



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

# **Obtención de capsaicinoides a partir del *Capsicum frutescens* (ají charapita) por extracción supercrítica utilizando co-solvente**

Para optar el título profesional de Ingeniero Agroindustrial

**Autor:**

Jackeline Johana Alejandría Flores  
<https://orcid.org/0000-0002-3242-2430>

**Asesor:**

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

**Coasesor:**

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

**Tarapoto, Perú**

**2022**



FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

Tesis

**Obtención de capsaicinoides a partir del *Capsicum frutescens* (ají charapita) por extracción supercrítica utilizando co-solvente**

Para optar el título profesional de Ingeniero Agroindustrial

**Autor:**

Jackeline Johana Alejandría Flores

Sustentado y aprobado el 10 de noviembre del 2022, por los siguientes jurados:

**Presidente de Jurado**

Ing. Dra. Mari Luz Medina Vivanco

**Secretario de Jurado**

Ing. Leopoldo Ríos Panduro

**Vocal de Jurado**

Ing. Dr. Ricardo Raúl Layza  
Castañeda

**Asesor**

Ing. Dr. Manuel Fernando Coronado  
Jorge

**Coasesor**

Ing. Dr. José Luis Pasquel Reátegui

Tarapoto, Perú

2022



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN

FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

Avenida Universitaria cuadra 3 – Morales, Telefax (042)524429 – E-mail: [flal@unsm.edu.pe](mailto:flal@unsm.edu.pe)  
CIUDAD UNIVERSITARIA-MORALES



## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO AGROINDUSTRIAL

Siendo las 10:05 horas, del día jueves 10 de noviembre de 2022, en la ciudad de Tarapoto, en cumplimiento a lo establecido en la Directiva N° 01-2020-UNSM-T, aprobada con Resolución N° 367-2020-UNSM/CU-R de fecha 29 de mayo del 2020, sobre Sustentación de Tesis de Pregrado según la Modalidad No Presencial (forma virtual), en la Facultad de Ingeniería agroindustrial se reunieron virtualmente el jurado de tesis integrado por:

**Presidente** : Ing. Dra. MARI LUZ MEDINA VIVANCO  
**Secretario** : Ing LEOPOLDO RÍOS PANDURO  
**Vocal** : Ing. Dr. RICARDO RAÚL LAYZA CASTAÑEDA  
**Asesor** : Ing Dr. MANUEL FERNANDO CORONADO JORGE  
**Coasesor** : Ing Dr. JOSÉ LUIS PASQUEL REÁTEGU

Para evaluar la tesis: "Obtención de capsaicinoides a partir del *Capsicum frutescens* (ají charapita) por extracción supercrítica utilizando co-solvente" presentado por la Bachiller en Ingeniería Agroindustrial JACKELINE JOHANA ALEJANDRÍA FLORES. Los señores miembros del jurado, después de haber atendido la sustentación virtual, evaluadas las respuestas a las preguntas formuladas y terminada la réplica; luego de debatir entre sí, reservada y libremente lo declaran APROBADO, por UNANIMIDAD con el calificativo de MUY BUENO, en fe de lo cual se firmó la presente acta, siendo las 10:55. horas del mismo día, con lo que se dio por concluido el acto de sustentación.

Ing. Dra. MARI LUZ MEDINA VIVANCO  
PRESIDENTE

Ing. LEOPOLDO RÍOS PANDURO  
SECRETARIO

Ing. Dr. RICARDO RAÚL LAYZA CASTAÑEDA  
VOCAL

Ing. Dr. MANUEL FERNANDO CORONADO JORGE  
ASESOR

Ing. Dr. JOSÉ LUIS PASQUEL REÁTEGUI  
COASESOR

## Declaratoria de autenticidad

**Jackeline Johana Alejandria Flores**, con DNI N°75801110, egresada de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional de San Martín, autor de la tesis titulada: **Obtención de capsaicinoides a partir del *Capsicum frutescens* (ají charapita) por extracción supercrítica utilizando co-solvente, sustentado y aprobado el 10 de noviembre del 2022.**

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
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, 03 de julio de 2023.



---

Jackeline Johana Alejandria Flores  
DNI N° 75801110



## Ficha de identificación

<p><b>Título del proyecto</b> Obtención de capsaicinoides a partir del <i>Capsicum frutescens</i> (ají charapita) por extracción supercrítica utilizando co-solvente.</p>	<p><b>Área de investigación:</b> Ingeniería y Tecnología  <b>Línea de investigación:</b> Ingeniería de Procesos  <b>Sublínea de investigación:</b> Ingeniería de Procesos Agroindustriales  <b>Grupo de investigación:</b> Ingeniería y Tecnología Agroindustrial (ITAG): N°040-2022-UNSM/FIAI-CF/NLU.  <b>Tipo de investigación:</b>          Básica <input checked="" type="checkbox"/>, Aplicada <input type="checkbox"/>, Desarrollo experimental <input checked="" type="checkbox"/></p>
<p><b>Autor:</b> <b>Jackeline Johana Alejandria Flores</b></p>	<p>Facultad de Ingeniería Agroindustrial          Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial  <a href="https://orcid.org/0000-0002-3242-2430">https://orcid.org/0000-0002-3242-2430</a></p>
<p><b>Asesor:</b> <b>Ing. Dr. Manuel Fernando Coronado Jorge</b></p>	<p><b>Dependencia local de soporte:</b>          Facultad de Ingeniería Agroindustrial          Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial          Unidad o Laboratorio Ingeniería Agroindustrial  <a href="https://orcid.org/0000-0002-3263-6869">https://orcid.org/0000-0002-3263-6869</a></p>
<p><b>Coasesor:</b> <b>Ing. Dr. José Luis Pasquel Reátegui</b></p>	<p><b>Contraparte científica:</b>          Facultad o Institución: Ingeniería Agroindustrial          Unidad o Laboratorio: Ingeniería Agroindustrial          País: Perú  <a href="https://orcid.org/0000-0001-6467-394X">https://orcid.org/0000-0001-6467-394X</a></p>

## **Dedicatoria**

El presente trabajo es dedicado primeramente a Dios por la salud y por todas sus bendiciones.

A mis maravillosos padres Virgilio y Zeleny por siempre estar guiándome y apoyándome durante todo el proceso de mi formación profesional y a mis hermanos por ser mi soporte y apoyo en mis momentos de flaqueza.

A cada uno de ellos dedico este trabajo ya que me han inspirado para seguir superándome y triunfar en la vida, ello ha contribuido al presente logro.



## **Agradecimiento**

Primeramente, agradecer a mi Dios por cada una de las bendiciones derramadas sobre mi vida. También a mis amados padres, hermanos y sobrinos por brindarme todo su soporte y ser mi fuente de motivación.

A mi alma máter por todos los saberes adquiridos durante mi formación profesional.

A mis asesores el Dr. Manuel Fernando Coronado y Dr. José Luis Pasquel Reátegui por el apoyo incondicional, quienes, gracias a sus intelecto, experiencias y motivaciones han contribuido al éxito de este trabajo.

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (CONCYTEC) y al Programa Nacional de Investigación Científica y Estudios Avanzados (PRO – CIENCIA) por el apoyo financiado al presente trabajo mediante el proyecto “Adquisición de un sistema de extracción acelerado por fluidos supercríticos para la obtención de compuestos bioactivos de alta pureza a partir de productos y subproductos agroindustriales”, según contrato N°013-2018FONDECYT-BM.

.



## índice general

Ficha de identificación.....	6
índice general .....	9
Índice de tablas .....	11
Índice de figuras.....	12
Resumen .....	13
CAPITULO I INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN.....	15
1.1. Formulación del problema de investigación .....	16
1.2. Hipótesis de la investigación .....	16
1.3. Objetivos .....	16
1.3.1. Objetivo general.....	16
1.3.2. Objetivos específicos .....	16
CAPITULO II MARCO TEORICO.....	17
2.1. Antecedentes de la investigación .....	17
2.2. Bases teóricas.....	18
2.2.2. Capsaicinoides.....	19
2.2.3. Producción mundial y nacional.....	20
2.2.4. Procesos de extracción .....	21
2.2.4.2. Extracción por maceración.....	22
2.2.4.3. Extracción por Soxhlet.....	22
2.2.4.4. Extracción supercrítica.....	22
2.2.5. Extracción supercrítica de compuestos <i>Capsicum</i> .....	24
2.3. Definición de los términos básicos .....	25
2.3.2. Capsaicina .....	25
2.3.3. Fluidos supercríticos .....	25
2.3.4. Extracción supercrítica.....	26
2.3.5. Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) .....	26
2.3.6. Presión .....	26
2.3.7. Temperatura .....	26
2.3.8. Co-solvente.....	26
CAPÍTULO III MATERIALES Y METODOS .....	27
3.1. Ámbito y condiciones de la investigación .....	27
3.1.1. Contexto de la investigación.....	27
3.1.2. Periodo de la investigación .....	27
3.1.3. Autorizaciones y permisos .....	27

3.1.4.	Control ambiental y protocolos de bioseguridad .....	27
3.1.5.	Ampliaciones de principios ético internacionales .....	27
3.2.	Sistema de variables.....	27
3.2.1.	Variabes principales .....	27
3.3.	Procedimientos de la investigación .....	28
CAPITULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....		32
4.1.	Caracterización de la composición proximal del <i>Capsicum frutescens</i> (ají charapita).....	32
4.2.	Extracción acelerada por fluidos supercríticos .....	33
4.2.1.	Ensayos preliminares – Construcción de las curvas de cinética de extracción .....	33
4.2.2.	Obtención de los extractos por fluido supercrítico .....	34
4.2.3.	Rendimiento global.....	35
4.3.	Análisis de la composición química de los extractos.....	36
4.3.1.	Determinación del contenido de compuestos fenólicos (TPC) .....	36
4.3.2.	Determinación de actividad antioxidante por el método ABTS y DPPH38	
CONCLUSIONES .....		41
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....		43
ANEXO - I.....		47
ANEXO – II.....		50
ANEXO – III .....		52

## Índice de tablas

<i>Composición del Capsicum frutescens /100 gramos de parte comestible.....</i>	19
Tabla 2. <i>Productores internacionales de pimiento (miles de toneladas) en el 2016..</i>	21
Tabla 3. <i>Parámetros de extracción supercrítica de compuestos capsicum .....</i>	25
Tabla 4 <i>Matriz de diseño factorial completo 3<sup>2</sup>.....</i>	29
Tabla 5. <i>Caracterización química del ají charapita (Capsicum frutescens). .....</i>	32
Tabla 6. <i>Resultados obtenidos por extracción supercrítica de ají charapita (Capsicum frutescens) triturada. ....</i>	34

## Índice de figuras

Figura 1 Ají charapita ( <i>Capsicum frutescens</i> ) .....	18
Figura 2. Esqueleto de los capsaicinoides .....	19
Figura 3. Estructura de la molécula de capsaicina .....	20
Figura 4. Estructura de la molécula de dihidrocapsaicina .....	20
Figura 6. Cinética de la SFE del ají charapita ( <i>Capsicum frutescens</i> ) a diferentes presiones (150, 200, 250 bar), temperaturas (40,50 y 60 °C) con flujo de CO <sub>2</sub> constante.....	33
Figura 7 Grafica de interacción de temperatura (°C) y presión (bar) para Rendimiento .....	35
Figura 8 Grafica de contorno de Rendimiento vs Temperatura (°C) y Presión (bar) .....	35
Figura 9 Grafica de interacción de Temperatura (°C) y presión (bar) para fenoles .....	37
Figura 10 Grafica de contorno de fenoles vs Temperatura (°C) y Presión (bar) .....	38
Figura 11 Efecto de las condiciones de extracción sobre la actividad antioxidante por el metodo ABTS (A) y DPPH (B). .....	40

## RESUMEN

El ají charapita (*Capsicum frutescens*) al contener compuestos capsaicinoides cobra gran importancia debido a sus propiedades benéficas el cual es utilizado en la innovación de fármacos y por su poder antioxidante, antiinflamatorio, antibacteriano, antitumoral. Uno de los métodos sobresalientes de los últimos años para la extracción de dichos compuestos es con Dióxido de Carbono Supercrítico debido a que tolera las temperaturas bajas extrayendo compuestos sin dejar rastro del disolvente en las muestras. En el presente trabajo se comparó el rendimiento global, compuestos fenólicos y la actividad antioxidante del ají charapita (*capsicum frutescens*) obtenidos mediante extracción por CO<sub>2</sub> supercríticos. Se optimizó el procedimiento de la extracción analizando el resultado de las temperaturas (40, 50 y 60 °C) y las presiones (150, 200 y 250 bar). Se estableció que las condiciones idóneas para el rendimiento de extractos de ají charapita (*capsicum frutescens*) se encontraban a temperatura bajas, el pico más alto fue de 10.86 % extraídos a 40 °C y 250 bar. Referente a la cantidad de componente fenólicos la mayor extracción (4.847 mgr. EAG/gr.) fue hallada a 40 °C, 250 Bar. La actividad antioxidante se analizó por los métodos ABTS y DPPH, donde se pudo determinar mayor actividad antioxidante por el método ABTS. La actividad antioxidante por el método DPPH fue de 0.020 µmol TE/g materia seca, que se encontró en dos puntos de la extracción (40°C, 250 bar y 60 °C, 250 bar) y por ABTS fue de 8.108 µmol TE/g materia seca (60 °C, presión de 200 bar).

Palabras claves: *Capsicum frutescens*, Extracción supercrítica, Rendimiento global, antioxidantes, Fenoles.

## ABSTRACT

Due to its beneficial properties, the charapita chili pepper (*Capsicum frutescens*), which contains capsaicinoid compounds, has regained great importance and is used in the innovation of drugs and for its antioxidant, anti-inflammatory, antibacterial and antitumor properties. In recent years, one of the most outstanding methods for the extraction of these compounds is using Supercritical Carbon Dioxide because it tolerates low temperatures, extracting compounds without leaving any trace of the solvent in the samples. In the present work, the overall yield, phenolic compounds and antioxidant activity of charapita bell pepper (*Capsicum frutescens*) obtained by supercritical CO<sub>2</sub> extraction were compared. The extraction procedure was optimized by analyzing the results of temperatures (40, 50 and 60 °C) and pressures (150, 200 and 250 bar). It was established that the ideal conditions for the yield of charapita chili pepper (*Capsicum frutescens*) extracts were found at low temperatures, the highest peak was 10.86 % extracted at 40 °C and 250 bar. Regarding the amount of phenolic component, the highest extraction (4.847 mgr. EAG/gr.) was found at 40 °C, 250 Bar. The antioxidant activity was analyzed by the ABTS and DPPH methods, where it was possible to determine higher antioxidant activity by the ABTS method. The antioxidant activity by the DPPH method was 0.020 µmol TE/g dry matter, which was found at two points of the extraction (40°C, 250 bar and 60 °C, 250 bar) and by ABTS was 8.108 µmol TE/g dry matter (60 °C, 200 bar pressure).

**Keywords:** *Capsicum frutescens*, Supercritical extraction, Overall yield, Antioxidants, Phenols.



## **CAPITULO I INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN**

El *capsicum frutescens* (ají charapita) ha sido durante mucho tiempo un producto insignia de la Amazonía peruana y es venerado en su gastronomía debido a su fragancia y su delicioso gusto en el paladar, y es una de las variedades de pimiento con mayor picor del Perú (Delgado & Ríos, 2014). Se conocen como buenas fuentes de varios nutrientes, como la vitamina C, los fenólicos, los flavonoides y carotenoides (Deepa et al., 2007).

Además, contienen compuestos capsaicinoides, la capsaicina es la más representativa (Laskaridou, 1999), se emplea en el desarrollo de nuevos fármacos debido a sus propiedades benéficas tales como poder antioxidante, antiinflamatorio, antimicrobiano y antitumorales, además contribuyen al control de diabetes y el alivio del dolor (Reyes, Gonzalez y Vazquez, 2011). Dada la utilidad de los capsaicinoides, existe una tendencia en ampliar otras técnicas para alcanzar extractos concentrados de dichos compuestos eludiendo así el empleo de solventes orgánicos en las operaciones de extracción industrial (Santos, Aguiar, Barbero, Rezende y Martínez, 2014).

La extracción por fluidos supercríticos ha surgido como una opción a la recuperación de oleorresinas, actualmente limitada en algunos lugares, a causa de los residuos de los disolventes utilizados, tales como n-hexano, bencina, etanoato de etilo, etc. Sustituye al proceso de extracción tradicional, los cuales se caracterizan por ser de alta toxicidad (Rojas, 2009).

El fluido supercrítico posee la habilidad de separar algunos componentes usando solventes especiales en una mezcla de temperatura y presión. El CO<sub>2</sub> es uno de los fluidos supercríticos usados con mayor frecuencia porque no es tóxico, no es inflamable, no es corrosivo, es incoloro, es económico, fácil de eliminar, no deja residuos, su naturaleza crítica es fácil de conseguir y en gran manera son puros, se puede procesar a bajas temperaturas y pueden extraer compuestos termolábiles (Brunner, 2005).



## 1.1. Formulación del problema de investigación

¿Cuáles son las condiciones óptimas de temperatura y presión para el proceso de obtención del extracto de *Capsicum frutescens* (ají charapita) obtenido por CO<sub>2</sub> supercrítico?

## 1.2. Hipótesis de la investigación

H<sub>0</sub>: No existe influencias de la presión, temperatura en la rentabilidad global, contenido fenólico y actividad antioxidante en los extractos obtenidos extractos del *capsicum frutescens* (ají charapita) por extracción supercrítica.

H<sub>1</sub>: Existe influencias de las condiciones de presión, temperatura en la rentabilidad global, contenido fenólico y antioxidante en los extractos obtenidos extractos del *capsicum frutescens* (ají charapita) por extracción supercrítica.

## 1.3. Objetivos

### 1.3.1. Objetivo general

Obtener capsaicinoides a partir del *Capsicum frutescens* (ají charapita) por extracción supercrítica utilizando co-solvente.

### 1.3.2. Objetivos específicos

- a) Caracterización de la composición proximal del *Capsicum frutescens* (ají charapita).
- b) Construir e interpretar las curvas de cinética de extracción.
- c) Evaluar la influencia de la temperatura (40, 50 y 60 °C) y presión (150, 200 y 250 bar) en el rendimiento, contenido de compuestos fenólicos (TPC) y capacidad antioxidante a través de dos métodos (DPPH y ABTS) de los extractos del ají charapita (*Capsicum frutescens*).

## CAPITULO II MARCO TEORICO

### 2.1. Antecedentes de la investigación

Santos et al. (2014) en su trabajo “Extracción supercrítica de dióxido de carbono de capsaicinoides de ají malagueta (*Capsicum frutescens L.*) asistida por ultrasonido”, realizado en la Facultad de Ingeniería de Alimentos en la Universidad de Campinas - Brasil, afirmaron que el uso de ultrasonido no tuvo significancia sobre los perfiles de capsaicinoides ni el contenido de fenoles en los extractos, sin embargo, la extracción supercrítica (SFE) asistida por ultrasonido a una presión de 15 MPa, temperatura de 40 °C y un flujo de CO<sub>2</sub> de 1,673 10<sup>-4</sup> kg/s aplicando ondas de ultrasonido a una potencia de 360 W durante 60 min. aumentó el rendimiento global de la oleoresina del ají malagueta hasta un 30% en comparación con SFE.

Según Aguiar et al. (2014), en su trabajo “Extracción de fluidos supercríticos y extracción a baja presión de Biquinho (*Capsicum chinense*)”, realizado en la Facultad de Ingeniería de Alimentos en la Universidad de Campinas - Brasil, concluyeron que la mejor condición para el rendimiento total fue la extracción por Soxhlet utilizando como solvente metanol (0.42 g extracto/g de ají liofilizada), en términos de capsaicinoides y capsinoides obtuvieron los mejores rendimientos con maceración empleando etanol y Soxhlet usando acetona, respectivamente, mientras que en el procedimiento para la extracción supercrítica se mostró baja extracción en relación al rendimiento en comparación con las técnicas de baja presión, sin embargo, el extracto obtenido a 60 °C y 15 MPa mostró una alta concentración de capsinoides (28.5 mg / g de extracto), en cuanto al rendimiento de extracción global, las mejores condiciones para extraer capsaicinoides y capsinoides fueron 40 y 50 °C a 15 MPa, con valores de 0.004 y 0.17 g/g de ají liofilizada, respectivamente.

Coronel (2012), en su trabajo “Extracción biocatalítica y supercrítica de CO<sub>2</sub> de capsaicinas y carotenos de *Capsicum chinense* y análisis por HPLC”, realizado en la UNCP, concluyó que la extracción con fluidos supercríticos logró mayor efecto en la elección y adquisición de componentes de alta pureza (carotenoides y capsaicinoides) esto comparándose con la extracción catalítica en términos de extracción con fluido supercrítico con dióxido de carbono, la cantidad superior del total de capsaicinoides se encontró en el ají “ojo de pez”, con 29 665,16 mg/100 g con una pungencia de 4 449 774,17 SHU y en el ají habanero con 5954,31 mg capsaisinoides totales//100g, con un picor de 893 147,04 SHU.

Gamarra et al. (2011), de la UNCP en su trabajo “Extracción por fluido supercrítico de CO<sub>2</sub> y cuantificación de capsaicinoides del rocoto (*apsicum pubescen*) del Valle del Mantaro”, confirmaron que el rendimiento de la extracción fue superior en

comparación con otras condiciones: se obtuvo nordihidrocapsaicina al 17 % a una temperatura de 60 °C y 200 bar. La capsaicina (33%) y el 49% de dihidrocapsaicina dan un total de más de 4357,92 µg/g de capsaicinoides y 65368,76 SHU de picor.

## 2.2. Bases teóricas

### 2.2.1. *Capsicum frutescens* (ají charapita)

Según Centa (2002), el pimentón pertenece al género *Capsicum*, el cual consta de más de 25 especies, 5 de las cuales han sido domesticadas en América Central y del Sur desde la época prehispánica. Ajíes proviene de la región andina y selvática antes conocida como Alto Perú, que hoy pertenece a Bolivia. Desde allí se propagan al resto del continente con pájaros que esparcen las semillas en sus excrementos tras comer el fruto. El ají charapa (también conocido como Malagueta, Mishki Uchú, Pichirina, Malagueta Chili, Ají Limón, Ají Mono, Ají Montaña, Ají Quinillo, etc.) es un ají silvestre descubierta en las regiones del norte del suelo peruano. Originario de Iquitos.

El ají charapita (figura 1) Este es un arbusto que pertenece a las Solanaceae, una de las cinco especies plantadas en el género *Capsicum*, lo que lo convierte en uno de los cultivares más populares de ajies. En el Amazonas del Perú este producto es deseado por la gastronomía (Selvanet, 2010).



**Figura 1.** Ají charapita (*Capsicum frutescens*)

Los ajies charapa tienen un elevado contenido de ácido ascórbico (vitamina C), que es superior a las frutas cítricas como limones, naranjas y toronjas (López, 2005). La Tabla 1, se muestra los elementos del ají charapita, en cien gr. parte comestible.

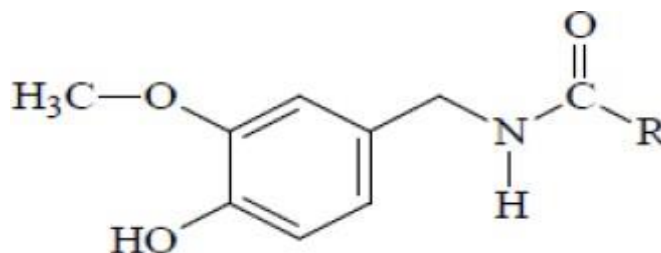
Tabla 1.  
Composición del *Capsicum frutescens* /100 gramos de parte comestible.

Componentes en 100 g	<i>Capsicum frutescens</i>
Agua (gr.)	81,10
Total proteínas	2,20
Total grasas	9,90
Fibra en bruto	4,20
Total cenizas	1,00
Calcio (mg.)	29,00
Fosfato	65,00
Vitamina A	1,00
Tiaminas	4600 UI
Riboflavinas	0,70
Niacinas	1,60
<b>Vitamina C</b>	<b>100,00</b>

Fuente: López, 2005

### 2.2.2. Capsaicinoides

Los capsaicinoides son alcaloides que se simplifican únicamente en células del exterior de la placenta en la fruta madura, especializados como glándulas que secretan estos compuestos y los depositan en la semilla y la pared de la capa intrínseca de la dermis de la fruta llamada endocarpio (Khachik et al. otros y otros, 1986). Iwait et al. (1979), señalaron que los capsaicinoides se detectaron inicialmente a veinte días luego del florecimiento, esto dependen de las condiciones de la planta, como la temperatura, el tiempo de exhibición y la fecundación. A continuación, el esqueleto capsaicinoide se puede observar en la Figura 2

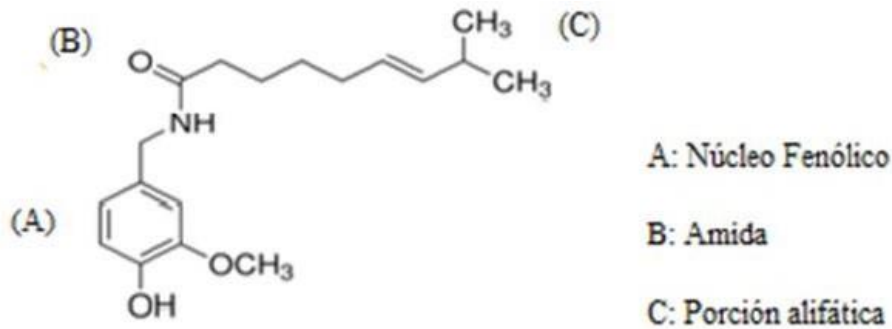


(Kirschbaum et al., 2002).

**Figura 2.** Esqueleto de los capsaicinoides

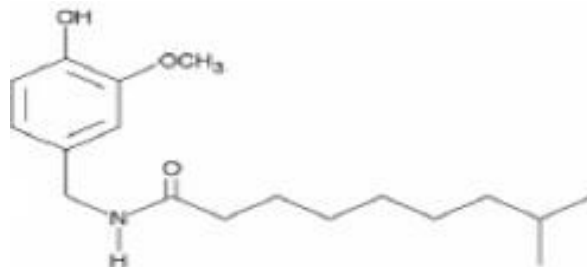
La capsaicina son sustancias nitrogenadas de origen lipídico, catalogado como alcaloide, soluble en etoxietano, etanol, propanona, metanol, ácido ametilcarboxílico, benzol y álcalis a temperaturas altas, sin embargo; no solubles en temperaturas bajas. Respecto a su esqueleto químico, consta de un centro fenólico adherido a una biomolécula lipídica por un enlace amida (Molina, 2009). El resto fenólico llega a

ser la vanililamina, procedente de la fenilalanina a el cual llega por el camino de los fenilpropanoides, por otro lado, la biomolécula lipídica es formada por aminoácidos de cadena ramificada (Fernández, 2007) En la figura 3 se muestra la estructura de la molécula de capsaicina (Contreras, 1998).



**Figura 3.** Estructura de la molécula de capsaicina

La dihidrocapsaicina (C<sub>18</sub>H<sub>29</sub>O<sub>3</sub>N) cuya masa molecular es 307,215 gr/gr-mol, tiene una estructura cristalina de colores blancos opacos inodoros con un fuerte efecto de picor, el punto de fusión está entre 65,5-65,8 °C, la máxima absorción de UV es inferior a 230 nm. y su solubilidad es idéntica a la de la capsaicina (Iwai et al., 1979). En la figura 4 se muestra la estructura de la molécula de dihidrocapsaicina (Contreras, 1998).



**Figura 4.** Estructura de la molécula de dihidrocapsaicina

### 2.2.3. Producción mundial y nacional

Según MINAGRI (2016) La producción a nivel mundial de ajíes es de 38.611 millones de toneladas, China representa el 45.2%seguido de México con 8.2%, mientras que Perú solo contó con una intervención del 0.5% (Tabla 2). En el 2017 Perú se posicionó en el cuarto lugar de producción de *capsicum* después China e India, los cuales predominan en el mundo. El *capsicum*, es el 6° producto con mayor exportación en el país y la producción total es de más de 164 Tn. métricas (ADEX, 2017).

Tabla 2.

*Productores internacionales de pimienta (miles de toneladas) en el 2016.*

ranking	país	2012	2013	2014	2015	2016	Crecimiento promedio anual 2012-2016	participación 2016
1	China	15913	16127	16454	16945	17450	1%	45,2%
2	México	2440	2354	2973	2975	3168	3%	8,2%
3	Turquía	2059	2176	2144	2191	2239	1%	5,8%
4	Indonesia	1656	1726	1875	1978	2086	2%	5,4%
5	India	1372	1560	1560	1597	1635	2%	4,2%
6	España	976	1021	1133	1138	1143	2%	3,0%
7	EE. UU	907	846	914	908	902	0%	2,3%
8	Nigeria	797	797	799	802	805	0%	2,1%
9	Egipto	715	623	655	671	688	0%	1,8%
10	Argelia	441	497	548	587	630	4%	1,6%
27	Perú	183	162	162	140	164	-1%	0,5%

Fuente: FAO

De acuerdo con el IV censo nacional agropecuario (2012), hay más de 10,000 componentes agropecuarios que rinden ajíes (*Capsicum*): Rocoto, paprika, pimienta y piquillo. Al respecto, más del 90% compensan a unidades agropecuarias con menos de cinco hectáreas concentrados, primeramente, en el rendimiento de ají y rocoto.

La productividad de *Capsicum* en el Perú en 2016, fue un total de 163,899 Tn., según cifras de MINAGRI. Los lugares con más rendimiento en ajíes es Lambayeque que representa los 53,861Tn trabajadas sobre todo el pimienta piquillo, paprika y morrón.

En 2017, la mayor cantidad de pimientos producidos a nivel nacional fue con el 28% de la producción total de ají morrón, seguidamente del chile 23%, rúcula 22%, pimentón 13% y piquillo 13%. De tales ajíes, el chile (2017) aumentó un 7%, mientras que la producción de pimentón disminuyó un 4%. En la región, Lambayeque lideró la producción de *Capsicum* con 61.351 toneladas, seguida de Pasco con 35.755 toneladas, Lima con 29.046 toneladas, Tacna con 15.385 toneladas, La Libertad con 11.781 toneladas y Arequipa con 26.781 toneladas (ADEX, 2017).

## 2.2.4. Procesos de extracción

### 2.2.4.1. Método de extracción a baja presión

Los componentes bioactivos existentes en matrices de linaje vegetal y animal pueden ser extraídos por distintos métodos a baja presión, muchas de estas

técnicas se basan en la capacidad para extraer con diversos solventes, aplicando calor y/o agitación, los ejemplos clásicos de las metodologías de extracción a baja presión son la extracción por Soxhlet, maceración e hidrodestilación; las técnicas de extracción a baja presión también pueden aumentar su eficiencia cuando se combinan con tecnologías como ultrasonido y microondas, que resultan métodos de extracción asistida por ultrasonido y extracción por microondas, estos métodos han sido ampliamente utilizados en las últimas décadas para extraer componentes de diferentes matrices (Vilkhu et al., 2008 & Chan et al., 2011;).

#### **2.2.4.2. Extracción por maceración**

Campos (2011) afirma que la fase de macerado se basa en la separación sólido-líquido en el producto tiene la gama de componentes solubles en la sustancia líquida las cuales busca separar, el origen de dichos componentes a extraer están adheridos a la materia prima que se va a analizar, también del líquido de maceración, el cual se basa en empujar el producto del que se extraerá el componente bioactivo del solvente, en un envase con cerradura perfecta a temperatura ambiente, así mismo se debe agitar por ciertos días, de modo que influya gradualmente en la concentración, inicialmente en la extracción la gradiente está en su apogeo, luego al pasar algunos días, aún con la ayuda de la vibración, va descendiendo; por lo tanto, las muestras deben cuidadosamente ser protegidos de la exposición a luz solar, los beneficios de las maceraciones consisten en alcanzar a separar las propiedades del producto macerado sin modificarlo.

#### **2.2.4.3. Extracción por Soxhlet**

En la extracción por Soxhlet, el compuesto de interés y la disolubilidad es la posesión sobre la cual se cimienta. Al mezclarse el analito con el solvente, se observa atracción lo que conlleva a la separación de los demás compuestos, esto es llamado extracción sólido-líquido. (Campos, 2011).

Para la extracción a través Soxhlet debe considerar: elegir el disolvente, matriz sólida, condición de operación. Esta extracción se basa gran parte sobre las cualidades de la matriz y las magnitudes de las partículas; por lo tanto, puede ocurrir una expansión en el interior y dar paso a restricciones a lo largo de la extracción (Luque et al., 2004).

En la extracción Soxhlet, el disolvente generalmente se obtiene mediante evaporación, la temperatura para la extracción y/o evaporación afectan significativamente la calidad final de los productos. (Mamidipally & Liu, 2004).

#### **2.2.4.4. Extracción supercrítica**

La extracción supercrítica es una operación de transmisión de masa uniforme realizada por encima del punto supercrítico del disolvente; Esta extracción permite el control y manipulación de propiedades como la dispersión del líquido, la viscosidad y



la densidad con algunas modificaciones de presión y temperatura, lo que provoca alteración en su selectividad y solubilidad (Gallego y Castañeda, 2003). La extracción con fluidos por encima de su punto crítico se puede realizar de las siguientes formas: Selectivo o división selecta, donde: 1) Implica cambiar la solubilidad del líquido usufructuando a la hora de extraer manipulando las variables de temperatura, presión y extracción utilizando co-solventes para modificar la química de los disolventes. 2) El método de trabajo, la extracción selecta logrando calentar o enfriar gradualmente el sustrato a presión reducida, lo que permite un fraccionamiento controlado. (Mohamed, 1997).

Gallego y Castañeda (2004), mencionan que hay cuatro etapas básicas principales para el proceso de extraer con fluidos por encima de su punto crítico:

- Etapa de super compresión: Se alcanza la tensión del disolvente requerida para extraer el compuesto de interés. Esto es necesario para compresores o bombas.
- Etapa de acondicionamiento de temperatura: Consiste en extraer o suministrar potencia térmica a través de una transmisión por calor, baño térmico y/o resistencia eléctrica.
- Etapa de extracción: Se realiza en un tanque de extracción de alta presión que contiene la matriz a procesar. Además, el líquido se enlaza con la matriz e incorpora la solución de interés
- Etapa de ruptura: el material extraído se separa del solvente.

Normalmente, el procedimiento para la extracción supercrítica inicia llenando el recipiente de extracción y el material a extraer. Una vez que el disolvente, normalmente CO<sub>2</sub>, está listo, se comprime a una presión superior a 7,38 MPa (la presión utilizada depende del compuesto que se extraiga). Cuando el CO<sub>2</sub> está bajo presión, se calienta a una temperatura por encima del punto crítico (dependiendo de los compuestos a extraer). Dado que el disolvente es un fluido supercrítico, se une a la solución que contiene el compuesto objetivo y, cuando se produce la extracción, el compuesto objetivo se separa del disolvente.

Según Rozzi y Singh (2002) en la extracción supercrítica la separación de los compuestos extraídos se logra mediante un cambio de temperatura o presión, lo que hace que los compuestos extraídos pierdan solubilidad en el solvente y se separen. También es muy importante controlar los parámetros de presión, temperatura y flujo de disolvente. Compuesto a extraer. Cambiar los parámetros cambia lo selectivo del disolvente. La utilización de fluidos supercríticos, tal como el CO<sub>2</sub>, es provechoso en referencia a métodos tradicionales de extracción, entre ellas:

- Son amigables con el medio ambiente, por lo que no hay contaminación durante el proceso.
- No son tóxicos en las cantidades utilizadas.
- No son inflamables.
- Están ampliamente disponibles.
- Son de elevada pureza y económicos.
- No son indispensables los mecanismos de limpieza.
- Prácticamente son inertes en el aspecto químico.
- Se desliga rápidamente del producto extraído.
- Se utiliza sobre un extenso rango de temperatura, el cual transforma la selectividad.
- Mantiene un coeficiente de expansión elevado y una densidad baja a comparación de los líquidos.
- La falta de presión en la superficie tolera que se sumerja rápidamente en los poros de las matrices diferentes, la cual conlleva a aumentar la eficacia.
- Capacidad para controlar la selección a lo largo de la extracción mediante alteraciones de las variables de presión y temperatura, ya que altera la solubilidad del componente.
- Puede restaurar el solvente del proceso y luego reutilizarlo.

A causa de este motivo, se está extendiendo la extracción con fluidos supercríticos, pero, sin embargo también existen algunos inconvenientes como:

- Los compuestos apolares se disuelve con dificultad.
- Usar disolventes puede modificar la polaridad del dióxido de carbono, así mismo, los disolventes pueden adherirse al extracto, siendo necesario una operación de disolución al finalizar el proceso.

### **2.2.5.Extracción supercrítica de compuestos *Capsicum***

Existen estudios realizados de extracción de compuestos del género *Capsicum* por fluidos supercríticos, en ellos se evidencia cambios en los parámetros tanto de presión como de temperatura para así, variar la selectividad del solvente y fijar qué condiciones son idóneas para la extracción de compuestos. En la Tabla 3, se observó los componentes precisos que se extraen por medio de esta técnica, presión y temperatura que influyen en la extracción, ciertos aspectos de relevancia se han reportado en investigaciones que se indican seguidamente.

Tabla 3.

*Parámetros de extracción supercrítica de compuestos capsicum*

<b>Materia prima</b>	<b>Solvente</b>	<b>Compuestos</b>	<b>Presión MPa</b>	<b>T °C</b>	<b>Referencia bibliográfica</b>
<b>AJI BIQUINHO</b>	CO <sub>2</sub>	Capsinoides	15	60	Aguilar et al., 2014
<b>PIMENTÓN</b>	CO <sub>2</sub>	Capsinoides tocoferoles	32-40 20	55	Fernández, 2008
<b>AJI MALAGUETA</b>	CO <sub>2</sub>	Capsaicinoides	15	40	Aguilar et al., 2015
<b>PAPRIKA</b>	CO <sub>2</sub>	caroteno carotenoides rojos	2000- 7000psi	40	Galán et al., 1999
<b>PIMIENTA MALAGUETA</b>	CO <sub>2</sub>	Capsaicinoides	15	40	Santos et al., 2014
<b>PIMIENTO ROJO</b>	CO <sub>2</sub>	capsinoides totales	15	40	Martin et al., 2017
<b>PAPRIKA</b>	CO <sub>2</sub>	Carotenoides	50	100	Ambroji et al., 2002

Fuente: Elaboración propia.

### 2.3. Definir términos básicos

#### 2.3.1. Capsaicinoides

Los capsaicinoides son vanilil amidas de ácidos monocarboxílicos con longitud de cadena y diversas variaciones (C8-C13), entre los capsaicinoides se destacan dos sustancias, la capsaicina y la dihidrocapsaicina, que representan aproximadamente el 90% del total de capsaicinoides en pimientos (Constant et al. 1995; Schweiggert et al., 2006)

#### 2.3.2. Capsaicina

La capsaicina es un compuesto lipídico orgánico que contiene nitrógeno clasificado como un alcaloide, soluble en etoxietano, etanol, propanona, metanol, ácido etanoico, cloruro de carbono (IV), benzol y álcali caliente; sin embargo, no son solubles con agua fría, en lo referente a la estructura química, se basa en un esqueleto fenólico adherido por un enlace amida a una biomolécula lipídica (Molina, 2009).

#### 2.3.3. Fluidos supercríticos

El punto crítico es cuando los gases y los líquidos son indetectables por influencia de la temperatura y presión (Palomino, 2003), y cada que un fluido es sometido a circunstancias supercríticas (Herrero et al., 2006), llamado también fluidos supercríticos.

### **2.3.4. Extracción supercrítica**

La extracción supercrítica es una intervención de transmisión de masa única realizada por encima del punto crítico del disolvente; esta extracción permite el control y la manipulación de las propiedades del fluido, como la difusividad, la viscosidad y la densidad, a través de pequeños cambios en la presión y la temperatura, lo que da como resultado selectividad y cambios en el flujo de disolución (Gallego y Castañeda, 2004).

### **2.3.5. Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)**

El CO<sub>2</sub> se caracteriza por ser un gas sin color y esencial en la naturaleza. Es un componente lo hallamos en el medio ambiente, comprende de una molécula lineal de un átomo de carbono ligado a dos átomos de oxígeno. El CO<sub>2</sub> normalmente existe como un gas en el aire o como un sólido cuando se congela, conocido como hielo seco. A temperaturas y presiones que superen su punto crítico, se comporta como fluidos supercríticos y puede adquirir propiedades diferentes a las de los gases y líquidos. (Greenfacts, 2018).

### **2.3.6. Presión**

La presión se caracteriza por la cantidad física la cual determina la extensión sobre la fuerza vertical en conformidad de área, también se usa con el fin de calificar la actuación de la energía resultante sobre la línea. (Giancoli, 2004).

### **2.3.7. Temperatura**

La temperatura se refiere al valor de la cantidad total del concepto de calor medido por un termómetro. En física, es la cantidad escalar asociada a la energía dentro del sistema termodinámico, determinada por la teoría cero de la termodinámica. Es decir, se relaciona directo con parte de la energía del interior también nombrado como "energía cinética", esta es la energía vinculada con el movimiento de partículas del sistema, por traslación, rotación o vibración. Conforme asciende la energía cinética de un sistema, podemos observar que está con "mayor calentura", es decir, aumentó su temperatura (Yunus, 2009).

### **2.3.8. Co-solvente**

Aumenta la disolubilidad de la solución en el fluido supercrítico para mejorar las dispersiones de las fases, dando lugar así a la técnica de Impregnación con Solvente Supercrítico (Cocero et al., 2009).

## **CAPÍTULO III MATERIALES Y METODOS**

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

#### **3.1.1. Contexto de la investigación**

La ejecución de esta investigación se realizó en los ambientes de los Laboratorios de Ingeniería de Procesos (LABIP) de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial, localizada en la ciudad universitaria de la Universidad Nacional de San Martín.

#### **3.1.2. Periodo de la investigación**

El tiempo de realización de este trabajo investigación tuvo un tiempo aproximado de dos años.

#### **3.1.3. Autorizaciones y permisos**

No adjudica para este trabajo.

#### **3.1.4. Control ambiental y protocolos de bioseguridad**

No se emplea para el presente trabajo. No obstante, se siguieron los protocolos de bioseguridad para prevenir contagios y transmisión del Covid-19; ante esto, se prosiguieron con las sugerencias injertadas a través del ministerio de salud.

#### **3.1.5. Ampliaciones de principios ético-internacionales.**

Al implementar el proyecto, se observan los principios éticos internacionales establecidos por la UNSM.

### **3.2. Sistema de variables**

#### **3.2.1. Variables principales**

Podemos mencionar las principales variables involucradas en este estudio:

##### **Variable independiente:**

- Temperatura: 40,50 y 60 °C
- Presión: 150, 200 y 250 bar

##### **Variable dependiente:**

- Rendimiento del extracto (%)
- Contenido de compuestos fenólicos (TPC)
- Actividad Antioxidantes por los métodos (DPPH y ABTS)

### 3.2. Procedimientos de la investigación

La materia prima usada para este trabajo de investigación fue un ecotipo de ají charapita (*Capsicum frutescens*) de la Amazonía peruana, originario de Sauce de la provincia y departamento de San Martín. La parte experimental de la investigación se realizó en el Laboratorio de Ingeniería de Procesos (LABIP) de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial (FIAI) de la Universidad Nacional de San Martín (UNSM). Trabajamos con frutos maduros del *Capsicum frutescens* (ají charapita), estos fueron cortados en la mitad y luego sometidos a una desecación por liofilización a una temperatura  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$  y presión de 0.020 Mbar (Marca Labconco), posteriormente fueron triturados en una licuadora (Marca Xpert-Series, Modelo BLSTUVB-P00). La muestra triturada fue acondicionada en envases de vidrio, debidamente rotulada y guardada a una temperatura de  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

#### 3.3.1. Objetivo específico 1 - Caracterización de la composición proximal del *Capsicum frutescens* (ají charapita).

La caracterización del *Capsicum frutescens* (ají charapita) se realizó de acuerdo al método oficial (AOAC, 2012). Los análisis se realizaron en el Laboratorio de Investigación y el Laboratorio de Análisis y Composición de los Alimentos en la FIAI (Facultad de Ingeniería Agroindustrial) ubicada en la UNMS (Universidad Nacional de San Martín).

Para la determinación de humedad (Anexo I-2) se procedió a poner el analito de interés sobre la placa de petri, anteriormente tarada, pesando 2 g de muestrario del *Capsicum frutescens* (ají charapita) partido en trocitos. Las muestras se llevaron a la estufa a una temperatura de 105 grados centígrados ( $^{\circ}\text{C}$ ) por 2 hr., luego se llevó a un proceso de desecación por 30 min. y posteriormente el peso se anotó con una desviación estándar de 0.5 mg.

Respecto a la determinación del contenido de residuo mineral fijo (cenizas), ver Anexo I-3, se realizó por la incineración en mufla a  $550\text{ }^{\circ}\text{C}$  según el método AOAC, 2012. La cantidad de proteínas (nitrógeno total) se determinó a través del procedimiento microKjeldahl, empleando factor de 6,25 a fin de realizar la conversión del nitrógeno en proteína AOAC, 2012. Los lípidos se determinaron con extracción de la fracción etérea por flujo intermitente, utilizando éter petróleo como solvente bajo de reflujo en aparato de Soxhlet según método 963.15 (AOAC, 1997).

#### 3.3.2. Objetivo específico 2 - Construir e interpretar las curvas de cinética de extracción.

Para los experimentos cinéticos de extracción se utilizó muestra acondicionada

(Anexo I-4), se preparó la celda de extracción siguiendo la técnica estándar para cada una de las extracciones a realizadar. También empleamos la celda de extracción la cual tenía una capacidad de 20 mL. Primero, procedimos a cerrar una punta de la celda, luego colocamos diminutas perlas de vidrio, posteriormente agregamos 5 gr. De la muestra, así mismo el volumen sobrante lo llenamos de nuevo con perlas de vidrio. El extracto se recogió en frascos de vidrio previamente pesados en balanza analítica (Sartorius modelo A200S, Gottingen, Alemania) y la recolección se realizó cada 10 minutos hasta llegar a 120 minutos. Después de la recolección, los frascos fueron dejados a diez min. a temperatura ambiente a fin de garantizar la volatilización del dióxido de Carbono del extracto, después la masa del extracto contenida en los frascos fue medida nuevamente, para determinar la masa del extracto obtenido en función del tiempo de extracción. Los ensayos se realizaron y evaluaron por el diseño factorial completo  $3^2$ , dos factores: temperatura y presión, con tres niveles cada uno, de (40, 50 y 60 °C) y la presión (150, 200 y 250 bar), respectivamente; resultando un total de nueve (09) experimentos (tabla 4).

Tabla 4.

*Matriz de diseño factorial completo  $3^2$ .*

OrdenEst	OrdenCorrida	TipoPt	Bloques	Temperatura (°C)	Presión (bar)
1	1	1	1	40	150
2	2	1	1	40	200
3	3	1	1	40	250
4	4	1	1	50	150
5	5	1	1	50	200
6	6	1	1	50	250
7	7	1	1	60	150
8	8	1	1	60	200
9	9	1	1	60	250

**3.3.3. Objetivo específico 3** - Evaluar la influencia de la temperatura (40, 50 y 60 °C) y presión (15, 20 y 25 MPa) en el rendimiento, capacidad de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante a través de dos metodologías (DPPH y ABTS) de los extractos del ají charapita (*Capsicum frutescens*).

Los tiempos para la extracción fueron fijados en 60 min., para las evaluaciones sobre el rendimiento global. Los porcentajes del rendimiento global ( $X_0$ ) del extracto alcanzados a través de extracción por fluidos supercríticos se calculó vinculando la cantidad del extracto extraído ( $M_{\text{extracto}}$ ) y la cantidad de materia prima usada (gr), tal como se demuestra a continuación (Ecuación 1).

$$X_0 = \frac{M_{\text{extracto}}}{\text{gr materia prima}} \times 100 \quad \text{Ecuación 1.}$$

### 3.3.3.1. Determinación de compuestos fenólicos totales



A fin de fijar el contenido de los compuestos fenólicos totales existentes en las muestras de ají charapita, El procedimiento del reactivo de Folin referido por Singleton y Rossi (1965) empleándolo con ciertas variaciones en extractos de plantas (Singleton et al., 1999). Para poder ejecutar una curva estándar en la evaluación de compuestos fenólicos totales, combinamos 10 ml de agua destilada y 2 gramos de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  y pesamos 0,0010 gramos de ácido gálico estándar y se agregaron a un matraz volumétrico de 10 ml como disolución de extracción.

El fenol se midió agregando una alícuota de 200  $\mu\text{L}$  de metanol/extracto a un tubo de ensayo, 1500  $\mu\text{L}$  de agua destilada, seguido de 100  $\mu\text{L}$  de reactivo de Folin-Ciocalteu. Luego de cinco minutos, añadimos 200  $\mu\text{L}$  de solución acuosa de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  al 20%. La disolución se protegió del contacto con la luz, luego lo dejamos gravitar por un periodo de 30 min., y finalmente se midió la absorbancia a 765 nm con un espectrofotómetro. El contenido fenólico se definió intercalando la absorbancia de las muestras y una curva de estimación formada por el padrón de ácido gálico y expresada en mg de equivalentes de ácido gálico por gr. del extracto (mgEAG/g de extracto).

### **3.3.3.2. Determinación de actividad antioxidante, método DPPH**

El método DPPH, según Brand-Williams et al. (1995), Es uno de los métodos más utilizados porque se basa en la captación de radicales libres y se considera un método muy estable, rápido y cómodo. DPPH (1,1-difenil-2-picrilhidrazilo) es un radical de nitrógeno orgánico violeta estable con absorción en la región de 515 nm. A fin de medir la actividad antioxidante, fue preciso construir la curva de Trolox estándar fundada en dimensión de absorbancia y trazar los porcentajes de inhibición construido por regresión lineal frente a la concentración de Trolox ( $\mu\text{M}$ ). Primero, se alistó la disolución DPPH disipando 0.00985 g en 50 mL de etanol. Luego de disolver la reacción, se preparó el neutro (3,5 mL de etanol que contenían 300  $\mu\text{L}$  de reactivo) para la lectura del espectro a 515 nm. Esta solución debe tener una absorbancia de 0,8 para ser utilizada para el análisis. Los radicales de nitrógeno orgánico se midieron agregando una alícuota de 500  $\mu\text{l}$  del metanol/extracto a un tubo de ensayo, agregando 3 ml de etanol y luego agregando 300  $\mu\text{l}$  de reactivo DDPH pre estabilizado a una absorbancia de 0,8. La disolución se resguardó de la luz solar y se dejó gravitar durante 45 minutos, y por último medimos la absorbancia a 515 nm con el espectrofotómetro.

### **3.3.3.3. Determinación de actividad antioxidante, método ABTS**

El método ABTS se emplea con la finalidad de analizar la actividad antioxidante generada a partir de un indicador, el 2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico), producido por reacciones químicas, electroquímicas o químicas. Uno de los métodos

más utilizados. Se puede producir enzimáticamente. Los radicales ABTS son compuestos cromóforos químicamente estables, altamente hidrosolubles, basados en su acción antioxidante mediante la captación de cationes ABTS. Esta eliminación da como resultado una disminución de la absorbancia, que se puede leer en diferentes tiempos de la mezcla radical-antioxidante. La ventaja de este método sobre otros métodos es que puede usarse tanto para muestras acuosas como liposolubles. El procedimiento empleado fue desarrollado por Re et al. (1999) incluidas ciertas variaciones. Se usó Trolox (ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcromo-2-carboxílico) preparado en etanol y almacenado como una solución estándar se utilizó como antioxidante de referencia. Se disolvieron por separado 0,0384 g de ABTS y 0,00662 g de persulfato de potasio 2,45 mM en 3 ml de agua destilada. Luego se mezclaron las 2 disoluciones, luego colocamos sobre un matraz volumétrico de 10 mL. La mezcla se mantuvo en la oscuridad a 25°C durante 16 horas para liberar radicales. Antes del análisis, la solución ABTS se diluyó 1:100 con etanol y se confirmó que tenía una absorbancia de  $0,70 \pm 0,02$  a 734 nm. Los radicales ABTS se determinaron agregando una alícuota de 20  $\mu$ L de metanol/solución de extracto a un tubo de ensayo y agregando 2 ml de solución ABTS. La solución se dejó reposar sin exposición a la luz por 0,6 min, después de lo cual se midió la absorbancia a 734 nm en un espectrofotómetro.

## CAPITULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Caracterización de la composición proximal del *Capsicum frutescens* (ají charapita)

Las características físicas de la materia prima usada en los experimentos para la extracción se observan en la tabla 4. El contenido de humedad en la muestra fue  $77.8590 \pm 1.1384$  % y después de 3 días sometidos al proceso de liofilización ( $-80^{\circ}\text{C}$  y  $0.020$  Mbar) la humedad de equilibrio alcanzó a  $3.0399 \pm 0.2038$ %. El contenido de humedad inicial tiene un valor similar a la obtenida por Delgado y Ríos (2014) evaluando el *Capsicum frutescens*, obtuvieron un valor de 82.13%. Sin embargo, los experimentos del estudio difieren a lo reportado por Santos, Aguiar, Barbero, Rezende y Martínez (2014) en su trabajo sobre “extracción supercrítica por dióxido de carbono de capsaicinoides de pimienta malagueta (*Capsicum frutescens* L.) asistida por ultrasonido” sostuvo que al inicio la humedad de la materia prima fue  $61 \pm 1\%$  (BM), y después de 20 h de secado ( $70 \pm 2$  °C), la humedad de equilibrio que alcanzó fue  $5,68 \pm 0,04\%$ .

Tabla 5.

*Caracterización proximal del ají charapita (Capsicum frutescens).*

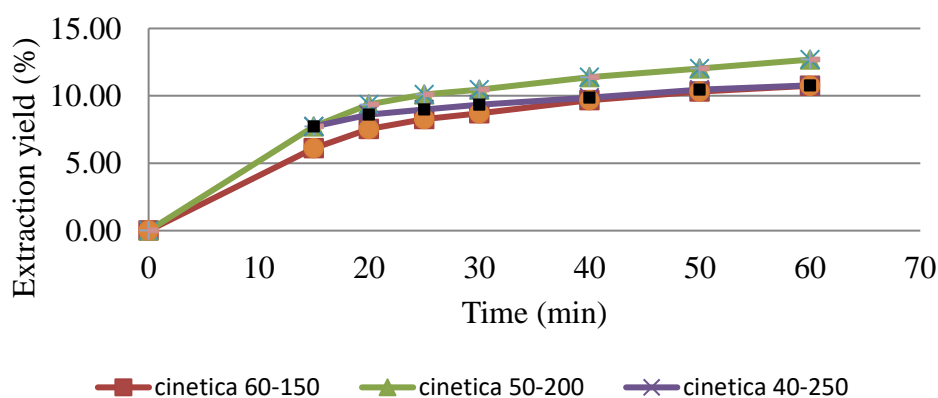
Análisis	Media $\pm$ Desviación estándar
Humedad de materia prima liofilizada	$3.0399 \pm 0.2038$
Humedad de materia prima fresca	$77.8590 \pm 1.1384$
Ceniza de materia prima fresca	$1.168 \pm 1.0363$

## 4.2. Extracción acelerada por fluidos supercríticos

### 4.2.1. Ensayos preliminares – Construcción de las curvas de cinética de extracción

La figura 6 ilustra el comportamiento típico de las curvas de extracción de fluidos supercríticos, se trabajó con partículas de *Capsicum frutescens* a diferentes temperaturas (40, 50 y 60 °C) y presión (15, 20 y 25 MPa) con un flujo de CO<sub>2</sub> constante, cuyo propósito es perfeccionar las condiciones de extracción. Observamos que la aplicación de estos factores además del tiempo influye en el rendimiento global; a los 60 minutos con una temperatura de 50 °C y 200 bar aumentó los valores de rendimiento. Este comportamiento es consistente con los resultados obtenidos en trabajos previos. Luque, Valcárcel y Tena (1993) en su libro “Fase analítica

en la extracción supercrítica” menciona que las características fundamentales del SFE que determinan las propiedades que actúa como extractantes son su densidad (presión y temperatura) y su naturaleza química (polaridad) y el poder disolvente está en función a la densidad del fluido supercrítico. Santos, Aguiar, Barbero, Rezende y Martínez (2014) concluyó que la SFE de la pimienta malagueta (*Capsicum frutescens* L.) en la primera hora de extracción el rendimiento mundial aumentó del 3,6%. La misma técnica fue utilizada con diferentes productos tales como hinojo, obteniendo un rendimiento global de extracción de 24,5% a partir de 9,8 g de extracto / 100 g de hinojo por SFE, la condición para la extracción se efectuó a 200 bar y a 40 °C (Hatami, Flores y Meireles, 2018).



**Figura 5.** Cinética de la SFE del ají charapita (*Capsicum frutescens*) a diferentes presiones (150, 200, 250), temperaturas (40,50 y 60 °C) con flujo de CO<sub>2</sub> constante.

#### 4.2.2. Obtención de los extractos por fluido supercrítico

Experimentos de extracción con CO<sub>2</sub> supercrítico se llevaron a cabo siguiendo un diseño factorial de múltiples niveles, elaborada con la ayuda de del software statistica - Minitab, que constaba dos factores, cada uno de los cuales contaba con 3 niveles por duplicado, respectivamente.

La Tabla 5, presenta valores experimentales de la planificación realizada para analizar como influye las variables sobre el proceso (temperatura y presión), sobre el rendimiento global, el contenido de compuestos fenólicos y la actividad antioxidante. Se puede observar que, entre los experimentos realizados, el contenido más elevado del extracto (10.86) se encontró a una temperatura de 40 ° C y una presión de 250 bar. El punto con mayor contenido de compuestos fenólicos (4.847 mgGAE/ g Materia-prima) fue a 40 ° C y 250 bar. Respecto a la actividad antioxidante observada por los métodos DPPH y ABTS hubo mayor interacción de estos compuestos a una temperatura de 60 °C y 250 bar en ambos procedimientos, en relación al método DPPH la mayor cantidad fue de 0.020 µmol TE/g materia reportados a 40 y 60 ° C ambas 250 bar, asimismo por el método ABTS la concentración más elevada fue de 8.108 TEAC µmol TE/g materia seca extraídas a 60 ° C y 250 bar.

Tabla 6.

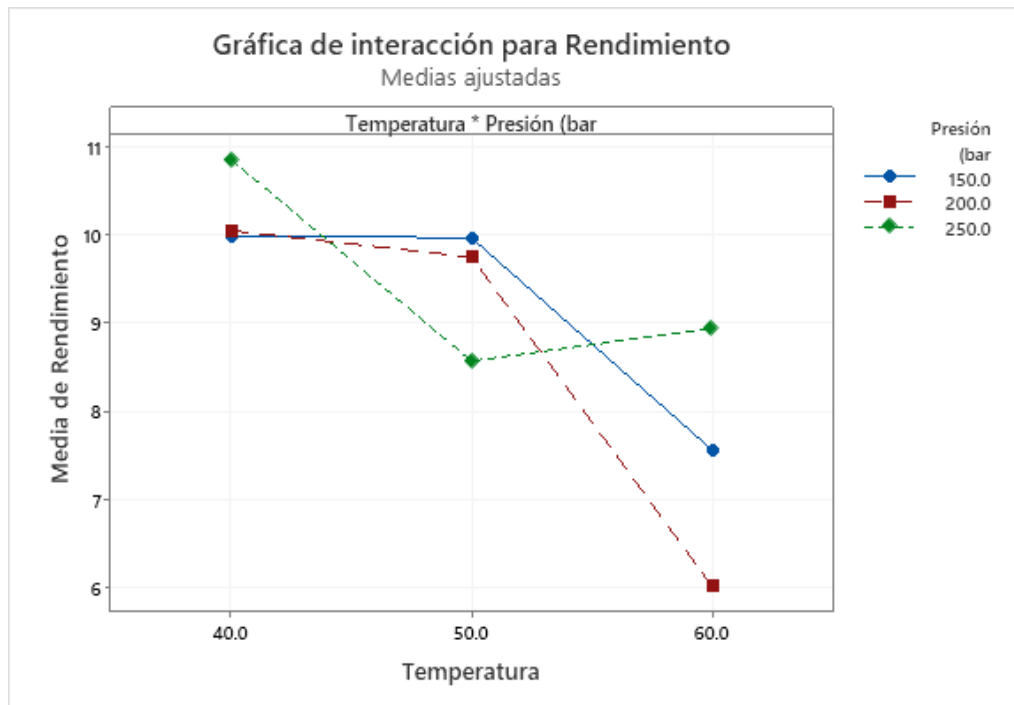
*Resultados obtenidos por extracción supercrítica de ají charapita (Capsicum frutescens) triturada.*

Glosario	código	TEMPRATURA (°C)	PRESIÓN N (Bar)	RENDIMIENTO %	FENOLES: mgGAE/ g Materia-prima	DPPH: MEDIA TEAC µmol TE/g materia seca	ABTS: MEDIA TEAC µmol TE/g materia seca
<b>FLUIDOS SUPERCRÍTICOS</b>	1	40	150	9.99	2.701	0.019	5.542
	2	40	200	10.05	2.717	0.017	4.605
	3	40	250	10.86	4.847	0.02	4.293
	4	50	150	9.97	3.719	0.016	4.186
	5	50	200	9.75	3.026	0.019	4.692
	6	50	250	8.57	3	0.015	4.284
	7	60	150	7.56	3.57	0.015	6.23
	8	60	200	6.01	3.64	0.011	5.976
	9	60	250	8.94	3.37	0.02	8.108

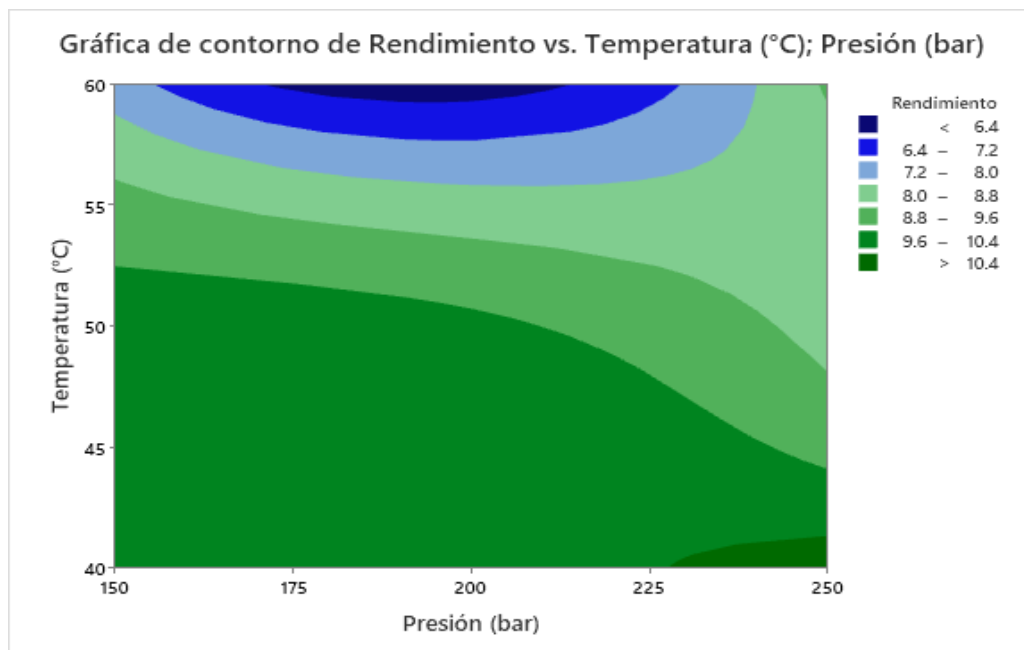
ME = método de extracción

### 4.2.3. Rendimiento global

Por la figura 7 y 8 podemos definir que existe más rendimiento (10.86 %) a una temperatura de 40 ° C y una presión de 250 bar, el efecto es negativo para el factor temperatura por lo que el rendimiento disminuye al cambiar de temperatura de 40 a 60 ° C (Anexo II-1), estos resultados pueden explicarse por la volatilización de ciertos compuestos a altas temperaturas.



**Figura 6** Grafica de interacción de temperatura (°C) y presión (bar) para Rendimiento



**Figura 7.** Grafica de contorno de Rendimiento vs Temperatura (°C) y Presión (bar).

El ANOVA sobre los rendimientos (Anexo III-1) muestra la interacción (temperatura\*presión) la cual tiene influencia significativa ( $p < 0.05$ ) en el porcentaje del rendimiento, sin embargo, al analizar los factores (temperatura y presión) de forma individual, podemos deducir que la temperatura no tuvo influencia significativa entre los tratamientos.

Este comportamiento es semejante a los resultados obtenidos en trabajos anteriores; Galán, Nienaber y Schwartz (1999) la oleorresina de pimiento obtenida durante la etapa de alta presión tuvo un rendimiento de aproximadamente el 30%. Aguiar (2015), en su trabajo “valoración pimientos *Capsicum* nativos de Brasil con el uso de tecnología supercrítica: extracción y encapsulación”, reportó que los valores más altos de rendimiento entre las condiciones estudiadas se obtuvieron a 25 MPa y 40 ° C (13,6%). Gavilan (2016), indica que si aumenta la presión se observa así mismo el incremento en la solubilización y extracción de oleorresina, pero disminuye al aumentar la temperatura en el trabajo “fectos de la Presión y Temperatura Durante la Extracción supercrítica con dióxido de carbono y alcohol etílico sobre Capsaicinoides del ají especial” reportó que la mejor adquisición del extracto obtenido por las venas del ají especial por extracción supercrítica fue 13,337 % extraídos a 400 bar y 40°C. Cabrera (2019) indica que la rentabilidad del extracto es directamente proporcional a la presión de los factores y al tiempo. Al aumentar la presión y el tiempo asciende la magnitud de extracto recolectado. Por otro lado, la temperatura es inversamente proporcional a la magnitud de la respuesta, lo que da como resultado una disminución del rendimiento durante los aumentos de temperatura. Según Daood, Gnayfeed, Mézaros y Biacs (2002) la extracción por dióxido de carbono por encima de su punto crítico y la presión mayores a 300 bar ayudan a la solubilización del extracto. Esto debido al aumento de transmisión de masa y ausencia de los solutos de las matrices (Del Valle, De la Fuente y Cardarelli, 2004).

### **4.3. Análisis de la composición química de los extractos**

#### **4.3.1. Determinación del contenido de compuestos fenólicos (TPC)**

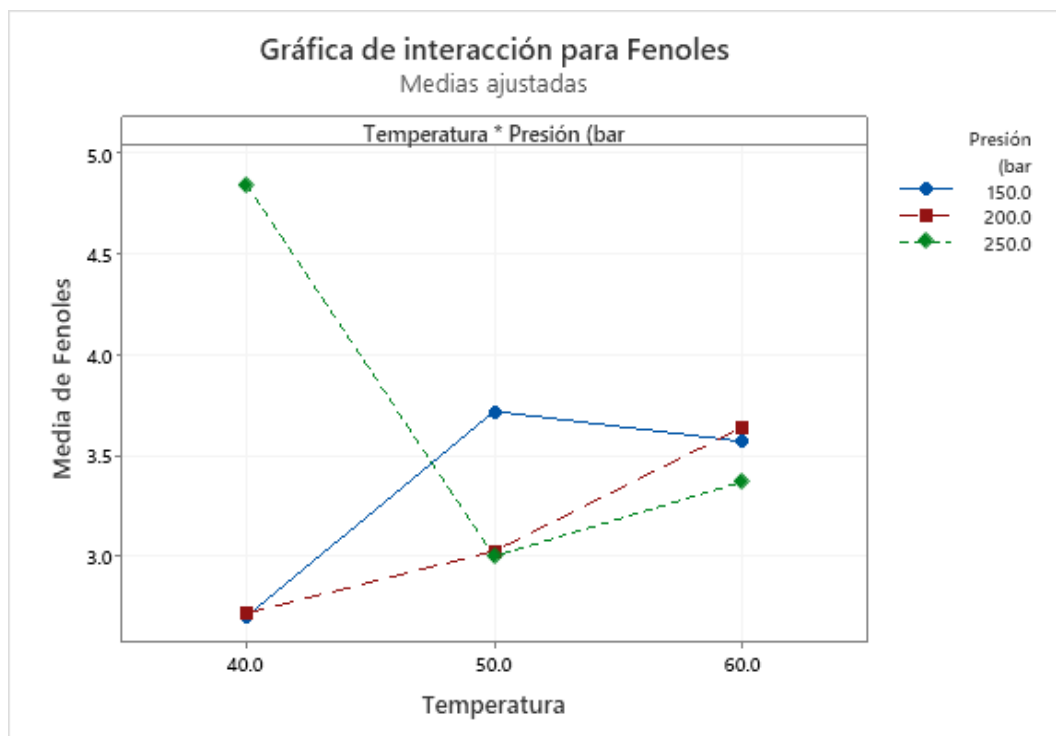
Se examinó el impacto tanto de presión como de la temperatura en el contenido total de compuestos fenólicos del ají charapita (*Capsicum frutescens*). En la figura 9 y 10, Podemos analizar que al crecer la presión y descender la temperatura se obtuvo concentraciones de compuestos fenólicos mayores a 4,5 mg GAE/gramo de Materia prima. En el Anexo II-2 podemos deducir que la presión en el rango de 200-250 bar tiene un efecto positivo en el contenido de compuestos fenólicos.

En el ANOVA sobre la cantidad de fenoles (Anexo III-2) podemos analizar que la

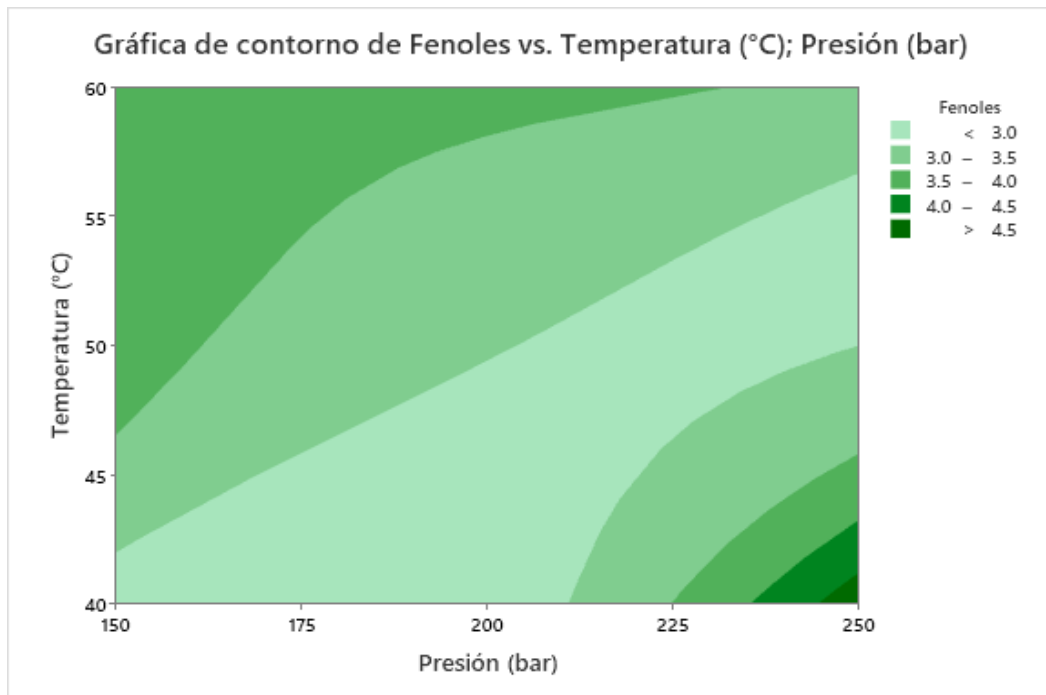


temperatura influyó significativamente ( $p < 0.05$ ) sobre la cantidad de componentes fenólicos, lo que sugiere que para lograr la optimización del procedimiento para obtener estos compuestos se tiene que variar la temperatura.

Semejante a lo descrito por Pérez, Ruiz, Gilc, Blanchb y Flores (2015), en el cual describen que el contenido de compuestos fenólicos (TPC) tiende a incrementar con el aumento de presión; en su trabajo con semillas de uva alcanzaron mayor actividad fenólica a 300 bar y 40 °C ( $2 \pm 3$  mg GAE por g) mientras que el valor más bajo de TPC fue a 200 bar y 60 °C ( $3 \pm 1$  mg GAE por g). Pasquel, Fonseca, Barbero, Rezende y Martínez (2019) mencionan que contenido fenólico aumenta con la temperatura en la extracción con fluidos supercríticos, debido a que dichos compuestos se solubilizan más fácilmente a altas temperaturas. En su trabajo con bagazo de mora (*Rubus sp.*) la concentración fenólica más alta ( $4.44 \pm 0,30$  mg GAE / g de extracto) fue a 200 bar y 60°C. Sin embargo, las diferencias pueden indicar factores específicos de la planta (origen genético), lo que lleva al hecho de que la composición de estas sustancias difiere no solo entre diferentes especies, sino también entre cultivares del mismo producto. (Barberán, 2003).



**Figura 8.** Grafica de interacción de Temperatura (°C) y presión (bar) para fenoles



**Figura 9.** Grafica de contorno de fenoles vs, Temperatura (°C) y Presión (bar)

#### 4.3.2. Determinación de actividad antioxidante por el procedimiento ABTS y DPPH.

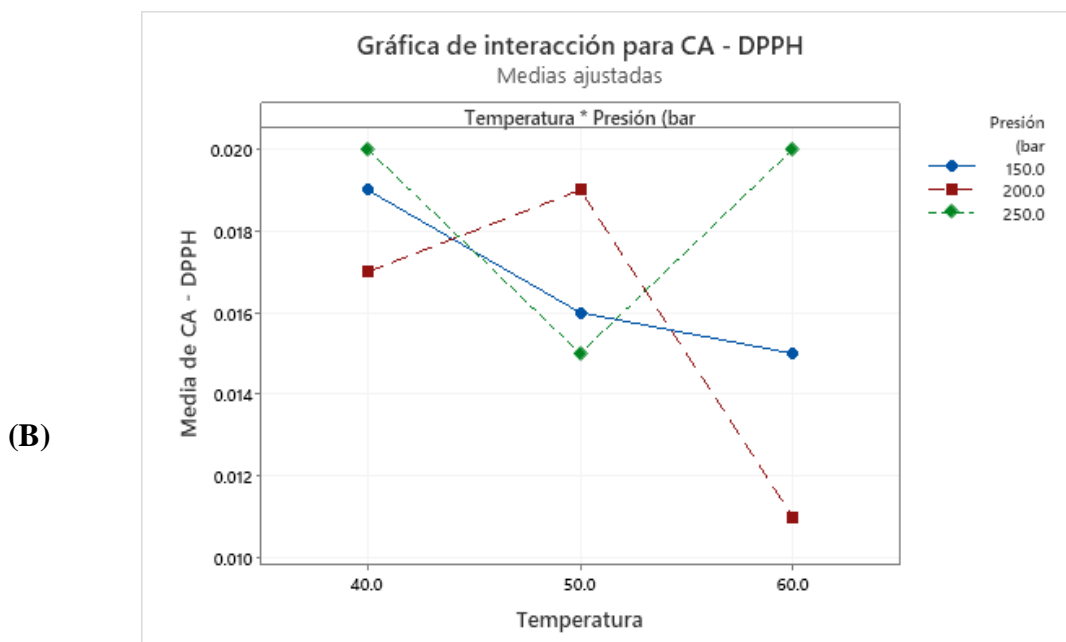
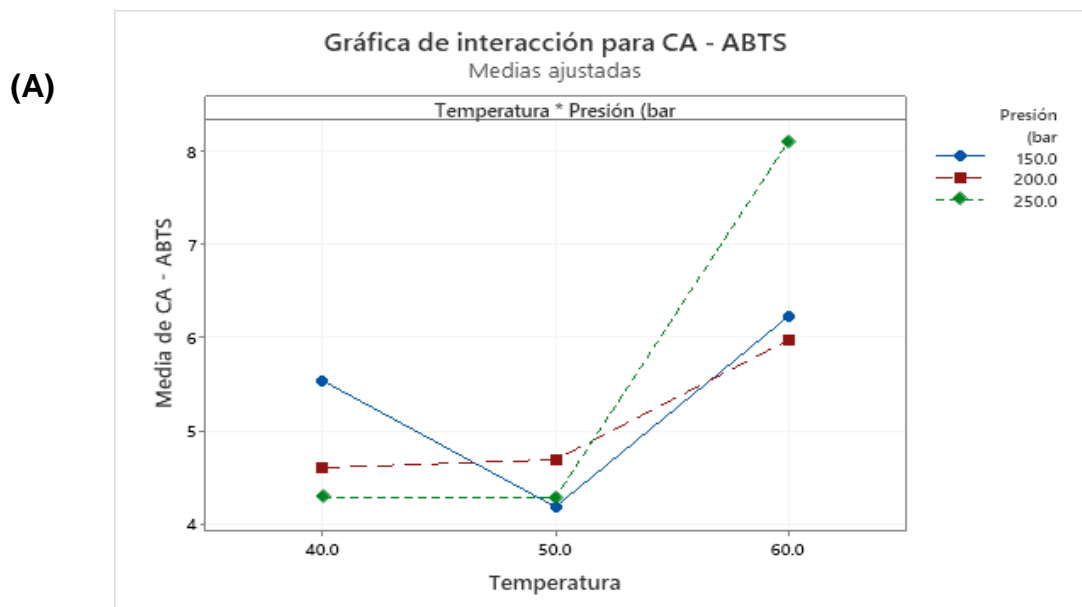
Comparando los métodos, podemos deducir que siguiendo el procedimiento ABTS existe mayor concentración de antioxidantes; a continuación, en la figura 11A, podemos definir que a elevada temperatura y presión se incrementó la cantidad de compuestos antioxidantes extraídos, donde el pico más alto fue de  $8.108 \mu\text{mol TE/g}$  materia seca a  $60^\circ \text{C}$  y  $250 \text{ bar}$ . Asimismo, la figura 11B nos muestra que a una temperatura de  $40$  y  $60^\circ \text{C}$  con una presión de  $250 \text{ bar}$  respectivamente, hubo mayor actividad antioxidante ( $0.02 \text{ TEAC } \mu\text{mol TE/g}$  materia seca). El resultado de DPPH es menor que el de ABTS, lo que se debe a la mayor sensibilidad de detección de ABTS, la interferencia de longitud de onda y la coloración del extracto, es decir, a mayor color coloración, menos es el descenso de absorbancia, por ende, es inferior la actividad de antioxidantes (Arnao, 2001). Las mayores actividades antioxidantes en los dos métodos fueron obtenidas a altas presiones y temperaturas, semejante con los resultados obtenidos por Pasquel, Fonseca, Barbero, Rezende y Martínez (2019) en el cual concluyeron que el incremento de la actividad antioxidante tuvo mayor evidencia a altas temperaturas, lo que se atribuye que los componentes causantes sobre la actividad antioxidante suelen ser más solubles a altas temperaturas, sin degradación térmica.

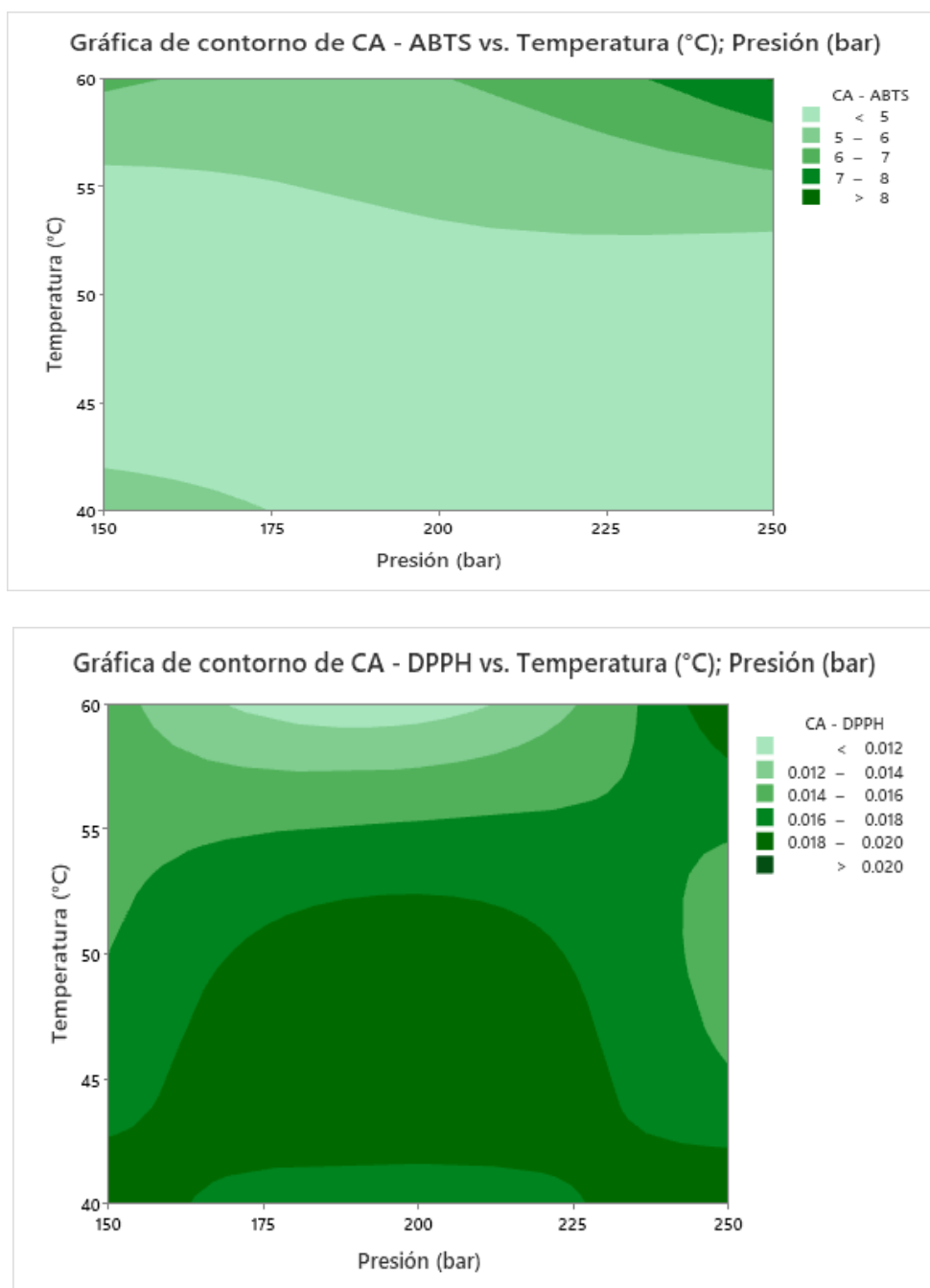
En Anexo II-3A podemos deducir que por el método ABTS la temperatura en un rango de  $50\text{-}60^\circ \text{C}$  tiene un efecto positivo para la obtención de estos compuestos antioxidantes. Sin embargo, que por el método DPPH se puede apreciar un efecto

negativo para el factor temperatura por lo que la actividad antioxidante disminuye al cambiar la temperatura de 40 a 60°C, pero un efecto positivo para el factor presión en un rango de 200-250 bar (Anexo II-3B).

En el ANOVA sobre la capacidad antioxidante a través del método ABTS (Anexo III-3A) podemos analizar que los factores temperatura y presión influyeron significativamente ( $p < 0.05$ ) en la actividad antioxidante.

El ANOVA sobre la capacidad antioxidante a través del método DPPH (Anexo III-3B) ponemos analizar que las variables temperatura y presión no influyeron significativamente ( $p < 0.05$ ) sobre la existencia de antioxidantes; sin embargo, en la interacción, es decir, al aplicar simultáneamente estos factores (temperatura \* presión) influyó significativamente ( $p < 0.05$ ) en los antioxidantes.





**Figura 10.** Efecto de las condiciones de extracción sobre la actividad antioxidante por el método ABTS (A) y DPPH (B).

## CONCLUSIONES

Una técnica novedosa es la extracción a través de fluidos supercríticos, utilizada para la producción de oleorresinas, logrando así sustituir métodos convencionales de extracción. El principal logro de esta investigación está aplicando la metodología de extracción aplicando fluidos supercríticos a fin de mejorar las condiciones operacionales de extracción del ají charapita (*capsicum frutescens*).

Se analizó el predominio de la temperatura y presión sobre el rendimiento de los extractos, cantidad de fenoles y capacidad antioxidante a través de dos métodos ABTS y DPPH, en cuanto al rendimiento global se concluye que la presión tuvo influencia significativa en obtención de los extractos, se evidenció que al disminuir la temperatura y ascender la presión se obtiene mayor rendimiento del extracto, el pico más alto fue de 10.86 % extraídos a 40°C y 250 bar.

Los fenoles poseen actividades biológicas que incluyen la regulación de mecanismos relacionados con el control de glucosa y otros que ayudan al ser humano. Referente a la extracción de estos compuestos se visualizó mayor recuperación a 40 ° C y 250 bar, logrando obtener 4.847 mg GAE/ g Materia seca, la temperatura tuvo significancia en la adquisición de fenoles.

Mientras tanto que, las respuestas conseguidas por la evaluación de la capacidad antioxidante a través del método ABTS nos indica que la temperatura y presión tienen influencia significativa entre los tratamientos, a diferencia del método DPPH que estos factores no influyeron significativamente en la obtención de dichos compuestos; sin embargo, para ambos métodos DPPH y ABTS, al aplicar simultáneamente temperatura y presión estos influyen significativamente en la actividad antioxidante, así mismo se concluye que el método ABTS tiene mayor efectividad a la hora de extraer compuestos antioxidantes debido a la sensibilidad del ensayo.

## RECOMENDACIONES

Se alienta a los estudios futuros a investigar los modelos matemáticos disponibles para la cinética de extracción, así determinar cómo varían los factores cinéticos con las condiciones estudiadas.

Se aconseja llevar a cabo estudios cuyo interés determine proporcionalmente el número de capsaicinoides contenidos en extractos obtenidos del ají charapita para profundizar este trabajo.

Se propone proseguir con la investigación con el objetivo de inventar un patrón en base a la capsaicina con la finalidad de emplear sus propiedades benéficas como analgésicos y antiinflamatorios. Así mismo, llevar a cabo un estudio de efectividad de la muestra para así saber su factibilidad.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ADEX, 2017. Día del ají peruano y para incentivar el consumo. <http://www.adexperu.org.pe/notadeprensa/se-celebrara-el-dia-de-los-ajies-peruanos-para-promover-su-consumo/>.
- AOAC, 1997. Métodos oficiales de análisis. 16<sup>a</sup> ed., 3<sup>a</sup> rev. Gaithersburg: Publicado por AOAC International, v.2, cap. 32, p.1-43.4.
- Arnao, M. 2001. Algunas cuestiones metodológicas en la determinación de la actividad antioxidante mediante radicales libres cromogénicos: un caso práctico. *Tendencias en ciencia y tecnología de los alimentos*, 11(11), 419–421. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(01\)00027-9](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(01)00027-9)
- Barbero G. F., Liazid A., Palma M. & Barroso C., 2008. extracción de capsaicinoides ultrasonido-asistido de los pimientos, *Talanta*.
- Bosland, & Votava E. (2012), *Pimientos. vegetales y especies Capsicum*, 2.<sup>a</sup> ed. CABI: Cambridge, Reino Unido.
- Brunner, G, 2005. Fluidos supercríticos: tecnología y aplicación al procesamiento de alimentos, *Journal of Food Engineering*.
- Cabrera 2019. Estudiar las condiciones adecuadas para extraer compuestos de las hojas de chirimoljo (*Kalanchoe pinnata*) por extracción supercrítica.
- Campos, M. 2011. Métodos de extracción sobre componentes bioactivos. Facultad de Nutrición-Veracruz.
- Cedrón, J. C. 2013. La Capsaicina: La molécula destacada. *Revista de Química PUCP*, 27, 816–824. Retrieved from <http://revistas.pucp.edu.pe/quimica>
- Centa 2002. Cultivares tropicales de Pimentón. [www.google](http://www.google.com).
- Chan C. H.; Yusoff R. & Ngoh G. C.; (2011), Extracciones asistidas por microondas de ingredientes activos de plantas. *Revista de cromatografía A*, v. 1218, n. 37, pág. 6213-6225.
- Cocero, M. J. et al. 2009. Procesos de encapsulación y coprecipitación con fluidos supercríticos: Fundamentos y aplicaciones. *The Journal of Supercritical Fluids*, v. 47, n. 3, pág. 546-555.
- Coronel B, 2012. Biocatálisis de capsaicinas, norhidrocapsaicinas y carotenos de *Capsicum chinense* y su extracción con dióxido de carbono supercrítico y exámenes por HPLC.
- Contreras M. & Yahia, E., 1998. “Cambios en capsaicinoides durante el incremento, gestación y envejecimiento de chiles y su relación con la actividad de la peroxidasa. *J. Agric. Química alimentaria* 46, 2075-2079.
- Deepa, N., Kaur, C., George, B., Singh, B. & Kapoor, H. C. 2007. Constituyentes antioxidantes en algunos genotipos de pimiento dulce (*Capsicum annum*

- L.) durante la madurez. *Ciencia y Tecnología de los Alimentos* 40, 121-129.
- Daood, H.; Gnayfeed, I.; Mészáros, H. y Biacs, P. 2002. Extraction of pungent spice paprika by supercritical carbon dioxide and subcritical propane. *Journal Supercritical Fluid* (23). pp. 143 - 452.
- Del Valle, J.; De la Fuente, J. y Cardarelli, D. 2004. Aportes a la extracción supercrítica de sustratos vegetales en América Latina. *Revista de Ingeniería de Alimentos*.
- Delgado K. & Ríos J., 2014. "Secado en polvo de *capsicum frutescens* (ají charapita) mediante las técnicas de lecho fluidizado, en bandejas y liofilizado."
- Domínguez, Esteban José; Ferrer, Julián, 2017. *Mecanizar básicamente. termodi*
- Esquivel F. & Vargas P., 2007. Producir alimentos funcionales con aceites esenciales extraídos por fluidos supercríticos. *Tecnología en Marcha*.
- Fernández 2007. Extraer, analizar, estabilizar y sintetizar de capsaicina. Universidad de Cádiz, España.
- Gallego & castañeda 2004, Diseñar conceptualmente un sistema de extracción supercrítico a escala de banco utilizando CO<sub>2</sub> como disolvente. EAFIT - Universidad de Medellín.
- Gamarra et al. 2011, UNCP. Este estudio se realizó sobre "extraer y cuantificar capsaicinoides de rocoto (*capsicum pubescen*) con dióxido de carbono supercrítico, Valle del Mantaro".
- Gavilan N., 2016. "Influencia de las presiones y temperaturas por extracciones con dióxido de carbono supercrítico y alcohol etílico en capsaicinoides utilizando venas de *Capsicum chinense*".
- GreenFacts, 2018. Facts on Health and the Environment. Dióxido de carbono supercrítico. Perú. Recuperado de:  
<https://www.greenfacts.org/es/glosario/def/dioxido-carbono-supercritico.htm>
- Hatami T., Cezar J., Johner F. & Meireles M. A., 2018. Extracción y fraccionamiento de hinojo usando supercrítico Florida extracción uid asistido por presión en frío.
- Iwai, K.; Suzuki T. & Fujiwake, H. 1979. "Microdeterminación simultánea de capsaicina y sus cuatro análogos por HPLC y GC/MS". *Revista de cromatografía A*, 172: 303-311.
- Kaufmann, B. y P. Christen 2002, Técnicas de extracción recientes para productos naturales: Extracción asistida por microondas y extracción con solvente presurizado.
- Khachik, F.; Beecher, G. & Whitaker, N. 1986. Separar, identificar y cuantificar los constituyentes de carotenoides y clorofila en extractos de varios vegetales verdes por cromatografía líquida. *Revista de Química Agrícola y Alimentaria* 34, 603 - 616.



- Kirschbaum T., Mueller S. E. & Petz M., 2002. Pungencia en paprika (*Capsicum annuum*):  
1. Disminución del contenido de capsaicoides después de la interrupción celular. *Revista de química agrícola y alimentaria* 50, 1260-1263.
- Laskaridou M. 1999. Determinación de la capsaicina y dihidrocapsaicina por cromatografía capilar electrocinética micelar y su aplicación a varias especies de *Capsicum*, Solanaceae, *J. Chromatogr.*
- López E., 2011. Extraer y Cuantificar por Espectrofotometria la Capsaicina de Chile Universidad Autónoma de Juárez-México.
- Luque De Castro, & Jiménez 1998. Potencial del agua para la lixiviación continua automatizada de muestras. *Tendencias en Química Analítica*, v. 17, n. 7, pág. 441-447.
- Mamidipally P. & Liu S. 2004. Primer enfoque sobre la extracción de aceite de salvado de arroz usando limoneno, *Eur. J. Lipid Sci. Tecnología*, 106, 122–125.
- Martínez 2008, extracción con fluidos supercríticos de Nutracéuticos y Compuestos Bioactivos, CRC Press, Boca Raton FL.
- Melo A., Silvestre A. & Silva C. 2014. Extracción de fluidos supercríticos de matrices vegetales: aplicaciones, tendencias y perspectivas futuras de una tecnología verde convincente.
- MINAGRI 2017. Plan de desarrollo sostenible de especies de *Capsicum* 2018-2028 (p. 59). p. 59. Retrieved from <http://www.minagri.gob.pe/portal/download/pdf/marcolegal/normaslegales/resolucioneministeriales/2017/octubre/rm434-2017-minagri.pdf>
- Mohamed R., 1997. Extracción y fraccionamiento de productos naturales con fluidos supercríticos. *Ciencia y tecnología de los alimentos*.
- Molina, D. 2009. Constituyentes fitoquímicos de caji (*Capsicum annuum* L.) cultivado en México y su conexión con la capacidad antioxidante.
- Palomino, A., 2003. Construir un modulo de equipos de extracciones supercríticas de aceites esenciales y mejora del modelo matemático. *Investigaciones Avanzadas*.
- Pérez, Ruiz, Gilc, Blanchb y Flores, 2015. Extracción con fluido supercrítico de semillas de uva: composición química del extracto, actividad antioxidante e inhibir el rendimiento de nitrito en células.
- Reyes M., Gonzalez E. & Vazquez E. 2011. Vertientes químicos y farmacológicos de los capsaicoides. *Moléculas*, v. 16, pág. 1253-1270.
- Rozzi, N. & Singh R., 2002. Fluidos Supercríticos y la Industria Alimentaria, Integral.
- Santos P., Aguiar A. C., Barbero G. F., Rezende C. A. & Martínez J., 2014. Extraer con CO<sub>2</sub> supercrítico capsaicoides de chile malagueta (*Capsicum frutescens* L.)

favorecida por ultrasonido.

Selvanet 2010. Maravillas naturales de la selva web.  
<https://selvanet20.blogspot.pe/2010/08/aji-charapita-capsicum-frutescens.html>

Smith, R. D.; Wright, B. W.; Yonker, C. R. 1988, Cromatografía de fluidos supercríticos: estado actual y pronóstico.

Vilkhu, K.; Mawson, R.; Simons, L. & Bates, D., 2008. Estudio y conyunturas para la extracción favorecida por ultrasonido en industrias de alimentos: una modificación. Ciencia innovadora de alimentos y tecnologías nacientes, v. 9, n. 2, pág. 161-169.

Yunus A, Cengel., 2009. Termodinámica, 6ta edición. Mc Graw Hill. ISBN 978-970-10-72868.

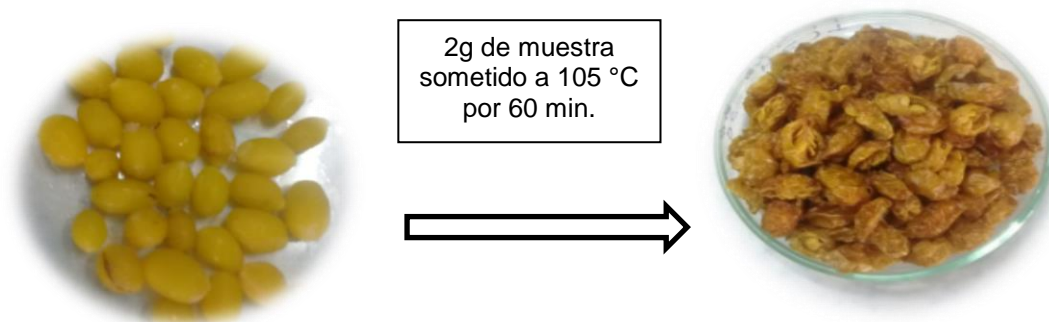
## ANEXO - I

### 1- Materia prima: Ají charapita

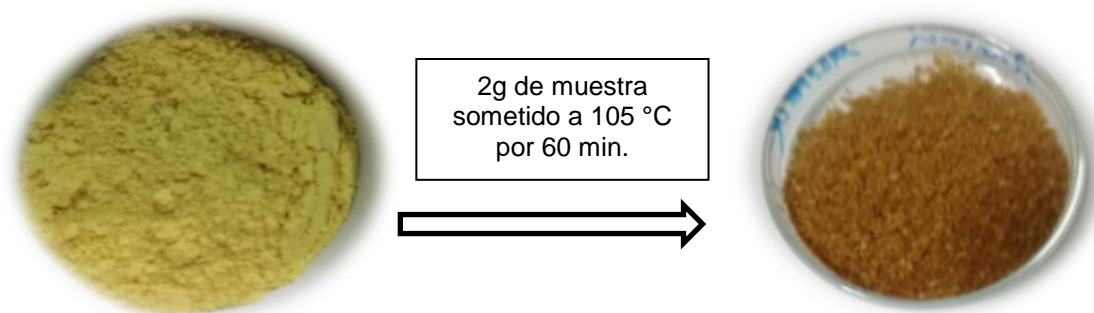


### 2- Determinación de humedad

- Materia prima fresca



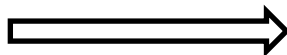
- Materia prima seca mediante liofilización y triturada



### 3- Determinación de cenizas

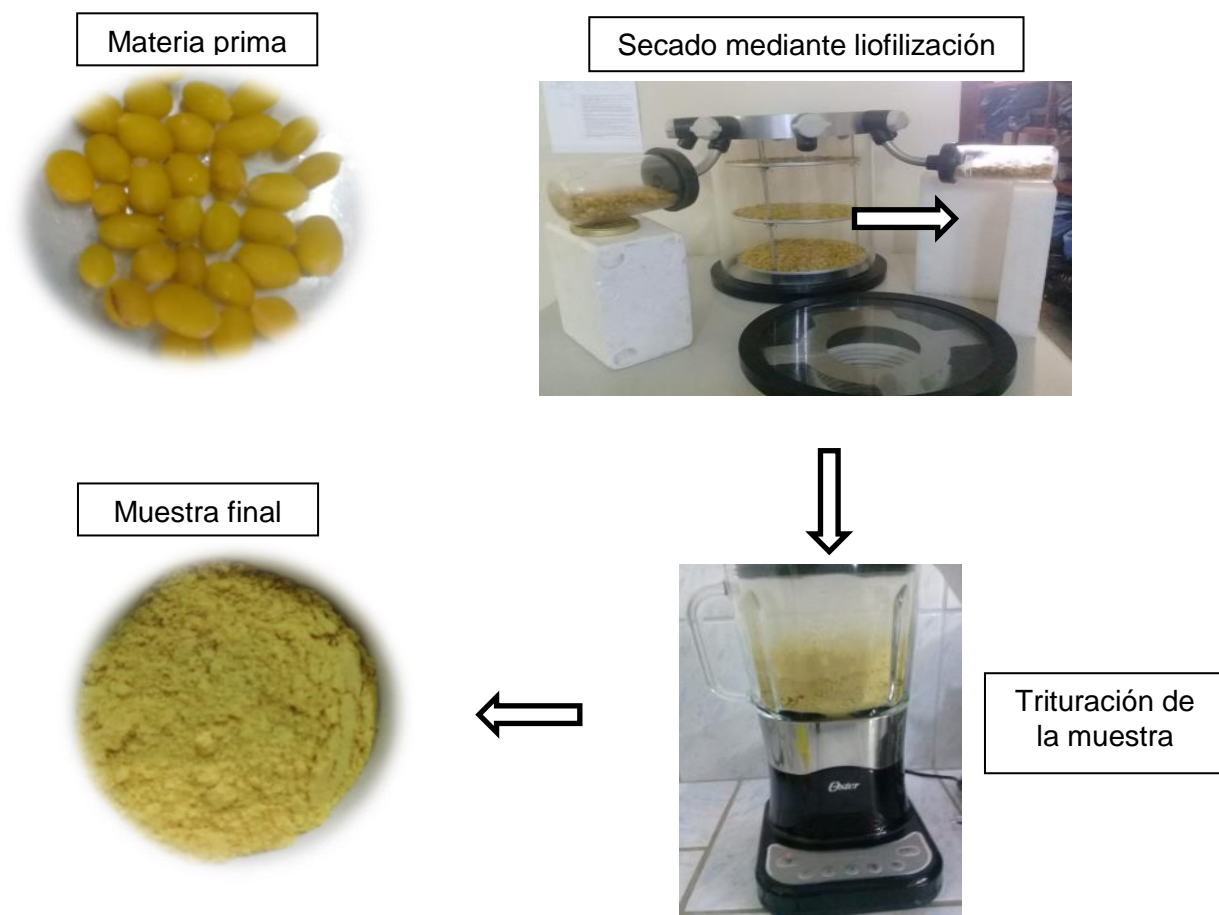


3g de muestra.  
Mufla a 550°C por  
24 horas

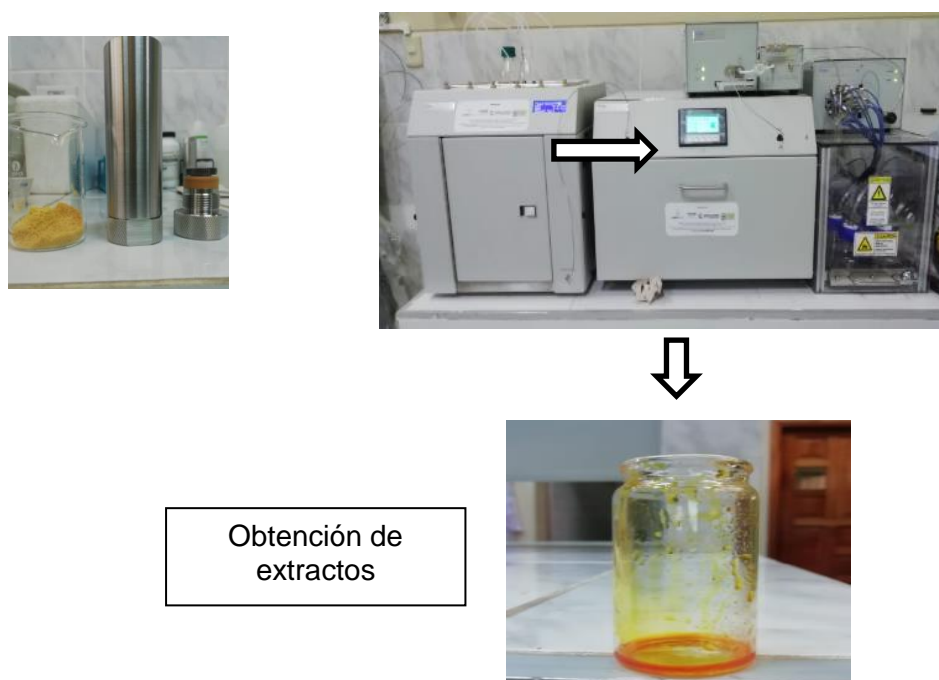


### 4- Extracción por fluidos supercrítico.

- Acondicionamiento de la materia prima



- Extracción obtenidos del ají charapita por fluidos supercrítico.

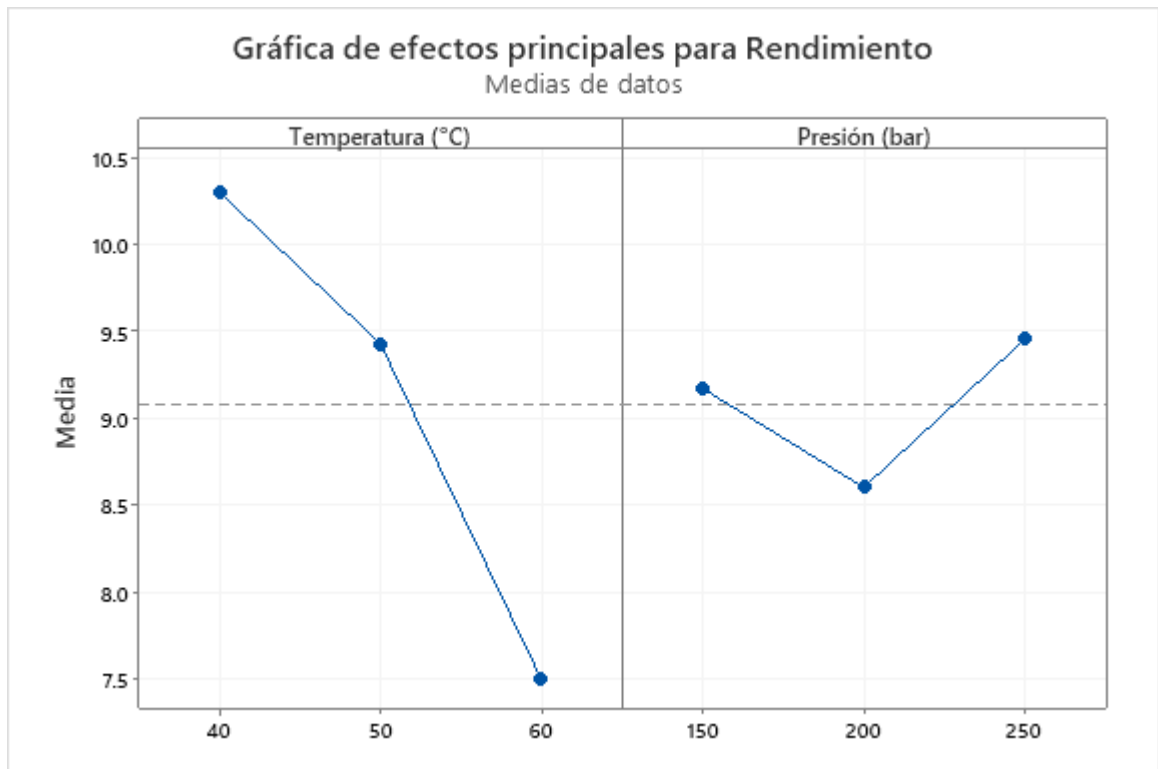


## 5- Determinación de compuestos fenoles y actividad antioxidante



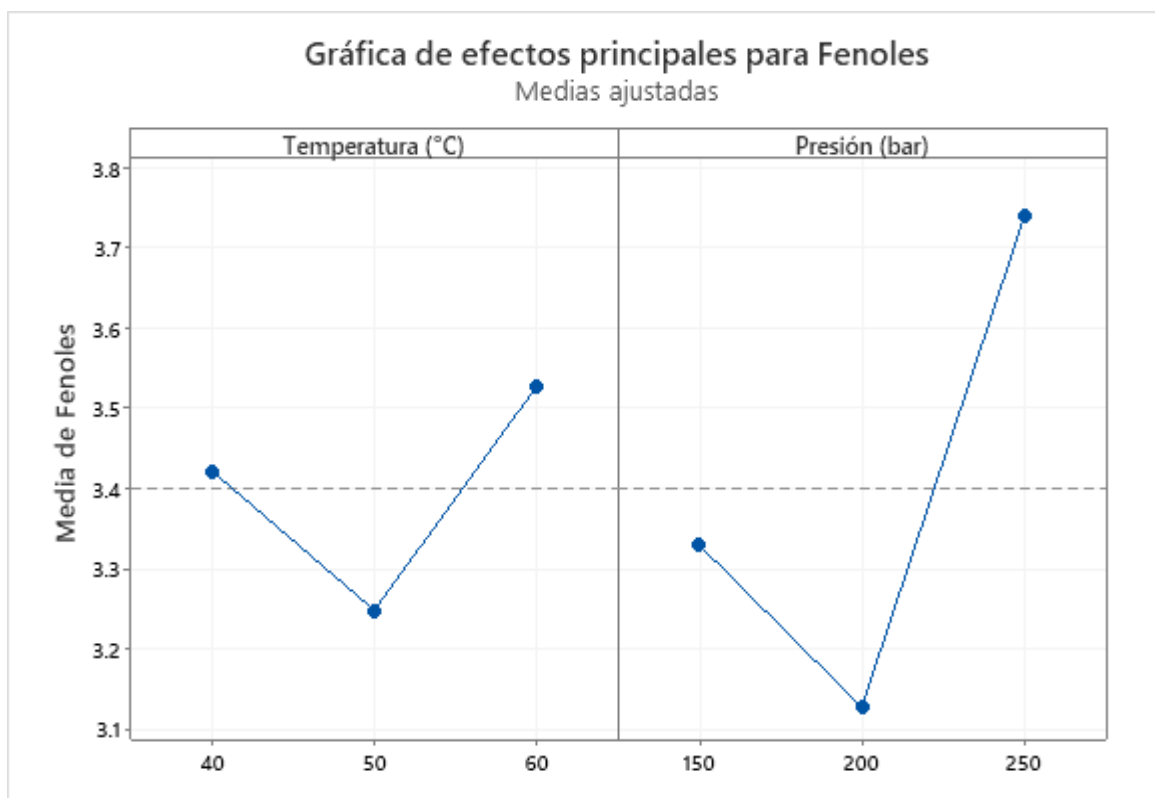
## ANEXO – II

### 1- Rendimiento global: Efectos principales de la temperatura y Presión



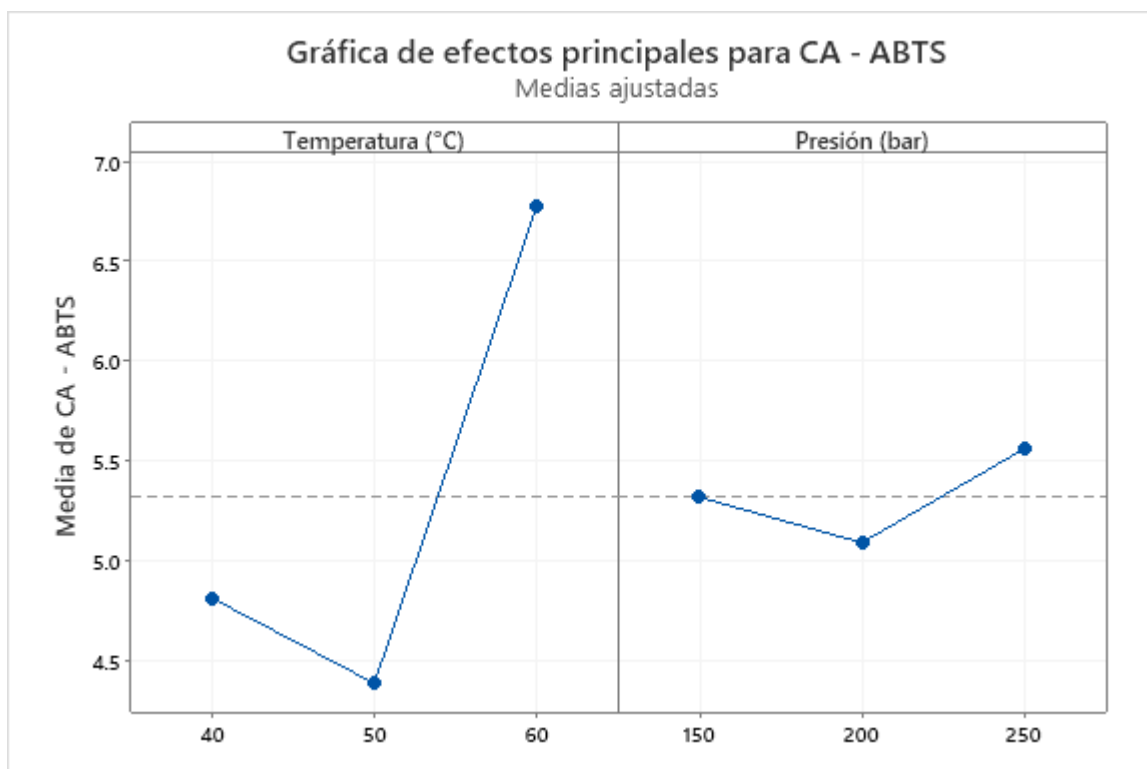
**C**

**tos principales de la temperatura y Presión**

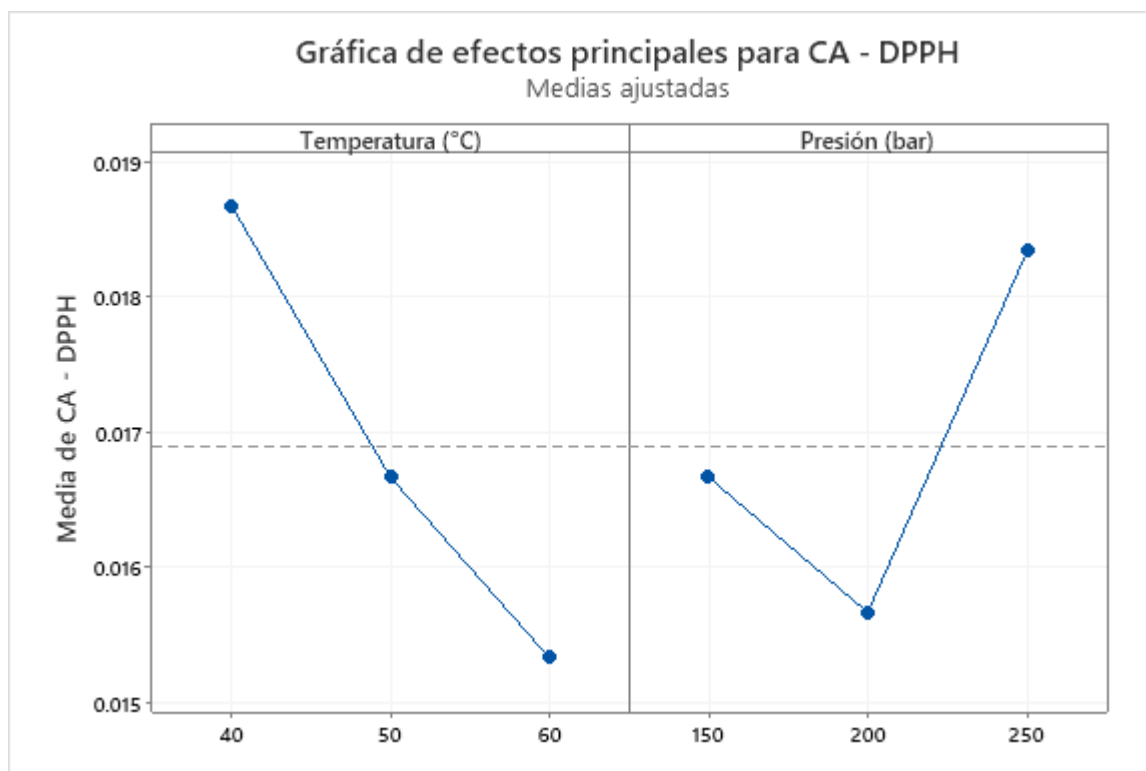


## tioxidante por el método ABTS Y DPPH

### A) Método ABTS: Efectos principales de la temperatura y presión



### B) Método DPPH: Efectos principales de la temperatura y presión



## ANEXO – III

## 1- Rendimiento global:

## ANOVA

Variable dependiente: RENDIMIENTO DEL EXTRACTO

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.	Eta parcial al cuadrado
Modelo corregido	17,429 <sup>a</sup>	8	2,179	6,648	,005	,855
Interceptación	6217,716	1	6217,716	18972,557	,000	1,000
temperatura	1,806	2	,903	2,755	,117	,380
presión	3,548	2	1,774	5,413	,029	,546
temperatura * presión	12,075	4	3,019	9,212	,003	,804
Error	2,949	9	,328			
Total	6238,095	18				
Total corregido	20,378	17				

a. R al cuadrado = ,855 (R al cuadrado ajustada = ,727)

## Comparaciones múltiples

Variable dependiente: RENDIMIENTO DEL EXTRACTO

HSD Tukey

(I) PRESION DE EXTRACCION	(J) PRESION DE EXTRACCION	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
150,00	200,00	-,6163	,33052	,204	-1,5391	,3065
	250,00	,4677	,33052	,374	-,4551	1,3905
200,00	150,00	,6163	,33052	,204	-,3065	1,5391
	250,00	1,0841*	,33052	,023	,1613	2,0069
250,00	150,00	-,4677	,33052	,374	-1,3905	,4551
	200,00	-1,0841*	,33052	,023	-2,0069	-,1613

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática(Error) = ,328.

\*. La diferencia de medias es significativa en el nivel .05.



### Comparaciones múltiples

Variable dependiente: RENDIMIENTO DEL EXTRACTO

HSD Tukey

(I) TEMPERATURA DE EXTRACCIÓN	(J) TEMPERATURA DE EXTRACCIÓN	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
40	50	-,7050	,33052	,138	-1,6278	,2178
	60	-,6330	,33052	,190	-1,5558	,2898
50	40	,7050	,33052	,138	-,2178	1,6278
	60	,0720	,33052	,974	-,8508	,9948
60	40	,6330	,33052	,190	-,2898	1,5558
	50	-,0720	,33052	,974	-,9948	,8508

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática(Error) = ,328.

## 2- Fenoles:

### ANOVA

Variable dependiente: COMPUESTOS FENOLICOS

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.	Eta parcial al cuadrado
Modelo corregido	8,162 <sup>a</sup>	8	1,020	2,571	,091	,696
Interceptación	191,688	1	191,688	483,126	,000	,982
temperatura	4,700	2	2,350	5,922	,023	,568
presión	1,858	2	,929	2,342	,152	,342
temperatura * presión	1,604	4	,401	1,011	,451	,310
Error	3,571	9	,397			
Total	203,421	18				
Total corregido	11,733	17				

a. R al cuadrado = .696 (R al cuadrado ajustada = .425)

### Comparaciones múltiples

Variable dependiente: COMPUESTOS FENOLICOS

HSD Tukey

(I) PRESION DE EXTRACCION	(J) PRESION DE EXTRACCION	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
150,00	200,00	-,6083	,36367	,267	-1,6237	,4070
	250,00	,1283	,36367	,934	-,8870	1,1437
200,00	150,00	,6083	,36367	,267	-,4070	1,6237
	250,00	,7367	,36367	,162	-,2787	1,7520
250,00	150,00	-,1283	,36367	,934	-1,1437	,8870
	200,00	-,7367	,36367	,162	-1,7520	,2787

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática(Error) = .397.

### Comparaciones múltiples

Variable dependiente: COMPUESTOS FENOLICOS

HSD Tukey

(I) TEMPERATURA DE EXTRACCION	(J) TEMPERATURA DE EXTRACCION	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
40	50	-,2000	,36367	,849	-1,2154	,8154
	60	-1,1700*	,36367	,026	-2,1854	-,1546
50	40	,2000	,36367	,849	-,8154	1,2154
	60	-,9700	,36367	,061	-1,9854	,0454
60	40	1,1700*	,36367	,026	,1546	2,1854
	50	,9700	,36367	,061	-,0454	1,9854

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática(Error) = .397.

\*. La diferencia de medias es significativa en el nivel .05.

### 3- Actividad antioxidante por el método ABTS Y DPPH

#### A) Método ABTS:

#### ANOVA

Variable dependiente: ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE METODO ABTS

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.	Eta parcial al cuadrado
Modelo corregido	24,689 <sup>a</sup>	8	3,086	4,619	,017	,804
Interceptación	435,787	1	435,787	652,287	,000	,986
temperatura	12,151	2	6,076	9,094	,007	,669
presión	2,053	2	1,026	1,536	,267	,255
temperatura * presión	10,484	4	2,621	3,923	,041	,636
Error	6,013	9	,668			
Total	466,488	18				
Total corregido	30,701	17				

a. R al cuadrado = .804 (R al cuadrado ajustada = .630)

#### Comparaciones múltiples

Variable dependiente: ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE METODO ABTS

HSD Tukey

(I) PRESION DE EXTRACCION	(J) PRESION DE EXTRACCION	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
150,00	200,00	,0161	,47191	,999	-1,3015	1,3337
	250,00	-,7082	,47191	,335	-2,0258	,6093
200,00	150,00	-,0161	,47191	,999	-1,3337	1,3015
	250,00	-,7243	,47191	,321	-2,0419	,5933
250,00	150,00	,7082	,47191	,335	-,6093	2,0258
	200,00	,7243	,47191	,321	-,5933	2,0419

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática(Error) = .668.

### Comparaciones múltiples

Variable dependiente: ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE METODO ABTS

HSD Tukey

(I) TEMPERATURA DE EXTRACCION	(J) TEMPERATURA DE EXTRACCION	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
40	50	-1,7603*	,47191	,012	-3,0779	-,4427
	60	-,0353	,47191	,997	-1,3528	1,2823
50	40	1,7603*	,47191	,012	,4427	3,0779
	60	1,7251*	,47191	,013	,4075	3,0426
60	40	,0353	,47191	,997	-1,2823	1,3528
	50	-1,7251*	,47191	,013	-3,0426	-,4075

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática(Error) = .668.

\*. La diferencia de medias es significativa en el nivel .05.

### B) Método DPPH:

#### ANOVA

Variable dependiente: ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE METODO DPPH

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.	Eta parcial al cuadrado
Modelo corregido	111,778 <sup>a</sup>	8	13,972	5,589	,009	,832
Interceptación	4966,722	1	4966,722	1986,689	,000	,995
temperatura	5,444	2	2,722	1,089	,377	,195
presion	10,778	2	5,389	2,156	,172	,324
temperatura * presion	95,556	4	23,889	9,556	,003	,809
Error	22,500	9	2,500			
Total	5101,000	18				
Total corregido	134,278	17				

a. R al cuadrado = .832 (R al cuadrado ajustada = .683)

### Comparaciones múltiples

Variable dependiente: ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE METODO DPPH

HSD Tukey

(I) PRESION DE EXTRACCION	(J) PRESION DE EXTRACCION	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
150,00	200,00	-1,8333	,91287	,166	-4,3821	,7154
	250,00	-,5000	,91287	,850	-3,0487	2,0487
200,00	150,00	1,8333	,91287	,166	-,7154	4,3821
	250,00	1,3333	,91287	,353	-1,2154	3,8821
250,00	150,00	,5000	,91287	,850	-2,0487	3,0487
	200,00	-1,3333	,91287	,353	-3,8821	1,2154

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática(Error) = 2.500.

### Comparaciones múltiples

Variable dependiente: ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE METODO DPPH

HSD Tukey

(I) TEMPERATURA DE EXTRACCION	(J) TEMPERATURA DE EXTRACCION	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
40	50	,0000	,91287	1,000	-2,5487	2,5487
	60	1,1667	,91287	,441	-1,3821	3,7154
50	40	,0000	,91287	1,000	-2,5487	2,5487
	60	1,1667	,91287	,441	-1,3821	3,7154
60	40	-1,1667	,91287	,441	-3,7154	1,3821
	50	-1,1667	,91287	,441	-3,7154	1,3821

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática(Error) = 2.500.

# Obtención de capsaicinoides a partir del *Capsicum frutescens* (ají charapita) por extracción supercrítica utilizando co-solvente

*por* Jackeline Johana Alejandría Flores

---

**Fecha de entrega:** 04-jul-2023 10:05a.m. (UTC-0500)

**Identificador de la entrega:** 2126450807

**Nombre del archivo:** TESIS\_JACKELINE\_t.docx (3.19M)

**Total de palabras:** 11610

**Total de caracteres:** 64389

## Obtención de capsaicinoides a partir del *Capsicum frutescens* (aji charapita) por extracción supercrítica utilizando co-solvente

### INFORME DE ORIGINALIDAD

**21%**

INDÍCE DE SIMILITUD

**19%**

FUENTES DE INTERNET

**4%**

PUBLICACIONES

**11%**

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

### FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<a href="https://tesis.unsm.edu.pe">tesis.unsm.edu.pe</a> Fuente de Internet	<b>9%</b>
<b>2</b>	<a href="https://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	<b>3%</b>
<b>3</b>	<a href="https://repositorio.unapiquitos.edu.pe">repositorio.unapiquitos.edu.pe</a> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>4</b>	<a href="https://cybertesis.unmsm.edu.pe">cybertesis.unmsm.edu.pe</a> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>5</b>	Submitted to Escuela Superior Politécnica del Litoral Trabajo del estudiante	<b>1%</b>
<b>6</b>	<a href="https://cdam.minam.gob.pe">cdam.minam.gob.pe</a> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>7</b>	Submitted to Universidad Nacional de San Martín Trabajo del estudiante	<b>1%</b>
<b>8</b>	<a href="https://helvia.uco.es">helvia.uco.es</a>	