	6	270
	6	+1	0	-1	75:25	6	270
	7	-1	0	+1	25:75	6	450
	8	+1	0	+1	75:25	6	450
	9	0	-1	-1	50:50	3	270
	10	0	+1	-1	50:50	9	270
	11	0	-1	+1	50:50	3	450
	12	0	+1	+1	50:50	9	450
	13	0	0	0	50:50	6	360
	14	0	0	0	50:50	6	360
	15	0	0	0	50:50	6	360

Proporción etanol/agua (%v/v); X_2 = Tiempo de extracción (min); X_3 = Potencia aplicada (watts)

Posterior a la extracción los extractos fueron guardados en frascos ámbar debidamente rotulados y almacenados en un refrigerador (marca Samsung, modelo RT38K593058) hasta el momento de los análisis.

3.3.3. Rendimiento global de extracción (X_0)

“El rendimiento global de extracción (X_0) se define como la razón máxima de soluto que puede ser extraído a partir de una materia prima en determinadas condiciones de temperatura, presión y solvente” (Pereira & Meireles, 2010). El porcentaje del rendimiento de los extractos que se obtuvieron fue calculado relacionando la masa total de extracto (M_{extracto}) y la masa de la muestra en base seca (M_{muestra}), de acuerdo con la Ecuación 1.

$$X_0 = \frac{M_{\text{extracto}}}{M_{\text{muestra}}}$$

Ecuación 1

Cabe señalar que la M_{extracto} fue determinada retirando 8.0 mL a partir de los extractos líquidos para ser colocados en frascos previamente pesados. A seguir, los frascos fueron llevados a estufa convencional a 105 °C donde se dejaron hasta peso constante. En ese sentido, el cálculo de la M_{extracto} fue realizado a partir del volumen inicial de cada extracto. Asimismo, los valores experimentales y predichos por el modelo se muestran en el anexo 3.

3.3.4. Análisis de la composición química de los extractos

Los extractos obtenidos en cada experimento realizado, fueron guardados y almacenados en una refrigeradora a una temperatura de -18°C, hasta el momento de los análisis. Cabe indicar que los valores experimentales y predichos por el modelo sobre la composición química de los extractos se muestran en el anexo 4, 5, 6 y 7.

3.3.4.1. Compuestos fenólicos totales (TPC)

Según Singleton et al. (1999), “la determinación del contenido total de fenólicos presente en los extractos fue realizado por el método espectrofotométrico de Folin – Ciocalteu, con algunas adecuaciones para los extractos vegetales que se obtuvieron”. A los tubos de ensayo se adiciono una alícuota de la solución etanol/extracto y del reactivo de Folin-Ciocalteu. Después de 5 minutos, se puso la solución acuosa de carbonato de sodio 7%. Las soluciones permanecieron durante 30 minutos en reposo, protegidas de la luz, y finalmente la absorbancia se determinó a 765 nm en un espectrofotómetro (Thermoscientific, modelo Genesys 50). La curva de calibración fue construida utilizando

el patrón de ácido gálico y los resultados fueron expresados en miligramos equivalentes de ácido gálico por gramo de extracto (mg EAG/g de extracto).

3.3.4.2. Actividad antioxidante (DPPH - 1.1-difenil-2-picrilhidrazilo)

La metodología empleada está basada en la captura de radicales libres, además es considerado un método fácil de utilizar ya que es rápido, práctico y de buena estabilidad Brand-Williams et al. (1995). El DPPH tiene una absorbancia a 515 nm y su radical de nitrógeno es estable y presenta un color violeta. Primero se preparó la curva de trolox con el fin de representar el porcentaje de inhibición versus la concentración de trolox (μM). En primer lugar, se preparó la solución referencia "DPPH", pesando 0.0985 g de DPPH en 50 mL de etanol. Posterior a la obtención de la solución DPPH se preparó una solución denominada de blanco (3.5 mL de etanol con 300 μL de la solución de referencia) para ser leído en un espectrofotómetro de la marca (Thermoscientific, modelo Genesys 50) a 515 nm. La solución denominada de blanco debe tener una absorbancia de 0.8 para que sea utilizado para los análisis. No se prepararon diluciones, porque todas las absorbancias estaban dentro del rango de la curva.

La determinación del radical de nitrógeno se realizó poniendo en tubos, 500 μL de la solución de solvente/extracto, posteriormente se añadieron 3 mL de etanol y finalmente se colocó 300 μL de la solución de referencia "DDPH", que anteriormente fue estabilizado a una absorbancia de 0.8. Las soluciones se dejaron en reposo por 45 minutos, protegidas de la luz, la lectura se determinó a una absorbancia a 515 nm.

3.3.4.3. Actividad antioxidante (ABTS - ácido 2.2-azinobis (ácido 3-etil-benzotiazolina-6-sulfónico)

El método utilizado presenta cierta ventaja en comparación a los otros métodos, debido que puede ser empleado para muestras solubles en agua y en grasa. En ese sentido, el método empleado fue descrito por Re et al. (1999) con algunas modificaciones.

Para comenzar, se utilizó trolox como antioxidante de referencia, la cual fue diluida en metanol y almacenado como una solución estándar. A continuación, se disolvió 0.0384 g de ABTS y 0.00662 g de Persulfato de Potasio 2.45 mM separadamente en 3 mL de agua destilada. Posteriormente se mezcló las dos soluciones en un balón volumétrico de 10 mL. La mezcla se mantuvo por 16 horas en un lugar oscuro a 25 °C para que se puedan liberar los radicales. La solución ABTS se diluyó en etanol a una relación 1:100 para verificar la absorbancia de 0.70 a 734 nm antes de realizar los análisis. Los antioxidantes en las muestras se determinaron agregando 0.5 mL de extracto en una fiola de 10 mL con etanol. A seguir se añadió una alícuota de 20 μL de la solución de etanol/extracto y 2 mL de la

solución ABTS. Las soluciones se mantuvieron en reposo por 6 minutos, protegidas de la luz. Las lecturas se realizaron a una absorbancia de 734 nm.

3.3.4.3. Cuantificación de capsaicina (CC)

La cuantificación de capsaicina presente en los extractos de ají charapita naranja fue realizado utilizando un espectrofotómetro (Thermoscientific, modelo Genesys 50). Primero se preparó una solución reguladora a una concentración de 1 mg/mL a partir del patrón de capsaicina para determinar la absorbancia de la capsaicina, conforme se muestra en la gráfica del anexo 8. A continuación, se diluyó 10 mg de patrón en 10 mL de etanol grado HPLC, la solución fue guardada en un frasco ámbar. A partir de la solución reguladora se preparó diluciones para la curva de calibración a las siguientes concentraciones (0.02, 0.04, 0.06 y 0.08 mg/mL). Los cálculos fueron realizados para un volumen de 2 mL. A seguir se adiciono en un tubo de ensayo 400 μ L de la solución etanol/extracto y se completó para un volumen de 2 mL, adicionando 1600 μ L de etanol. Si la muestra se encuentra concentrada, se recomienda hacer diluciones para que las absorbancias queden dentro del rango de la curva de calibración. Las absorbancias fueron determinadas en un rango de 292 nm. Finalmente, el contenido de capsaicina en la muestra fue calculada según la Ecuación 2, expresada en unidades de Scoville (US).

$$US = \frac{\text{ug/cm}^3 \text{ de capsaicina (de la curva tipo)}}{0,0667 \frac{\text{ug}}{\text{cm}^3} \times \text{concentración final de la muestra} \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

0.0667 = Es la concentración teórica de capsaicina, la cual se utiliza como un factor de conversión a unidades de Scoville.

CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan los resultados de toda la parte experimental, donde partimos de la caracterización de la materia prima, extracción y caracterización de los extractos.

4.1. Caracterización de la materia-prima

La caracterización del ají charapita naranja se presenta en la Tabla 4, donde se muestra los análisis de lípidos, fibra cruda, cenizas, humedad, proteína total y el contenido de carbohidratos. Cabe señalar que no fueron encontrados en la literatura datos referidos a la caracterización del ají charapita naranja. Todas las corridas experimentales fueron hechas en triplicado.

Tabla 4

Caracterización centesimal del ají charapita naranja (seca y triturada)

Análisis (g/100 g de muestra seca y triturada)	Media \pm Desviación estándar
Lípidos (%)	4.89 \pm 0.014
Fibra cruda (%)	31.10 \pm 0.007
Cenizas (%)	6.18 \pm 0.092
Humedad (%)	3.86 \pm 0.035
Proteína total (%)	13.58 \pm 0.00
Carbohidratos (%)	71.4

El ají charapita estudiado en este trabajo presentan valores diferentes de cenizas, lípidos y proteínas con relación a otras variedades de ají del género *Capsicum*, como por ejemplo (*Capsicum baccatum*, *Capsicum annum*, *Capsicum chinense*). De hecho, estas diferencias observadas podrían estar relacionadas a diversos procesos físicos y factores como las condiciones climáticas, índice de madurez y zonas de producción, entre otras. que influyen en las propiedades químicas y físicas del ají charapita naranja. En ese sentido, podemos mencionar que nuestra materia prima presenta una buena fuente de nutrientes, pudiendo ser aprovechados en la industria alimenticia (como ingrediente), industria cosmética y la industria farmacéutica.

4.2. Extracción asistida por ultrasonido (EAU)

Los ensayos de extracción por ultrasonido fueron realizados tomando como base un planeamiento experimental tipo Box-Behnken, de tres puntos centrales y doce diferentes combinaciones de las variables independientes. La Tabla 5, muestra los valores experimentales obtenidos en el laboratorio, donde se evaluó la influencia de las variables independientes: proporción Etanol/Agua (%v/v), tiempo de extracción (min) y potencia aplicada (watts); sobre las variables dependientes: rendimiento global (%), contenido de compuestos fenólicos (mg EAG/gramo de materia prima), capacidad antioxidante ($\mu\text{mol TE/gramo de materia-prima}$) y concentración de capsaicina (mg/mL). En los resultados podemos observar el mayor rendimiento ($12.33 \pm 0.13\%$). El contenido de compuestos fenólicos (31.65 ± 0.24 mg EAG/gramo de materia prima) y capacidad antioxidante por el método de DPPH (54.87 ± 1.69 $\mu\text{mol TE/gramo de materia prima}$) y ABTS (2966.53 ± 7.86 $\mu\text{mol TE/gramo de materia prima}$). Asimismo, la mayor concentración de capsaicina (184.76 ± 7.33 mg/mL) se encontró a una proporción de Etanol/agua de 50/50 (%v/v), tiempo de extracción de 3 minutos y potencia aplicada de 450 watts.

Los datos experimentales que se muestran en la Tabla 5, fueron analizados con el software Statistica, donde los resultados se generaron con un intervalo de confianza del 95%. Finalmente se obtuvo un modelo polinomial, como se muestra en la Ecuación 3.

$$Y = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + B_3X_3 + B_{11}X_1^2 + B_{22}X_2^2 + \dots + B_{33}X_3^2 + B_{12}X_1X_2 + B_{13}X_1X_3 + B_{23}X_2X_3 \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

Y = Variable respuesta

B_0 = Constante fija

B_1 , B_2 y B_3 = Coeficientes de regresión para los términos de efecto lineal

B_{11} , B_{22} y B_{33} = Términos del efecto cuadrático

B_{12} , B_{13} y B_{23} = Términos del efecto de las interacciones

Los resultados que no tuvieron efecto significativo ($p > 0.05$) en el modelo polinomial fueron eliminados para ser incorporados en el residuo y así obtener un modelo reducido. La validez del modelo se verificó por el ANOVA y la regla del $F_{\text{calculado}}$ mayor al F_{tabulado} . Las tablas de ANOVA se muestran en el anexo, en el siguiente orden: rendimiento global de extracción (Tabla 6), contenido de compuestos fenólicos (Tabla 7), capacidad antioxidante por el método de DPPH (Tabla 8) y ABTS (Tabla 9), y la concentración de capsaicina (Tabla 10).

Tabla 5

Resultados obtenidos por la extracción asistida por ultrasonido

Materia prima – ají charapita naranja								
Experimento	X ₁	X ₂	X ₃	Yld (%)	TPC	CC (mg/mL)	CA (μmol ET/g materia prima)	
							DPPH	ABTS
1	25/75	3	360	11.77 ± 0.27	30.25 ± 1.36	171.95 ± 8.19	48.69 ± 1.59	1530.42 ± 6.57
2	75/25	3	360	9.61 ± 0.16	30.44 ± 0.17	181.71 ± 3.02	51.21 ± 0.01	1964.68 ± 4.28
3	25/75	9	360	11.46 ± 0.01	30.22 ± 1.12	113.72 ± 8.60	45.05 ± 3.56	1840.28 ± 6.77
4	75/25	9	360	10.39 ± 0.13	30.89 ± 0.78	148.07 ± 1.27	51.78 ± 1.55	2095.05 ± 8.96
5	25/75	6	270	11.00 ± 0.12	30.50 ± 0.61	133.23 ± 5.17	47.57 ± 1.05	1585.82 ± 5.67
6	75/25	6	270	9.66 ± 0.17	29.65 ± 0.13	144.21 ± 7.76	51.88 ± 0.87	1844.46 ± 9.81
7	25/75	6	450	12.33 ± 0.13	30.62 ± 0.69	149.39 ± 6.47	48.33 ± 1.65	1657.01 ± 5.97
8	75/25	6	450	10.13 ± 0.03	29.43 ± 0.22	155.79 ± 4.31	50.07 ± 1.19	2289.29 ± 4.98
9	50/50	3	270	10.67 ± 0.08	31.35 ± 0.05	146.65 ± 0.86	51.93 ± 0.95	2403.46 ± 6.97
10	50/50	9	270	10.60 ± 0.17	30.81 ± 0.52	151.22 ± 5.61	53.42 ± 0.45	2211.95 ± 5.29
11	50/50	3	450	10.94 ± 0.18	31.07 ± 0.49	184.76 ± 7.33	53.20 ± 3.06	1855.39 ± 7.96
12	50/50	9	450	11.15 ± 0.08	30.48 ± 1.22	157.42 ± 9.49	48.70 ± 0.53	2427.84 ± 1.29
13	50/50	6	360	11.45 ± 0.07	30.95 ± 0.61	152.13 ± 2.66	51.52 ± 0.71	2542.74 ± 4.88
14	50/50	6	360	11.95 ± 0.06	31.65 ± 0.24	150.00 ± 3.88	52.59 ± 5.57	2966.53 ± 7.86
15	50/50	6	360	11.63 ± 0.14	31.46 ± 0.37	134.25 ± 7.67	54.87 ± 1.69	2390.57 ± 8.76

Resultados fueron expresos como la media ± desviación estándar. X₁ = Proporción etanol/agua (% v/v); X₂ = Tiempo de extracción (min); X₃ = Potencia aplicada (watts); Yld = Rendimiento global (%); TPC = Contenido de compuestos fenólicos (mg EAG/gramo de materia prima); CC = Concentración de capsaicina; CA = Capacidad antioxidante, fue expresada como μmol TE/gramo de materia prima).

4.2.1. Rendimiento global de extracción (X_0)

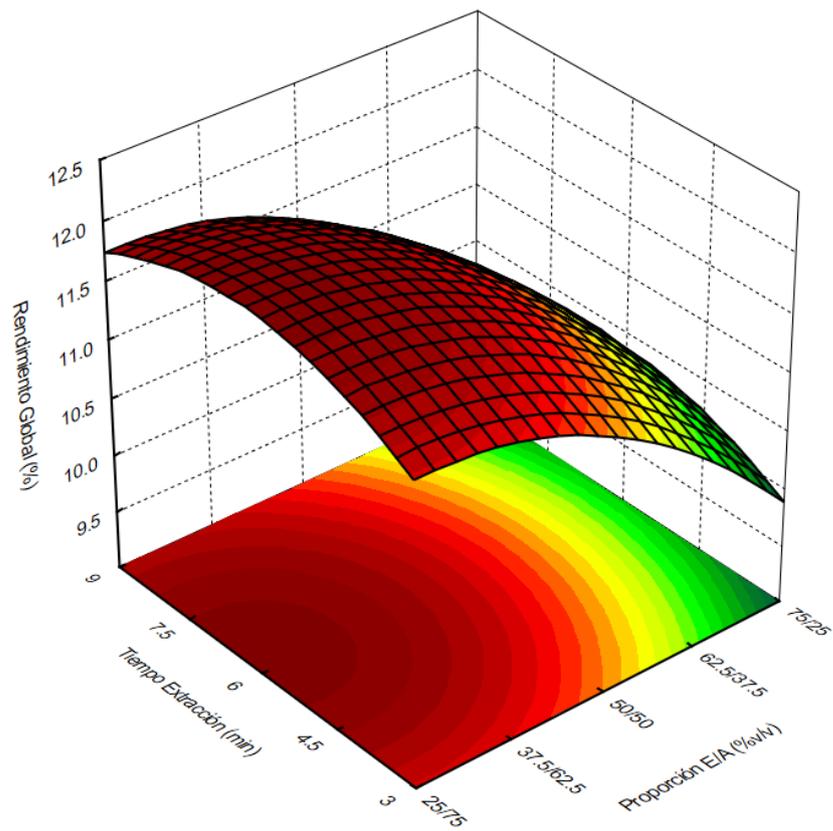
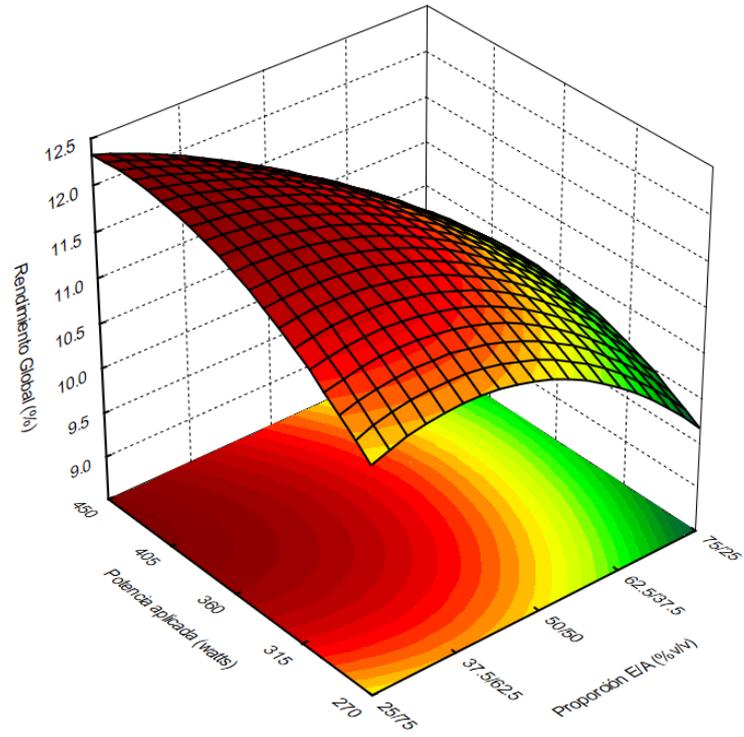
La interpretación del ANOVA para el rendimiento global de extracción se muestra en la Tabla 6. El valor de $F_{\text{calculado}}$ fue mayor al valor de p-valor a un nivel de confianza del 95%, evidenciando el ajuste por los modelos y la relación entre las variables independientes.

Tabla 6

ANOVA – Rendimiento global de extracción

Fuente de variación	Suma cuadrática	Grados de libertad	Media cuadrática	F_{calc}	p-Valor
(X_1) Proporción E/A (% v/v)	5.798064	2	2.899032	44.35820	0.022047
(X_2) Tiempo de extracción (min)	0.662910	2	0.331455	5.07160	0.164701
(X_3) Potencia aplicada (watts)	1.654794	2	0.827397	12.66003	0.073206
(X_1) * (X_2)	0.314863	3	0.104954	1.60591	0.405976
(X_1) * (X_3)	0.302710	2	0.151355	2.31589	0.301578
(X_2) * (X_3)	0.020163	1	0.020163	0.30851	0.634433
Error puro	0.130710	2	0.065355		
Total	9.203852	14			

El tiempo de extracción, proporción E/A y potencia aplicada, fueron estudiados para observar su influencia sobre el rendimiento global de extracción a partir del ají charapita naranja (seco y triturado). La Figura 4 nos muestra que el mayor rendimiento ($12.33 \pm 0.13\%$) fue observado a una proporción de E/A de 25/75 %v/v, 6 minutos de tiempo de extracción y 450 watts de potencia aplicada. El rendimiento aumenta cuanto mayor es la potencia aplicada a la solución que contiene la materia prima, dicho comportamiento puede estar relacionado a que ultrasonido causa una ruptura a la pared intracelular de la materia prima, facilitando la liberación de los activos atrapados. Asimismo, se puede observar que a una proporción de E/A de 75/25 %v/v, independientemente del tiempo y potencia aplicada, rendimiento de recuperación presenta una disminución, esto puede estar relacionado a la polaridad del solvente utilizado ya que sabemos que los capsaicinoides tienen más afinidad por solvente apolares.



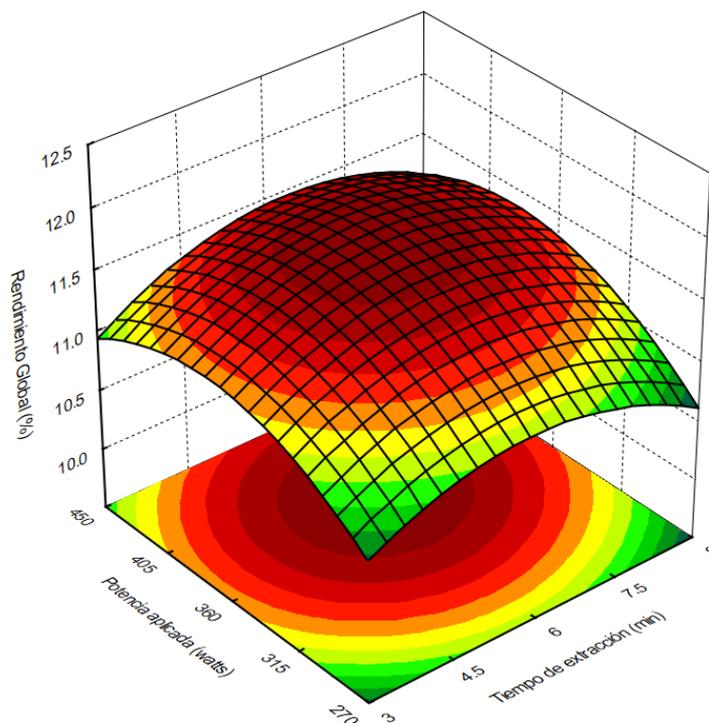


Figura 4.

Superficies de respuesta para el rendimiento global: potencia aplicada x proporción E/A, tiempo de extracción x proporción E/A y potencia aplicada x tiempo de extracción.

El análisis realizado en la Figura 4 también pueden ser observadas en el anexo 9, por medio del efecto de las condiciones de extracción sobre el rendimiento global de extracción.

4.3. Análisis de composición química de los extractos

4.3.1. Contenido total de compuestos fenólicos (TPC)

El modelo polinomial para el análisis de los datos fue ajustado considerando solo los términos significativos. En la Tabla 7 se presentan el análisis de varianza para el contenido de compuestos fenólicos, en ese sentido, el modelo puede ser empleado para fines de predicción por presentar significancia estadística. Asimismo, el valor de $F_{\text{calculado}}$ fue tres veces mayor con relación al valor del F_{tabulado} a 95% de confianza.

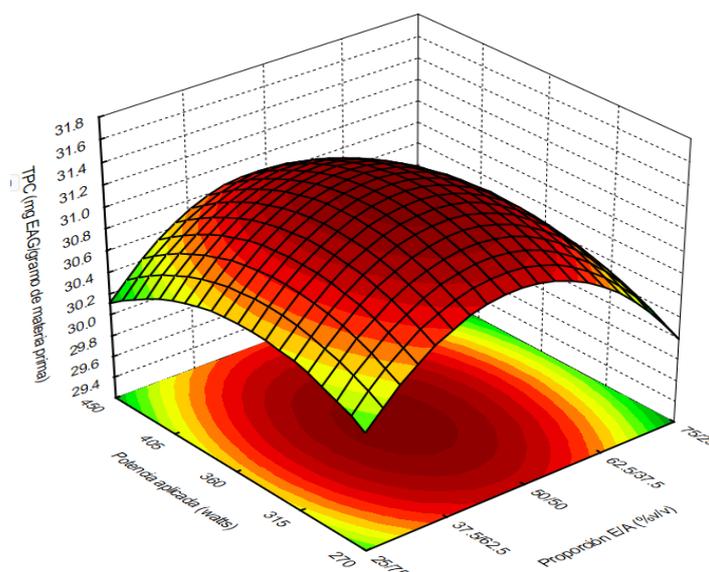
Tabla 7

ANOVA – Contenido de compuestos fenólicos (TPC)

Fuente de variación	Suma cuadrática	Grados de libertad	Media cuadrática	F _{calc}	p-Valor
Regresión	2.75945	1	2.75945	13.48	0.04397
Residuos	2.66187	13	0.20476		
Falta de ajuste	2.40223	11	0.21838		
Error puro	0.25964	2	0.12982		
Total	5.42132	14			

F_{tab} (0,95;1;13) = 4.67

El efecto de las variables independientes: tiempo de extracción, proporción E/A y potencia aplicada, fueron evaluados sobre el contenido de compuestos fenólicos (TPC), como se muestra en la Figura 5. Los experimentos nos indican que la mayor concentración de compuestos fenólicos (31.65 ± 0.24 mg EAG/gramo de materia prima) fue observado a una proporción de E/A de 50/50 %v/v, 6 minutos de tiempo de extracción y 360 watts de potencia aplicada. Por otro lado, se pudo observar que la variable independiente de mayor influencia en la recuperación del contenido fenólico fue la proporción E/A, esto, posiblemente se debe a la naturaleza de los fenólicos que tienen más afinidad por solventes polares. También se observó que a mayor concentración de etanol el contenido fenólico fue menor (29.43 ± 0.22 mg EAG/gramo de materia prima). Entonces, podemos concluir que la proporción adecuada de etanol/agua para la recuperación de compuestos fenólicos es de 50/50 %v/v.

**Figura 5.**

Superficies de respuesta para el contenido de compuestos fenólicos: potencia aplicada x proporción E/A

El análisis realizado en la Figura 5 también pueden ser observadas en el anexo 10, por medio del efecto de las condiciones de extracción sobre el contenido de compuestos fenólicos.

4.3.2. Capacidad antioxidante por el método de DPPH y ABTS

El ANOVA que se muestra en la Tabla 8 y 9, para la capacidad antioxidante por el método de DPPH y ABTS mostraron que el $F_{\text{calculado}}$ es mayor en dos y tres veces con relación a los valores F_{tabulado} a un nivel de confianza del 95%. Asegurando de esta forma que el modelo ofrece significancia estadística y que puede ser empleado para fines predictivos.

Tabla 8

ANOVA – Capacidad antioxidante (DPPH)

Fuente de variación	Suma cuadrática	Grados de libertad	Media cuadrática	F_{calc}	p-Valor
Regresión	33.51997	1	33.51997	7.04	0.077193
Residuos	61.88443	13	4.76034		
Falta de ajuste	56.04197	11	5.09472		
Error puro	5.84246	2	2.92123		
Total	95.4044	14			

$$F_{\text{tab}}(0,95;1;13) = 4.67$$

Tabla 9

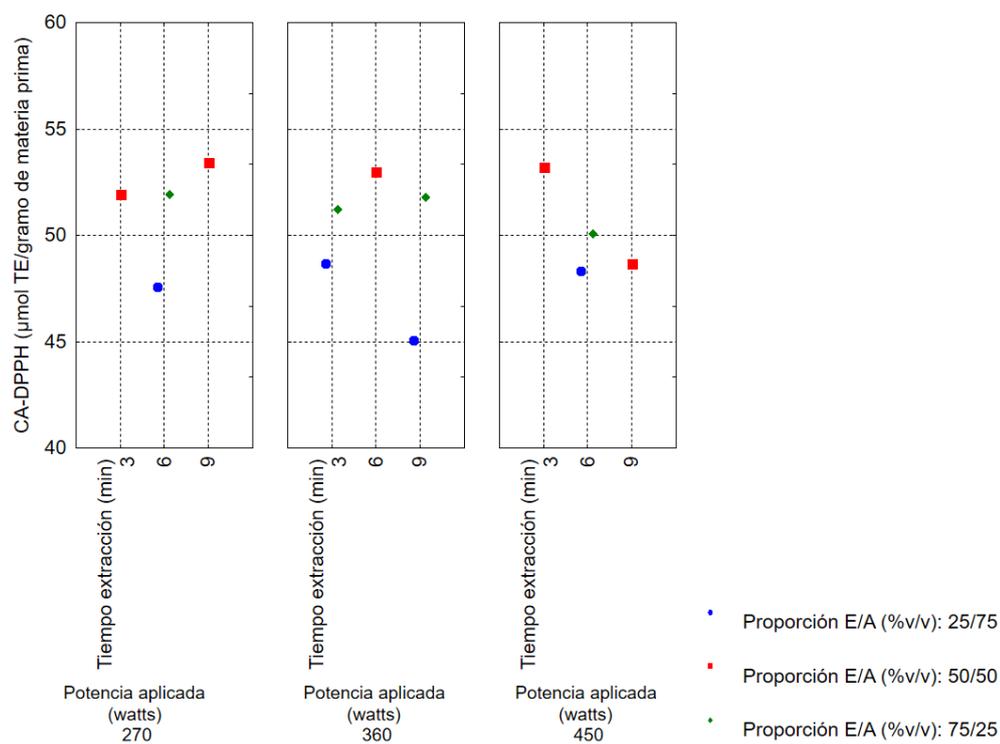
ANOVA - Capacidad antioxidante (ABTS)

Fuente de variación	Suma cuadrática	Grados de libertad	Media cuadrática	F_{calc}	p-Valor
Regresión	1124839	1	1124839	12.72	0.070879
Residuos	1149638	13	88434		
Falta de ajuste	971474	11	88316		
Error puro	178164	2	89082		
Total	2274477	14			

$$F_{\text{tab}}(0,95;1;13) = 4.67$$

En la Figura 6 se observa la influencia del tiempo de extracción, proporción E/A y potencia aplicada, sobre la capacidad antioxidante presente en los extractos de ají charapita naranja. El mayor contenido de antioxidantes por el método de DPPH ($54.87 \pm 1.69 \mu\text{mol TE/gramo}$ de materia prima) y ABTS ($2966.53 \pm 7.86 \mu\text{mol TE/gramo}$ de materia prima) fue observado a una proporción de etanol/agua de 50/50 %v/v, independientemente del tiempo de extracción y potencia aplicada.

(A)



(B)

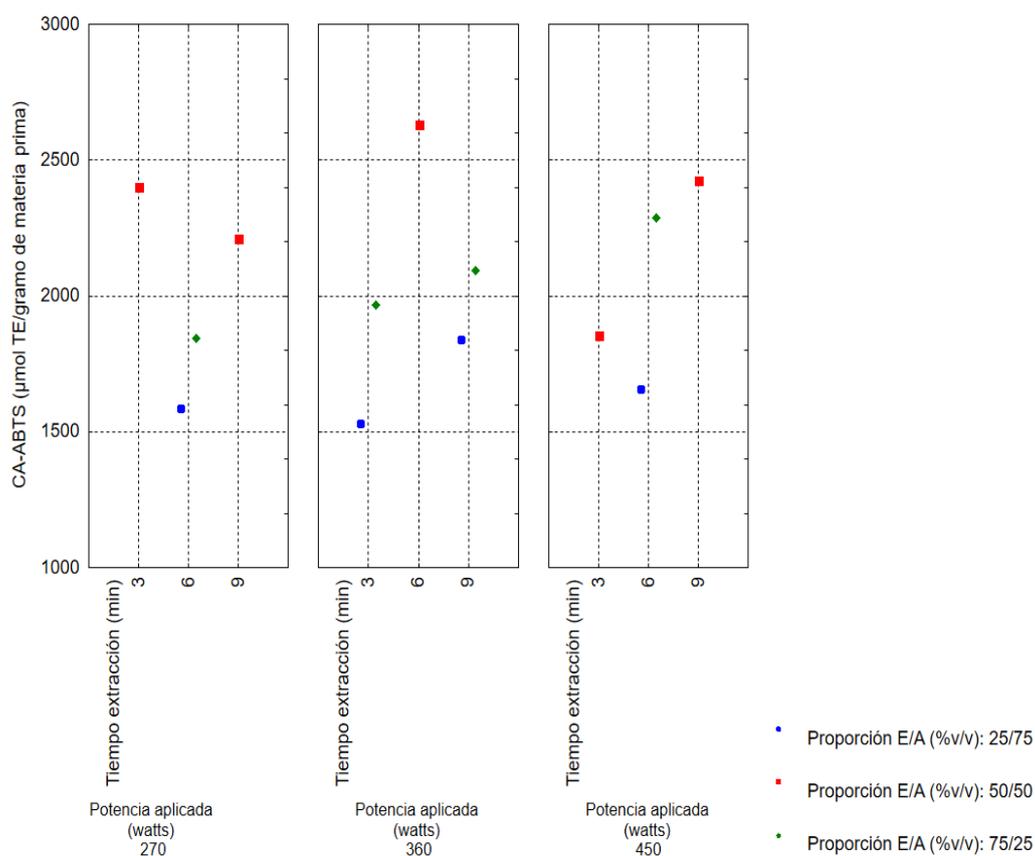


Figura 6.

Efecto de las condiciones de extracción sobre la capacidad antioxidante por el método DPPH (A) y ABTS (B)

Cabe señalar que la capacidad antioxidante no solo depende de la cantidad de extracto presente en el extracto, también depende mucho de la estructura y las interacciones entre los antioxidantes presentes en la muestra. De manera general se observó que el mayor contenido de antioxidantes presente en el extracto está íntimamente relacionado al empleo de solventes polares y es por eso por lo que son fácilmente solubilizados en solventes de mayor polaridad como lo son el etanol y el agua. Sin embargo, los antioxidantes también pueden ser encontrados empleando solventes de diferentes polaridades (Casas et al., 2009).

Finalmente, al analizar el contenido de compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante por los métodos de DPPH y ABTS presente en los extractos, nos muestra que la variable independiente más significativa en el proceso de la extracción fue la proporción etanol/agua 50/50 %v/v. Asimismo, la variación de los valores de la capacidad antioxidante que existe entre los dos métodos empleados podría estar relacionado a las condiciones de pretratamiento de la materia prima. También se observó que el método de ABTS tuvo más presencia para detectar los antioxidantes presentes en los extractos que no fueron detectados por el método de DPPH. Así mismo, en el anexo 11 y anexo 12 se pueden observar las figuras de las superficies de respuestas del contenido de antioxidantes presentes en el extracto de ají charapita naranja.

4.3.3. Concentración de la capsaicina (CC)

El modelo polinomial fue ajustado considerando solo los términos significativos. En la Tabla 10 se muestra el ANOVA para la concentración de capsaicina, donde podemos observar que el $F_{\text{calculado}}$ fue aproximadamente dos veces mayor que el valor de F_{tabulado} a un nivel de significancia del 95 %. En ese sentido, podemos asegurar la significancia estadística del modelo.

Tabla 10

ANOVA – Concentración de capsaicina

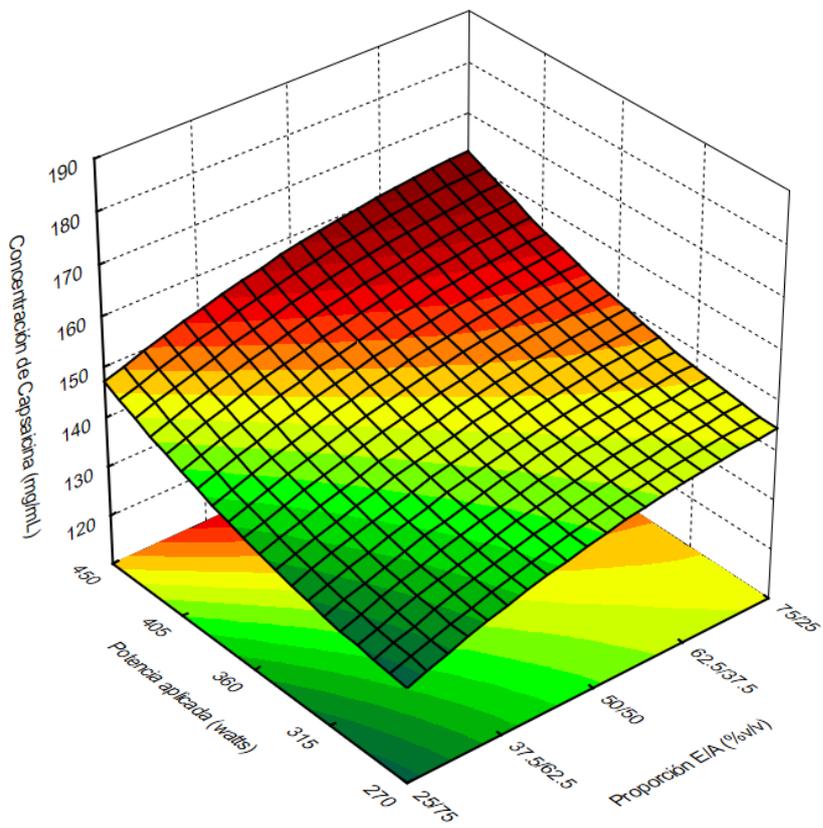
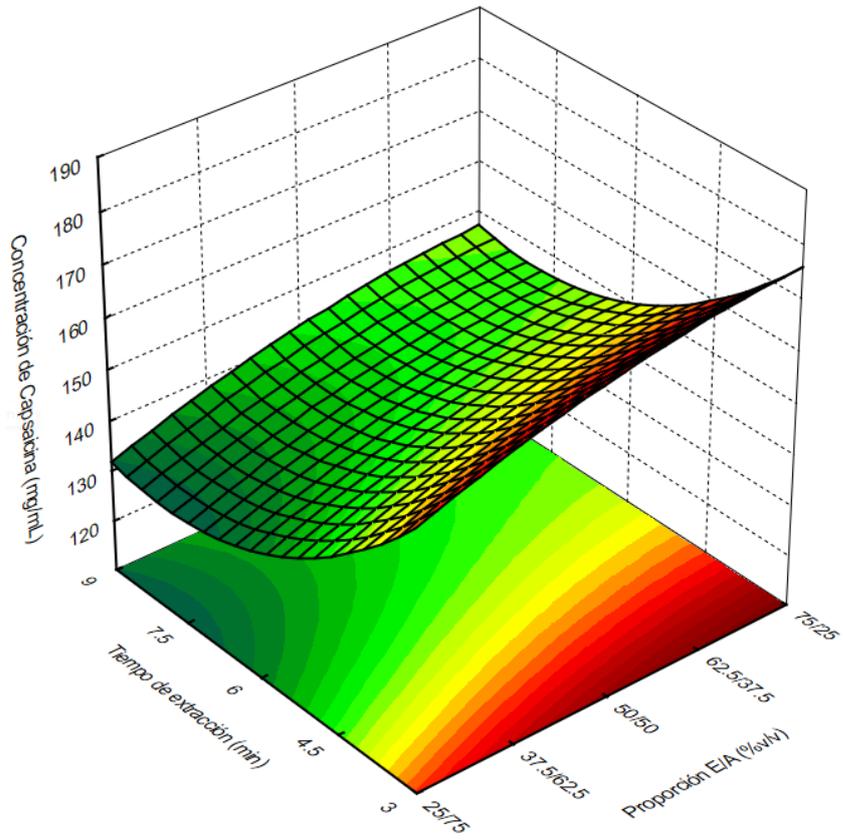
Fuente de variación	Suma cuadrática	Grados de libertad	Media cuadrática	F_{calc}	p-Valor
Regresión	1642.62	1	1642.62	7.11	0.05348
Residuos	3001.70	13	230.90		
Falta de ajuste	2810.830	11	255.53		
Error puro	190.866	2	95.433		
Total	4644.319	14			

$F_{\text{tab}} (0,95;1;13) = 4.67$

En la Figura 7, se puede observar que la mayor concentración de capsaicina se separó utilizando 3 minutos de tiempo de extracción, potencia de 450 watts y una proporción de etanol/agua de 50/50 %v/v. Por otro lado, la menor concentración se observó a una potencia de 360 watts, proporción de etanol/agua de 25/75 %v/v y 9 minutos de aplicación de ultrasonido.

De acuerdo con Vinotoru (2001), el tiempo de sonicación aumenta la eficiencia de recuperación. Tiempos más prolongados resultan en una disminución de la recuperación del analito, debido probablemente a la degradación de estos causado por las ondas ultrasónicas. Lo que explica lo observado durante la parte experimental, donde a mayor tiempo utilizado para las potencias aplicadas de 360 y 450 watts la recuperación fue menor y por tanto la concentración de capsaicina decae.

Cabe señalar, que el solvente (etanol) empleado tuvo cierto efecto con relación a la concentración de capsaicina, en ese sentido, el etanol generalmente es considerado un solvente menos eficiente para la recuperación de la capsaicina, debido a que posee mayor viscosidad y menor difusividad. En ese sentido, la selección del etanol como solvente fue debido a su parte hidrofílica, por tener relación con la estructura molecular de los capsaicinoides.



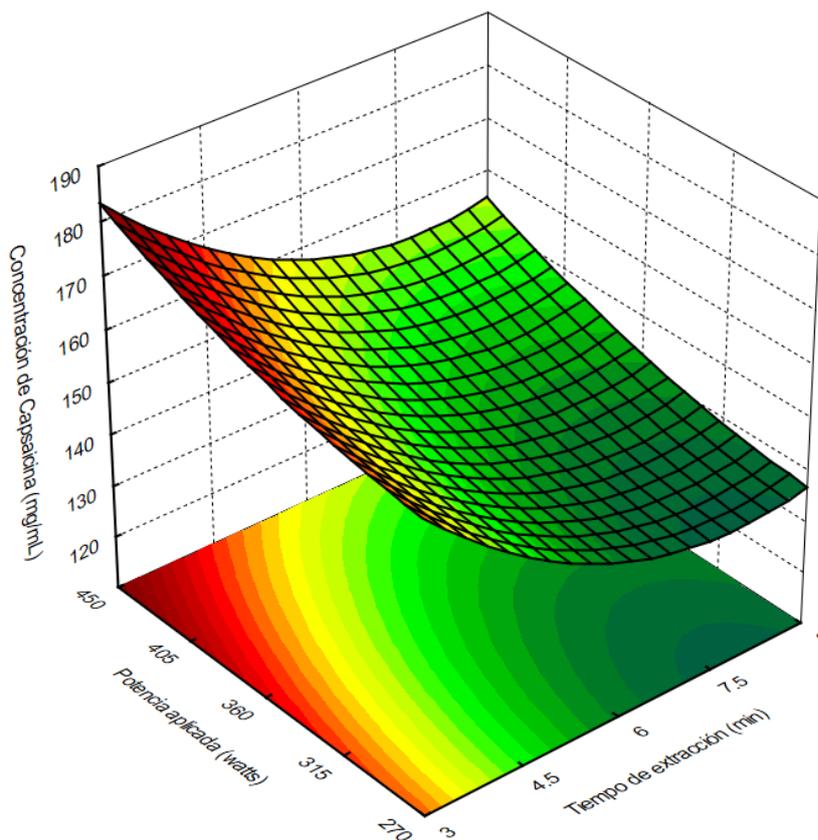


Figura 7.

Superficies de respuesta para la concentración de capsaicina: tiempo de extracción x proporción E/A, potencia aplicada x proporción E/A y potencia aplicada x tiempo de extracción.

Barbero et al. (2008) la extracción de capsaicina empleando metanol y etanol como solvente, observaron que la menor recuperación de capsaicinoides fue cuando emplearon etanol. Asimismo, es bueno resaltar que el agua no es un buen solvente para extraer capsaicinoides, sin embargo, se ha observado que la combinación del agua y solvente extractor ayuda a aumentar el rendimiento de extracción de los analitos de nuestro interés (Rostagno 2003).

El análisis realizado en la Figura 7 también pueden ser observadas en el anexo 13, por medio del efecto de las condiciones del proceso de extracción sobre la concentración de capsaicina.

Asimismo, en el anexo 14, 15, 16, 17 y 18, se muestran las tablas de los coeficientes de regresión para la respuesta rendimiento global de extracción (X_0), contenido de compuestos fenólicos (TPC), capacidad antioxidante por el método de DPPH y ABTS y la concentración de capsaicina (CC).

CONCLUSIONES

1. La extracción de los analitos (compuestos bioactivos) se realizó por una técnica rápida, sencilla, reproducible, llamada de “extracción asistida por ultrasonido - EAU”. Los extractos se obtuvieron a partir de frutos frescos de ají charapita naranja que fueron secadas y trituradas.
2. El ají charapita naranja mostro ser una rica fuente de nutrientes, lo que significa que pueden ser aprovechadas como ingredientes en la industria de alimentos. Asimismo, estos extractos podrían ser utilizados por la industria cosmética y farmacéutica para la elaboración de nuevos productos.
3. Los efectos de las variables independientes que fueron estudiadas: proporción Etanol/Agua (%v/v), tiempo de extracción (min) y potencia aplicada (watts); sobre el contenido de compuestos fenólicos (31.65 ± 0.24 mg EAG/gramo de materia prima), capacidad antioxidante por el método de DPPH (54.87 ± 1.69 μ mol TE/gramo de materia prima), ABTS (2966.53 ± 7.86 μ mol TE/gramo de materia prima) y concentración de capsaicina (184.76 ± 7.33 mg/mL), mostraron cierta influencia en la recuperación de los compuestos bioactivos y rendimiento global de extracción ($12.33 \pm 0.13\%$). Cabe señalar, que la mayor concentración de capsaicina se encontró a una proporción de Etanol/agua de 50/50 (%v/v), tiempo de extracción de 3 minutos y potencia aplicada de 450 watts.
4. Finalmente podemos concluir que la técnica de extracción por ultrasonido es un método adecuado para recuperar compuestos bioactivos, ya que se utilizó cantidades pequeñas de disolventes (etanol), los tiempos de extracción fueron cortos y sobre todo el rendimiento de recuperación fue elevado.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda emplear también otras técnicas de extracción tanto así se tiene la extracción asistida por microondas, extracción por líquido presurizado, extracción por fluidos supercríticos, entre otros. Asimismo, la utilización de otros disolventes, con el fin de determinar su efecto en el rendimiento y separación de otros compuestos.
2. Identificar y cuantificar de los analitos de interés presentes en los extractos.
3. Hacer un estudio del costo de manufactura para el proceso de extracción asistida por ultrasonido, para el aumento de escala.
4. Poner en la palestra a la capsaicina como fuente de valor agregado para diversas aplicaciones sea en la industria cosmética, farmacéutica o alimenticia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AOAC. (2019). Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemistry: Official Methods of Analysis of AOAC International. 21 st Edition, AOAC, Washington DC.
- 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>
- Barrales, F. M., Rezende, C. A., & Martínez, J. (2015). Supercritical CO₂ extraction of passion fruit (*Passiflora edulis* sp.) seed oil assisted by ultrasound. *Journal of Supercritical Fluids*, 104, 183–192. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2015.06.006>
- Bernstein, J., & Phillips, S. (2006). Application of a topical medication containing high-dose capsaicin (0.25%) in a lidocaine-containing vehicle for treatment of painful diabetic neuropathy and postherpetic neuralgia. *The Journal of Pain*, 838, 838. [https://www.jpain.org/article/S1526-5900\(06\)00255-0/fulltext](https://www.jpain.org/article/S1526-5900(06)00255-0/fulltext)
- 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*.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E., & Berset, C. (1995). Use of a Free Radical Method to Evaluate Antioxidant Activity. *Lwt - Food Science and Technology*, 28, 25-30.
- 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 using supercritical carbon dioxide. *Chemical Engineering Journal*, 152(2-3), 301-306.
- Carrera, C., Ruiz-Rodríguez, A., Palma, M., & Barroso, C. G. (2012). Ultrasound assisted extraction of phenolic compounds from grapes. *Analytica Chimica Acta*, 732, 100–104. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2011.11.032>
- Chapa-Oliver, A. M., & Mejía-Teniente, L. (2016). Capsaicin: From plants to a cancer-suppressing agent. *Molecules*, 21(8), 1–14. <https://doi.org/10.3390/molecules21080931>

- Chemat, F., Zill-E-Huma, & Khan, M. K. (2011). Applications of ultrasound in food technology: Processing, preservation and extraction. *Ultrasonics Sonochemistry*, *18*(4), 813–835. <https://doi.org/10.1016/J.ULTSONCH.2010.11.023>
- Chuichulcherm, S., Prommakort, S., Srinophakun, P., & Thanapimmetha, A. (2013). Optimization of capsaicin purification from *Capsicum frutescens* Linn. with column chromatography using Taguchi design. *Industrial Crops and Products*, *44*, 473–479. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.10.007>
- Civan, M., & Kumcuoglu, S. (2019). Green ultrasound-assisted extraction of carotenoid and capsaicinoid from the pulp of hot pepper paste based on the bio-refinery concept. *LWT*, *113*, 108320. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2019.108320>
- Collera-Zúñiga, O., García Jiménez, F., & Meléndez Gordillo, R. (2005). Comparative study of carotenoid composition in three mexican varieties of *Capsicum annum* L. *Food Chemistry*, *90*(1), 109–114. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.03.032>
- De Aguiar, A. C., Sales, L. P., Coutinho, J. P., Barbero, G. F., Godoy, H. T., & Martínez, J. (2013). Supercritical carbon dioxide extraction of *Capsicum* peppers: Global yield and capsaicinoid content. *Journal of Supercritical Fluids*, *81*, 210–216. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2013.05.008>
- Dias, A. L. B., Arroio Sergio, C. S., Santos, P., Barbero, G. F., Rezende, C. A., & Martínez, J. (2016). Effect of ultrasound on the supercritical CO₂ extraction of bioactive compounds from dedo de moça pepper (*Capsicum baccatum* L. var. pendulum). *Ultrasonics Sonochemistry*, *31*, 284–294. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.01.013>
- Dias, A. L. B., Arroio Sergio, C. S., Santos, P., Barbero, G. F., Rezende, C. A., & Martínez, J. (2017). Ultrasound-assisted extraction of bioactive compounds from dedo de moça pepper (*Capsicum baccatum* L.): Effects on the vegetable matrix and mathematical modeling. *Journal of Food Engineering*, *198*, 36–44. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.11.020>
- 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>

- Fernandez Barbero, G. (2007). *Extracción, Análisis, Estabilidad Y Síntesis De Capsaicinoides*. 288.
- Hardy, G. (2000). Nutraceuticals and functional foods: introduction and meaning. *Nutrition*, 16(7–8), 688–689. [https://doi.org/10.1016/S0899-9007\(00\)00332-4](https://doi.org/10.1016/S0899-9007(00)00332-4)
- Hernandez, K., & Velazquez, A. (2018). *Extracción y caracterización de capsaicinoides a partir de desechos orgánicos en la industria de jalapeño verde (capsicum annzstum l.)*. <http://repositorio.uns.edu.pe/bitstream/handle/UNS/2557/23177.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Howard, L. R., Talcott, S. T., Brenes, C. H., & Villalon, B. (2000). Changes in phytochemical and antioxidant activity of selected pepper cultivars (*Capsicum* species) as influenced by maturity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(5), 1713–1720. <https://doi.org/10.1021/jf990916t>
- Iwai, K., Suzuki, T., Fujiwake, H., & Oka, S. (1979). Simultaneous microdetermination of capsaicin and its four analogues by using high-performance liquid chromatography and gas chromatography—mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, 172(1), 303–311. [https://doi.org/10.1016/S0021-9673\(00\)90966-X](https://doi.org/10.1016/S0021-9673(00)90966-X)
- 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*.
- Kidmose, U., Yang, R. Y., Thilsted, S. H., Christensen, L. P., & Brandt, K. (2006). Content of carotenoids in commonly consumed Asian vegetables and stability and extractability during frying. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19(6–7), 562–571. <https://doi.org/10.1016/J.JFCA.2006.01.011>
- Kim, C.-S., Kawada, T., Kim, B.-S., Han, I.-S., Choe, S.-Y., Kurata, T., & Yu, R. (2003). Capsaicin exhibits anti-inflammatory property by inhibiting I κ B- α degradation in LPS-stimulated peritoneal macrophages. *Cellular Signalling*, 15(3), 299–306. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0898-6568\(02\)00086-4](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0898-6568(02)00086-4)

- Koch, M., Arango, Y., Mock, H. P., & Heise, K. P. (2002). Factors influencing α -tocopherol synthesis in pepper fruits. *Journal of Plant Physiology*, *159*(9), 1015–1019. <https://doi.org/10.1078/0176-1617-00746>
- Korel, F., Bağdatlioğlu, N., Balaban, M. Ö., & Hişil, Y. (2002). Ground red peppers: Capsaicinoids content, scoville scores, and discrimination by an electronic nose. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *50*(11), 3257–3261. <https://doi.org/10.1021/jf010537b>
- Lambropoulou, D. A., Konstantinou, I. K., & Albanis, T. A. (2006). Sample pretreatment method for the determination of polychlorinated biphenyls in bird livers using ultrasonic extraction followed by headspace solid-phase microextraction and gas chromatography-mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, *1124*(1–2), 97–105. <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>
- Leonard, S. W., Hardin, K., & Leklem, J. E. (2001). Vitamin B-6 Content of Spices. *Journal of Food Composition and Analysis*, *14*(2), 163–167. <https://doi.org/10.1006/JFCA.2000.0946>
- López, E., Lobato, C., Gómez, A., Romero, N., & Escobar, A. (2011). Extracción y cuantificación espectrofotométrica de capsaicina a partir de chile habanero. *Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, México*.
- Márkus, F., Daood, H. G., Kapitány, J., & Biacs, P. A. (1999). Change in the carotenoid and antioxidant content of spice red pepper (Paprika) as a function of ripening and some technological factors. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *47*(1), 100–107. <https://doi.org/10.1021/jf980485z>
- 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>
- Murakami, K., Ito, M., Htay, H. H., Tsubouchi, R., & Yoshino, M. (2001). Antioxidant Effect of Capsaicinoids on the Metal-catalyzed Lipid Peroxidation. *Biomedical Research*, *22*, 15–17. <https://doi.org/10.2220/biomedres.22.15>
- 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>
- NTP Norma Técnica Peruana 205.003:1980 (Revisada el 2011). (2011). Cereales y menestras. Determinación de la fibra cruda.
- Osuna-García, J. A., Wall, M. M., & Waddell, C. A. (1998). Endogenous Levels of Tocopherols and Ascorbic Acid during Fruit Ripening of New Mexican-Type Chile (*Capsicum annum* L.) Cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *46*(12), 5093–5096. <https://doi.org/10.1021/jf980588h>
- 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, C. G., & Meireles, M. A. A. (2010). *Supercritical Fluid Extraction of Bioactive Compounds: Fundamentals, Applications and Economic Perspectives*. 340–372. <https://doi.org/10.1007/s11947-009-0263-2>
- Paes, J., Dotta, R., Barbero, G. F., & Martínez, J. (2014). Extraction of phenolic compounds and anthocyanins from blueberry (*Vaccinium myrtillus* L.) residues using supercritical CO₂ and pressurized liquids. *Journal of Supercritical Fluids*, *95*, 8–16. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2014.07.025>

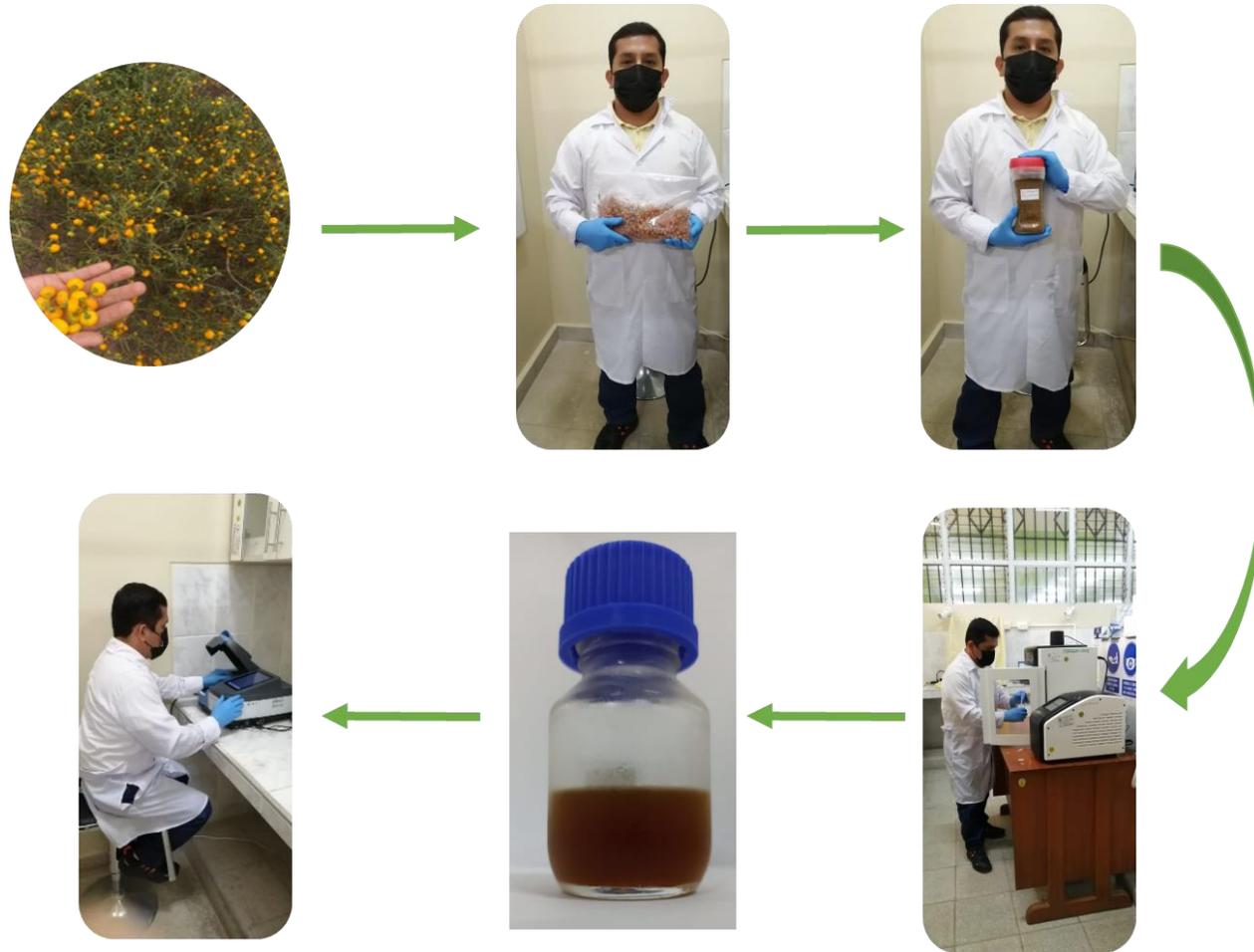
- Palma, M., Sevilla, F., Jiménez, A., Río, L. A., Corpas, F. J., Alvares, P., & M., C. (2015). *Physiology of pepper fruit and the metabolism of antioxidants: chloroplasts, mitochondria and peroxisomes*. 627–636. <https://doi.org/10.1093/aob/mcv121>
- Park, J.-S., Choi, M.-A., Kim, B.-S., Han, I.-S., Kurata, T., & Yu, R. (2000). Capsaicin protects against ethanol-induced oxidative injury in the gastric mucosa of rats. *Life Sciences*, 67(25), 3087–3093. [https://doi.org/10.1016/S0024-3205\(00\)00890-0](https://doi.org/10.1016/S0024-3205(00)00890-0)
- 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>
- Poyrazoğlu, E. S., Yemiş, O., Kadakal, Ç., & Artik, N. (2005). Determination of capsaicinoid profile of different chilli peppers grown in Turkey. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85(9), 1435–1438. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2087>
- Rodriguez Oré, M. E. (2016). *Efecto de diferentes concentraciones de Bencil Aminopurina en la micropropagación de diferentes variedades de ajíes (Capsicum annum l.) en Pucallpa*.
- Rostagno, M. A., Palma, M., & Barroso, C. G. (2003). Ultrasound-assisted extraction of soy isoflavones. *Journal of chromatography. A*, 1012(2), 119–128. [https://doi.org/10.1016/s0021-9673\(03\)01184-1](https://doi.org/10.1016/s0021-9673(03)01184-1)
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free radical biology & medicine*, 26(9-10), 1231–1237. [https://doi.org/10.1016/s0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/s0891-5849(98)00315-3)
- Reyes-Escogido, M. de L., Gonzalez-Mondragon, E. G., & Vazquez-Tzompantzi, E. (2011). Chemical and pharmacological aspects of capsaicin. *Molecules*, 16(2), 1253–1270. <https://doi.org/10.3390/molecules16021253>
- Riva Ruiz, R. (2019). *Manual de cultivo de Ají Charapita (Capsicum frutescens L.)*.
- Santos, P. Dos, Aguiar, A. C., Barbero, G. F., & Real, P. (2014). *Extracción de chile (capsicum frutescens l.) asistida a baja presión*.

- Şahin, S., & Şamli, R. (2013). Optimization of olive leaf extract obtained by ultrasound-assisted extraction with response surface methodology. *Ultrasonics Sonochemistry*, 20(1), 595–602. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2012.07.029>
- Shirsath, S. R., Sonawane, S. H., & Gogate, P. R. (2012). Intensification of extraction of natural products using ultrasonic irradiations—A review of current status. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 53, 10–23. <https://doi.org/10.1016/J.CEP.2012.01.003>
- Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R. M. (1999). [14] Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*, 299, 152–178. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1)
- Sprenger, R. da F., & Cass, Q. B. (2013). Characterization of four *Phyllanthus* species using liquid chromatography coupled to tandem mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, 1291, 97–103. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2013.03.030>
- 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>
- Stoica, R., Moscovici, M., Tomulescu, C., & Băbeanu, N. (2016). Extraction and analytical methods of capsaicinoids - a review. *Scientific Bulletin. Series F. Biotechnologies*, 20(January), 93–98.
- Teramoto, J. R. S., Oliveira, R. F., Santos, A. S., & Rehder, V. L. G. (2008). Avaliação dos teores das lignanas filantina, hipofilantina e nirantina em quebra-pedra (*Phyllanthus amarus* Schumach. & Thonn.), sob condições de deficiência hídrica. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, 10(4), 67–75.
- Vinatoru M. (2001). An overview of the ultrasonically assisted extraction of bioactive principles from herbs. *Ultrasonics sonochemistry*, 8(3), 303–313. [https://doi.org/10.1016/s1350-4177\(01\)00071-2](https://doi.org/10.1016/s1350-4177(01)00071-2)

- Y.-J., S., & S.S., L. (1996). Capsaicin in hot chili pepper: Carcinogen, co-carcinogen or anticarcinogen? *Food and Chemical Toxicology*, 34(3), 313–316. [http://www.embase.com/search/results?subaction=viewrecord&from=export&id=L26103448%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/0278-6915\(95\)00108-5](http://www.embase.com/search/results?subaction=viewrecord&from=export&id=L26103448%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/0278-6915(95)00108-5)
- Yazawa, S., Suetome, N., & Okamoto, T. N. (1989). Content of capsaicinoids and capsaicinoids-like substances in fruit of pepper (*Capsicum annum* L.) hybrids made with “CH-19 Sweet” as a parent. *Japanese Society for Horticultural Science*, 58, 601–607.
- Yolmeh, M., Habibi Najafi, M. B., & Farhoosh, R. (2014). Optimisation of ultrasound-assisted extraction of natural pigment from annatto seeds by response surface methodology (RSM). *Food Chemistry*, 155, 319–324. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.01.059>
- Zewdie, Y., & Bosland, P. W. (2001). Capsaicinoid profiles are not good chemotaxonomic indicators for *Capsicum* species. *Biochemical Systematics and Ecology*, 29(2), 161–169. [https://doi.org/10.1016/S0305-1978\(00\)00041-7](https://doi.org/10.1016/S0305-1978(00)00041-7)

ANEXOS

1. Recolección, tratamiento, extracción y análisis



2. Proceso de extracción por ultrasonido

Materia prima



Secado y triturado

Equipo extractor



Extracto

3. Resultados experimentales del rendimiento global de extracción

Experimento	X ₁	X ₂	X ₃	Yld (%)	Media - Yld (%)	Predicho por el modelo - Yld (%)
				11.48		
1	25/75	3	360	11.83	11.77	11.768
				12.00		
				9.70		
2	75/25	3	360	9.43	9.61	9.614
				9.70		
				11.48		
3	25/75	9	360	11.46	11.46	11.463
				11.46		
				10.41		
4	75/25	9	360	10.25	10.39	10.386
				10.50		
				11.04		
5	25/75	6	270	11.10	11.00	11.003
				10.87		
				9.62		
6	75/25	6	270	9.52	9.66	9.663
				9.85		
				12.27		
7	25/75	6	450	12.23	12.33	12.326
				12.48		
				10.16		
8	75/25	6	450	10.10	10.13	10.129
				10.12		
				10.77		
9	50/50	3	270	10.62	10.67	10.672
				10.62		
				10.46		
10	50/50	9	270	10.56	10.60	10.6031064
				10.79		
				10.83		
11	50/50	3	450	11.15	10.94	10.937
				10.83		
				11.17		
12	50/50	9	450	11.06	11.15	11.152
				11.23		
				11.37		
13	50/50	6	360	11.46	11.45	11.678
				11.52		
				11.89		
14	50/50	6	360	11.97	11.95	11.678
				12.00		
				11.77		
15	50/50	6	360	11.62	11.63	11.678
				11.50		

Resultados fueron expresos como la media \pm desviación estándar. X₁ = Proporción etanol/agua (%v/v); X₂ = Tiempo de extracción (min); X₃ = Potencia aplicada (Watts); Yld = Rendimiento global (%)

4. Resultados experimentales del contenido de compuestos fenólicos

Experimento	X ₁	X ₂	X ₃	TPC	Media - TPC	Predicho por el modelo - TPC
				29.684		
1	25/75	3	360	29.262	30.25	30.249
				31.796		
				30.437		
2	75/25	3	360	30.269	30.44	30.249
				30.606		
				29.939		
3	25/75	9	360	31.459	30.22	30.249
				29.263		
				31.541		
4	75/25	9	360	31.119	30.89	30.249
				30.021		
				30.102		
5	25/75	6	270	30.186	30.50	30.249
				31.199		
				29.680		
6	75/25	6	270	29.511	29.65	30.249
				29.764		
				30.788		
7	25/75	6	450	29.859	30.62	30.249
				31.211		
				29.599		
8	75/25	6	450	29.515	29.43	30.249
				29.177		
				31.375		
9	50/50	3	270	31.375	31.35	31.109
				31.290		
				31.377		
10	50/50	9	270	30.701	30.81	31.109
				30.363		
				31.631		
11	50/50	3	450	30.871	31.07	31.109
				30.702		
				29.773		
12	50/50	9	450	31.884	30.48	31.109
				29.773		
				31.121		
13	50/50	6	360	31.459	30.95	31.109
				30.277		
				31.368		
14	50/50	6	360	31.790	31.65	31.109
				31.790		
				31.289		
15	50/50	6	360	31.880	31.46	31.109
				31.205		

Resultados fueron expresos como la media \pm desviación estándar. X₁ = Proporción etanol/agua (%v/v); X₂ = Tiempo de extracción (min); X₃ = Potencia aplicada (Watts); TPC = Contenido de compuestos fenólicos

5. Resultados experimentales de la capacidad antioxidante - DPPH

Resultados fueron expresos como la media \pm desviación estándar. X_1 = Proporción etanol/agua

Experimento	X_1	X_2	X_3	CA-ABTS	Media - CA-ABTS	Predicho por el modelo - ABTS
				1535.064		
1	25/75	3	360	1525.774	1530.42	1850.877
				1568.001		
				1778.717		
2	75/25	3	360	1967.705	1964.68	1850.877
				1961.654		
				1525.825		
3	25/75	9	360	1835.495	1840.28	1850.877
				1845.066		
				1947.972		
4	75/25	9	360	2101.389	2095.05	1850.877
				2088.721		
				1849.201		
5	25/75	6	270	1581.812	1585.82	1850.877
				1589.834		
				1835.128		
6	75/25	6	270	1843.571	1844.46	1850.877
				1854.689		
				1526.080		
7	25/75	6	450	1661.231	1657.01	1850.877
				1652.784		
				2285.770		
8	75/25	6	450	2292.808	2289.29	1850.877
				2468.745		
				2408.383		
9	50/50	3	270	2398.530	2403.46	2399.782
				2201.467		
				2208.216		
10	50/50	9	270	2215.691	2211.95	2399.782
				2046.769		
				1861.017		
11	50/50	3	450	1849.755	1855.39	2399.782
				2342.460		
				2131.301		
12	50/50	9	450	2426.924	2427.84	2399.782
				2428.754		
				2229.619		
13	50/50	6	360	2539.289	2542.74	2399.782
				2546.186		
				2972.091		
14	50/50	6	360	2960.973	2966.53	2399.782
				2806.169		
				2736.260		
15	50/50	6	360	2396.761	2390.57	2399.782
				2384.374		

(%v/v); X_2 = Tiempo de extracción (min); X_3 = Potencia aplicada (Watts); CA = Capacidad antioxidante

6. Resultados experimentales de la capacidad antioxidante - ABTS

Resultados fueron expresos como la media \pm desviación estándar. X_1 = Proporción etanol/agua

Experimento	X_1	X_2	X_3	CA-ABTS	Media - CA-ABTS	Predicho por el modelo - ABTS
				1535.064		
1	25/75	3	360	1525.774	1530.42	1850.877
				1568.001		
				1778.717		
2	75/25	3	360	1967.705	1964.68	1850.877
				1961.654		
				1525.825		
3	25/75	9	360	1835.495	1840.28	1850.877
				1845.066		
				1947.972		
4	75/25	9	360	2101.389	2095.05	1850.877
				2088.721		
				1849.201		
5	25/75	6	270	1581.812	1585.82	1850.877
				1589.834		
				1835.128		
6	75/25	6	270	1843.571	1844.46	1850.877
				1854.689		
				1526.080		
7	25/75	6	450	1661.231	1657.01	1850.877
				1652.784		
				2285.770		
8	75/25	6	450	2292.808	2289.29	1850.877
				2468.745		
				2408.383		
9	50/50	3	270	2398.530	2403.46	2399.782
				2201.467		
				2208.216		
10	50/50	9	270	2215.691	2211.95	2399.782
				2046.769		
				1861.017		
11	50/50	3	450	1849.755	1855.39	2399.782
				2342.460		
				2131.301		
12	50/50	9	450	2426.924	2427.84	2399.782
				2428.754		
				2229.619		
13	50/50	6	360	2539.289	2542.74	2399.782
				2546.186		
				2972.091		
14	50/50	6	360	2960.973	2966.53	2399.782
				2806.169		
				2736.260		
15	50/50	6	360	2396.761	2390.57	2399.782
				2384.374		

(%v/v); X_2 = Tiempo de extracción (min); X_3 = Potencia aplicada (Watts); CA = Capacidad antioxidante

7. Resultados experimentales de la concentración de capsaicina

Resultados fueron expresos como la media \pm desviación estándar. X_1 = Proporción etanol/agua

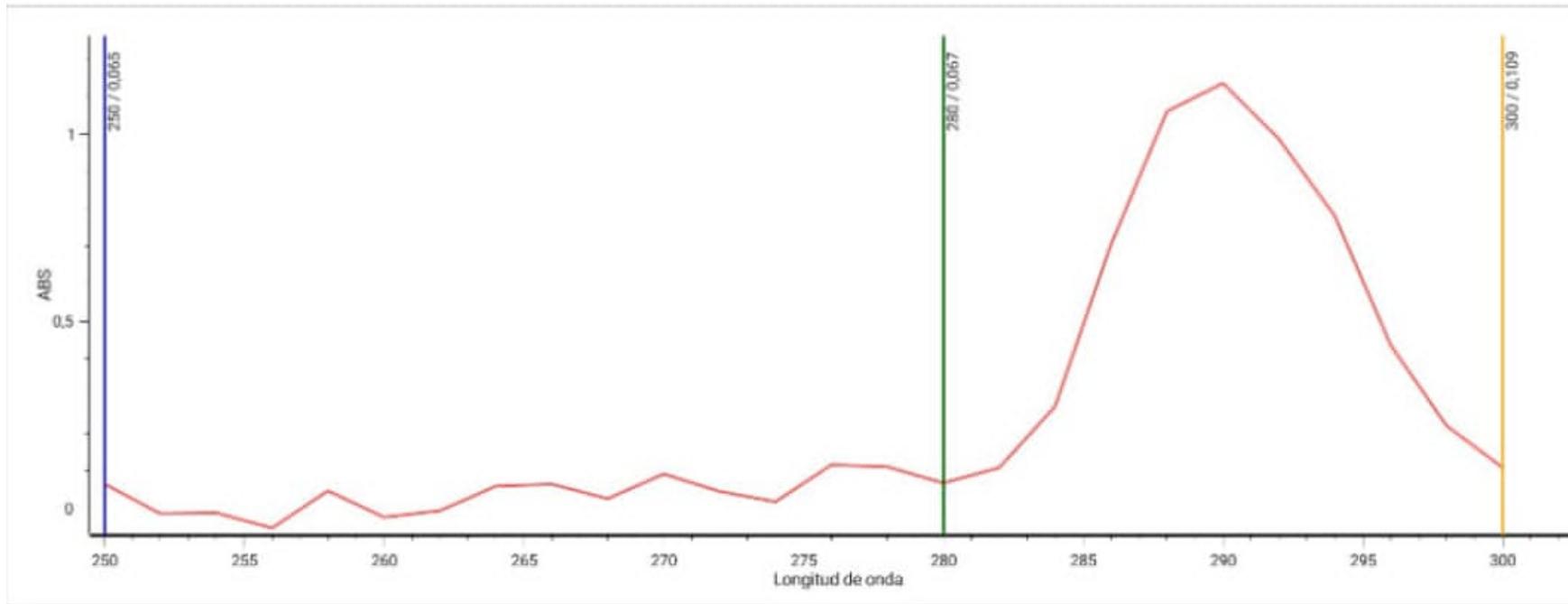
Experimento	X_1	X_2	X_3	CC (mg/mL)	Media - CC (mg/mL)	Predicho por el modelo - CC (mg/mL)
				177.744		
1	25/75	3	360	166.159	171.95	165.962
				114.329		
				183.841		
2	75/25	3	360	179.573	181.71	165.962
				161.280		
				104.573		
3	25/75	9	360	114.939	113.72	137.304
				121.646		
				146.646		
4	75/25	9	360	148.476	148.07	137.304
				149.085		
				103.963		
5	25/75	6	270	136.890	133.23	151.633
				129.573		
				138.720		
6	75/25	6	270	149.695	144.21	151.633
				116.768		
				144.817		
7	25/75	6	450	153.963	149.39	151.633
				129.573		
				152.744		
8	75/25	6	450	158.841	155.79	151.633
				133.841		
				147.256		
9	50/50	3	270	146.037	146.65	165.962
				146.037		
				135.061		
10	50/50	9	270	155.183	151.22	137.304
				147.256		
				128.354		
11	50/50	3	450	179.573	184.76	165.962
				189.939		
				148.476		
12	50/50	9	450	156.402	157.42	137.304
				167.378		
				150.915		
13	50/50	6	360	150.305	152.13	151.633
				155.183		
				152.744		
14	50/50	6	360	147.256	150.00	151.633
				130.793		
				142.378		
15	50/50	6	360	127.134	134.25	151.633
				133.232		

(%v/v); X_2 = Tiempo de extracción (min); X_3 = Potencia aplicada (Watts); CA = Capacidad antioxidante

8. Espectro para determinar la absorbancia de la capsaicina

Intervalo 2,0 nm

Velocidad Rápida



Ejemplo

ABS(250)

ABS(280)

ABS(300)

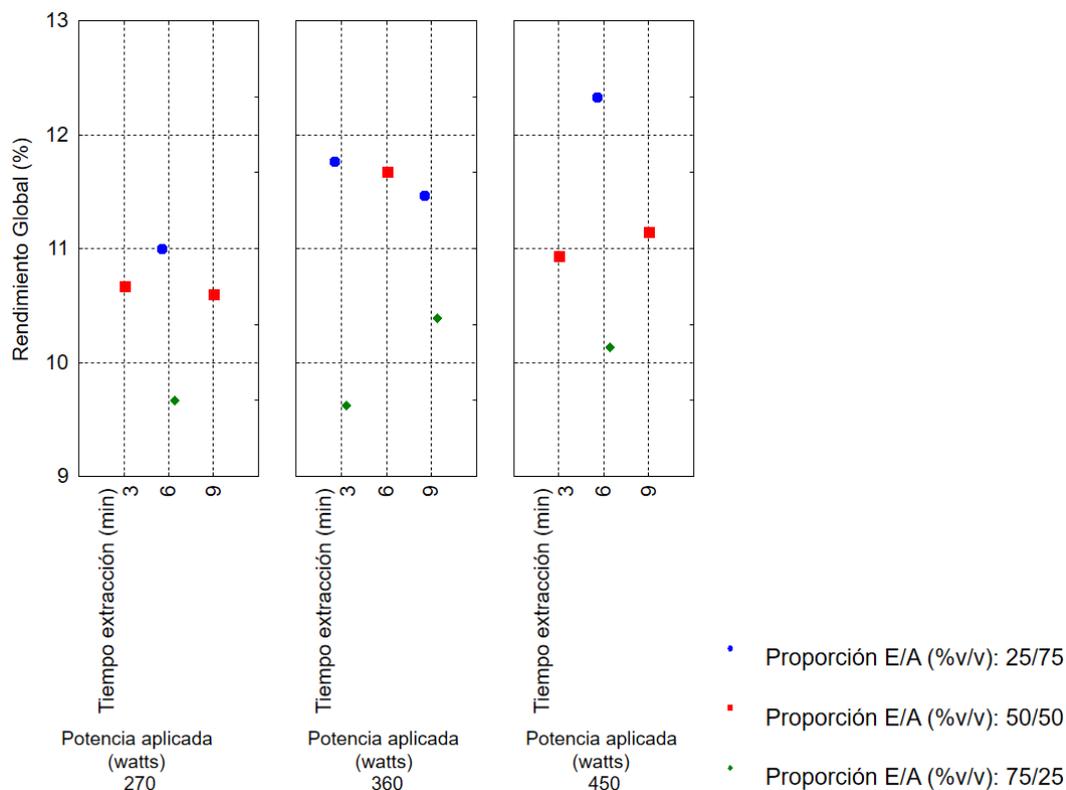
Ejemplo 1

0,065

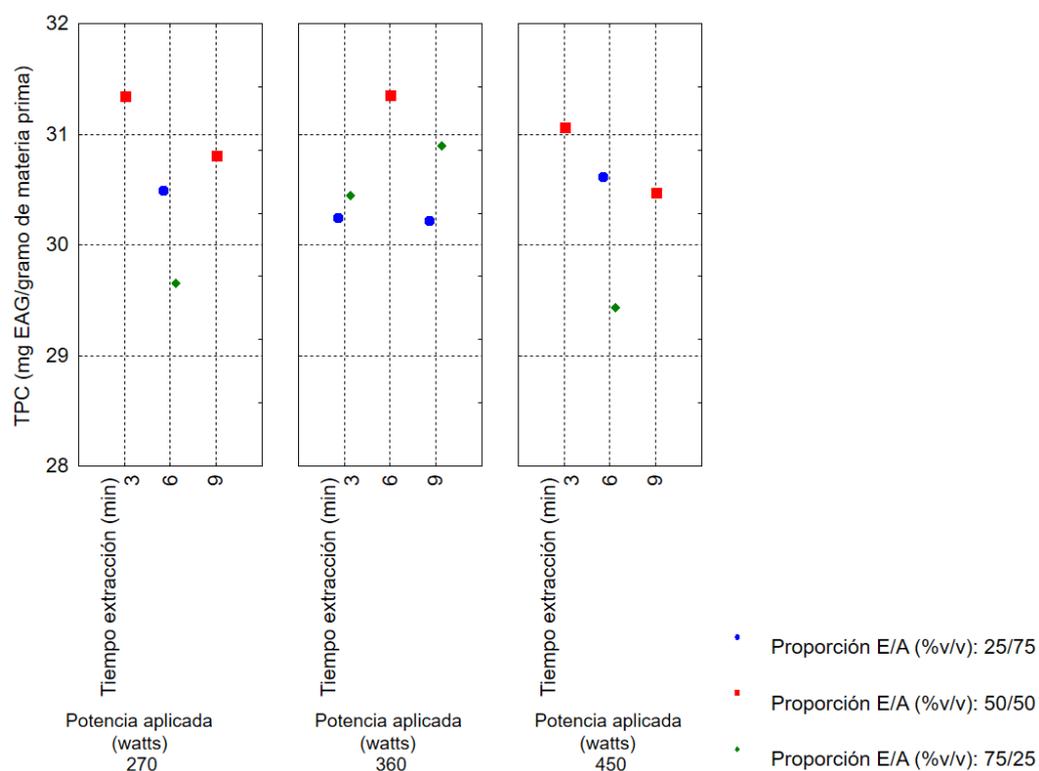
0,067

0,109

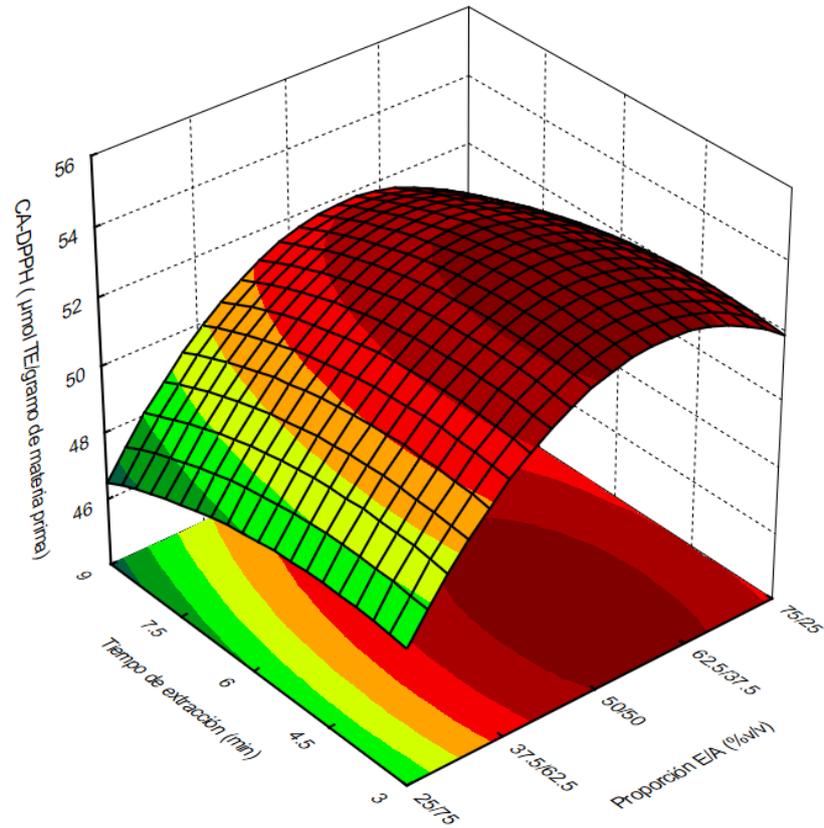
9. Efecto de las condiciones de extracción sobre el rendimiento global de extracción

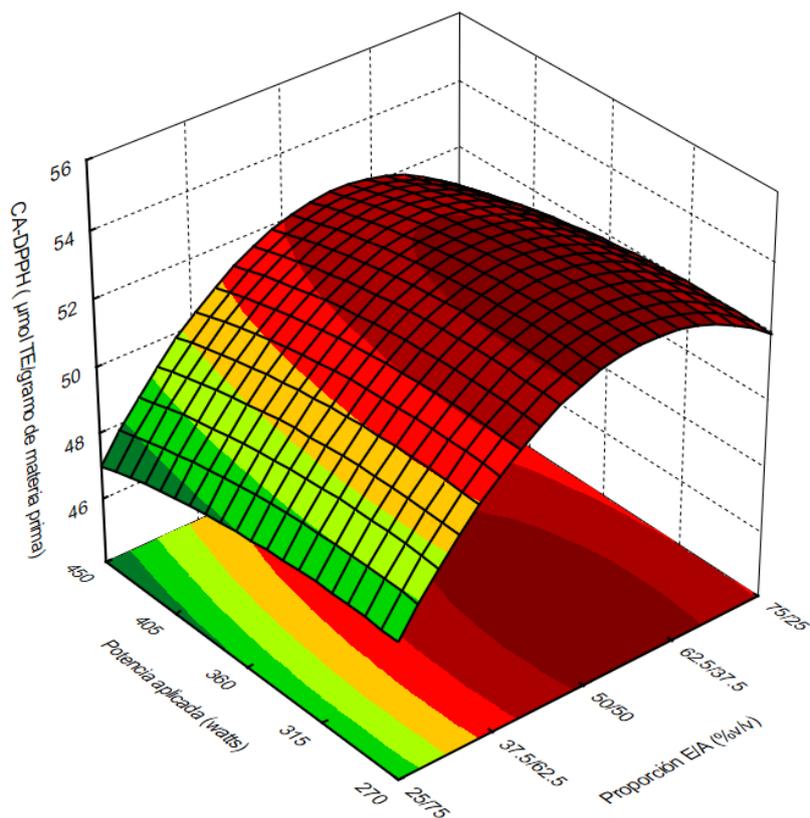


10. Efecto de las condiciones de extracción sobre el contenido de compuestos fenólicos (TPC)

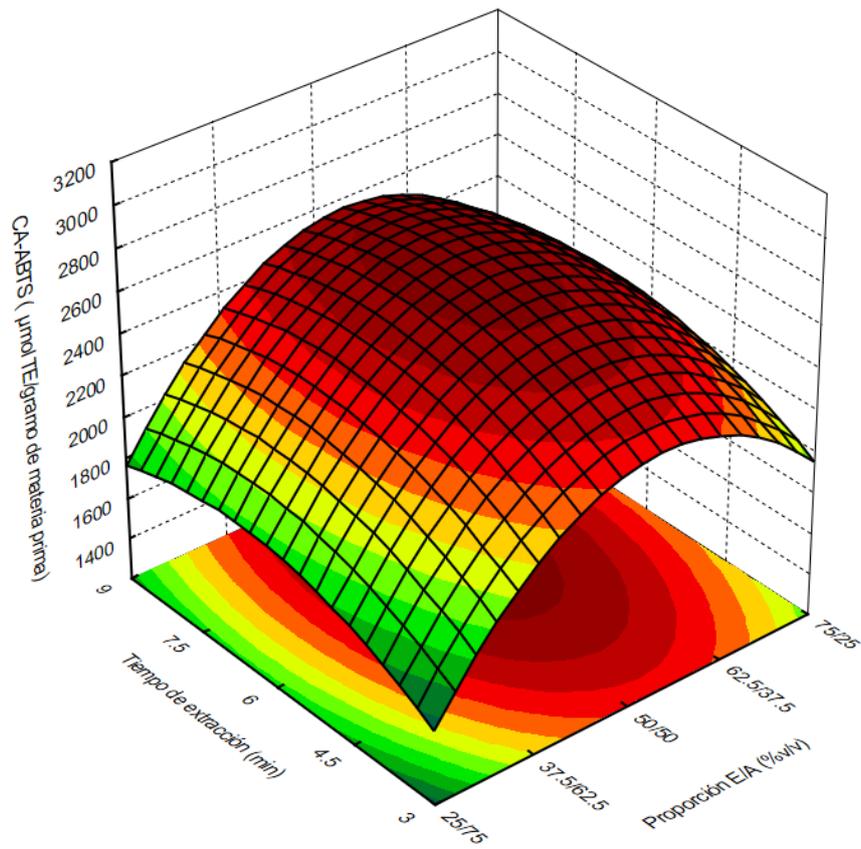
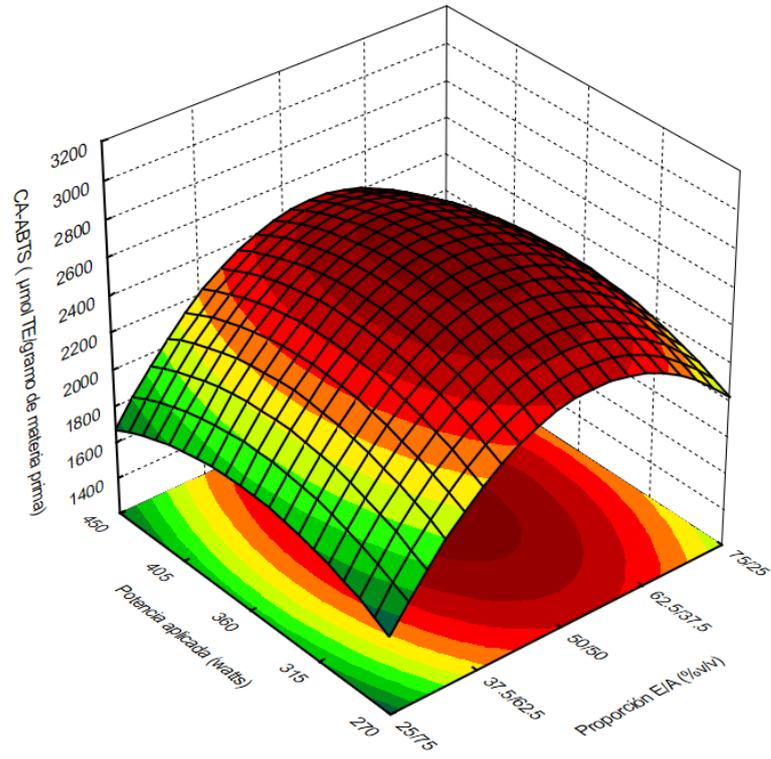


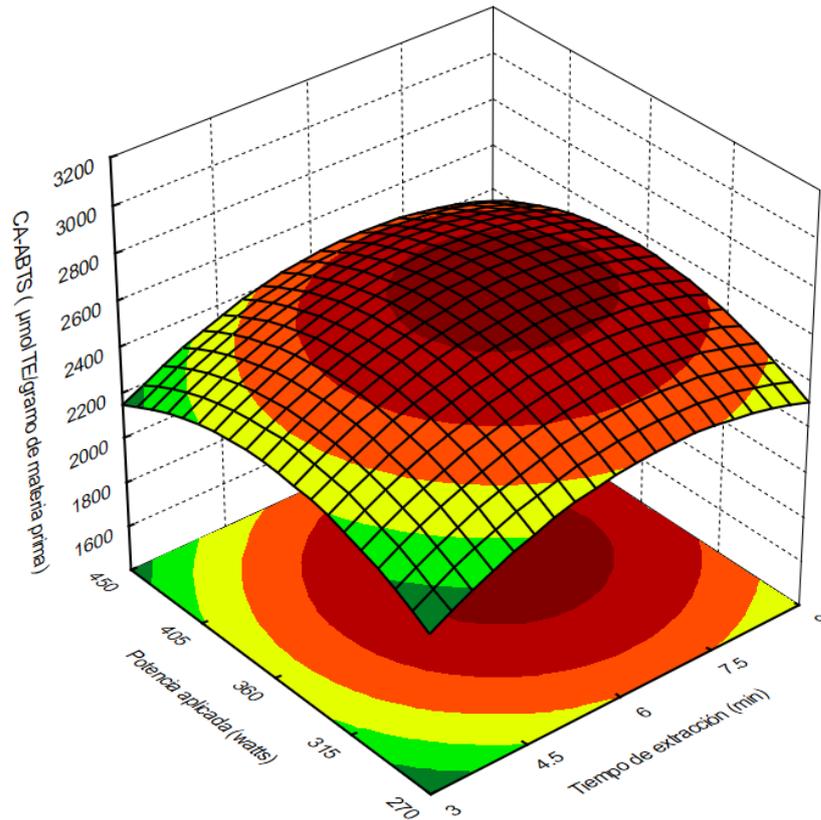
11. Superficie de respuesta para la capacidad antioxidante por el método de DPPH: tiempo de extracción x proporción E/A y potencia aplicada x proporción E/A.



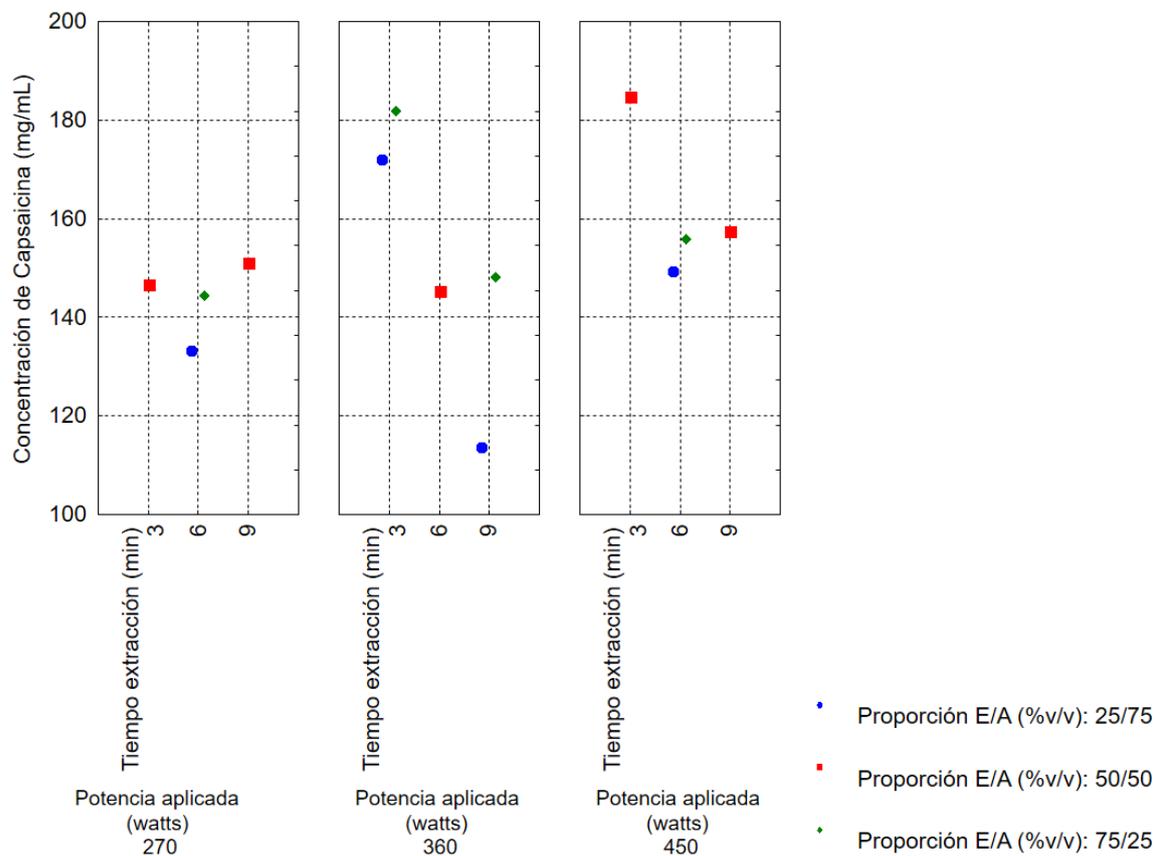


12. Superficie de respuesta para la capacidad antioxidante por el método de ABTS: potencia aplicada x proporción E/A, tiempo de extracción x proporción E/A y potencia aplicada x tiempo de extracción.





13. Efecto de las condiciones de extracción sobre la concentración de capsaicina



14. Coeficientes de regresión – Rendimiento global de extracción (X₀)

Factores	Coefficiente de regresión	Desviación estándar	p-Valor	Lim. Conf.-95%	Lim. Conf.+95%
Media	11.67768	0.147597	0.000160	11.04262	12.31274
(X ₁) Proporción E/A (% v/v) (L)	-0.88415	0.127823	0.020268	-1.43413	-0.33417
(X ₁) Proporción E/A (% v/v) (C)	-0.46503	0.133043	0.073000	-1.03747	0.10740
(X ₂) Tiempo de extracción (min) (L)	0.03663	0.127823	0.801380	-0.51334	0.58661
(X ₂) Tiempo de extracción (min) (C)	-0.40460	0.133043	0.093249	-0.97703	0.16784
(X ₃) Potencia aplicada (watts) (L)	0.20347	0.127823	0.252427	-0.34651	0.75345
(X ₃) Potencia aplicada (watts) (C)	-0.43215	0.133043	0.083132	-1.00458	0.14029
(X ₁ L) * (X ₂ L)	0.26942	0.127823	0.169596	-0.28056	0.81940
(X ₁ L) * (X ₂ C)	0.07628	0.180769	0.714091	-0.70151	0.85406
(X ₁ C) * (X ₂ L)	0.08023	0.180769	0.700562	-0.69756	0.85802
(X ₁ L) * (X ₃ L)	-0.21426	0.127823	0.235693	-0.76423	0.33572
(X ₁ C) * (X ₃ L)	0.24402	0.180769	0.309537	-0.53377	1.02180
(X ₂ L) * (X ₃ L)	0.07100	0.127823	0.634433	-0.47898	0.62098

15. Coeficientes de regresión – Contenido de compuestos fenólicos (TPC)

Factores	Coefficiente de regresión	Desviación estándar	p-Valor	Lim. Conf.-95%	Lim. Conf.+95%
Media	31.35331	0.208023	0.000044	30.45826	32.24836
(X ₁) Proporción E/A (% v/v) (L)	-0.50845	0.180153	0.105961	-1.28358	0.26669
(X ₁) Proporción E/A (% v/v) (C)	-0.89024	0.187509	0.041614	-1.69703	-0.08345
(X ₂) Tiempo de extracción (min) (L)	-0.28101	0.180153	0.259153	-1.05615	0.49412
(X ₂) Tiempo de extracción (min) (C)	-0.01328	0.187509	0.949983	-0.82007	0.79351
(X ₃) Potencia aplicada (watts) (L)	-0.15381	0.180153	0.483179	-0.92894	0.62133
(X ₃) Potencia aplicada (watts) (C)	-0.41386	0.187509	0.158012	-1.22065	0.39293
(X ₁ L) * (X ₂ L)	0.12090	0.180153	0.571271	-0.65423	0.89604
(X ₁ L) * (X ₂ C)	0.72433	0.254775	0.104657	-0.37188	1.82053
(X ₁ C) * (X ₂ L)	0.38835	0.254775	0.266923	-0.70786	1.48455
(X ₁ L) * (X ₃ L)	-0.08626	0.180153	0.679303	-0.86140	0.68887
(X ₁ C) * (X ₃ L)	0.12945	0.254775	0.661888	-0.96676	1.22566
(X ₂ L) * (X ₃ L)	-0.01460	0.180153	0.942773	-0.78974	0.76053

16. Coeficientes de regresión – capacidad antioxidante (DPPH)

Factores	Coefficiente de regresión	Desviación estándar	p-Valor	Lim. Conf.-95%	Lim. Conf.+95%
Media	52.99427	0.986784	0.000347	48.74848	57.24006
(X ₁) Proporción E/A (% v/v) (L)	1.51286	0.854580	0.218696	-2.16410	5.18982
(X ₁) Proporción E/A (% v/v) (C)	-3.08069	0.889476	0.074203	-6.90780	0.74641
(X ₂) Tiempo de extracción (min) (L)	-0.75253	0.854580	0.471424	-4.42950	2.92443
(X ₂) Tiempo de extracción (min) (C)	-0.72983	0.889476	0.498157	-4.55693	3.09727
(X ₃) Potencia aplicada (watts) (L)	-0.86326	0.854580	0.418762	-4.54022	2.81371
(X ₃) Potencia aplicada (watts) (C)	-0.44994	0.889476	0.663210	-4.27704	3.37717
(X ₁ L) * (X ₂ L)	1.05306	0.854580	0.343062	-2.62390	4.73002
(X ₁ L) * (X ₂ C)	0.79900	1.208559	0.576507	-4.40101	5.99902
(X ₁ C) * (X ₂ L)	-0.01642	1.208559	0.990392	-5.21643	5.18359

(X ₁ L) * (X ₃ L)	-0.64434	0.854580	0.529539	-4.32130	3.03262
(X ₁ C) * (X ₃ L)	0.59970	1.208559	0.668914	-4.60031	5.79971
(X ₂ L) * (X ₃ L)	-1.49832	0.854580	0.221646	-5.17529	2.17864

17. Coeficientes de regresión – capacidad antioxidante (ABTS)

Factores	Coeficiente de regresión	Desviación estándar	p-Valor	Lim. Conf.-95%	Lim. Conf.+95%
Media	2633.279	172.3195	0.004255	1891.85	3374.710
(X ₁) Proporción E/A (% v/v) (L)	222.730	149.2330	0.274112	-419.37	864.828
(X ₁) Proporción E/A (% v/v) (C)	-578.092	155.3267	0.065211	-1246.41	90.225
(X ₂) Tiempo de extracción (min) (L)	95.238	149.2330	0.588679	-546.86	737.335
(X ₂) Tiempo de extracción (min) (C)	-197.578	155.3267	0.331260	-865.90	470.738
(X ₃) Potencia aplicada (watts) (L)	-83.046	149.2330	0.633833	-725.14	559.052
(X ₃) Potencia aplicada (watts) (C)	-211.042	155.3267	0.307190	-879.36	457.275
(X ₁ L) * (X ₂ L)	-44.872	149.2330	0.792035	-686.97	597.226
(X ₁ L) * (X ₂ C)	-50.472	211.0474	0.833264	-958.54	857.592
(X ₁ C) * (X ₂ L)	14.821	211.0474	0.950402	-893.24	922.885
(X ₁ L) * (X ₃ L)	93.411	149.2330	0.595267	-548.69	735.509
(X ₁ C) * (X ₃ L)	212.049	211.0474	0.420828	-696.01	1120.112
(X ₂ L) * (X ₃ L)	190.989	149.2330	0.329007	-451.11	833.087

18. Coeficientes de regresión – Concentración de capsaicina (CC)

Factores	Coeficiente de regresión	Desviación estándar	p-Valor	Lim. Conf.-95%	Lim. Conf.+95%
Media	145.4607	7.794917	0.000008	125.4232	165.4982
(X ₁) Proporción E/A (% v/v) (L)	7.6855	4.773392	0.168299	-4.5849	19.9559
(X ₁) Proporción E/A (% v/v) (C)	-2.9768	7.026243	0.689416	-21.0383	15.0847
(X ₂) Tiempo de extracción (min) (L)	-14.3293	4.773392	0.030033	-26.5997	-2.0589
(X ₂) Tiempo de extracción (min) (C)	11.3779	7.026243	0.166299	-6.6837	29.4394
(X ₃) Potencia aplicada (watts) (L)	9.0066	4.773392	0.117838	-3.2638	21.2770
(X ₃) Potencia aplicada (watts) (C)	3.1716	7.026243	0.670612	-14.8900	21.2331
(X ₁ L) * (X ₂ L)	6.1484	6.750596	0.404176	-11.2046	23.5013
(X ₁ L) * (X ₃ L)	-1.1433	6.750596	0.872151	-18.4963	16.2097
(X ₂ L) * (X ₃ L)	-7.9776	6.750596	0.290435	-25.3306	9.3753

Influencia del ultrasonido y proporción etanol/agua en la obtención de extractos de ají charapita anaranjado (*Capsicum frutescens*)

por Elferez Rene Collazos Duarez

Fecha de entrega: 19-ene-2024 08:52a.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2273879197

Nombre del archivo: Tesis_Final_Rene_Collazos_-_Repositorio_1.docx (4.94M)

Total de palabras: 12621

Total de caracteres: 71607

Influencia del ultrasonido y proporción etanol/agua en la obtención de extractos de ají charapita anaranjado (*Capsicum frutescens*)

INFORME DE ORIGINALIDAD

25%	24%	4%	9%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	tesis.unsm.edu.pe Fuente de Internet	10%
2	Submitted to Universidad Nacional de San Martín Trabajo del estudiante	4%
3	repositorio.unsm.edu.pe Fuente de Internet	2%
4	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
5	docplayer.es Fuente de Internet	1%
6	es.scribd.com Fuente de Internet	1%
7	repositorio.uns.edu.pe Fuente de Internet	<1%
8	cdigital.uv.mx Fuente de Internet	<1%