

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

**Efecto de la temperatura, tiempo y tamaño de partícula en la actividad
antioxidante del extracto acuoso de jengibre (*Zingiber officinale*) extraído por
agua a alta presión y temperatura**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

AUTOR: Bach. Saldaña Olguin, Marlon

ASESORA: Dra. Aguirre Vargas, Elza Berta

DNI 19096335

Código ORCID 0000-0003-1659-9874

Nuevo Chimbote - Perú

2024

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

CARTA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR

La presente Tesis para Título se revisó y desarrolló en cumplimiento del objetivo propuesto y reúne las condiciones formales y metodológicas, estando dentro de las áreas y líneas de investigación conforme al Reglamento General para obtener el título profesional en la Universidad Nacional del Santa, de acuerdo al título siguiente:

Efecto de la temperatura, tiempo y tamaño de partícula en la actividad antioxidante del extracto acuoso de jengibre (*Zingiber officinale*) extraído por agua a alta presión y temperatura

AUTOR: Bach. Saldaña Olguin, Marlon

Dra. Elza Berta Aguirre Vargas
DNI: 19096335
Código ORCID: 0000-0003-1659-9874
ASESORA

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

ACTA DE CONFORMIDAD DEL JURADO

El presente jurado evaluador da la conformidad de la presente Tesis para Título, desarrollado en el cumplimiento del objetivo propuesto y presentado conforme al Reglamento General para obtener el título profesional en la Universidad Nacional del Santa, titulado:

Efecto de la temperatura, tiempo y tamaño de partícula en la actividad antioxidante del extracto acuoso de jengibre (*Zingiber officinale*) extraído por agua a alta presión y temperatura

AUTOR: Bach. Saldaña Olguin, Marlon

Dr. Daniel Ángel Sánchez Vaca
DNI: 18146173
Código ORCID: 0000-0003-4326-1852
PRESIDENTE

Dr. Williams Esteward Castillo Martínez
DNI: 40169364
Código ORCID: 0000-0001-6917-1009
SECRETARIO

Dra. Elza Berta Aguirre Vargas
DNI: 19096335
Código ORCID: 0000-0003-1659-9874
INTEGRANTE



**FACULTAD DE INGENIERIA
E.P. INGENIERIA AGROINDUSTRIAL**

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Siendo las 11:00 horas del día once de octubre del año dos mil veinticuatro, se instalaron en el aula multimedia de la EPIA – 1er piso, el Jurado Evaluador, designado mediante T/Resolución N° 642-2024-UNS-CFI integrado por los docentes:

- Dr. Daniel Ángel Sánchez Vaca (Presidente)
- Dra. Williams Esteward Castillo Martínez (Secretario)
- Dra. Elza Berta Aguirre Vargas (Integrante)

Para dar inicio a la Sustentación del Informe Final de Tesis titulado: "EFECTO DE LA TEMPERATURA, TIEMPO Y TAMAÑO DE PARTÍCULA EN LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DEL EXTRACTO ACUOSO DE JENGIBRE (*Zingiber officinale*) EXTRAÍDO POR AGUA A ALTA PRESIÓN Y TEMPERATURA", elaborado por el Bachiller en Ingeniería Agroindustrial:

- SALDAÑA OLGUIN MARLON

Asimismo, tiene como Asesora a la docente: **Dra. Elza Berta Aguirre Vargas**

Finalizada la sustentación, el Tesista respondió las preguntas formuladas por los miembros del Jurado Evaluador. El Jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Artículo 103° del Reglamento de Grados y títulos de la Universidad Nacional del Santa, declaran:

NOMBRES Y APELLIDOS	NOTA VIGESIMAL	CONDICIÓN
MARLON SALDAÑA OLGUIN	19	EXCELENTE

Siendo las 12:30 horas del mismo día, se dio por terminada dicha sustentación, firmando en señal de conformidad el Jurado Evaluador.

Nuevo Chimbote, 11 de octubre del 2024



Dr. Daniel Ángel Sánchez Vaca
Presidente



Dr. Williams Esteward Castillo Martínez
Secretario



Dra. Elza Berta Aguirre Vargas
Integrante



Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Elza Aguirre
Título del ejercicio: "EFECTO DE LA TEMPERATURA, TIEMPO Y TAMAÑO DE PARTÍC...
Título de la entrega: INFORME FINAL v1.3.docx
Nombre del archivo: INFORME_FINAL_v1.3.docx
Tamaño del archivo: 9.02M
Total páginas: 112
Total de palabras: 26,361
Total de caracteres: 146,234
Fecha de entrega: 12-sept.-2024 01:08p. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega... 2452200161

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



"EFECTO DE LA TEMPERATURA, TIEMPO Y TAMAÑO DE
PARTÍCULA EN LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DEL EXTRACTO
ACUOSO DE JENGIBRE (*Zingiber officinale*) EXTRAÍDO POR AGUA A
ALTA PRESIÓN Y TEMPERATURA"

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AGROINDUSTRIAL

AUTOR(ES): Bach. Saldaña Olguin, Marlon

ASESORA: Dra. Aguirre Vargas, Elza Berta
DNI 19096335
Código ORCID 0000-0003-1659-9874

Nuevo Chimbote - Perú
2023

INFORME FINAL v1.3.docx

INFORME DE ORIGINALIDAD

14%

INDICE DE SIMILITUD

13%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	es.biomedicalhouse.com Fuente de Internet	2%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
3	repositorio.autonomadeica.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	patagoniataste.com.ar Fuente de Internet	<1%
5	dspace.ups.edu.ec Fuente de Internet	<1%
6	docplayer.es Fuente de Internet	<1%
7	repositorioubasib.uba.ar Fuente de Internet	<1%
8	es.scribd.com Fuente de Internet	<1%
9	"Propiedades Funcionales de hoy", Omnia Publisher SL, 2017	<1%

DEDICATORIA

A los tiempos que vivimos, tan llenos de prisa y ruido, donde el correr tras los logros muchas veces nos aleja de lo esencial. A este estilo de vida moderno, que con frecuencia nos demanda más de lo que podemos dar, pero que en su intensidad me enseñó a encontrar la luz en cada amanecer, el valor de cada pausa y la fuerza que nace al persistir. Que esta búsqueda sea una prueba de que el verdadero éxito no reside en acumular, sino en comprender, en encontrar paz en medio del torbellino y alegría en los pequeños logros cotidianos.

A ti, mamá, en especial, a quien dedico el esfuerzo de cada página de esta tesis. Tú, que me enseñaste que la verdadera dicha es la serenidad del espíritu y la riqueza del corazón, eres mi faro y mi guía. En cada paso, en cada caída y en cada victoria, tu ejemplo ha sido mi inspiración más grande. Gracias por ser la raíz y el refugio, el coraje y la ternura. Ahora, este logro mío es también el tuyo.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia y, en especial, a mi abuelita Aura, quien con su sabiduría sencilla y profunda ha sido mi pilar silencioso y constante. Sus palabras y su fortaleza me enseñaron que los grandes logros se construyen día a día, y que el amor de una abuela es una bendición que ilumina el camino. Gracias por cada enseñanza, cada abrazo y cada oración que han sido una inspiración en mi vida.

A mi amada, quien ha estado a mi lado en cada paso de este recorrido. Tu apoyo incondicional y tu amor me han dado la fuerza para seguir adelante, y tu compañía ha hecho de cada logro una celebración compartida. Gracias por ser mi refugio y por recordarme siempre la importancia de vivir con el corazón.

A mi asesora de tesis, cuya guía y paciencia han sido invaluable. Gracias por compartir su conocimiento con generosidad y por creer en mis capacidades. Su dedicación y compromiso me han enseñado que el verdadero mentor no solo dirige, sino que también impulsa y siembra confianza. Este trabajo es testimonio de su influencia en mi formación profesional.

A mis amigos cercanos, compañeros de tantas jornadas, gracias por ser la familia que elegí. Ustedes han estado allí, brindándome risas y apoyo en cada etapa de este viaje. En cada uno encuentro una fuente única de inspiración, y su amistad me recuerda que la vida se enriquece al compartirla con personas valiosas.

A todos ustedes, que han dejado huella en mi vida, gracias por su gran aporte en mi desarrollo personal y profesional. Su compañía es una alegría que celebro cada día, y este peldaño al logro es tanto mío como de ustedes.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	ii
ÍNDICE DE CUADROS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
ÍNDICE DE ANEXOS	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT.....	x
I. INTRODUCCIÓN	11
II. MARCO TEÓRICO.....	15
2.1. ANTECEDENTES	15
2.2. MARCO CONCEPTUAL.....	22
2.1.1. Jengibre (<i>Zingiber officinale</i>).....	22
2.1.2. Compuestos bioactivos.....	28
2.1.3. Agua a alta presión y temperatura.....	37
2.1.4. Extracción por agua a alta presión y temperatura.	40
2.1.5. Actividad antioxidante.	48
III. MATERIALES Y MÉTODOS	51
3.1. MATERIALES.....	51
3.1.1. Lugar de ejecución.	51
3.1.2. Equipos.....	51
3.1.3. Materiales e insumos.....	52
3.1.4. Servicios.....	53
3.2. MÉTODOS.....	54
3.2.1. Variables y operacionalización.....	54
3.2.2. Tipo y diseño de investigación.....	56

3.2.3. Población y muestra.	56
3.2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.	57
3.2.5. Procedimientos.	58
3.2.6. Método de análisis de datos.	67
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	68
4.1. RESULTADOS	68
4.1.1. Resultados del análisis proximal (CQP).....	68
4.1.2. Resultados de los ensayos de compuestos fenólicos totales	68
4.1.3. Resultados de los ensayos de actividad antioxidante	76
4.1.4. Resultados de la relación entre los valores CFT y actividad antioxidante.....	83
4.2. DISCUSIÓN.....	87
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	95
5.1. CONCLUSIONES	95
5.2. RECOMENDACIONES.....	95
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y VIRTUALES	97
VII. ANEXOS	108

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación taxonómica de <i>Zingiber officinale</i> Roscoe	25
Cuadro 2. Equipos de investigación.....	51
Cuadro 3. Materiales e insumos.....	53
Cuadro 4. Servicios.....	54
Cuadro 5. Resumen del diseño.....	56
Cuadro 6. Ficha de registro de los experimentos	57
Cuadro 7. Detalle de los volúmenes de solución	62
Cuadro 8. Concentraciones y reactivos.....	63
Cuadro 9. Preparación de la muestra	64
Cuadro 10. Detalle de los volúmenes para la prueba.....	65
Cuadro 11. Puntos de la curva de calibración.....	66
Cuadro 12. Resultados del análisis CQP.....	68
Cuadro 13. Resultados de la curva de calibración	69
Cuadro 14. Concentración de compuestos fenólicos totales (CFT) en las muestras	70
Cuadro 15. Resumen del modelo y ANVA de los resultados de concentración CFT	71
Cuadro 16. Actividad antioxidante en las muestras.....	77
Cuadro 17. Resumen del modelo y ANVA de los resultados de actividad antioxidante.....	78
Cuadro 18. Prueba de correlación de Pearson	86

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Registro anual de presencia de especies a nivel mundial	25
Figura 2. Principales tipos de compuestos bioactivos	30
Figura 3. Esquema general del procedimiento experimental.....	58
Figura 4. Gráfica normal de efectos estandarizados, según concentración CFT	72
Figura 5. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados, según concentración CFT.....	73
Figura 6. Gráfica de efectos principales, según concentración CFT	74
Figura 7. Gráfica de interacción, según concentración CFT	75
Figura 8. Gráfica de superficie 3D, según concentración CFT.....	76
Figura 9. Gráfica normal de efectos estandarizados, según actividad antioxidante	79
Figura 10. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados, según concentración CFT.....	80
Figura 11. Gráfica de efectos principales, según actividad antioxidante.....	81
Figura 12. Gráfica de interacción, según actividad antioxidante.....	82
Figura 13. Gráfica de superficie 3D, según actividad antioxidante	83
Figura 14. Gráfica de probabilidad, según concentración CFT	84
Figura 15. Gráfica de probabilidad, según actividad antioxidante	85
Figura 16. Gráfica de matriz de correlación	86

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A. Detalle de condiciones de extracción y descarga	108
Anexo B. Detalle de la muestra y equipos	111
Anexo C. Detalle procedimental.....	112

RESUMEN

Objetivo: Evaluar el efecto de la temperatura, tiempo y tamaño de partícula en la actividad antioxidante del extracto acuoso de jengibre (*Zingiber officinale*) extraído por agua a alta presión y temperatura. Métodos: El método de investigación fue el hipotético-deductivo. El diseño fue experimental de tipo básico, de corte transversal y alcance explicativo. Se utilizó la metodología de superficie respuesta Box-Behnken con 16 corridas base. La muestra estuvo conformada por 1,700 g de cáscaras rizomas de jengibre seco en polvo. El análisis de datos se realizó con Minitab[®] 19.1 (64-bit), mediante un análisis de varianza (ANVA) y una prueba de correlación de Pearson. Resultados: El porcentaje de carbohidratos, humedad, proteínas, grasas y cenizas en la muestra en polvo fue de 64.08%, 11.25%, 10.69%, 7.62% y 6.36%, respectivamente. La concentración de compuestos fenólicos totales (CFT) del extracto acuoso se encontró en el rango de 10.42 - 14.1 mg EAG/g muestra y, la actividad antioxidante (método DPPH), en el rango de 72.9 – 111.9 $\mu\text{mol ET/g}$ muestra. Se determinó la existencia de correlación entre los valores de CFT con la actividad antioxidante (ρ Pearson =.579, $p < .05$). La temperatura fue un factor significativo ($p < 0.05$) en la actividad antioxidante del extracto acuoso. El factor tiempo y el factor tamaño de partícula no fueron significativos. El modelo explicó el 81.07% de la variabilidad total de la actividad antioxidante del extracto acuoso de jengibre. Conclusión: La temperatura es el factor que mayor influencia tuvo sobre la concentración de CFT y AA.

Palabras clave: actividad antioxidante, compuestos fenólicos, extracto acuoso, jengibre.

ABSTRACT

Objective: We aimed to evaluate the effect of temperature, time, and particle size on the antioxidant activity of the aqueous extract of ginger (*Zingiber officinale*) extracted using high-pressure and high-temperature water. Methods: The research method was hypothetico-deductive. The design was experimental, basic type, cross-sectional, and explanatory scope. The Box-Behnken response surface methodology with 16 base runs was used. The sample consisted of 1,700 g of powdered dry ginger rhizome peels. Data analysis was performed with Minitab® 19.1 (64-bit), using an analysis of variance (ANOVA) and Pearson's correlation coefficient. Results: The carbohydrates, moisture, protein, fat, and ash contents in the powder sample were 64.08%, 11.25%, 10.69%, 7.62%, and 6.36%, respectively. Total phenolic content (TPC) in the aqueous extract ranged from 10.42 to 14.1 mg GAE/g sample, and the antioxidant activity (DPPH method) ranged from 72.9 to 111.9 $\mu\text{mol TE/g}$ sample. A statistically significant correlation was found between TPC values and antioxidant activity (Pearson's $\rho = 0.579$, $p < 0.05$). Temperature was a significant factor ($p < .05$) in the antioxidant activity of the aqueous extract. Time and particle size factors were not statistically significant. The model explained 81.07% of the total variability in the antioxidant activity of the ginger aqueous extract. Conclusion: Temperature is the factor that had the greatest influence on the concentration of TPC and antioxidant activity.

Keywords: antioxidant activity, aqueous extract, ginger, phenolic compounds.

I. INTRODUCCIÓN

A nivel global, el mercado de ingredientes botánicos se encuentra en aumento, se valoró en 131 mil millones de dólares en 2019 y se espera que crezca a una tasa anual compuesta del 7% entre 2020 y 2027 (Etheridge & Mason, 2021). La industria alimentaria genera aproximadamente 1.6 mil millones de toneladas de desechos alimentarios por año, afectando la economía, la sociedad y al ambiente (Sulejmanović et al., 2024; Yilmaz-Turan et al., 2023). Este crecimiento ha llevado a un desperdicio y subproductos sustanciales, planteando desafíos éticos, sociales, económicos y ambientales. Abordar el desperdicio de alimentos es crucial, ya que puede ser reutilizado como fuentes naturales de compuestos bioactivos, fertilizantes orgánicos, alimento para animales, biopesticidas o bioplásticos (Ferreira et al., 2023).

El jengibre (*Zingiber officinale* Roscoe), miembro de la familia Zingiberaceae, contiene muchos compuestos biológicamente activos con propiedades antioxidantes (Kamaruddin et al., 2023). En los desechos de jengibre se encuentran gingeroles, shogaoles y zingerona (Gulzar et al., 2023). En 2016, se produjeron globalmente 3.3 millones de toneladas de jengibre, generando una cantidad significativa de desechos de jengibre gastado de industrias como la medicina herbal o las bebidas (Gao et al., 2021). Usualmente, estos desechos se queman, se desechan en vertederos, o se procesan en harina de desecho de jengibre, un alimento para animales de baja calidad (Gulzar et al., 2023).

El jengibre es conocido por sus compuestos bioactivos, incluyendo polifenoles, que exhiben una potente actividad antioxidante (Ko et al., 2019a). Los antioxidantes presentes en los desechos de jengibre pueden proteger al cuerpo del estrés oxidativo y reducir el riesgo de enfermedades crónicas como cáncer, diabetes y enfermedades cardíacas. Comparado con otras partes de la planta de jengibre, las cáscaras exhiben la mayor actividad antioxidante (Gulzar et al., 2023). El estrés oxidativo, causado por especies reactivas de oxígeno (ROS), puede dañar ácidos nucleicos, proteínas y lípidos, llevando a enfermedades como el cáncer y el

envejecimiento (Aimone et al., 2024). Los polifenoles juegan un papel crucial en la defensa de las plantas y la salud humana debido a sus propiedades antioxidantes (Cheng et al., 2021; Kamiński et al., 2023). Ayudan a prevenir la oxidación de lípidos y proteínas y protegen contra la actividad microbiana, extendiendo así la vida útil de los alimentos y bebidas (Yilmaz-Turan et al., 2023; Freitas et al., 2023). Dada la preferencia creciente por antioxidantes naturales sobre los sintéticos debido a que, estos últimos son carcinogénicos, explorar métodos efectivos de extracción de estos compuestos bioactivos es de gran interés (Alibekov et al., 2023). Tradicionalmente, los polifenoles se extraen utilizando disolventes como agua, metanol, etanol o sus mezclas (Cheng et al., 2022; Kamiński et al., 2023).

En los últimos años, se ha evidenciado que los extractos de plantas tienen un efecto significativo en las propiedades antioxidantes, lo que ha incrementado la demanda de compuestos vegetales (Cheng et al., 2022). La extracción con agua a alta presión y temperatura (EAPT) emerge como un método de extracción que emplea agua líquida a temperaturas entre 100°C y 374°C y condiciones de alta presión, mejorando las tasas de transferencia de masa, la absorción en la matriz de partículas y la selectividad (Endy Yulianto et al., 2022). Bajo estas condiciones, las propiedades del agua cambian, asemejándose a las de disolventes no polares como acetona, etanol o DMSO, reduciendo significativamente su constante dieléctrica y aumentando su difusividad (Ko et al., 2019a). Esta característica única permite el uso de agua como único fluido de extracción sin cosolventes (Cheng et al., 2021), promoviendo extracciones más rápidas y con mayor rendimiento (Pinto et al., 2021). La EAPT ha sido documentada extensamente por su capacidad para extraer diferentes compuestos bioactivos de materias primas de origen vegetal (Trigueros et al., 2024). Las ventajas de la EAPT incluyen tiempos de extracción cortos, procesamiento mínimo posterior, reciclabilidad del disolvente, no requerir catalizadores y preservar los grupos funcionales (Rudjito et al., 2024). Ofrece alta selectividad, alta eficiencia de extracción, bajos costos económicos, sostenibilidad y una huella

ambiental reducida comparada con métodos de extracción tradicionales (Krishnamoorthy et al., 2023; Pereira et al., 2023; Silva et al., 2024; Yabalak et al., 2024). Además, la metodología de superficie de respuesta (RSM) puede optimizar el proceso de extracción, reduciendo el número de experimentos, el uso de disolventes y ahorrando tiempo, al mismo tiempo que revela las relaciones entre los factores experimentales y las respuestas (Çalhan et al., 2023).

En este marco, la pregunta de investigación fue ¿Cuál es el efecto de la temperatura, tiempo y tamaño de partícula en la actividad antioxidante del extracto acuoso de jengibre (*Zingiber officinale*) extraído con agua a alta presión y temperatura?

El objetivo general de la tesis fue evaluar el efecto de la temperatura, tiempo y tamaño de partícula en la actividad antioxidante del extracto acuoso de jengibre (*Zingiber officinale*) extraída por agua a alta presión y temperatura. Para cumplir este propósito, se tuvo como objetivos específicos: (a) Determinar el porcentaje de humedad, grasas, cenizas y proteínas en la muestra en polvo compuesta por cáscaras de jengibre (*Zingiber officinale*); (b) Cuantificar la concentración de compuestos fenólicos totales y la actividad antioxidante del extracto acuoso obtenido a alta presión y temperatura; (c) Relacionar los resultados de la concentración de compuestos fenólicos totales y la actividad antioxidante del extracto acuoso.

Se planteó la siguiente hipótesis: Los factores temperatura, tiempo y tamaño de partícula tienen un efecto del 80% en la variabilidad de la actividad antioxidante del extracto acuoso de jengibre (*Zingiber officinale*) extraído por agua a alta presión y temperatura.

Acerca de la justificación e importancia del estudio, los resultados serán relevantes para el público en general, puesto que brindará un método por el cual disponer de compuestos bioactivos presentes en las cáscaras de jengibre para su consumo seguro y directo, presentando el producto en forma de extracto acuoso. Es decir, el estudio beneficiaría a la ciudadanía en general, elevando la calidad de vida mediante el consumo de alimentos saludables, optimizando

la cadena de gestión de residuos sólidos, y generando valor a los productos obtenidos de la extracción por agua a alta presión y temperatura.

El uso de agua como solvente en los procesos de extracción, resulta no tóxico, actuando como sustituto de solventes orgánicos, además de poder operar en un corto tiempo de extracción destacando la superioridad significativa sobre las extracciones convencionales.

Aprovechar los residuos orgánicos del jengibre, utilizando recursos y técnicas de extracción que permitirán reaprovechar los compuestos bioactivos provenientes de residuos industriales; además de convertir estos componentes en subproductos, reduciendo el volumen de residuos sólidos derivados de la cadena productiva del sector agroalimentario.

La contribución de este estudio puede dividirse en dos aspectos: científico e industrial. Los métodos y hallazgos proporcionados en esta investigación contribuirán al conocimiento sobre la extracción con agua a alta presión y temperatura a residuos agroindustriales y a la vez, a apoyar el desarrollo de productos de cáscaras de jengibre como materia prima. Desde el punto de vista industrial, este método de extracción reducirá el uso de solventes orgánicos y, por lo tanto, apoyará la reciente tendencia hacia el empleo de solventes naturales, además de generar valor agregado para la comercialización del extracto acuoso producido. Se prevé que esta tecnología sea beneficiosa no sólo para industria del jengibre, sino también para otras industrias del rubro, como la industria de la pimienta negra, comino, salvado de trigo, cúrcuma, semillas de cilantro, etc.

En un futuro, incluso con una adecuada evaluación de la bioactividad y la seguridad de los compuestos individuales identificados en el extracto acuoso, permitiría descubrir el potencial uso del producto como fármaco. Así, los extractos totales obtenidos y los suplementos nutricionales serían atractivos como alternativa más barata y más fácilmente disponible para su uso en la industria farmacéutica (Švarc-Gajić et al., 2017).

II. MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

El método de extracción con agua a alta presión y temperatura, ha sido ampliamente empleado en diferentes sustratos. A continuación, se presentan antecedentes de estudio a nivel internacional y nacional.

En Malasia, Razak et al. (2023) realizaron un estudio en rizomas de jengibre (*Zingiber officinale* Roscoe) de dos medios de cultivo diferentes (cultivo en suelo y cultivo 100% en cáscaras de coco). El diseño fue experimental. La extracción se realizó con agua a alta presión y temperatura (10 bar y 120°C). Se utilizaron tiempos de extracción de 5, 10, 15 y 20 minutos con una relación solvente-sólido de 28:2 mL/mg. Se midió la actividad antioxidante mediante el método 2,2-difenil-1-(2,4,6-trinitrofenil) hidrazilo (DPPH). Los análisis estadísticos se realizaron en el software SPSS versión 28, por medio de un ANVA de una y de dos vías y los análisis de comparaciones posteriores se realizaron con la prueba de Bonferroni y de Tukey. Como resultado, el jengibre de cultivo en suelo exhibió mayor actividad antioxidante que el jengibre cultivado en cáscaras de coco, 71.46 ± 2.44 %, a una concentración de extracto de 1,000 µg/mL y tiempo de extracción de 5 min.

En Tailandia, Thepthong et al. (2023) realizaron un estudio en jengibre (*Zingiber montanum*) con el propósito de evaluar el efecto de diferentes solventes de extracción en la concentración de compuestos fenólicos totales y actividad antioxidante. Según el procedimiento, 100 g de las muestras en polvo se remojaron en 300 mL de siete solventes diferentes (hexano, diclorometano, acetona, etanol, metanol, etanol al 50% y etanol al 75%) a temperatura ambiente durante 30 min y luego se sometieron a extracción asistida por ultrasonido a 45 KHz (35°C) durante 30 min. Las soluciones se filtraron a través de un filtro Whatman No.1. Las soluciones extraídas se evaporaron por debajo de 40°C utilizando un evaporador rotatorio y luego se liofilizaron. El ensayo para medir la concentración de compuestos fenólicos totales se

realizó empleando el reactivo Folin-Ciocalteu, mientras que, el ensayo para medir la actividad antioxidante se realizó mediante el método DPPH. Los análisis estadísticos se realizaron con el software GenStat considerando un ANVA como prueba. Los resultados indicaron que, el extracto de metanol demostró la mayor concentración de compuestos fenólicos (71.45 ± 1.45 mg EAG/g extracto). Además, en el ensayo de DPPH, el extracto de metanol mostró un valor de IC_{50} de 36.89 ± 2.53 μ g/mL, mientras que el extracto de etanol mostró un valor ligeramente superior de 38.89 ± 0.27 μ g/mL.

En Malasia, Siti Nur Khairunisa et al. (2021), realizaron un estudio en la especie de jengibre *Zingiber zerumbet* con el objetivo de explorar el efecto de cinco parámetros de extracción en relación con la actividad antioxidante (por el método DPPH) del extracto obtenido por agua a alta presión y temperatura. Se empleó un diseño factorial fraccional (2^{5-1}) realizado con el programa Design-Expert versión 7.1.6, considerando como factores: temperatura (100–170 °C), tiempo (10–40 min), presión (10–20 bar), tamaño de partícula (0.89–3.56 mm) y razón de sólido/solvente (20–40 mL/g). Como resultado, la temperatura (38.36% de contribución), el tiempo, tamaño de partícula y presión influyeron en la actividad antioxidante.

En Canadá, Mazyan et al. (2021) investigaron la temperatura que maximiza la concentración de compuestos fenólicos totales extraídos de pulpa de palta (*Persea americana*) empleando agua a alta presión y temperatura como método de extracción. En el diseño experimental se contemplaron las condiciones de operación: temperatura (105, 120 y 140 °C), presión (18 bar) y razón de flujo (80 mL/min). Para realizar los ensayos de compuestos fenólicos totales se empleó el reactivo Folin–Ciocalteu. Como resultado, la temperatura a 105 °C produjo rendimientos de entre 0.11% a 0.26% en cuanto a la concentración de compuestos fenólicos totales, asimismo, bajas temperaturas permitieron obtener mayores rendimientos de compuestos fenólicos, sobre todo, en los primeros 20 min de extracción.

En Malasia, Siti Nur Khairunisa et al. (2020), realizaron un estudio en la especie de jengibre *Zingiber zerumbet* con el objetivo de explorar el efecto de tres parámetros de extracción en relación con la actividad antioxidante (por el método DPPH) del extracto obtenido por agua a alta presión y temperatura. Se empleó un diseño central compuesto con 20 corridas y 6 repeticiones en el punto central. Los niveles de los factores principales fueron: temperatura (130–170 °C), tiempo de extracción (20–40 min) y razón de sólido/solvente (20–40 mL/g). El nivel de significancia de las pruebas estadísticas fue de .05. Como resultado, los parámetros que maximizaron la respuesta antioxidante (63.26%) fueron 170°C, 20 min y 20 mL/g. Esta condición fue validada y la correlación entre los valores predichos y experimentales fue significativa.

En Irlanda, Murphy et al. (2020) realizaron un estudio en rizomas de jengibre (*Zingiber officinale* Roscoe) con el propósito de maximizar la obtención de compuestos fenólicos. La extracción asistida por ultrasonido se realizó utilizando un baño de agua ultrasónico. El baño de agua contó con transductores de frecuencias desde 35 kHz a una potencia máxima de 640W. La extracción se llevó a cabo mezclando jengibre en polvo en un matraz que contenía 20 mL de etanol de varias concentraciones (20, 40, 60, 80 y 100%). La concentración del matraz se sometió a ultrasonicación durante varios períodos de tiempo (10, 15, 20, 25 y 30 min). El experimento de control se configuró utilizando los siguientes parámetros: concentración de solvente 60%, temperatura 50 °C, tiempo 20 min y cantidad de especia 400 mg/20 mL de solvente. Esto fue seguido por la separación de fases, centrifugando a 3,000 g a 8 °C durante 10 min. Los sobrenadantes resultantes se recogieron y el etanol solvente se evaporó en un evaporador rotatorio al vacío a 50 °C. Los extractos concentrados se liofilizaron a -80 °C para obtener los extractos de jengibre en forma de polvo crudo sólido. El diseño experimental consistió de un diseño compuesto central de 4 factores y 5 niveles por factor. Se evaluó el efecto de la concentración de jengibre (400–1,200 mg/20 mL de solvente), la composición de

la mezcla de solvente (20–100%), la temperatura (30–70 °C) y el tiempo de tratamiento (10–30 min). El ensayo para medir la concentración de compuestos fenólicos totales se realizó empleando el reactivo Folin-Ciocalteu, mientras que, el ensayo para medir la actividad antioxidante se realizó mediante el método DPPH. El análisis estadístico se llevó a cabo por medio de un ANVA con el software Statgraphics Centurion XVII. Como resultado, los parámetros que maximizaron la respuesta fueron: 1,200 mg de jengibre preparados con 86% de etanol y sonicación durante 11 min a 65 °C. La concentración de compuestos fenólicos totales fue 1,039.64 mg EAG/g peso seco. El extracto de jengibre demostró tener una capacidad antioxidante significativa con una actividad de eliminación del radical DPPH del 54.5%.

En Indonesia, Mahmudati et al. (2020) tuvieron por objetivo determinar la concentración de compuestos fenólicos totales y la actividad antioxidante en rizomas de jengibre de tres variedades (*Zingiber officinale* var Roscoe, *Zingiber officinale* var amarum y *Zingiber officinale* var rubrum). El diseño de la investigación fue experimental de enfoque cuantitativo. Los rizomas se obtuvieron de la región de Batu y fueron cortados y secados al sol. El jengibre seco se molió hasta obtener polvo. Se diluyeron 4 g de polvo de jengibre y se hirvieron en 100 mL de agua a 100 °C durante 6 min. Por otro lado, se diluyeron 4 g de polvo de jengibre en 100 mL de agua caliente (100 °C) y se dejó reposar durante unos 10 min. El análisis de los compuestos fenólicos se llevó a cabo utilizando el método Folin-Ciocalteu, mientras que, la actividad antioxidante se determinó utilizando DPPH. Para el análisis estadístico se utilizó el ANVA con pruebas *post hoc* de Tukey. Como resultado, el jengibre rojo (var rubrum) tuvo la mayor concentración de compuestos fenólicos totales con 12.25 mg EAG/g (infusión) y 22.97 mg EAG/g (decocción), seguido por el jengibre emprit (var amarum) y el jengibre elefante (var Roscoe). En el proceso de infusión, la mayor actividad antioxidante se halló en el jengibre rojo (79.83%), seguido por el jengibre emprit (70.43%) y el jengibre elefante (61.70%). Por el

contrario, la mayor actividad antioxidante en el proceso de decocción se halló en el jengibre emprit (78.76%), seguido por el jengibre rojo (70.56%) y el jengibre elefante (60.93%).

En México, Contreras-López et al. (2020) tuvieron por objetivo evaluar el efecto de la extracción asistida por ultrasonido en la concentración de antioxidantes del extracto de jengibre (*Zingiber officinale*). Se obtuvieron 30 kg de rizomas de jengibre de una asociación de productores orgánicos. El diseño aplicado fue el compuesto central rotacional, analizando los factores: amplitud (80–90%) y temperatura (30–50 °C) con 13 experimentos. El sistema ultrasónico se sumergió en un baño de agua. Se pesaron 4 g de jengibre y se colocaron en un tubo de extracción. Luego, se añadieron 400 mL de agua destilada al tubo de extracción para cada experimento llevado a cabo por 15 min en modo de pulsos de 2 s encendido/4 s apagado. Posteriormente, los extractos se centrifugaron a 10,000 rpm durante 30 min. Los sobrenadantes se separaron por decantación. Se determinó la concentración de compuestos fenólicos totales y la actividad antioxidante. El análisis estadístico se realizó mediante una regresión de superficie de respuesta (JMP 7.0.2). Como resultado, la amplitud fue el principal parámetro que influyó en la extracción de antioxidantes. La actividad antioxidante alcanzó una respuesta máxima de 157.15 mg ET/100 g y la concentración de compuestos fenólicos totales de 17.11 mg EAG/100 g.

En Malasia, Mokhtar et al. (2018) plantearon por objetivo extraer compuestos bioactivos del rizoma de *Zingiber zerumbet* utilizando extracción con agua a alta presión y temperatura en un rango de 100 – 180 °C con un tiempo de extracción 5 – 25 min. Los extractos se analizaron para determinar la concentración de compuestos fenólicos totales (CFT), el contenido total de flavonoides (CTF) y la actividad de barrido de radicales (ABR). Se utilizó la extracción Soxhlet con etanol con fines de comparación (1:17 w/v, 76 °C, 6 h). Los resultados mostraron que, el proceso de extracción con agua a alta presión y temperatura fue favorable: el mayor valor de CFT y CTF se obtuvo a 180 °C y 25 min de extracción, con un rendimiento de 18.52 mg EAG/g

peso seco y 2.34 mg QE/g peso seco para CFT y CTF, respectivamente. La ABR alcanzó un pico de inhibición de 83.9% en la condición de 180 °C y 10 min de extracción. En comparación con la extracción Soxhlet, el extracto obtenido con agua a alta presión y temperatura arrojó la mayor cantidad de CFT y ABR. Sin embargo, los valores de CTF fueron menores en comparación con el extracto etanólico. Se identificó una correlación lineal fuerte y directa entre el CFT y el ABR ($R^2 = 0.91$) en comparación con la correlación moderada ($R^2 = 0.78$) entre el CTF y el ABR.

En Perú, Jorge-Montalvo et al. (2023) realizaron un estudio en rizomas de jengibre (*Zingiber officinale*). El propósito fue comparar la eficiencia de los métodos de extracción por ultrasonido, agitación magnética, maceración y reflujo en la concentración de compuestos fenólicos totales y la actividad antioxidante del extracto. El jengibre fue obtenido de un producto de la ciudad de Pichanaki (Junín) y secado con aire fresco. El ensayo para medir la concentración de compuestos fenólicos totales se realizó empleando el reactivo Folin-Ciocalteu, mientras que, el ensayo para medir la actividad antioxidante se realizó mediante el método IC_{50} en DPPH expresando la medida como porcentaje de inhibición en mg peso seco/mL. El análisis estadístico contempló el uso de un ANVA con pruebas *post hoc* de Duncan, empleando el software XLSTAT versión 2021.5.1. Como resultado, los valores para todos los métodos de extracción para compuestos fenólicos totales oscilaron entre 9.42 y 10.03 mg EAG/g de materia seca y los valores IC_{50} en DPPH estuvieron entre 0.53–0.72 mg materia seca/mL. Se obtuvieron extractos con mayor capacidad antioxidante utilizando disolventes de polaridad media con el método de maceración a 24 h y 25 °C (10.03 ± 0.14 mg EAG/g muestra seca) y el método de reflujo a 12 h y 85 °C (0.72 ± 0.05 IC_{50} mg materia seca/mL).

En Perú, Barriga-Sánchez y Rosales-Hartshorn (2022) realizaron un estudio en residuos agroindustriales de semillas de uva Quebranta (*Vitis vinifera*) de tres zonas de producción. El propósito fue evaluar el efecto de la técnica de extracción en la concentración de compuestos

fenólicos totales y actividad antioxidante. Se realizaron dos diseños experimentales: el primero fue un diseño completamente aleatorizado y, el segundo, un diseño factorial completo. Los procedimientos fueron: desgrasado con CO₂ supercrítico, extracción con agua a alta presión y temperatura y macerado con metanol, etanol y acetona. El ensayo para medir la concentración de compuestos fenólicos totales contempló el uso del reactivo Folin-Ciocalteu, mientras que, el ensayo para medir la actividad antioxidante contempló el uso del reactivo DPPH. Los análisis estadísticos se realizaron mediante un ANVA de una vía y mediante pruebas *post hoc* de Tukey con el programa SPSS versión 28. Como resultado, la mayor actividad antioxidante fue la de los extractos obtenidos con agua a alta presión y temperatura ($1,628.15 \pm 80.32 \mu\text{mol ET/g}$ peso seco).

En Perú, Sánchez-Gonzales et al. (2019) realizaron un estudio en hojas de chirimoya (*Annona cherimola* Mill), residuos de la cosecha del fruto. El objetivo fue determinar la actividad antioxidante (método DPPH y FRAP) y compuestos fenólicos (con reactivo Folin-Ciocalteu) a partir del extracto de hojas secas. El diseño empleado fue de tipo factorial realizado con Minitab. Se realizó la extracción con etanol (70% v/v, 60°C), agua a 80°C y agua a alta presión y temperatura (110, 120 y 130 °C y 50 bar). Se obtuvo como resultado que, los factores significativos en la extracción fueron el tipo de solvente y el tiempo de extracción. El extracto con agua a alta presión y temperatura (130 °C) tuvo mayor concentración de compuestos fenólicos (5.6 g EAG/100 g de hoja seca) mientras que, el extracto con etanol tuvo mayor actividad antioxidante (0.86 mg ET/mg extracto seco y FRAP de 1,710 $\mu\text{mol ET/g}$ de hoja seca).

Habiendo reportado los antecedentes, los métodos empleados, los ensayos y los resultados obtenidos en la separación de fitoconstituyentes a partir de diversas matrices vegetales, en este estudio se analizaron los efectos de tres parámetros de extracción en el jengibre (*Zingiber officinale*) con agua: temperatura, tiempo y tamaño de partícula.

2.2. MARCO CONCEPTUAL

2.1.1. *Jengibre (Zingiber officinale)*.

El jengibre es conocido por el hombre desde la antigüedad. Su historia se remonta a más de 5000 años, cuando los indios y los antiguos chinos lo cultivaban como raíz tónica para todas las dolencias. La planta, de nombre científico *Zingiber officinale*, es originaria del sur de la antigua China y desde allí se extendió a la India, las islas Maluku (las llamadas islas de las especias), el resto de Asia y África occidental. El jengibre apareció por primera vez en Europa en el siglo I, a partir del comercio romano con la India. En Roma se utilizaron mucho, pero dejó de usarse durante la Edad Media. El jengibre se ha utilizado, desde antaño, en diversas medicinas tradicionales, como la china, la ayurvédica (de la India) y la unani (perso-árabe). En la tradición ayurvédica, el jengibre se considera una medicina universal, pero se utiliza con mayor incidencia en el tratamiento de las náuseas y la indigestión. En la actualidad, el jengibre se utiliza tanto en la alimentación como en la medicina herbal. La monografía de la Organización Mundial de la Salud (OMS) sobre el jengibre recopila los resultados sobre las propiedades antieméticas, colagogas y antiinflamatorias disponibles en diversas fuentes, como las farmacopeas de Japón, China, Tailandia, Reino Unido, Europa y África. En la alimentación, el jengibre se utiliza sobre todo como especia. Los rizomas se secan y se muelen hasta obtener un polvo con sabor y aroma a flores. Tanto la especia como el aceite esencial de jengibre están reconocidos como aditivos alimentarios por la Administración de Alimentos y Medicamentos de EE.UU. (FDA) y se les ha concedido el estatus GRAS (Generally Recognised as Safe). Otros productos alimentarios derivados del jengibre son los encurtidos, conservas, cerveza y zumos. El jengibre confitado se consume solo o se incorpora a chocolates y productos de confitería. Varios extractos se añaden al yogur y a otros productos lácteos. El uso del jengibre como suplemento dietético y alimento funcional es una tendencia creciente, siendo una de las hierbas más vendidas en el mercado, y se estima que sus ventas crecerán un 6.5% anual y

alcanzarán un valor de 4180 millones de dólares en 2022. Se prevé que el mercado de los consumidores se expanda aún más rápido, a un ritmo estimado del 7.5% anual hasta 2022 (Santos-Braga, 2019).

El jengibre fue identificado por un botánico inglés, William Roscoe (1753-1831) y llamado *Zingiber officinale* Roscoe. Esta planta crece de forma natural en el sur de Asia y tiene raíces perennes en forma de tubérculos o rizomas. Se planta sobre todo en regiones subtropicales y tropicales (en las zonas situadas hasta 1500 m sobre el nivel del mar) (Macit et al., 2019). Es una hierba perenne rizomatosa y se utiliza ampliamente en todo el mundo como especia, agente aromatizante y remedio herbal para el resfriado, las infecciones de garganta y pecho y contra la tos.

Beristain-Bauza et al., (2019) indican que el jengibre (*Zingiber officinale*) es una planta utilizada en la medicina tradicional contra diferentes enfermedades por sus diversas propiedades (antimicrobianas, antioxidantes, antiinflamatorias, anticoagulantes, etc.) Además, Macit et al. (2019) manifiestan que el jengibre se ha utilizado para el tratamiento de diferentes enfermedades, como los vómitos, la indigestión, el asma y los dolores articulares y musculares. Asimismo, Švarc-Gajić et al. (2017) sostienen que, el rizoma del jengibre (*Zingiber officinale*) se ha utilizado en muchas medicinas tradicionales. La ciencia moderna también reconoce y confirma sus efectos beneficiosos para la salud, como la actividad antioxidante, antimicrobiana y antiviral.

La familia Zingiberaceae es una rica fuente de diversos fitoquímicos bioactivos. Comprende unos 52 géneros y 1300 especies de hierbas aromáticas perennes con flores y rizomas rastreros horizontales o tuberosos. Entre los miembros más destacados de esta familia se encuentran el jengibre (*Zingiber officinale* Roscoe), la cúrcuma (*Curcuma longa* L.), el jengibre de Java (*Curcuma zanthorrhiza* Roxb.) y el jengibre tailandés (*Alpinia galanga* L.) (Alolga et al., 2022). El rizoma de jengibre constituye una especia aromática y picante que tiene una

relevancia culinaria, medicinal y comercial única para la economía de sus cultivadores en los países tropicales y subtropicales.

El jengibre, conocido botánicamente como *Zingiber officinale* Roscoe, pertenece a la familia *Zingiberaceae* y al orden natural *Scitamineae*. El rizoma es totalmente amarillo pálido en su interior o con una capa externa roja. Posee tallos frondosos de hasta unos 50 cm de altura, 5 mm de diámetro, glabros excepto por pelos cortos cerca de la base de cada lámina foliar (de unos 17 cm x 1.8 cm cada lámina); de color verde oscuro, estrechas uniformemente hasta la punta delgada; lígula ancha, delgada, glabra, 5 mm de altura, ligeramente bilobada. Escapo delgado de 12 cm de altura, las vainas superiores con o sin puntas frondosas cortas; inflorescencia de aproximadamente 4.5 cm de longitud y 15 mm de diámetro; brácteas de aproximadamente 2.5 cm x 1.8 cm; verdes con banda submarginal pálida y margen estrecho translúcido; márgenes incurvados, brácteas inferiores con punta blanca delgada. Bracteolas tan largas como la bráctea; cáliz con ovario de 12 mm de largo; tubo de la corola de 2.5 cm de largo, lóbulos amarillentos, lóbulo dorsal de 18 mm x 18 mm (aplanado) curvado sobre la antera y estrechado hasta la punta con laterales más estrechos. Tiene el labio (lóbulo medio) casi circular, de aproximadamente 12 mm de largo y ancho, púrpura con manchas de color crema en la base, lóbulos laterales de unos 6 mm y 4 mm; libre casi hasta la base, coloreado en el lóbulo medio; antera crema, 9 mm de largo, apéndice púrpura oscuro y curvado de 7 mm de largo. La especie es estéril y no produce semillas (Prabhakaran Nair, 2019).

La organización internacional Infraestructura Mundial de Información en Biodiversidad (GBIF, 2022) indica que, en Perú se han registrado 75 especies de *Zingiber officinale* Roscoe, siendo el cuarto país a nivel mundial con mayor cantidad de especies, por detrás de Brasil (167 especies), India (99 especies) y México (80 especies). La clasificación de *Zingiber officinale* Roscoe se detalla en el cuadro 1.

Cuadro 1.

Clasificación taxonómica de Zingiber officinale Roscoe

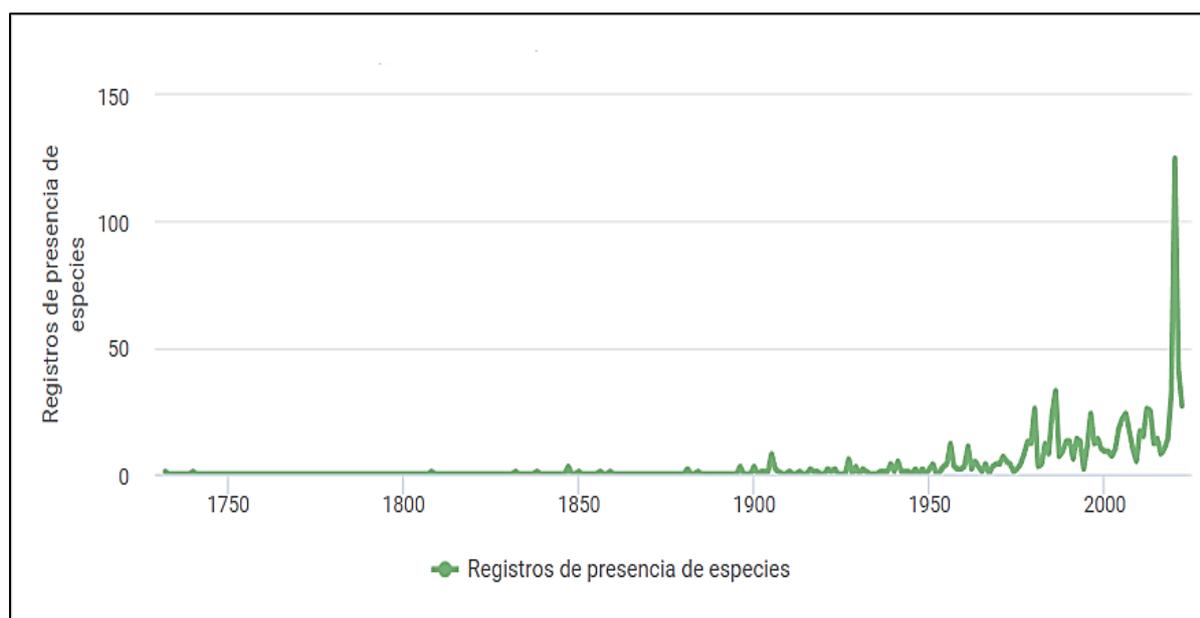
Clasificación	Descripción
Reino	Plantae
Filo	Tracheophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Zingiberales
Familia	Zingiberaceae
Género	<i>Zingiber</i> Mill.
Especie	<i>Zingiber officinale</i> Roscoe

Fuente: Tomado de GBIF, 2022.

Además, en el último cuarto de siglo, se han registrado más de 1485 especies y 23 infraespecies, teniendo como el mayor pico al año 2020, al registrarse 125 especies solo este año. Luego, 42 especies se registraron en 2021 y 27 especies fueron registradas en 2022. La figura 1 muestra el registro histórico de registros, con un intervalo de 50 años, hasta el año 2022 (GBIF, 2022).

Figura 1

Registro anual de presencia de especies a nivel mundial



Fuente. Tomado de GBIF, 2022.

El jengibre es una de las especias más utilizadas que ha demostrado tener actividades terapéuticas. Estas propiedades se atribuyen principalmente a la presencia de compuestos como gingeroles y shogaoles (Nourbakhsh Amiri et al., 2018). Es un ingrediente de varias bebidas y productos dulces. Por lo tanto, la planta posee una combinación de muchos atributos y propiedades. Como el jengibre contiene una variedad de componentes importantes, su uso puede ser muy amplio. Las propiedades organolépticas características son aportadas por aceites volátiles y los compuestos picantes no volátiles, extraíbles con solventes. Entre los numerosos componentes, el α -zingibereno es el componente predominante del aceite. El gingerol y shogaol son los componentes que contribuyen a la pungencia. El aroma refrescante y el sabor picante hacen del jengibre un ingrediente esencial de la mayoría de las cocinas del mundo y de la industria alimentaria. Las investigaciones farmacológicas han indicado la utilidad de los productos de jengibre para prevenir las náuseas y los vómitos asociados a la quimioterapia, el embarazo, los viajes y el mareo. El jengibre también tiene actividad antiplaquetaria e hipolipemiente además de tener un efecto ansiolítico (Prabhakaran Nair, 2019).

El jengibre es actualmente una especia muy popular, que ha trascendido de sus países de origen a las sociedades occidentales, donde la fusión de sabores e influencias gastronómicas es una tendencia creciente. El jengibre también es habitual en las mezclas de zumos, infusiones e incluso en el yogur, aportando notas picantes, frescas y florales a su aroma y sabor. Si bien estos alimentos seguramente gustarán al consumidor ecléctico, no tienen ningún valor medicinal, ya que la cantidad de jengibre es prácticamente inapreciable. Los alimentos funcionales a base de jengibre son, por desgracia, un mero reclamo para el consumidor. Como hierba medicinal, el rizoma de jengibre en polvo está disponible a partir de una gran variedad de proveedores, en cápsulas que contienen aproximadamente 500 mg de polvo. Las dosis diarias recomendadas varían entre una y tres cápsulas, lo que se traduce en dosis de 500 a 1500 mg. Según los estudios clínicos, estas dosis son útiles en la prevención del mareo, que puede

lograrse con una dosis única de 1 g, y también son adecuadas para aliviar el dolor asociado a la dismenorrea, con mejoras a partir de cuatro días de tratamiento. Sin embargo, para que el jengibre produzca cualquiera de los otros múltiples beneficios aquí descritos, se requieren dosis más altas (2 o 3 g). También se ha indicado que, con el creciente interés de las sociedades occidentales por el jengibre como medicina natural, en las próximas décadas se puede esperar que la investigación crezca para profundizar en nuestros conocimientos sobre esta hierba y encontrar una plétora de nuevas aplicaciones más seguras (Santos-Braga, 2019).

Zingiber officinale Roscoe se utiliza comúnmente en los alimentos y productos farmacéuticos, así también como en cosméticos. Se ha empleado en la prevención y el tratamiento de enfermedades digestivas, circulatorias, respiratorias y del sistema nervioso central, entre otras. Diversos resultados del análisis de componentes químicos encontrados en el jengibre en los últimos años, muestran que se han identificado más de 300 componentes químicos a partir de extractos de jengibre, incluyendo 194 tipos de aceites volátiles, 85 tipos de gingerol y 28 tipos de compuestos diarilheptanoides. De ello se desprende claramente que el jengibre tiene una composición química compleja. Explorar el mecanismo por el que diferentes componentes tienen los mismos efectos sería una nueva forma de desarrollar fármacos en el futuro; por ejemplo, el 4-terpineol y el beta-sitosterol pueden actuar sobre las dos dianas del receptor 3A de la 5-hidroxitriptamina y el receptor opioide de tipo mu, respectivamente, proporcionando así los correspondientes efectos terapéuticos contra la diarrea y la disentería (Liu et al., 2019). En los últimos años, los estudios han demostrado que el jengibre puede tener efectos sobre el apetito, la termogénesis y la motilidad gástrica (Macit et al., 2019).

La investigación científica moderna ha revelado que el jengibre posee numerosas propiedades terapéuticas que incluyen efectos antioxidantes, una capacidad para inhibir la formación de compuestos inflamatorios y efectos antiinflamatorios directos. Sin embargo, según Mustafa, & Chin (2023), el jengibre está clasificado como un producto altamente perecedero y se deteriora

rápidamente debido a su alto contenido de humedad. El jengibre fresco contiene un 78.89% de humedad y debe ser almacenado en condiciones secas a bajas temperaturas, cuando no se cumplen estas condiciones, deben adoptarse otros métodos de conservación para evitar el deterioro del jengibre. Además, las condiciones de procesado tienen efectos notables sobre los constituyentes bioactivos de los materiales vegetales, en particular las antocianinas, los carotenoides y antioxidantes fenólicos.

El envejecimiento provoca una pérdida progresiva de masa y fuerza muscular. El aumento del estrés oxidativo en el envejecimiento afecta a la capacidad de diferenciación de los mioblastos, lo que provoca un deterioro de la regeneración muscular. *Zingiber officinale* R. (jengibre) tiene beneficios potenciales para revertir el envejecimiento muscular debido a su propiedad antioxidante (Mohd Sahardi et al., 2020).

El jengibre y sus extractos se utilizan comercialmente para acentuar el sabor de innumerables variedades de alimentos cocidos y semi cocidos. El uso de sus oleorresinas, en lugar de las propias especias, condimentos y hierbas, proporciona la estabilidad necesaria a sus productos formulados. Los productos derivados de jengibre también se utilizan en mezclas farmacéuticas para reducir los cólicos. Los sólidos lixiviados de la extracción pueden incorporarse a la alimentación animal por su contenido en almidón (48%) y proteínas (12%). Los rizomas de jengibre deben secarse antes de realizar el procedimiento de extracción. El rendimiento de extracción aumenta a medida que disminuye el tamaño de partícula. Las partículas de gran tamaño ofrecen una gran resistencia a la difusión intraparticular. Por lo tanto, es importante el papel que puede desempeñar la difusión en el proceso de extracción. No obstante, las diferencias observadas no son estadísticamente significativas.

2.1.2. Compuestos bioactivos.

La medicina y la farmacia modernas se apoyan en los conocimientos de la medicina tradicional. Casi una cuarta parte de los nuevos medicamentos proceden de fuentes naturales. Las plantas

representan una fuente insuficientemente explorada de compuestos con efectos benéficos sobre la salud, estando en el punto de mira de muchas investigaciones científicas. La identificación y el aislamiento de nuevos compuestos bioactivos a partir de extractos de plantas supone una importante contribución a la química de los compuestos naturales y a la farmacología. Los nuevos compuestos identificados se utilizan a menudo como modelos en el desarrollo de productos farmacéuticos con características mejoradas (Nastić et al., 2018).

El jengibre contiene almidón como ingrediente más abundante, constituyendo un 40 a 60% (w/w) del rizoma seco. El contenido en proteínas, lípidos y fibra varía según los cultivares y los distintos estados de maduración: el porcentaje de proteína bruta es de 6.2 a 19.8%, el de lípidos de 5.7 a 14.5% y el de fibra bruta de 1.1 a 7.0% (Santos-Braga, 2019).

Se han llevado a cabo numerosos estudios para caracterizar y aislar sus principales compuestos bioactivos con el fin de dilucidar los mecanismos de su actividad antimicrobiana contra los microorganismos patógenos y de deterioro de los alimentos. Los resultados indican que el jengibre contiene monoterpenoides, sesquiterpenoides, compuestos fenólicos y sus derivados, aldehídos, cetonas, alcoholes y ésteres, que proporcionan un amplio espectro antimicrobiano contra diferentes microorganismos y lo convierten en una interesante alternativa a los antimicrobianos sintéticos. Sin embargo, su aplicación en los alimentos ha sido escasamente explorada y representa un área de oportunidad para futuras investigaciones (Beristain-Bauza et al., 2019).

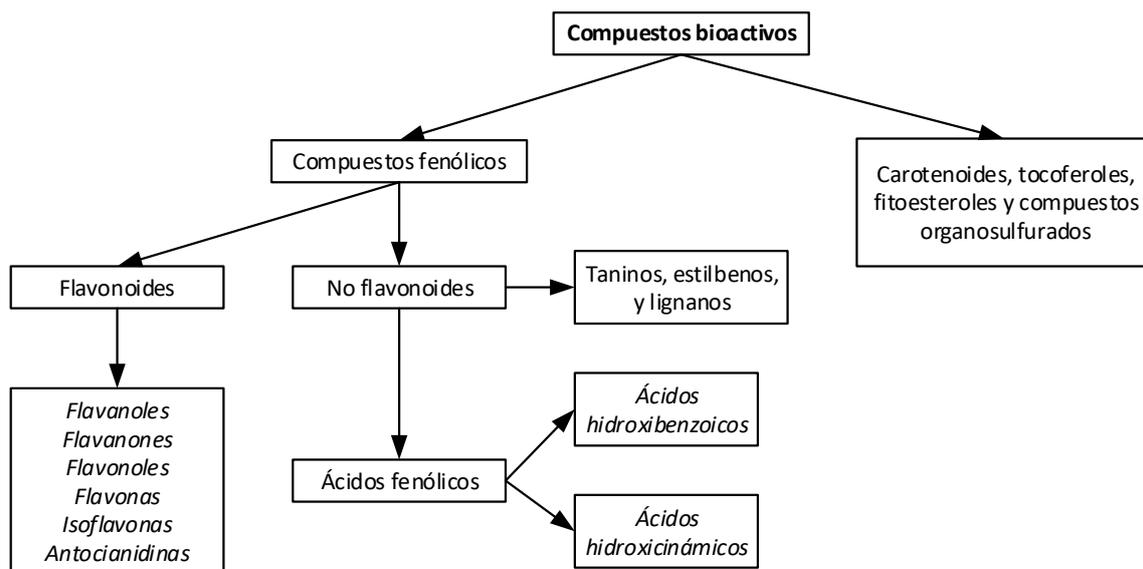
Entre los compuestos activos del jengibre, el 6-gingerol es el más abundante en el jengibre fresco. En un estudio realizado en Korea, al extraer los compuestos bioactivos con agua, el 6-gingerol y el 6-shogaol fueron más abundantes en la parte comestible (pulpa) que en la no comestible (cáscara) del jengibre. Sin embargo, se indicó que las cáscaras de jengibre pueden utilizarse en la extracción de compuestos bioactivos de subproductos agrícolas (Ko et al., 2019b). Por otro lado, también se ha dicho que, la extracción de 6-gingerol, el compuesto

bioactivo en mayores cantidades en el extracto de jengibre, sería altamente beneficioso en vista de sus conocidos efectos sobre la salud.

En la base de datos disponible en la página web de PubChem (National Center for Biotechnology Information, 2023), el 6-gingerol está definido como una beta-hidroxi-cetona 5-hidroxidecan-3-ona sustituida por una fracción de 4-hidroxi-3-metoxifenilo en la posición 1; se cree que inhibe la adipogénesis. Es un componente del jengibre fresco y tiene funciones como agente antineoplásico y metabolito vegetal. La figura 2 muestra los principales tipos de compuestos bioactivos presentes en los productos agrícolas.

Figura 2

Principales tipos de compuestos bioactivos



Fuente. Adaptado de Shirahigue & Ceccato-Antonini, 2020.

El jengibre es una hierba medicinal muy segura, que puede utilizarse incluso durante el embarazo. Sin embargo, no está completamente exento de efectos secundarios y también presenta una larga lista de interacciones con otros compuestos, desde principios activos farmacéuticos (API) hasta vitaminas y nutrientes. En estas interacciones, el jengibre actúa sobre todo como biopotenciador, es decir, como agente que aumenta la biodisponibilidad de otras sustancias. Este efecto puede estar asociado a la presencia de compuestos similares a la

piperina en el jengibre. La piperina, el compuesto picante de la pimienta negra, es un conocido biopotenciador. Se ha informado de un efecto biopotenciador de los productos derivados de jengibre. Cuando se administró a ratones en una dosis de 30 mg/kg de peso corporal, la oleorresina de jengibre aumentó la biodisponibilidad del fármaco antiviral atazanvir y aceleró su absorción (Santos-Braga, 2019).

Los componentes activos se obtienen por diferentes métodos de extracción. Este proceso puede realizarse con solventes orgánicos que, una vez secos, proporcionan oleorresina en rendimientos que van desde el 4.0 al 7.5% (w/w); o por destilación al vapor, que permite obtener aceites esenciales. Los extractos contienen una gran variedad de compuestos, de los que ya se han identificado al menos 115 y que incluyen gingeroles, shogaoles, β -caroteno, capsaicina, ácido cafeico, curcuminoides y salicilato. Los gingeroles son los componentes activos más abundantes en el jengibre fresco, mientras que en el jengibre seco los shogaoles son más abundantes; esto ocurre porque el calor asociado al secado degrada los gingeroles en shogaoles. La familia de los gingeroles es bastante extensa, con hasta 31 identificados en el jengibre fresco hasta el momento. Además, de los 4-, 6-, 8- y 10-gingeroles, así como de los 6- y 14-shogaoles, se conocen otros componentes bioactivos, principalmente por su actividad antiinflamatoria, entre ellos se encuentran: metoxi-10-gingerol, 10-gingerdiona, 1-dehidro-10-gingerdiona, hexahidrocurcumina, tetrahidrocurcumina y gingerenona A. El 6-gingerol, cuyo nombre IUPAC es (S)-5-hidroxi-1-(4-hidroxi-3-metoxifenil)-3-decanona, es el principal componente picante y bioactivo del jengibre. El 6-gingerol es soluble en etanol, benceno, éter, cloroformo, metanol (1 mg/mL) y DMSO e insoluble en agua. Se prevé que el $\log P$ del 6-gingerol se sitúe entre 2.48 y 3.62, y se le ha clasificado provisionalmente como un compuesto de clase I de la BCS (Sistema de Clasificación Biofarmacéutica), es decir, un compuesto con baja solubilidad y baja permeabilidad. La extracción del 6-gingerol suele realizarse mediante purificación cromatográfica de los extractos obtenidos por maceración del jengibre fresco con

diferentes disolventes como metanol, hexano o acetona. Sin embargo, los rendimientos de estos procesos son muy bajos, situándose entre 0.1 y 0.6%. Además, el uso de disolventes orgánicos hace que el producto sea inadecuado para aplicaciones alimentarias. Se han descrito intentos por obtener gingerol con CO₂ supercrítico y agua líquida a alta presión y temperatura, pero estos métodos proporcionan, en lugar de 6-gingerol puro, una mezcla de 6, 8 y 10-gingeroles, así como 6-shogaol. El compuesto 6-gingerol puro puede obtenerse por síntesis total, que implica más de diez pasos y varios precursores (Santos-Braga, 2019).

El jengibre (*Zingiber officinale* Roscoe) es rico en una gran variedad de componentes químicos, como compuestos fenólicos, terpenos, polisacáridos, lípidos, ácidos orgánicos y fibras crudas. Es así que, el jengibre posee características diversas debido a la presencia de estos componentes, además de bioactividades y mecanismos de acción complejos. Los beneficios del jengibre para la salud se atribuyen principalmente a sus compuestos fenólicos como los gingeroles y los shogaoles. Las investigaciones acumuladas han demostrado que el jengibre posee múltiples actividades biológicas, como antioxidante, antiinflamatorio, antimicrobiano, anticancerígeno, neuroprotector, protector cardiovascular, protector respiratorio, además de efectos anti obesidad, anti diabéticos, y anti eméticos. Finalmente, se resalta que el jengibre puede tener múltiples aplicaciones a futuro, incluyendo su potencial para ser desarrollado en alimentos funcionales o nutraceuticos para la prevención y tratamiento de enfermedades crónicas (Mao et al., 2019).

El jengibre presenta varios compuestos bioactivos que pueden obtenerse a partir de aceites esenciales, extractos, oleorresinas y producto en polvo. Algunos de estos compuestos tienen la capacidad de inhibir patógenos muy importantes asociados a enfermedades de origen alimentario, debido a su amplio espectro inhibitorio antibacteriano y antifúngico. Por lo tanto, el jengibre es una fuente prometedora de agentes antimicrobianos naturales en los productos alimentarios, como sustitutos de los sintéticos. Además, la inclusión del jengibre en las

formulaciones alimentarias también puede proporcionar una valiosa mejora contra diferentes enfermedades. Sin embargo, es necesario realizar más estudios sobre su toxicidad y su posible aplicación en productos alimentarios para determinar los efectos sobre diferentes propiedades sensoriales y nutricionales (Beristain-Bauza et al., 2019).

Los rizomas del jengibre seco están compuestos por aproximadamente un 9% de proteínas, un 8 a 9% de grasas, un 70% de carbohidratos, un 6% de celulosa y un 4.5% de cenizas. Los principales componentes del jengibre son el 6-paradol, el 6-gingerol y el 6-shogaol. Estudios in vitro demostraron una fuerte actividad antioxidante de estos componentes. Además, muchos de los estudios mostraron efectos antieméticos, antiinflamatorios y antioxidantes, reductores de la glucosa y los lípidos, antihipertensivos y anticancerígenos. Además, recientemente se han intensificado los estudios sobre el efecto positivo contra la obesidad y otros trastornos metabólicos (Macit et al., 2019).

Las cáscaras de jengibre poseen propiedades antioxidantes y antimicrobianas. La propiedad antioxidante de las cáscaras de jengibre merece una consideración especial, ya que el jengibre es una especia alimenticia muy utilizada. También podría decirse que el jengibre tiene la ventaja añadida de ser un antioxidante natural frente a los suplementos vitamínicos antioxidantes sintéticos orales habituales, como la vitamina E y la C, ya que contiene ambas.

Los rizomas de jengibre presentan aceites volátiles compuestos por monoterpenos (5%), sesquiterpenos (65%, principalmente, α -zingibereno) y compuestos oxigenados (30%, presente en su oleorresina). Estos componentes son los responsables de su sabor característico (de Souza Junior et al., 2020).

Los gingeroles son los principales componentes bioactivos no volátiles del rizoma de jengibre fresco. Los gingeroles se convierten principalmente en zingerona y shogaoles durante el secado, el almacenamiento prolongado, el procesamiento y la cocción. Los shogaoles pueden

transformarse parcialmente en paradoles al cocinarlos o al metabolizarse en el cuerpo de los animales, tras ser consumidos y absorbidos por el sistema digestivo. Los principales ingredientes de los suplementos dietéticos que contienen jengibre, como el rizoma de jengibre, el extracto en polvo y la oleorresina, contienen los componentes no volátiles que incluyen gingeroles, paradoles, shogaoles y zingerona (You et al., 2019).

Debido a que el jengibre contiene diversos compuestos bioactivos, como gingeroles, shogaoles y paradoles, posee propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y antimicrobianas. Además, el jengibre tiene el potencial de ser el ingrediente de alimentos funcionales o nutraceuticos, y podría estar disponible para la gestión y prevención de varias enfermedades como el cáncer, las enfermedades cardiovasculares, la diabetes mellitus, la obesidad, las enfermedades neurodegenerativas, las náuseas, la emesis y los trastornos respiratorios. En el futuro, podrían aislarse e identificarse claramente más compuestos bioactivos del jengibre, y habría que seguir investigando sus actividades biológicas y los mecanismos de acción relacionados. En particular, se justifica la realización de ensayos clínicos bien diseñados sobre el jengibre y sus diversos compuestos bioactivos para demostrar su eficacia contra estas enfermedades en los seres humanos (Mao et al., 2019).

Algunos estudios cuantifican y reportan los beneficios de los compuestos bioactivos del jengibre, en la salud humana. En Korea, Ko et al. (2019a) llevaron a cabo la extracción del 6-gingerol y el 6-shogaol del jengibre seco (*Zingiber officinale*), con agua a una temperatura de 190°C durante 15 minutos bajo diferentes condiciones de secado, incluyendo la temperatura (temperatura ambiente, 60°C, 80°C, y liofilización) y la duración de secado, que variaron de una a cuatro horas. Se encontró que la cantidad de 6-gingerol disminuía y la de 6-shogaol aumentaba en relación con la concentración de agua del jengibre seco. Para obtener los rendimientos máximos de 6-gingerol (0.18 ± 0.02 mg/g de peso fresco) y 6-shogaol ($0.47 \pm$

0.02 mg/g de peso fresco), se secó el jengibre en el horno a 60°C durante 2 horas y luego se aplicó la extracción.

Ko et al. (2019b) efectuaron un estudio en el que se determinó las condiciones de extracción que maximizan los contenidos de 6-gingerol y 6-shogaol obtenidos de la pulpa y la cáscara de jengibre. Los mayores rendimientos de 6-gingerol (0.68 ± 0.08 mg/g), y 6-shogaol (0.39 ± 0.03 mg/g) se obtuvieron a partir de la pulpa de jengibre en las condiciones de extracción de 130°C por 25 min, y 190°C por 15 min. La concentración de 6-shogaol aumentó con el incremento de la temperatura y el tiempo de extracción debido a la conversión de 6-gingerol en 6-shogaol por craqueo térmico. La actividad antioxidante de los extractos de jengibre aumentó en función del incremento de la concentración de 6-shogaol.

Macit et al. (2019) en su investigación, establecieron como objetivo revisar los estudios que evaluaban el efecto del jengibre sobre el metabolismo energético y la obesidad. El cribado de los estudios publicados se realizó en 4 bases de datos (PubMed, Web of Science, Lilacs y en The Cochrane Library). La literatura mostró que el jengibre podría tener efectos importantes sobre el metabolismo energético y la obesidad en modelos animales, a través de la disminución de la oxidación de carbohidratos y lípidos, el aumento de la actividad nerviosa, los cambios en las hormonas (leptina, insulina) y las enzimas (amilasa, lipasa). Algunos estudios en humanos también mostraron efectos positivos; sin embargo, los resultados fueron contradictorios debido a la diferencia de los principios activos, la baja dosis y el corto periodo de administración (dosis única, 24 horas). En el meta-análisis de los estudios se demostró que el jengibre disminuye significativamente el IMC ($1.33 - 4.02$ a 1.84 , $p = 0.003$), con un intervalo de confianza del 95%. Es decir, la asociación del jengibre con el metabolismo energético y la obesidad puede tener efectos positivos. Sin embargo, antes de poder recomendarlo para su uso con fines terapéuticos se debe determinar el principio activo, la duración y las dosis óptimas, así como los posibles efectos con su uso a largo plazo.

Mohd Sahardi et al. (2020) investigaron sobre los posibles beneficios del jengibre en la salud humana. Este estudio apuntó a determinar el efecto del jengibre en la prevención de la senescencia celular y la promoción de la regeneración muscular. En conclusión, se obtuvo que el extracto estandarizado de jengibre compuesto por 6-gingerol y 6-shogaol ejerció un efecto comparable en la prevención de la senescencia celular de los mioblastos humanos y promueven la diferenciación de los mismos. Se agregó que, esto puede suponer una ventaja en la prevención de las enfermedades musculares, especialmente la sarcopenia.

Nourbakhsh Amiri et al. (2018) estudiaron la extracción de compuestos bioactivos (gingeroles y shogaoles) con agua. Se investigó la influencia de la adición de co-solventes, la temperatura, el tiempo de extracción y el tamaño de partícula en el rendimiento de la extracción. Además, se estudió el impacto del pretratamiento ultrasónico y enzimático. Se aprobó como condición optimizada el método de extracción con agua asistido por enzimas con un 2% de etanol como co-solvente y utilizando jengibre con un tamaño de partícula de 1mm, operado a 130°C y 20 bar durante 30 minutos. En estas condiciones, el contenido total de polifenoles obtenido y la concentración de gingeroles y shogaoles totales fueron de 5325 µg EAG/g peso seco y 2990.5 µg bioactivos/g peso seco, respectivamente. El pretratamiento del polvo de jengibre con α -amilasa antes de la extracción con agua dio lugar a un aumento de 2.80 y 2.22 veces en el contenido total de polifenoles y en la concentración de gingeroles y shogaoles, respectivamente. Se realizó un análisis SEM (microscopía electrónica de barrido) para evaluar el efecto del pretratamiento en la morfología del jengibre y el proceso de extracción.

Yulianto et al. (2017) realizaron una investigación con el objetivo de analizar la extracción en agua del gingerol como uno de los componentes activos de *Zingiber officinale*. Los experimentos se llevaron a cabo a una temperatura de 130 – 140°C por 10 – 20 min, a una presión constante de 2 bar, y se tomaron muestras cada 10 min para su posterior análisis. La investigación mostró que la concentración de gingerol del extracto alcanzó hasta un 5%,

obtenido a partir de la extracción con agua a una temperatura de 130 °C y a un tiempo de extracción de 20 min.

Švarc-Gajić et al. (2017) compararon extractos de agua de rizoma de jengibre (*Zingiber officinale*) con extractos obtenidos por ebullición de agua a presión atmosférica con respecto a la actividad antimicrobiana y citotóxica. La actividad antimicrobiana se evaluó contra ocho cepas microbianas, dos de las cuales pertenecen a la clase de los hongos. La actividad citotóxica se observó en tres líneas celulares tumorales derivadas del carcinoma de cuello uterino y rhabdomiocarcinoma humano y fibroblastos murinos. La composición química de los extractos de agua del jengibre se determinó mediante HPLC-ESI-TOF-MS. Las extracciones se realizaron durante 1 hora con agua pura a una temperatura de 150 °C, una presión de 50 bar y una velocidad de agitación de 3 Hertz (equivalentes a 180 rpm). La proporción entre la muestra y el agua fue de 1:10. Por motivos de comparación, las muestras de jengibre también se extrajeron con agua pura a presión atmosférica. Los extractos de agua fueron más citotóxicos para las células cancerosas derivadas del carcinoma de cérvix humano, el rhabdomiocarcinoma humano y el fibroblasto murino, en comparación con los extractos de jengibre obtenidos de forma convencional.

2.1.3. Agua a alta presión y temperatura.

El agua se mantendrá líquida a temperaturas entre 100 °C y 374 °C sometiéndola a una presión alta. Al aumentar la temperatura, las interacciones de los puentes de hidrógeno del agua se debilitan. Por lo tanto, la constante dieléctrica (ϵ) del agua disminuye. La constante dieléctrica (medida adimensional) del agua es de 80 a 25 °C, pero disminuye a 27 a 225 °C, similar a la polaridad del metanol ($\epsilon = 33$) o del etanol ($\epsilon = 24$) a temperatura ambiente (Ko et al., 2019b).

Las propiedades únicas del agua líquida a alta presión y temperatura, son su baja permitividad, baja viscosidad y baja tensión superficial, así como una alta tasa de difusión. Además, las ventajas más importantes de la extracción con agua sobre las técnicas convencionales aplicadas

en la separación de fitoconstituyentes son: menor costo de solvente, menor tiempo de extracción y, el ser en sí misma, una técnica eco amigable (Yulianto et al., 2017). Plaza & Marina (2021) sostienen que, las propiedades del agua como solvente varían en dependencia de los cambios de temperatura, factor de auto ionización, constante dieléctrica, viscosidad, difusividad, densidad y tensión superficial.

La utilización de agua en el proceso de extracción de compuestos orgánicos poco polares sólo puede ser eficaz a altas temperaturas, la constante dieléctrica del agua disminuye con el aumento de la temperatura y de esta forma puede comportarse como solvente orgánico. Además, el aumento de temperatura tiene un efector directo sobre la solubilidad de los compuestos orgánicos en el agua, lo que aumenta el rendimiento de la extracción. En consecuencia, el sistema es muy complejo, puesto que el agua en estado líquido a alta presión y temperatura aporta iones hidrógeno e hidroxilo (Švarc-Gajić et al., 2017).

La selección del solvente es crucial para la extracción. En la selección de los solventes deben tenerse en cuenta la selectividad, la solubilidad, el coste y la seguridad. Basándose en la ley de la similitud y la intermiscibilidad (lo similar se disuelve de forma similar), es probable que los solventes con un valor de polaridad cercano a la polaridad del soluto funcionen mejor y viceversa. Los alcoholes (EtOH y MeOH) son solventes universales en la extracción con solventes para la investigación fitoquímica. Por otro lado, de manera general se entiende que cuanto más fino sea el tamaño de las partículas mejor será el resultado de la extracción. La eficacia de la extracción se verá reforzada por el pequeño tamaño de las partículas debido a la mayor penetración de los solventes y la difusión de los solutos. Un tamaño de partícula demasiado fino, sin embargo, costará la absorción excesiva del soluto en el sólido y la dificultad en la filtración posterior. Las altas temperaturas aumentan la solubilidad y la difusión. Sin embargo, las temperaturas demasiado elevadas pueden hacer que se generen reacciones imprevistas con los solventes, dando lugar a la extracción de impurezas indeseables y a la

descomposición de los componentes termolábiles. La eficacia de la extracción aumenta con el incremento de la duración de la extracción en un determinado rango de tiempo. El aumento del tiempo no afectará a la extracción después de que se alcance el equilibrio del soluto (dentro y fuera del material sólido o matriz). Cuanto mayor sea la relación solvente/sólido, mayor será el rendimiento de la extracción; sin embargo, una relación solvente/sólido demasiado alta provocará un exceso de solvente de extracción y se requerirá mucho tiempo para concentrar los compuestos obtenidos. Los métodos de extracción convencionales, como la maceración, la percolación y la extracción por reflujo suelen utilizar solventes orgánicos, requieren un gran volumen de solventes y un largo tiempo de extracción. Algunos métodos de extracción modernos o más ecológicos, como la extracción con fluidos supercríticos (SFC), la extracción con líquidos a presión (PLE) y la extracción asistida por microondas (MAE), también se han aplicado en la extracción de compuestos a partir de productos naturales y ofrecen algunas ventajas como un menor consumo de solventes orgánicos, un menor tiempo de extracción y una mayor selectividad (Zhang et al., 2018).

El agua puede considerarse, en muchos casos, el solvente más ecológico. En los últimos años, ha aumentado notablemente el número de publicaciones que utilizan agua como solvente de extracción no contaminante. Una de las principales razones que hacen del agua un solvente interesante son los cambios fisicoquímicos del agua desde una condición ambiental hasta condiciones cercanas al estado crítico, en las que se llevan a cabo la extracción con agua caliente presurizada (PHWE, por sus siglas en inglés). Por ello, es necesario tener una visión crítica sobre la ecología del agua como solvente de extracción, considerando algunas ideas básicas sobre las diferentes metodologías que se pueden emplear para evaluar la ecología de un proceso de extracción (Castro-Puyana et al., 2017).

Para afirmar si un proceso de extracción es ecológico o sostenible, deben calcularse los datos sobre el verdadero impacto medioambiental basándose en buenos datos de entrada. Existen

varias herramientas métricas para evaluar la sostenibilidad medioambiental de un proceso de extracción, como el factor de rendimiento de medio ambiente, salud y seguridad (EHS) y el análisis del ciclo de vida (ACV). El primero es un método con el objetivo de identificar los peligros potenciales de las sustancias químicas, mientras que el segundo puede emplearse para la evaluación detallada de las emisiones al medio ambiente, así como el uso de recursos a lo largo de todo el ciclo de vida de un solvente, incluyendo la producción, el uso, el reciclaje potencial y su eliminación. Por lo tanto, se necesita un ACV de todo el proceso de extracción que incluya todos los aspectos de la extracción para afirmar que un proceso de extracción que utiliza agua como solvente es más sostenible que otro proceso de extracción que utiliza un solvente orgánico. A pesar de que las herramientas métricas proporcionan esta valiosa información sobre los productos químicos y solventes utilizados en un proceso, rara vez se emplean para evaluar si un protocolo de extracción es realmente sostenible (Castro-Puyana et al., 2017).

Como conclusión, el aumento de la temperatura disminuiría las constantes dieléctricas del agua y la haría menos polar. Por lo tanto, con el principio de que lo similar disuelve lo similar en la solubilidad del compuesto, la solubilidad del soluto en el agua aumentaría. Además, también se reduce la resistencia de los solutos a difundirse desde el núcleo del material y, en consecuencia, aumenta la eficacia o rendimiento de la extracción. Por otra parte, la presión tiene un efecto significativo en la constante dieléctrica del agua. La presión de trabajo mínima es elegida en el proceso de extracción con agua para brindar la ventaja de reducir riesgos y costos del proceso. Por lo visto, nuevos estudios conducirán a innovadoras aplicaciones junto con los parámetros óptimos de extracción de la tecnología de extracción con agua.

2.1.4. Extracción por agua a alta presión y temperatura.

Los productos naturales han contribuido al desarrollo de fármacos en las últimas décadas y siguen haciéndolo. Sin embargo, los procesos de extracción y aislamiento, que son intensivos

en laboratorio y requieren de tiempos largos, han obstaculizado la aplicación de productos naturales en el desarrollo de fármacos. A medida que la tecnología sigue desarrollándose, se han creado nuevas técnicas automatizadas y rápidas para extraer y separar productos naturales, que podrían alcanzar el requisito del filtrado de alto rendimiento. Los métodos modernos de extracción, incluyendo UAE, MAE, SFE y PLE, también han sido objeto de mayor atención en los últimos años debido a sus altos rendimientos de extracción, selectividad, estabilidad de los extractos objetivo y méritos de seguridad del proceso. Algunos de estos métodos no contaminantes se han convertido en métodos rutinarios de preparación de muestras para fines analíticos. En cuanto al aislamiento, el desarrollo de nuevos materiales de envasado podría mejorar la eficiencia del aislamiento. La combinación de técnicas cromatográficas y espectroscópicas o espectrométricas con el objetivo de dilucidar las estructuras sin necesidad de aislamiento, como la LC-NMR y la LC-MS, son una herramienta útil de desreplicación para la búsqueda de nuevos productos naturales. Aunque el aislamiento de productos naturales puros a partir de mezclas complejas sigue siendo un reto y aún se está muy lejos de los procedimientos de aislamiento en un solo paso, la aplicación de métodos más selectivos desde la extracción hasta el fraccionamiento y la purificación acelerará el tiempo desde la recogida de material biológico hasta el aislamiento del compuesto final purificado. En conclusión, existe un claro y creciente interés por la extracción y el aislamiento de productos naturales y sus ventajosas aplicaciones. Estas aplicaciones específicas están condicionando también los métodos de extracción empleados y las nuevas fases estacionarias y móviles que se utilizan por estas técnicas. Por tanto, se espera que estas tendencias se mantengan en un futuro próximo, ya que en su mayoría están motivadas por las nuevas demandas de los consumidores y por cuestiones de seguridad, medio ambiente y normativa (Zhang et al., 2018).

La demanda de diferentes técnicas de extracción ecológicas, que permiten acortar el tiempo de extracción y reducir el consumo de solventes orgánicos, aumenta constantemente. El agua es

un medio de procesamiento de bajo costo y no tóxico, lo que hace que los tratamientos sean menos costosos, ecológicos, más selectivos y requieran de un menor tiempo de proceso. Además, la menor viscosidad y los mayores valores del coeficiente de difusión y la conductividad térmica a temperaturas elevadas mejoran las tasas de transferencia de masa y de calor. Todas estas propiedades hacen del agua un sustituto satisfactorio de los solventes orgánicos en los procesos de extracción. La tecnología de extracción con agua aumenta continuamente su aplicación en diferentes campos. Generalmente, se opera con dos tipos de diseño: dinámico (flujo continuo) y estático (por lotes). El diseño y desarrollo de un sistema estático utilizado para procedimientos de laboratorio a pequeña escala es un poco diferente a los de un proceso dinámico a mayor escala, además al contar con unas directrices uniformes y sencillas para la construcción de un sistema de laboratorio, un escalado adecuado hasta el diseño industrial es más sencillo (Jokić et al., 2018).

Los métodos convencionales, como la extracción con solventes orgánicos y la hidrodestilación, presentan varios inconvenientes, como el bajo rendimiento, las pérdidas de compuestos volátiles, el largo tiempo de extracción, la degradación de los compuestos insaturados y la presencia de residuos tóxicos en el extracto. La introducción de métodos de extracción de nueva generación, que no sólo ofrecen un proceso económico sino también una alternativa ecológica, como la extracción con agua sería muy beneficiosa para el crecimiento de la industria. Esto atrae a numerosos investigadores a estudiar sus capacidades para sustituir el método de extracción convencional.

La extracción con líquidos a presión (PLE) también se ha descrito, por diferentes grupos de investigación, como extracción con solvente acelerada, extracción con fluidos a presión, extracción con fluidos acelerada y extracción con solventes a alta presión. La PLE aplica una alta presión en la extracción, manteniendo los solventes en estado líquido por encima de su punto de ebullición, lo que da lugar a una alta solubilidad y una alta tasa de difusión de los

solutos en el solvente, y una alta penetración del solvente en la matriz. La PLE redujo drásticamente el consumo del tiempo de extracción y de solvente, además tiene una mayor repetitividad en comparación con otros métodos (Zhang et al., 2018).

La extracción con agua es una técnica nueva y potente a temperaturas entre 100 y 374°C y a una presión lo suficientemente alta como para mantener el estado líquido. Es más limpio, rápido y barato que los métodos de extracción convencionales. Las propiedades únicas del agua son su punto de ebullición desproporcionadamente alto para su masa, una elevada constante dieléctrica y una alta polaridad. A medida que aumenta la temperatura, se produce un descenso marcado y sistemático de la permitividad, un aumento de la velocidad de difusión y una disminución de la viscosidad y la tensión superficial. En consecuencia, los materiales más polares con alta solubilidad en el agua en condiciones ambientales se extraen más eficientemente a bajas temperaturas, mientras que los objetivos moderadamente polares y no polares requieren un medio menos polar inducido por una temperatura elevada.

El amplio abanico de aplicaciones del método de extracción con agua líquida abarca temas generales, medioambientales, materiales biológicos de plantas y animales, plantas medicinales, algas y hierbas, producción de biocombustibles y productos a partir de biomasa de algas, extracción de aceite para la producción de biodiesel, compuestos fenólicos, etc. (Castro-Puyana et al., 2017). Asimismo, Jokić et al. (2018) indican que este método ha surgido en las últimas décadas como una prometedora tecnología debido a sus propiedades únicas y a una amplia variedad de posibles aplicaciones en el procesamiento de alimentos y productos naturales.

Zingiber officinale contiene varios componentes activos. Uno de los compuestos activos que presenta muchos efectos farmacológicos es el gingerol. Teniendo en cuenta los beneficios para la salud que ofrecen los compuestos activos de *Zingiber officinale*, recientemente muchos investigadores están buscando e investigando la elección correcta de las técnicas de extracción y separación. La extracción hidrotérmica es una nueva y prometedora técnica que está

despertando el interés de los investigadores por sus numerosos beneficios (Yulianto et al., 2017).

La extracción con agua líquida es un método ecológico para la extracción de compuestos menos polares sin el uso de solventes orgánicos (Ko et al., 2019b). El uso de agua presurizada a alta temperatura, en química analítica, comenzó con el trabajo en análisis medioambiental de Hawthorne y colaboradores a mediados de los años 90, y también se puede denominar extracción con agua sobrecalentada y extracción con líquida a presión o extracción con solvente acelerada con agua como solvente (Plaza & Marina, 2021).

La extracción con agua es un método ecológico y rápido para la extracción de compuestos antioxidantes utilizando únicamente agua. Por ello, sería una tecnología útil para la producción de compuestos bioactivos (Ko et al., 2020).

Utilizar agua como solvente tiene un impacto medioambiental casi insignificante teniendo en cuenta la producción y el transporte. Sin embargo, el uso de agua como solvente en los procesos de extracción puede requerir mucha energía en aquellos casos en los que es necesario eliminar el agua por evaporación. No obstante, cabe destacar que la demanda energética para calentar agua líquida (de 25°C a 250°C, 5 MPa) es casi tres veces menor que la necesaria para vaporizar el agua y crear vapor (de 25°C a 250°C, 0,1 MPa).

El proceso de extracción con agua líquida se puede entender como un grupo de seis pasos secuenciales: (1) entrada rápida del fluido; (2) desorción de los solutos de los sitios activos de la matriz; (3) difusión de los solutos a través de los componentes orgánicos; (4) difusión de los solutos a través del fluido estático dentro de las partículas porosas; (5) difusión de los solutos a través de la capa de fluido estancado fuera de las partículas y; (6) elución de los solutos por la masa en bruto del solvente. Sin embargo, existen características propias de la matriz de extracción que se oponen a la libre difusión de los solutos en el solvente. Zhang et al. (2018)

indican que la estructura de la membrana y la pared celular, las micelas formadas por macromoléculas como los polisacáridos y las proteínas y la coagulación y desnaturalización de las proteínas a altas temperaturas durante la extracción son las principales barreras para la extracción de productos naturales.

Por otro lado, la extracción de compuestos a partir de muestras sólidas y semisólidas puede describirse mediante cinco pasos: (i) humectación de la matriz de la muestra con extractante, (ii) desorción inicial de la matriz de la muestra, (iii) difusión en el interior de los poros de la matriz de la muestra, (iv) partición entre la matriz de la muestra y el extractante; y, (v) difusión a través de la capa de extractante estancada hasta alcanzar la zona de convección. Todos estos pasos ocurren en paralelo. En este método, la temperatura es el parámetro clave, debido a que afecta la eficacia de estos cinco pasos. Además, el tiempo de extracción y/o el caudal son variables importantes que también deben tomarse en cuenta.

Los compuestos fenólicos pueden hidrolizarse al ser extraídos con agua, a temperaturas de extracción de 196°C. En general, la extracción de terpenoides se realiza a altas temperaturas (180 a 200°C) y largos tiempos de extracción (27 a 120 min), mientras que la extracción de polisacáridos se logra utilizando un amplio rango de temperaturas (de 110 a 185°C) y tiempo (de 5 a 92 min). Además, este método a temperaturas superiores a los 200°C puede utilizarse para la producción de compuestos bioquímicos utilizados en la industria de los biocombustibles y en la extracción de muestras para estudios ambientales. La relevancia de la temperatura es clara, por lo que es imperativo encontrar las condiciones óptimas de extracción con agua para aprovechar al máximo la solubilidad y la transferencia de masa máximos, pero minimizando los inconvenientes indeseables de la pérdida de selectividad, degradación y otras reacciones químicas (Castro-Puyana et al., 2017).

El Análisis de Componentes Principales (ACP) realiza una comparación estadística entre diferentes conjuntos de datos y se utiliza ampliamente en el caso del área porcentual de la

composición de los aceites esenciales cuando se extraen en diferentes condiciones. La comparación entre los diferentes extractos, caracterizados por GC-MS, puede realizarse empleando esta herramienta para comparar los productos procedentes de la extracción con diferentes métodos. La modelización matemática del proceso de extracción es un paso importante para su escalado. Existe una gran variedad de modelos que pueden describir las extracciones sólido-líquido, como los modelos de ley de potencia que tienen un amplio uso en los procesos de adsorción, o los modelos basados en mecanismos difusivos con asociación a equilibrios de fase. Otra opción es el uso de balances de masa diferenciales para cada fase que generan ecuaciones diferenciales resueltas numéricamente mediante técnicas adecuadas (de Souza Junior et al., 2020).

La extracción convencional del jengibre se realiza con solventes orgánicos como el etanol, el dicloruro de etileno y el acetato, seguido de la remoción del solvente. Sin embargo, el agua puede ser un excelente medio alternativo para la extracción de compuestos menos polares, de forma selectiva variando la temperatura. El método de extracción con agua es altamente eficiente y rápido para la extracción de compuestos activos no polares del 6-shogaol y, por lo tanto, el agua podría ser un excelente medio alternativo que sustituya el uso de solventes orgánicos como el metanol para la extracción de compuestos activos, además de ser un proceso amigable con el medio ambiente. El 6-gingerol y el 6-shogaol pueden extraerse selectivamente controlando la temperatura y el tiempo de tratamiento con agua. El doble enlace hace que el compuesto sea más estable en agua a alta temperatura. Es debido a esto que, la mayor temperatura de las condiciones óptimas del 6-shogaol en comparación con la del 6-gingerol se debe a la presencia del doble enlace en el 6-shogaol. Los compuestos con grupos hidroxilos, como el gingerol se extraen a menor temperatura, lo que representa una mayor constante dieléctrica y constante de polaridad del agua que el 6-shogaol (Ko et al., 2019b).

La temperatura tiene un efecto significativo en la extracción de compuestos bioactivos y es el factor más importante que afecta al rendimiento de la extracción con agua. Además, con el aumento de la temperatura, la masa total del extracto aumenta. La cinética de extracción se modifica a alta temperatura debido a la alteración de algunas propiedades del agua. Una temperatura elevada provoca la reducción de la viscosidad y la tensión superficial del agua. Los enlaces intramoleculares, como los de Van der Waals, los puentes de hidrógeno y las fuerzas dipolares se rompen, por lo que se desarrolla la cinética de transferencia de masa. En cualquier caso, la reducción de la constante dieléctrica es el factor más importante que sucede a elevada temperatura y que hace que el agua se comporte como un solvente orgánico. A una temperatura superior a 130°C, la concentración total de gingerol y shogaol disminuye ligeramente, mientras que la masa total del extracto continúa aumentando. La disminución de la concentración de compuestos bioactivos se debe a la degradación de la estructura molecular orgánica y a reacciones químicas como oxidación, reacción de Mallard y caramelización, que ocurren a temperaturas muy elevadas. Por lo tanto, el aumento de la masa total del extracto y la disminución de la concentración total de gingerol y shogaol están relacionados a estos fenómenos (Nourbakhsh Amiri et al., 2018).

El método de extracción con agua tiene una importante ventaja desde el principio en términos de desarrollo sostenible al ser un proceso sin solventes orgánicos. El agua tiene un impacto medioambiental insignificante y es de bajo costo en términos de producción, transporte y eliminación. Por lo tanto, es bueno considerar la sustitución de solventes orgánicos peligrosos por agua, que es uno de los disolventes más ecológicos, asegurando una baja toxicidad ambiental y sanitaria. Teniendo en cuenta las aplicaciones de este método, se prevé que se introduzcan nuevos desarrollos en este aspecto. Por ejemplo, una tendencia importante es la mejora de la selectividad de los adsorbentes en la célula de extracción, o procesos en los cuáles

se acopla catálisis enzimática, secado, etc., en la misma línea de extracción (Castro-Puyana et al., 2017).

La extracción con agua es cada vez más popular en la producción de extractos naturales. El mayor rendimiento de los compuestos objetivo, la gama más amplia de compuestos extraídos, su carácter ecológico y su seguridad, hacen que esta técnica de extracción sea conveniente para la industria alimentaria, farmacéutica y cosmética (Švarc-Gajić et al., 2017).

La tecnología de extracción con agua se ha utilizado para la extracción de compuestos activos de diferentes fuentes de biomasa con un bajo costo de proceso, condiciones de funcionamiento suaves, tiempos cortos de proceso y sostenibilidad medioambiental.

La extracción con agua se ha convertido en una popular técnica no contaminante para el aislamiento de diferentes clases de compuestos a partir de matrices naturales. El bajo precio, la seguridad, el buen rendimiento de los compuestos objetivo y el reducido consumo de energía, hacen que esta técnica sea favorable para potenciales aplicaciones industriales. Los compuestos bioactivos que pueden extraerse tendrían efectos benéficos para la salud: actividad antioxidante, antimicrobiana y citotóxica. Por tanto, los extractos pueden tener un gran potencial para la elaboración de productos seguros y farmacológicamente activos (Nastić et al., 2018).

2.1.5. Actividad antioxidante.

La presencia de radicales libres en el cuerpo humano es perjudicial y puede inducir muchas enfermedades como las cardiovasculares, diabetes, cáncer, inflamación, trastornos neurodegenerativos, aterosclerosis, etc. Los antioxidantes pueden equilibrar el efecto de los radicales libres (Mohapatra et al., 2021). A nivel biológico, el término antioxidante se refiere a cualquier compuesto capaz de bloquear o ralentizar la reacción de una sustancia con especies oxígeno-reactivas, lo que a su vez inhibe el proceso de oxidación. Hoy en día, está ampliamente

aceptado que una dieta basada en plantas con un alto consumo de fuentes dietéticas como verduras, frutas y otros alimentos vegetales ricos en nutrientes puede disminuir las enfermedades relacionadas con el estrés oxidativo (Siddeeg et al., 2021).

Los alimentos son fuentes naturales de compuestos antioxidantes, conocidos por su papel en la prevención de muchas enfermedades humanas. Aunque se han desarrollado varios métodos para evaluar la actividad antioxidante de los alimentos y sus componentes bioactivos, no se ha propuesto un método universal sencillo (Martinelli et al., 2021).

Los antioxidantes naturales, a comparación de los sintéticos son inocuos y no suponen riesgos mutagénicos para la salud de los consumidores (Gabilondo et al., 2018). La medida de la actividad antioxidante está relacionada a la presencia de compuestos antioxidantes en alimentos. Los ensayos y pruebas establecidos para medir las capacidades, actividades y el efecto de un determinado antioxidante o compuesto antioxidante dependen de múltiples factores: las características del medio, su estructura física, su estabilidad y su capacidad para interactuar con otras moléculas y constituyentes alimentarios. Dependiendo de los mecanismos, los dos principales métodos de capacidad antioxidante pueden clasificarse como: i) un método de transferencia de átomos de hidrógeno que dona un ion hidrógeno de una molécula estable permitiendo así al antioxidante eliminar las especies oxígeno-reactivas, y ii) una transferencia de un solo electrón que depende del potencial del antioxidante para reducir ciertas moléculas y compuestos mediante la transferencia de un electrón (Siddeeg et al, 2021).

Los estudios realizados sobre el jengibre han demostrado que sus principios activos tienen propiedades antioxidantes, antidiabéticas, antiinflamatorias, anticancerígenas y antivirales. En particular, el jengibre es una fuente de muchos antioxidantes y desempeña un papel vital en la reducción de la peroxidación lipídica, inhibiendo la patogénesis de varias enfermedades. Una parte de los efectos antioxidantes del jengibre puede deberse a la gran cantidad de compuestos

polifenólicos y flavonoides del jengibre, como los gingeroles, los shogaoles y los gingerones, que pueden reducir la producción de radicales libres (Rostamkhani et al., 2022).

La medición de las propiedades antioxidantes de los compuestos derivados de plantas requiere métodos adecuados que aborden el mecanismo de la actividad antioxidante y se centren en la cinética de las reacciones en las que intervienen los antioxidantes. Los métodos basados en auto oxidación inhibida son los más adecuados para los antioxidantes que rompen cadenas y para los que potencian la terminación, mientras que para los antioxidantes preventivos se necesitan estudios específicos diferentes. La elección del método se realiza a criterio, según si se desea investigar moléculas puras o extractos crudos, considerando las ventajas y limitaciones del método seleccionado como la influencia del medio de reacción sobre el rendimiento de los antioxidantes analizados (Amorati & Valgimigli, 2018).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MATERIALES

3.1.1. Lugar de ejecución.

La primera parte, correspondiente a la parte procedimental de la investigación, que abarcó desde el procesamiento de la materia prima (jengibre) hasta la obtención de la muestra (cáscaras de jengibre en polvo) y se realizó en el Laboratorio de Microbiología y Toxicología de la Universidad Nacional del Santa localizada en Nuevo Chimbote, Áncash. La segunda parte, correspondiente a la ejecución de los experimentos para la obtención del extracto acuoso y los análisis químicos, se llevó a cabo en el Laboratorio de Compuestos Bioactivos y en el Laboratorio de Química del Instituto Tecnológico de la Producción localizado en Ventanilla, Callao.

3.1.2. Equipos.

Se consideran como equipos aquellas unidades mecánicas o mecánico-eléctricas esenciales para el desarrollo de parte de un procedimiento, ensayo o actividad relacionada con la investigación. A continuación, se describen los principales equipos empleados, a lo largo de las etapas procedimentales y analíticas, los detalles se muestran en el cuadro 2.

Cuadro 2

Equipos de investigación

Equipo	Marca y modelo	Procedencia
Extractor multisolvente	Top Industrie, serie 2802.0000	Francia
Sonicador	VWR International, Symphony™, 97043-942	China
Espectrofotómetro	Perkin Elmer®, LAMBDA 950	E.U.A
Balanza analítica	Ohaus®, Discovery DV 214C	Suiza
	RADWAG, modelo PS 6000.R2	Polonia
Equipo baño maría	Thermo Scientific™, AquaBath™	E.U.A

Mufla	Thermolync, Type 1300 Furnace	E.U.A
Estufa de convección	POL-EKO, SLW 115	Polonia
Purificador de agua	Barnstead, modelo D 11911	Alemania
Agitador de tubos	Thermolyne, modelo 16700 Maxi-Mix I	E.U.A
Agitador magnético	IKA, C-MAG HS 7	Brasil
Tamizador eléctrico	RICELI, motor ½ HP	Perú

3.1.3. *Materiales e insumos.*

A continuación, se describen los materiales, comprendidos en materia prima e insumos, reactivos, material de laboratorio y material de uso común, utilizados en el trabajo de investigación a lo largo de todas sus etapas:

Materia prima e insumos: La materia prima, estuvo conformada por cáscaras de jengibre en polvo, procesadas a partir de jengibre fresco comprado en un supermercado de Plaza Veá, Chimbote.

Reactivos: Metanol grado cromatográfico (J.T. Baker, USA), ácido gálico monohidratado \geq 98.5% ACS (Sigma-Aldrich, China), 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH) 95% (Alfa Aesar, Alemania), ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcromo-2-ácido carboxílico (Trolox) 97% (Sigma-Aldrich, China), carbonato de sodio, reactivo de Folin-Ciocalteu, agua destilada.

Material de laboratorio: barra magnética, probetas de 10 y 20 mL, matraz aforado de 125 mL y 250 mL, crisoles, fiolas aforadas de 10 mL y 50 mL, placas Petri, micropipetas de 100 μ L, 250 μ L, 500 μ L, 1,000 μ L y 5,000 μ L, mortero, papel filtro Whatman N° 40 de 90mm, pipetas, probetas de 250 mL y 500 mL, tubos de precipitado de 500 mL, tubos de ensayo, viales y frascos.

Material de uso común: hipoclorito de sodio al 4% (lejía comercial), cuchillo de cocina, pelador de patatas, guantes de látex, papel aluminio, papel toalla, jaba cosechera, baldes y jarras volumétricas, paquetes de bolsas de cierre hermético, caja conservadora de alimentos, soporte

de porcelana, espátula de metal, envases de vidrio de 250 mL, cuchillos de acero, cooler, gel pack, marcador indeleble.

El cuadro 3, presenta aquellos materiales e insumos que fueron financiados por el Vicerrectorado de Investigación de la Universidad Nacional del Santa.

Cuadro 3

Materiales e insumos

Categoría*	Descripción	Unidad de medida
Materiales e insumos	Kion (jengibre)	kg
	Jaba cosechera	unidad
	Papel A4 bond paquete	paquete
	Guantes	par
	Lejía	unidad
	Papel Toalla	unidad
	Balde	unidad
	Jarra volumétrica	par
	Bolsa cierre hermético chica	paquete x 50
	Bolsa cierre hermético mediana	paquete x 25
	Cuchillo de cocina	unidad
	Pelador de cocina	unidad
Caja conservadora de alimentos	unidad	

Nota. *Elaborado a partir del formato N° 02 POP, según el Reglamento de Otorgamiento de Subvenciones Económicas para el Desarrollo de Actividades Académicas y de Investigación Formativa de Pregrado.

3.1.4. Servicios.

El cuadro 4 presenta aquellos servicios constituidos por: servicios de terceros, pasajes, alojamiento, alimentación y otros gastos relacionados.

Cuadro 4

Servicios

Categoría*	Actividad	Unidad de medida
Servicios de terceros	Determinación de cenizas	Ensayo
	Determinación de proteína	Ensayo
	Determinación de grasa	Ensayo
	Determinación de humedad	Ensayo
	Extracción con agua a alta presión y temperatura	Ensayo
	Determinación de compuestos fenólicos totales	Ensayo
	Determinación de actividad antioxidante	Ensayo
Pasajes, alojamiento y alimentación	Movilidad interprovincial	Unidad
Otros gastos	Movilidad local	Unidad
	Alimentación	Unidad

Nota. *Elaborado a partir del formato N° 02 POP, según el Reglamento de Otorgamiento de Subvenciones Económicas para el Desarrollo de Actividades Académicas y de Investigación Formativa de Pregrado.

3.2. MÉTODOS

3.2.1. Variables y operacionalización.

3.2.1.1. Variables.

El proyecto incluye en su diseño tres variables independientes o predictoras y dos variables dependientes o de respuesta.

Las variables independientes son: temperatura de extracción (°C), tiempo de extracción (min) y tamaño de partícula (μm).

Las variables dependientes son: concentración de compuestos fenólicos totales (mg EAG/g muestra) y actividad antioxidante ($\mu\text{mol ET/g}$ muestra), ambas medidas a partir del extracto acuoso de cáscaras de jengibre en polvo (*Zingiber officinale*).

3.2.1.2. Operacionalización.

A continuación, se presentan las definiciones operacionales para las variables independientes y la dependiente:

Temperatura de extracción: Temperatura de operación de la celda de extracción, teniendo por unidad al grado centígrado. Tres temperaturas fueron las sometidas a prueba experimental: 100, 115 y 130 °C.

Tiempo de extracción: Periodo de tiempo, medido en minutos. Esta variable fue medida en tres diferentes niveles: 15, 30 y 45 min.

Tamaño de partícula: Tamaño de la partícula resultante de la muestra (cáscaras de jengibre secas, en polvo). El tamaño de partícula fue de tres rangos correspondientes a los tamices analíticos #35, #20 y #10 ASTM.

Concentración de compuestos fenólicos totales: basado en la capacidad antioxidante de los compuestos fenólicos, se empleó ácido gálico como estándar de referencia para cuantificar esta capacidad. Los resultados fueron expresados en mg EAG/g muestra.

Actividad antioxidante: capacidad de un antioxidante para reducir o inhibir el daño que un oxidante puede causar a un sustrato susceptible a la oxidación, mediante la donación de electrones o átomos de hidrógeno que estabilizan los radicales libres generados en el proceso oxidativo. En este estudio, fue medida mediante un ensayo de transferencia de electrones DPPH (técnica espectrofotométrica). Los resultados se expresaron como valores $\mu\text{mol ET/g}$ muestra.

3.2.2. Tipo y diseño de investigación.

3.2.2.1. Tipo.

Tuvo un enfoque cuantitativo, de tipo básico, corte transversal, de nivel explicativo. El método empleado fue el hipotético-deductivo.

3.2.2.2. Diseño.

El diseño experimental fue de tipo superficie de respuesta, en particular se utilizó un diseño de Box-Behnken realizado con Minitab[®] 19.1 (64-bit). Se evaluó el efecto de tres variables: temperatura (°C), tiempo (min) y tamaño de partícula (µm), sobre dos variables de respuesta: concentración de compuestos fenólicos totales (mg EAG/g muestra) y actividad antioxidante (µmol ET/g muestra). Cada factor tuvo tres niveles de prueba. El número de tratamientos fueron 16 (incluyendo 12 puntos con 4 repeticiones). El cuadro 5 muestra un resumen del diseño realizado, en el cual el orden de los tratamientos fue aleatorizado.

Cuadro 5

Resumen del diseño

Elementos	Núm.
Factores	3
Niveles	3
Corridas base	16
Bloques base	1
Réplicas	1
Bloques totales	1
Puntos centrales	4
Total de corridas	16

3.2.3. Población y muestra.

La población estuvo formada por ejemplares de rizomas jengibre de la especie con el nombre científico *Zingiber officinale* R, obtenidas del supermercado Plaza Veja, localizado en

Chimbote, provincia de Santa, departamento de Ancash, UBIGEO 21801, con latitud -9.07444 y longitud -78.5936. La muestra estuvo constituida por cáscaras de jengibre en polvo. La técnica de muestreo fue no probabilística empleando el 100% de la muestra obtenida, 60.00 kg de jengibre fresco.

3.2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

La técnica empleada para la investigación fue la observación directa, además, se tuvo por instrumento de recolección de datos a la ficha de registro, la cual se muestra en el cuadro 6, en este instrumento se registraron todos los datos obtenidos de los diferentes tratamientos. Se registrará el código de la muestra, la fecha y hora del experimento, el resultado de la actividad antioxidante mediante el método DPPH y las observaciones adicionales detectadas, si las hubiera.

Cuadro 6

Ficha de registro de los experimentos

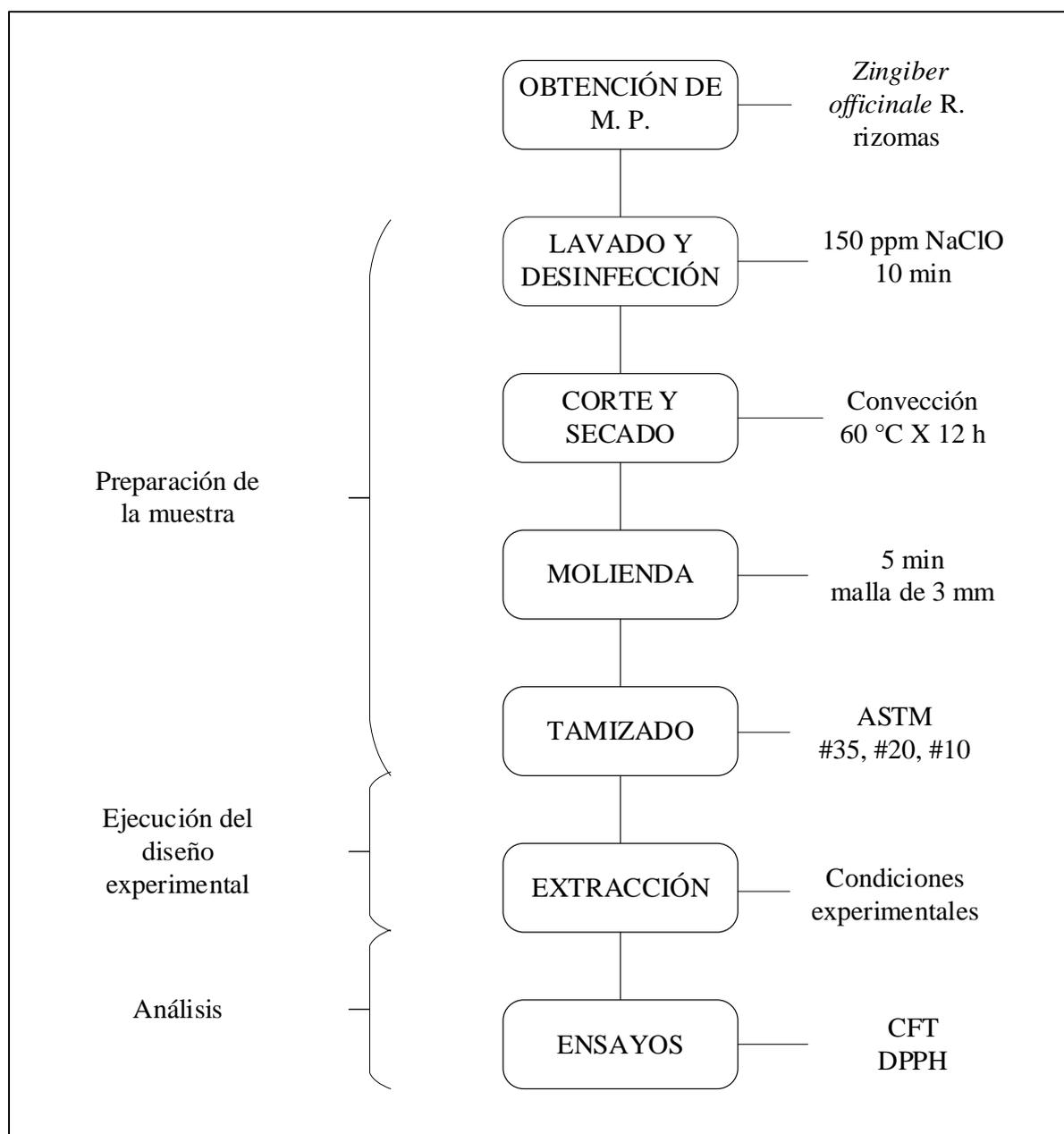
Orden Est.	Orden Corrida	Tipo Pt	Bloques	Temperatura	Tiempo	Tamaño partícula	CFT	Act. Antiox.
1	1	2	1	100	15	850		
15	2	0	1	115	30	850		
13	3	0	1	115	30	850		
7	4	2	1	100	30	2,000		
16	5	0	1	115	30	850		
10	6	2	1	115	45	500		
6	7	2	1	130	30	500		
2	8	2	1	130	15	850		
12	9	2	1	115	45	2,000		
9	10	2	1	115	15	500		
8	11	2	1	130	30	2,000		
3	12	2	1	100	45	850		
14	13	0	1	115	30	850		
11	14	2	1	115	15	2,000		
4	15	2	1	130	45	850		
5	16	2	1	100	30	500		

3.2.5. Procedimientos.

A continuación, se describen los procedimientos implicados a lo largo de la investigación, desde la obtención de la materia prima hasta la determinación de la actividad antioxidante. La figura 3 muestra el esquema general del procedimiento.

Figura 3

Esquema general del procedimiento experimental



3.2.5.1. Obtención de la materia prima.

Se adquirió un total de 60.00 kg de rizomas de jengibre fresco de tamaño, color y estado de madurez uniformes provenientes del supermercado Plaza Veá, localizado en Chimbote, provincia de Santa, departamento de Áncash, UBIGEO 21801, con latitud -9.07444 y longitud -78.5936. La materia prima fue transportada desde el punto de adquisición hasta el Laboratorio de Microbiología y Toxicología de la Universidad Nacional del Santa, para procesarla y preparar las muestras.

3.2.5.2. Lavado y desinfección.

Los rizomas de jengibre fresco fueron sometidos a un lavado para retirar impurezas y posteriormente, para disminuir la carga de microorganismos, fueron sumergidas en una solución clorada a una concentración de 150 partes por millón (ppm), durante 10 min. Después, la materia prima fue colocada sobre papel toalla para remover los restos de solución acuosa que hayan quedado. Luego, la materia prima fue cortada y pelada con un pelador de patatas convencional. El propósito fue obtener cáscaras con un grosor y tamaño similares para facilitar el secado. El rendimiento en esta etapa fue del 19.40%, obteniendo 11.64 kg de cáscaras de jengibre.

3.2.5.3. Secado.

Las cáscaras de jengibre se sometieron a un proceso de secado en una estufa de convección (POL-EKO, SWL 115, Polonia) a 60 °C durante 12 h. El proceso se realizó a 60 °C debido a que, como indican Mustafa et al. (2023) temperaturas superiores reducen la actividad antioxidante del jengibre. El propósito fue reducir lo más posible el volumen de agua contenida en las cáscaras de jengibre. El peso final de las cáscaras después de este procedimiento fue de 3,274.60 g, representando un rendimiento de 5.46% respecto al peso inicial de la materia prima.

3.2.5.4.Molienda.

El procedimiento de molienda se realizó durante 5 min en un molino con una luz de malla de 3mm. El propósito fue obtener un producto molido con tamaño de partícula un tanto homogéneo y cercano al deseado, además de esta forma se minimizó la merma en el proceso posterior (tamizado).

3.2.5.5.Tamizado.

El polvo obtenido en la molienda, fue debidamente homogenizado y pesado. Se obtuvo 3,140.20 g de polvo, significando un rendimiento de 5.23% respecto del peso inicial. Luego, el polvo fue tamizado a través de mallas ASTM # 35, ASTM # 20 y ASTM # 10, con luz de malla ISO 500 μm , 850 μm y 2,000 μm , respectivamente. El retenido resultante fue pesado y clasificado acorde al tamaño de partícula correspondiente. Se obtuvieron 17 muestras de aproximadamente 100 g en una balanza analítica (Ohaus® Discovery DV 214C, Suiza) las cuáles fueron envasadas al vacío, rotuladas y almacenadas a 4 ± 1 °C hasta el posterior procedimiento de análisis CQP (Laboratorio de Química del Instituto Tecnológico de la Producción, Ventanilla, Callao) y extracción con agua a alta presión y temperatura (Laboratorio de Compuestos Bioactivos del Instituto Tecnológico de la Producción, Ventanilla, Callao).

3.2.5.6.Extracción.

Este procedimiento fue realizado mediante la técnica de extracción por agua líquida a alta presión y temperatura, con un equipo extractor multisolvente de 1.70 L de capacidad de operación (Top Industrie serie 2802.0000, Francia), según el procedimiento reportado por Barriga-Sánchez & Rosales-Hartshorn (2022).

Paso 1: Carga de la celda de extracción

La celda de extracción del equipo es una pieza desacoplable hueca, en cuyo interior se deposita la muestra (solute) y se añade el solvente. La celda fue cargada con microesferas de vidrio y

muestra. Se añadió un aproximado de 40 g de muestra en cuatro capas, además de cinco capas alternas de microesferas de vidrio de 5 mm (aproximadamente 525 g). Luego, la celda de extracción fue colocada en el equipo y enrasada con agua previamente sometida a proceso de sonicación hasta el nivel señalado por el fabricante (aproximadamente 1,080 mL).

Paso 2: Establecimiento de condiciones de operación

El software de control del equipo permitió establecer condiciones de temperatura ($^{\circ}\text{C}$), presión (20 bar, constante en todas las corridas) y caudal del solvente (mL/min), el cual fue agua destilada sonicada durante 30 min a 25°C en un sonicador (VWR International, SymphonyTM, 97043-942, China). El procedimiento general consistió de programar la temperatura del precalentador (tipo serpentín) y del reactor, según las condiciones de cada corrida del diseño experimental. Después, se empleó la bomba co-solvente del equipo para introducir el solvente en la celda (18mL/min) hasta alcanzar las condiciones de operación. Por otro lado, el tiempo fue controlado de manera manual (cronometrado y acorde a cada corrida).

Paso 3: Operación y control

Desde el software del equipo, una vez configurados los parámetros de operación se esperó que el equipo llegue a las condiciones de temperatura y presión adecuadas, esto verificando la información de los sensores y los gráficos del software. Después, se controló el tiempo manualmente con el uso de un cronómetro, garantizando que las condiciones de operación fueran constantes durante todo el experimento. Este procedimiento general se realizó para todas las corridas experimentales, siendo un total de 16.

Paso 3: Descarga del extracto

Finalizado el tiempo de extracción (de cada una de las corridas experimentales), se descargó el producto hasta la recuperación completa del extracto del sistema y se midió el volumen recuperado, enfriando de inmediato el extracto acuoso en un baño de hielo durante 10 min. Se

obtuvieron un total de 16 extractos. Cada extracto obtenido se almacenó a 4 ± 1 °C hasta su posterior análisis (compuestos fenólicos totales y actividad antioxidante).

3.2.5.7. Determinación de compuestos fenólicos totales.

La determinación de la concentración de compuestos fenólicos totales se realizó según la metodología de Singleton et al. (1999) modificada.

Paso 1: Preparación de la curva de calibración

- a) Se preparó una recta patrón de ácido gálico de una solución madre de 400 ppm, obtenida al pesar 2.21×10^{-2} g de ácido gálico disuelto a 50 mL en una fiola, en solvente (agua, en este caso).
- b) Se preparó una solución acuosa de carbonato de sodio al 6% (pesando 15 g de carbonato de sodio en un frasco de 250 mL).
- c) Se preparó la siguiente curva (cuadro 7) empleando fiolas de 10 mL, rotuladas con las concentraciones 50 ppm, 100 ppm, 200 ppm, 300 ppm, agregando las cantidades correspondientes de solución madre, finalmente, se aforó a 10 mL.

Cuadro 7

Detalle de los volúmenes de solución

Solución B (µL)	Solución madre (mL)	Solvente (mL)
50	1.25	Completar a 10 mL
100	2.50	
200	5.00	
300	7.50	

- d) Se rotularon tubos de ensayo por duplicado, con lo siguiente: 0 ppm, 50 ppm, 100 ppm, 200 ppm, 300 ppm, 400 ppm. Se agregaron diferentes volúmenes a cada tubo, según el cuadro 8.

Cuadro 8

Concentraciones y reactivos

Concentración de solución (ppm)	de	Volumen de solución (µL)	Folin (µL)	Carbonato de sodio al 6% (µL)	Agua (µL)
0 (blanco)		71 (solvente)	71	1,430	2,000
50		71			
100		71			
200		71			
300		71			
400		71 (solución madre)			
<hr/> Se dejó reaccionar por 8 min en oscuridad <hr/> Luego de los 8 min, se agregó solución de carbonato de sodio y agua. <hr/> Se dejó actuar por 60 min a temperatura ambiente (después de mezclar y agitar los tubos), en oscuridad. <hr/>					

- e) Se leyeron las absorbancias en el espectrofotómetro UV-VIS a 750 nm, se colocaron dos celdas con el blanco en los portaceldas y se ajustó a cero el marcador del equipo (el blanco se retornó al tubo de ensayo para blanquear de ser necesario y leer la muestra problema). Luego se procedió a leer los estándares de la curva, colocando las celdas según el orden de la recta patrón.

Paso 2: Preparación de la muestra

- a) Para asegurar que la absorbancia se encuentre dentro de la curva de calibración se diluye de ser necesario, en este caso se realizó una dilución de 1:2.
- b) De la solución muestra se procedió de la siguiente forma: en un tubo de ensayo rotulado (por duplicado), se adicionaron las cantidades especificadas en el cuadro 9.

Cuadro 9

Preparación de la muestra

Matriz	Extracto diluido (μL)	Folin (μL)	Carbonato de sodio al 6% (μL)	Agua (μL)
Muestra problema	71 (solución muestra)	71	1,430	2,000
Se dejó reaccionar por 8 min en oscuridad		Luego de los 8 min, se agregó solución de carbonato de sodio y agua.		
Se dejó actuar por 60 min a temperatura ambiente (después de mezclar y agitar los tubos), en oscuridad.				

- c) Se leyeron las absorbancias en el espectrofotómetro UV-VIS a 750 nm, se colocaron dos celdas con el blanco en los portaceldas y se ajustó a cero el marcador del equipo. Luego se procedió a leer la muestra, colocando en los portaceldas de muestra, la muestra a evaluar.
- d) Los resultados permitieron calcular la concentración de polifenoles extraíbles según la curva de calibración, los resultados se expresaron en mg EAG/g muestra.

3.2.5.8. Determinación de actividad antioxidante.

La determinación de la actividad antioxidante se realizó mediante DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo), según la metodología de Brand-Williams et al. (1995) modificada por Kim et al. (2002).

Paso 1: Preparación del reactivo DPPH

- a) Se pesaron 3.50×10^{-2} g/250 mL de metanol, colocando una barra magnética y dejando en el agitador magnético (solución A). Luego se tomó un volumen de la solución A y se mezcló con metanol hasta obtener una absorbancia (518 nm) de 1.60 aproximadamente.

- b) Se tomó 1.5 mL de esta nueva solución y 1.5 mL de agua en un tubo de ensayo, mezclar y leer en el espectrofotómetro, la nueva solución estuvo lista para usarse cuando arrojó una absorbancia de 0.8 ± 0.02 , leído a 518 nm.

Paso 2: Preparación de la curva de calibración con Trolox

- a) Se preparó una recta patrón de Trolox a partir de una solución madre de 2.5 mg/ mL (62.5 mg Trolox en 25 mL de metanol). Se tomó 400 μ L de la solución madre y se llevó a una fiola de 10 mL (solución B).
- b) Se agregó diferentes cantidades de microlitros de la solución B, según lo correspondiente al cuadro 10, para la elaboración de los puntos de la curva de calibración. Se rotularon tubos de ensayo con lo siguiente: 0 μ L, 50 μ L, 100 μ L, 150 μ L, 200 μ L, 240 μ L, por duplicado. Se preparó la curva de calibración, dejando actuar por 60 min a temperatura ambiente en oscuridad (después de mezclar y agitar los tubos).

Cuadro 10

Detalle de los volúmenes para la prueba

Solución B (μ L)	Agua (μ L)	DPPH (μ L)
0	1,500	1,500
50	1,450	1,500
100	1,400	1,500
150	1,350	1,500
200	1,300	1,500
240	1,260	1,500

- c) Se leyeron las absorbancias en el espectrofotómetro UV-VIS a 518 nm, se colocaron dos celdas con la solución blanco (agua en este caso) en los portaceldas del espectrofotómetro y se ajustó a cero el marcador del equipo. Luego, se procedió a leer cada punto de la curva de calibración de acuerdo al orden tabulado (tonos amarillos a morados).

- d) Los resultados permitieron calcular la concentración de capacidad antioxidante según la recta de calibración.

Paso 3: Preparación de los puntos de muestra

- a) Se realizó una dilución para el extracto problema (solución C). En este caso, se recurrió a diluir en 1:50, debido a que la coloración de la muestra comparada a la de la curva patrón se encontró dentro de los límites a esta dilución.
- b) Se prepararon y rotularon tubos de ensayo por duplicado, luego se agregaron alícuotas de la solución C, de acuerdo a los volúmenes del cuadro 11 (puntos de la curva), los rótulos fueron: 100 μL , 250 μL , 400 μL , 600 μL , 900 μL .

Cuadro 11

Puntos de la curva de calibración

Muestra (μL)	Agua (μL)	DPPH (μL)
100	1,400	1,500
250	1,250	1,500
400	1,100	1,500
600	900	1,500
900	600	1,500

- c) Se contabilizó 60 min de reacción (después de mezclar y agitar los tubos), se leyeron las absorbancias en el espectrofotómetro UV-VIS a 518 nm, se colocaron dos celdas con la solución blanco (agua, en este caso) en los portaceldas del espectrofotómetro y se ajustó a cero el marcador del equipo. Luego, se procedió a leer cada punto de la curva de calibración de acuerdo al orden tabulado (tonos amarillos a morados).
- d) Los resultados permitieron calcular la concentración de capacidad antioxidante según la curva de calibración, expresados en $\mu\text{mol ET/g}$ muestra.

3.2.6. Método de análisis de datos.

Los datos fueron analizados mediante el uso de estadística descriptiva e inferencial. El contraste de hipótesis de las pruebas inferenciales se realizó tomando en consideración el cumplimiento de prerequisites (normalidad, homocedasticidad, etc.) pertinentes de acuerdo al tipo de prueba. Para lograr determinar el efecto de cada factor y de sus interacciones, se recurrió al análisis de varianza (ANVA) para evaluar el diseño de superficie respuesta, con el fin de explicar la variación de las variables respuesta que es ocasionada por una o más variables predictoras, además, luego de ello, por método gráfico, se analizaron los efectos estandarizados (principales y de interacción con medias ajustadas), los diagramas de superficie respuesta y, finalmente, se correlacionaron los resultados de las variables respuesta, mediante el método producto-momento de Pearson. Se utilizó Excel 2019 para la colecta de datos y Minitab[®] 19.1 (64-bit) para el análisis de dichos datos. Finalmente, cada uno de los resultados fue debidamente interpretado, discutido y presentado de acuerdo a los objetivos de investigación propuestos.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS

4.1.1. Resultados del análisis proximal (CQP).

El cuadro 12 presenta información detallada sobre las características analíticas de las cáscaras de jengibre en polvo, con resultados expresados en porcentajes. La denominación de la muestra es "Cáscaras de Jengibre en Polvo". Los ensayos realizados y sus metodologías específicas que respaldan los resultados son los siguientes: Determinación de Humedad (Metodología: FAO, Food and Nutrition Paper pp 205 T 14/7, 1986), Determinación de Grasa Cruda (Metodología: LABS-ITP-FQ-003-2009, Rev.00, 2009), Determinación de Proteína Cruda (Metodología: LABS-ITP-FQ-001-2009 Rev. 00, 2009), y Determinación de Cenizas (Metodología: FAO-Food and Nutrition. Paper, pp 228 T 14/7,1986). Por otro lado, los carbohidratos totales disponibles se determinaron por diferencia (FAO, 2002).

Cuadro 12

Resultados del análisis CQP

Denominación de la Muestra	Ensayo realizado	Resultados (%)
M17 Cáscaras de jengibre en polvo	Carbohidratos totales	64.08
	Determinación de Humedad	11.25
	Determinación de Cenizas	10.69
	Determinación de Grasa Cruda	7.62
	Determinación de Proteína cruda	6.36
Total		100.00

4.1.2. Resultados de los ensayos de compuestos fenólicos totales (CFT).

El cuadro 13 proporciona datos relacionados con la curva de calibración de la concentración de ácido gálico en agua del ensayo de compuestos fenólicos totales. La pendiente de regresión lineal ajustada a los datos es de 2.28. El intercepto representa el valor de la absorbancia cuando la concentración de ácido gálico es cero, y en este caso, es 0.00. El coeficiente de determinación (R^2), con un valor de 0.99, indica una fuerte correlación entre la concentración de ácido gálico

y la absorbancia, sugiriendo una alta precisión del modelo lineal para explicar la curva de calibración.

Las columnas "[] (ppm)" y "[] (m/mL)" expresan la concentración de ácido gálico en partes por millón y miligramos por mililitro, respectivamente. La columna "Abs" muestra la absorbancia medida para cada concentración de ácido gálico, siendo esta una medida de la cantidad de luz absorbida por la muestra y relacionada con la concentración de la sustancia. Los valores de concentración de ácido gálico en partes por millón (0, 50, 100, 200, 300, 400 ppm) y en miligramos por mililitro (0.00, 0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.40 m/mL) se utilizaron para construir cada punto de la curva de calibración, constituyendo un total de seis puntos, incluyendo el blanco.

Cuadro 13

Resultados de la curva de calibración

Ácido Gálico - Agua		
[] (ppm)	[] (m/mL)	Abs
0	0.00	0.00
50	0.05	0.13
100	0.10	0.22
200	0.20	0.48
300	0.30	0.67
400	0.40	0.92

Pendiente	2.28
Intercepto	0.00
R ²	0.99

El cuadro 14 presenta los resultados de la concentración de compuestos fenólicos totales en las muestras (M1 a M16) correspondientes a cada experimento del diseño. La columna "Muestra" proporciona identificadores únicos para cada una de las muestras. Las columnas "Temperatura", "Tiempo", "Partícula", "Peso (g)", y "Volumen (mL)" describen las condiciones experimentales y los resultados del extracto, incluyendo la temperatura en grados Celsius, la duración del proceso en minutos, el tamaño de partícula en micrómetros, el peso de la muestra en gramos y el volumen del extracto en mililitros, respectivamente. Por último, la

columna "mg EAG/g muestra" expresa la concentración de compuestos fenólicos totales obtenidos en miligramos de equivalentes de ácido gálico por gramo de muestra.

Cuadro 14

Concentración de compuestos fenólicos totales (CFT) en las muestras

Muestra	Temperatura °C	Tiempo min	Partícula µm	Extracto		mg EAG/g muestra	
				Peso (g)	Volumen (mL)		
M1	100	15	850	40.02	882	10.84	11.28
M2	115	30	850	40.06	866	11.27	10.89
M3	115	30	850	40.01	870	12.43	12.76
M4	100	30	2,000	40.01	846	10.29	10.42
M5	115	30	850	40.04	878	12.16	12.32
M6	115	45	500	40.02	892	13.22	13.45
M7	130	30	500	40.01	874	13.73	14.10
M8	130	15	850	40.03	850	12.68	12.36
M9	115	45	2,000	40.00	852	12.53	12.23
M10	115	15	500	40.07	900	12.06	12.40
M11	130	30	2,000	40.01	822	12.93	12.79
M12	100	45	850	40.01	871	10.95	11.02
M13	115	30	850	40.02	872	13.06	12.61
M14	115	15	2,000	40.06	870	10.96	11.08
M15	130	45	850	40.07	860	12.90	13.07
M16	100	30	500	40.03	886	10.40	10.85

El cuadro 15 presenta el resumen del modelo, mostrando un R^2 de 92.15%, es decir, este es el porcentaje de variación en la respuesta que se explica por el modelo. Además, la desviación estándar entre los valores de la respuesta y de la respuesta ajustada es de 0.48 aproximadamente. El análisis de varianza (ANVA) evalúa la variación en los datos y descompone la variabilidad total en distintas fuentes.

La primera sección, "Modelo", muestra la descomposición de la variación. El modelo en su conjunto explica el 92.15% de la variación total. La prueba de significancia del modelo tiene un valor F de 7.33 con un p-valor de .02, indicando que el modelo es significativo. La sección

"Lineal" analiza la contribución lineal al modelo. La temperatura es la variable más significativa, explicando el 61.88% de la variación, seguida por el tiempo (10.99%) y el tamaño de partícula (16.25%). El valor F para la contribución lineal es 13.82, con un p-valor de .00. En la sección "Cuadrado", se examinan los efectos cuadráticos. La temperatura al cuadrado no es significativa (p-valor = .35), y el efecto cuadrático total es del 1.70%. La sección "Interacción de 2 factores" analiza la influencia de las interacciones entre las variables. La interacción entre temperatura y tamaño de partícula no es significativa (p-valor = .676), y contribuye al 1.33% de la variación total. La sección "Error" representa la variación no explicada por el modelo. La falta de ajuste es del 0.57%, y el error puro es del 7.29%.

Cuadro 15

Resumen del modelo y ANVA de los resultados de concentración CFT

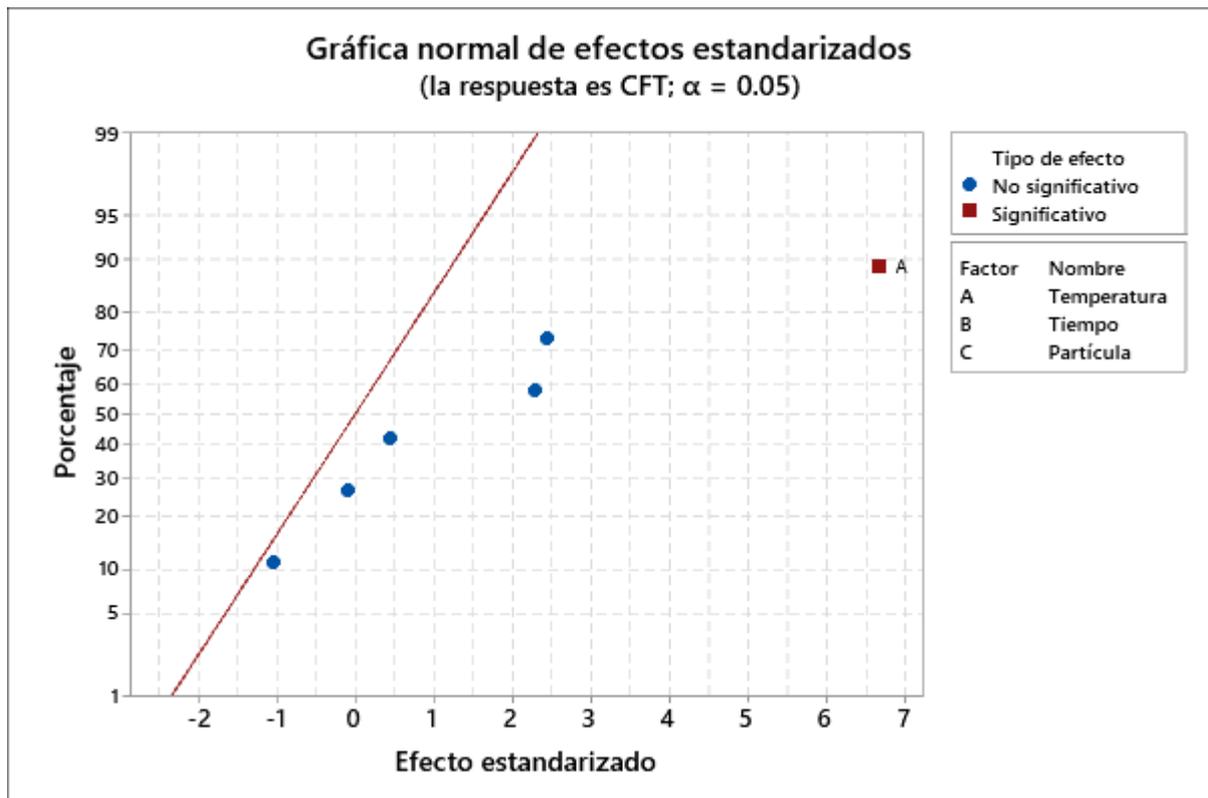
S	R-cuad.		R-cuad. (ajustado)		AICc	BIC	
0.478074	92.15%		79.58%		97.99	31.04	
Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	8	13.41	92.15%	13.41	1.68	7.33	0.02
Lineal	4	12.97	89.12%	12.63	3.16	13.82	0.01
Temperatura	1	9.00	61.88%	10.20	10.20	44.63	0.00
Tiempo	1	1.60	10.99%	1.21	1.21	5.29	0.07
Partícula	2	2.36	16.25%	2.42	1.21	5.29	0.06
Cuadrado	2	0.25	1.70%	0.25	0.12	0.54	0.61
Temperatura*Temperatura	1	0.24	1.68%	0.24	0.24	1.07	0.35
Tiempo*Tiempo	1	0.00	0.02%	0.00	0.00	0.01	0.93
Interacción de 2 factores	2	0.19	1.33%	0.19	0.10	0.42	0.68
Temperatura*Partícula	2	0.19	1.33%	0.19	0.10	0.42	0.68
Error	5	1.14	7.85%	1.14	0.23		
Falta de ajuste	2	0.08	0.57%	0.08	0.04	0.12	0.89
Error puro	3	1.06	7.29%	1.06	0.35		
Total	13	14.55	100.00%				

La figura 4, correspondiente a la gráfica normal de efectos estandarizados, para determinar la magnitud, la dirección y la importancia de los efectos. El factor temperatura se encuentra más distante de 0 y es estadísticamente significativo en el nivel .05. Además, la gráfica indica la

dirección del efecto. Temperatura tiene un efecto estandarizado positivo. Cuando la temperatura cambia del nivel bajo al nivel alto del factor, la concentración de compuestos fenólicos totales se incrementa. Por otro lado, tiempo y tamaño de partícula no tienen efectos estandarizados significativos en el nivel .05.

Figura 4

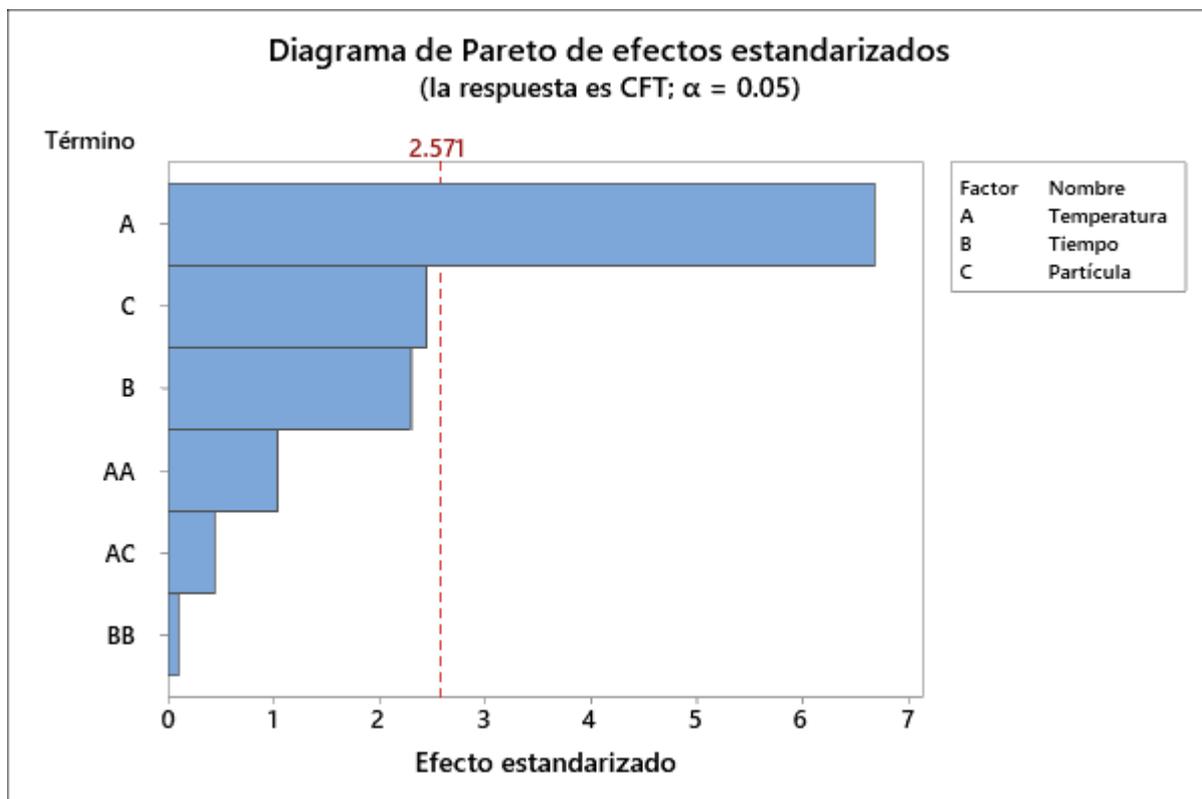
Gráfica normal de efectos estandarizados, según concentración CFT



La figura 5, presenta el diagrama de Pareto para determinar la magnitud y la importancia de los efectos del modelo. En el diagrama presentado, las barras que cruzan la línea de referencia (2.571) son estadísticamente significativas. La barra que representa al factor temperatura cruza la línea de referencia. Por tanto, este factor es estadísticamente significativo en el nivel de .05 con los términos actuales del modelo.

Figura 5

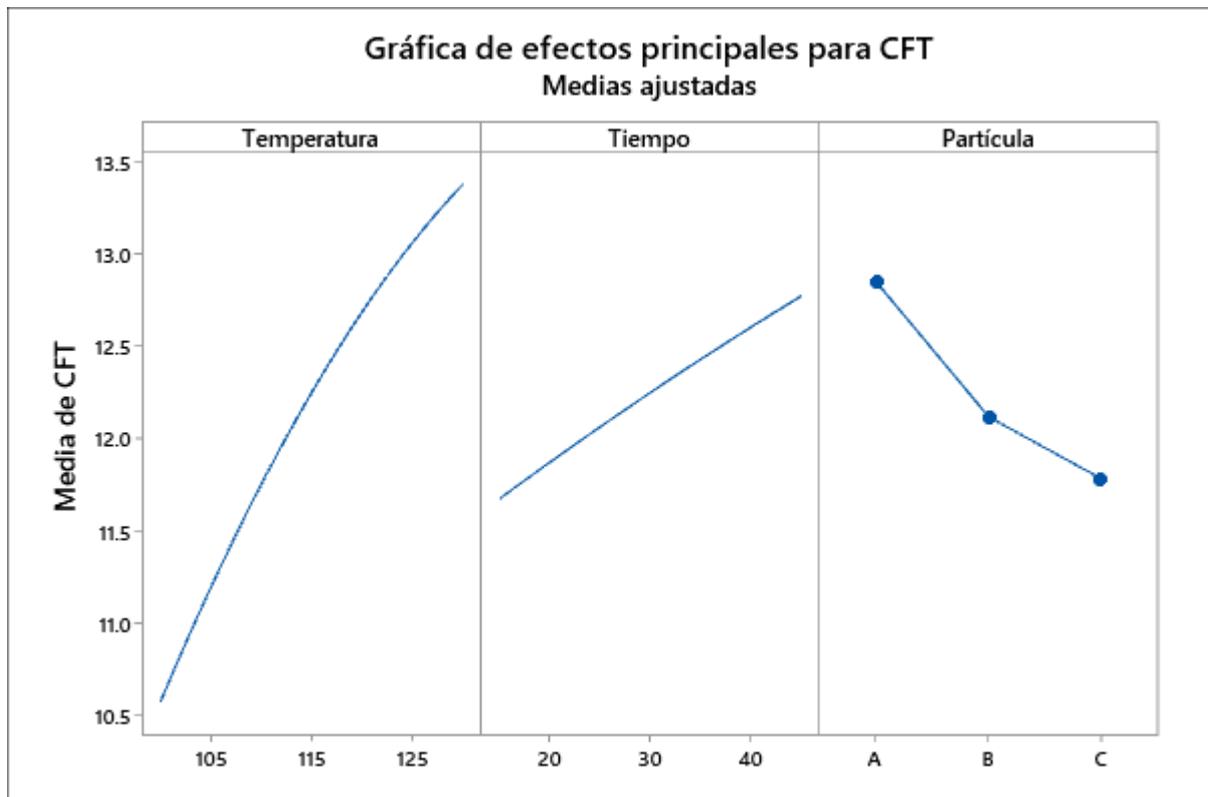
Diagrama de Pareto de efectos estandarizados, según concentración CFT



La figura 6 presenta los efectos principales de tres factores en la concentración de compuestos fenólicos totales y se observa que, los niveles de temperatura y tiempo tienen un efecto de mayor magnitud que el tamaño de partícula (pendiente), además, los niveles más altos de temperatura y tiempo son aquellos que permiten maximizar los valores de la actividad antioxidante, mientras que, el menor tamaño de partícula (retenido de 350 μm hasta 500 μm) produjo mayores valores de actividad antioxidante.

Figura 6

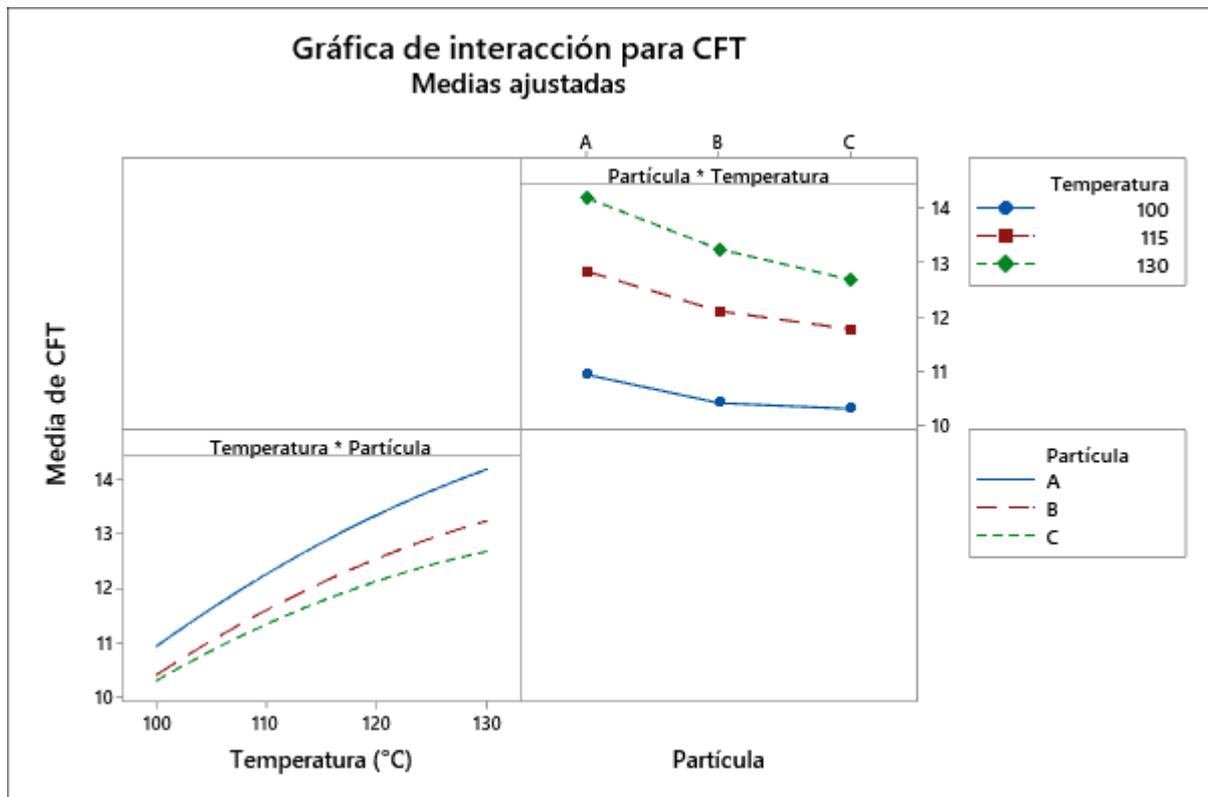
Gráfica de efectos principales, según concentración CFT



La figura 7, presenta la gráfica de interacción para la concentración de compuestos fenólicos totales y se observa que, todas las líneas que representan a los factores son paralelas entre sí, en todos los niveles, por lo tanto, no se evidencia interacción entre los factores evaluados por este método gráfico.

Figura 7

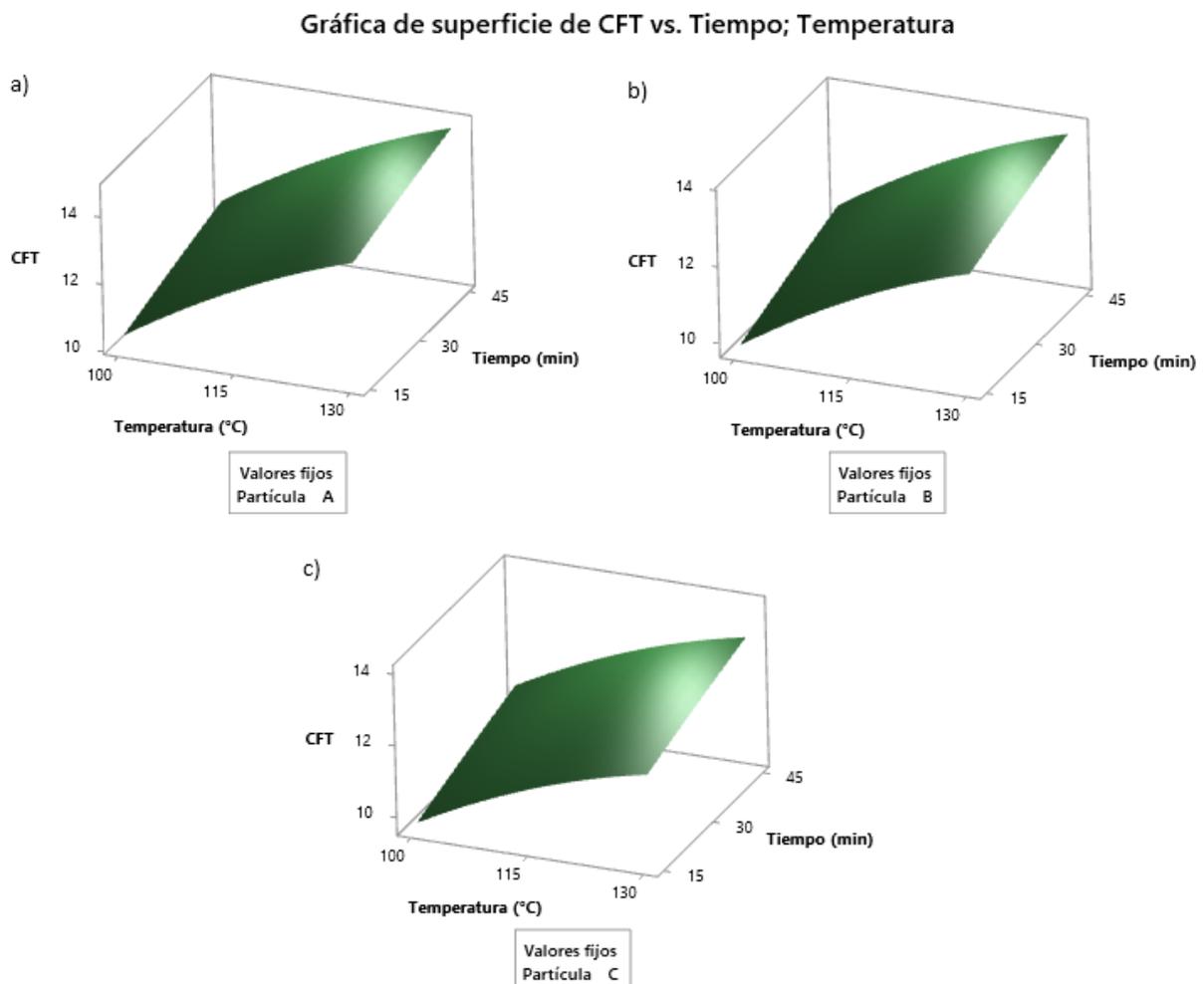
Gráfica de interacción, según concentración CFT



La figura 8 presenta tres gráficas de superficie 3D de las condiciones de tiempo y temperatura a diferentes tamaños de partícula (A, B y C), siendo A el menor tamaño de partícula y C, el mayor tamaño. Como resultado, el tamaño A dio como respuesta una mayor concentración de compuestos fenólicos totales, seguido del tamaño B y, en último lugar, del tamaño C. Además, al aumentar los niveles de temperatura y tiempo, la respuesta se incrementa, independientemente del tamaño de partícula seleccionado.

Figura 8

Gráfica de superficie 3D, según concentración CFT



4.1.3. Resultados de los ensayos de actividad antioxidante (AA).

El cuadro 16 presenta los resultados de la actividad antioxidante de las muestras (M1 a M16) correspondientes a cada experimento del diseño. La columna "Muestra" proporciona identificadores únicos para cada una de las muestras. Las columnas "Temperatura", "Tiempo", "Partícula", "Peso (g)", y "Volumen (mL)" describen las condiciones experimentales y los resultados del extracto, incluyendo la temperatura en grados Celsius, la duración del proceso en minutos, el tamaño de partícula en micrómetros, el peso de la muestra en gramos y el volumen del extracto en mililitros, respectivamente. Por último, la columna " $\mu\text{mol ET/g}$

muestra" expresa la actividad antioxidante en unidades de Equivalente Trolox por gramo de muestra.

Cuadro 16

Actividad antioxidante en las muestras

Muestra	Temperatura °C	Tiempo min	Partícula µm	Extracto		µmol ET/g muestra*	
				Peso (g)	Volumen (mL)		
M1	100	15	850	40.02	882	117.46	117.90
M2	115	30	850	40.06	866	111.94	112.02
M3	115	30	850	40.01	870	106.70	104.83
M4	100	30	2,000	40.01	846	89.80	89.53
M5	115	30	850	40.04	878	98.19	98.87
M6	115	45	500	40.02	892	107.85	109.16
M7	130	30	500	40.01	874	106.52	106.12
M8	130	15	850	40.03	850	91.83	91.66
M9	115	45	2,000	40.00	852	94.33	93.99
M10	115	15	500	40.07	900	90.98	95.68
M11	130	30	2,000	40.01	822	90.36	90.26
M12	100	45	850	40.01	871	72.88	72.30
M13	115	30	850	40.02	872	88.12	88.80
M14	115	15	2,000	40.06	870	78.60	79.07
M15	130	45	850	40.07	860	88.79	89.72
M16	100	30	500	40.03	886	73.95	73.34

Nota. *Repeticiones

El cuadro 17 presenta el resumen del modelo, mostrando un R^2 de 81.07%, es decir, este es el porcentaje de variación en la respuesta que se explica por el modelo. Además, la desviación estándar entre los valores de la respuesta y de la respuesta ajustada es de 8.60 aproximadamente. Luego, para el análisis de varianza, la primera sección, "Modelo", muestra la descomposición de la variación. El modelo en su conjunto explica el 92.15% de la variación total. La prueba de significancia del modelo tiene un valor F de 7.33 con un valor p de .02, indicando que el modelo es significativo. La sección "Lineal" analiza la contribución lineal al

modelo. La temperatura es la variable más significativa, explicando el 61.88% de la variación, seguida por el tiempo (10.99%) y el tamaño de partícula (16.25%). El valor F para la contribución lineal es 13.82, con un valor p de 0.01. En la sección "Cuadrado", se examinan los efectos cuadráticos. La temperatura al cuadrado no es significativa (valor $p = .349$), y el efecto cuadrático total es del 1.70%. La sección "Interacción de 2 factores" analiza la influencia de las interacciones entre las variables. La interacción entre temperatura y tamaño de partícula no es significativa (valor $p = .676$), y contribuye al 1.33% de la variación total. La sección "Error" representa la variación no explicada por el modelo. La falta de ajuste es del 0.57%, y el error puro es del 7.29%.

Cuadro 17

Resumen del modelo y ANVA de los resultados de actividad antioxidante

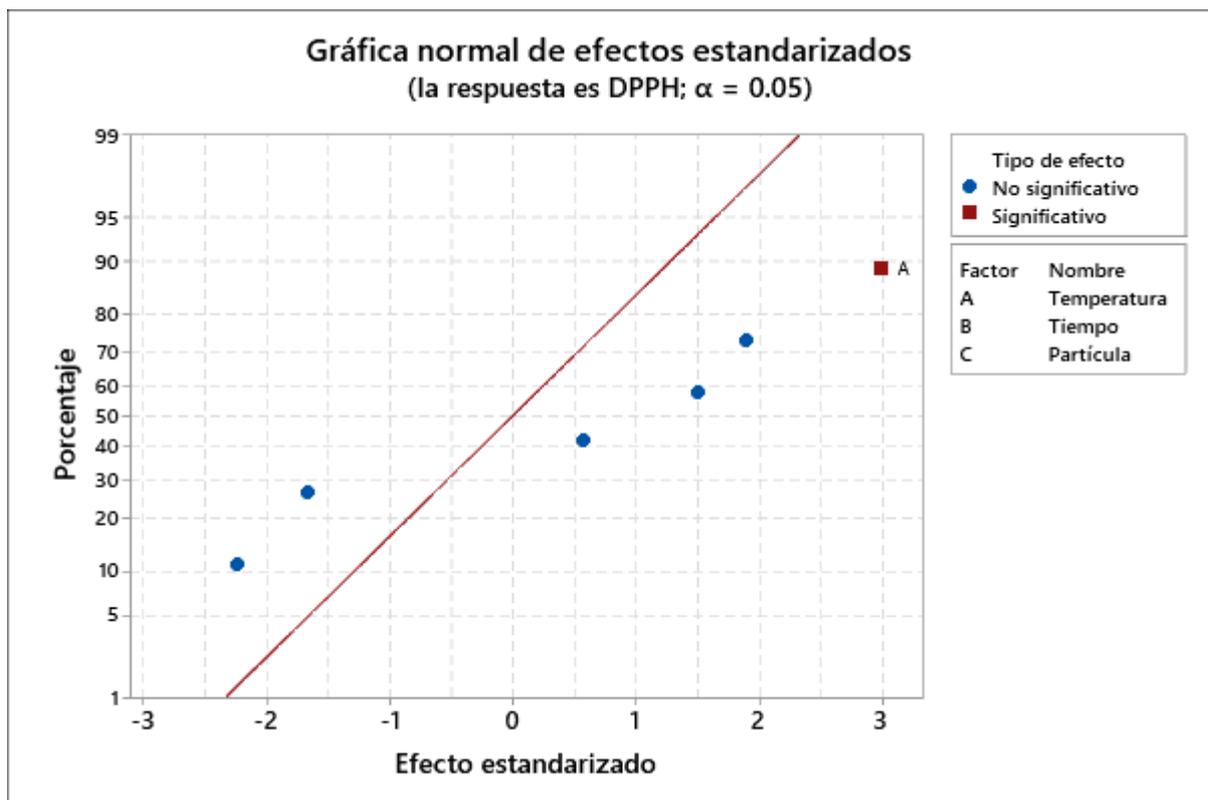
S	R-cuad.		R-cuad. (ajustado)		AICc	BIC	
8.60072	81.07%		50.78%		178.9	111.96	
Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	8	1,583.71	81.07%	1,583.71	197.96	2.68	0.15
Lineal	4	755.78	38.69%	803.72	200.93	2.72	0.15
Temperatura	1	452.05	23.14%	667.97	667.97	9.03	0.03
Tiempo	1	180.3	9.23%	265.69	265.69	3.59	0.12
Partícula	2	123.42	6.32%	85.98	42.99	0.58	0.59
Cuadrado	2	484.48	24.80%	484.48	242.24	3.27	0.12
Temperatura*Temperatura	1	280.39	14.35%	371.09	371.09	5.02	0.07
Tiempo*Tiempo	1	204.1	10.45%	204.1	204.1	2.76	0.16
Interacción de 2 factores	2	343.44	17.58%	343.44	171.72	2.32	0.19
Temperatura*Partícula	2	343.44	17.58%	343.44	171.72	2.32	0.19
Error	5	369.86	18.93%	369.86	73.97		
Falta de ajuste	2	82.18	4.21%	82.18	41.09	0.43	0.69
Error puro	3	287.68	14.73%	287.68	95.89		
Total	13	1,953.57	100.00%				

La figura 9, correspondiente a la gráfica normal de efectos estandarizados, para determinar la magnitud, la dirección y la importancia de los efectos. El factor temperatura se encuentra más distante de 0 y es estadísticamente significativo en el nivel .05. Además, la gráfica indica la

dirección del efecto. Temperatura tiene un efecto estandarizado positivo. Cuando la temperatura cambia del nivel bajo al nivel alto del factor, la actividad antioxidante se incrementa. Por otro lado, tiempo y tamaño de partícula no tienen efectos estandarizados significativos en el nivel .05.

Figura 9

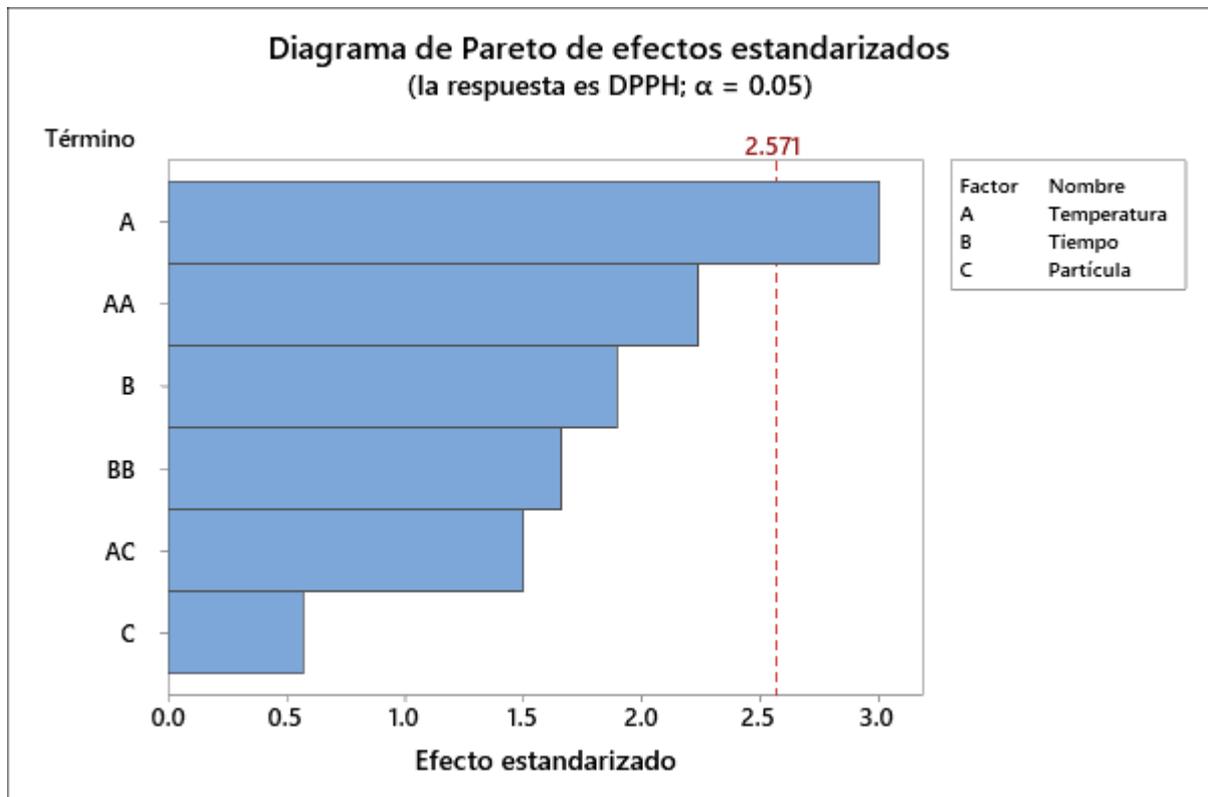
Gráfica normal de efectos estandarizados, según actividad antioxidante



La figura 10, presenta el diagrama de Pareto para determinar la magnitud y la importancia de los efectos del modelo. En el diagrama presentado, las barras que cruzan la línea de referencia (2.571) son estadísticamente significativas. La barra que representa al factor temperatura cruza la línea de referencia. Por tanto, este factor es estadísticamente significativo en el nivel de .05 con los términos actuales del modelo.

Figura 10

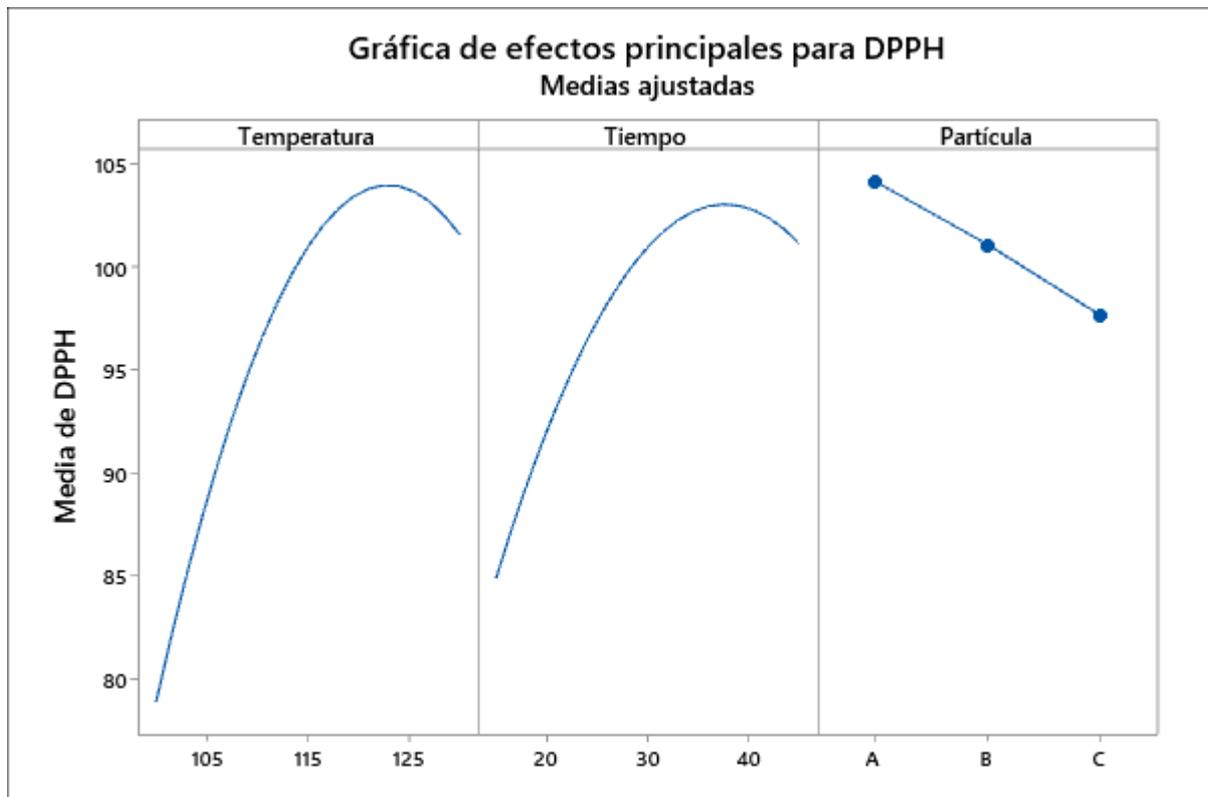
Diagrama de Pareto de efectos estandarizados, según concentración CFT



La figura 11 presenta los efectos principales de tres factores en la actividad antioxidante y se observa que, los niveles de temperatura y tiempo tienen un efecto de mayor magnitud que el tamaño de partícula (pendiente), además, los niveles intermedios de temperatura y tiempo son aquellos que permiten maximizar los valores de la actividad antioxidante, mientras que, el menor tamaño de partícula (retenido de 350 μm hasta 500 μm) produjo mayores valores de actividad antioxidante.

Figura 11

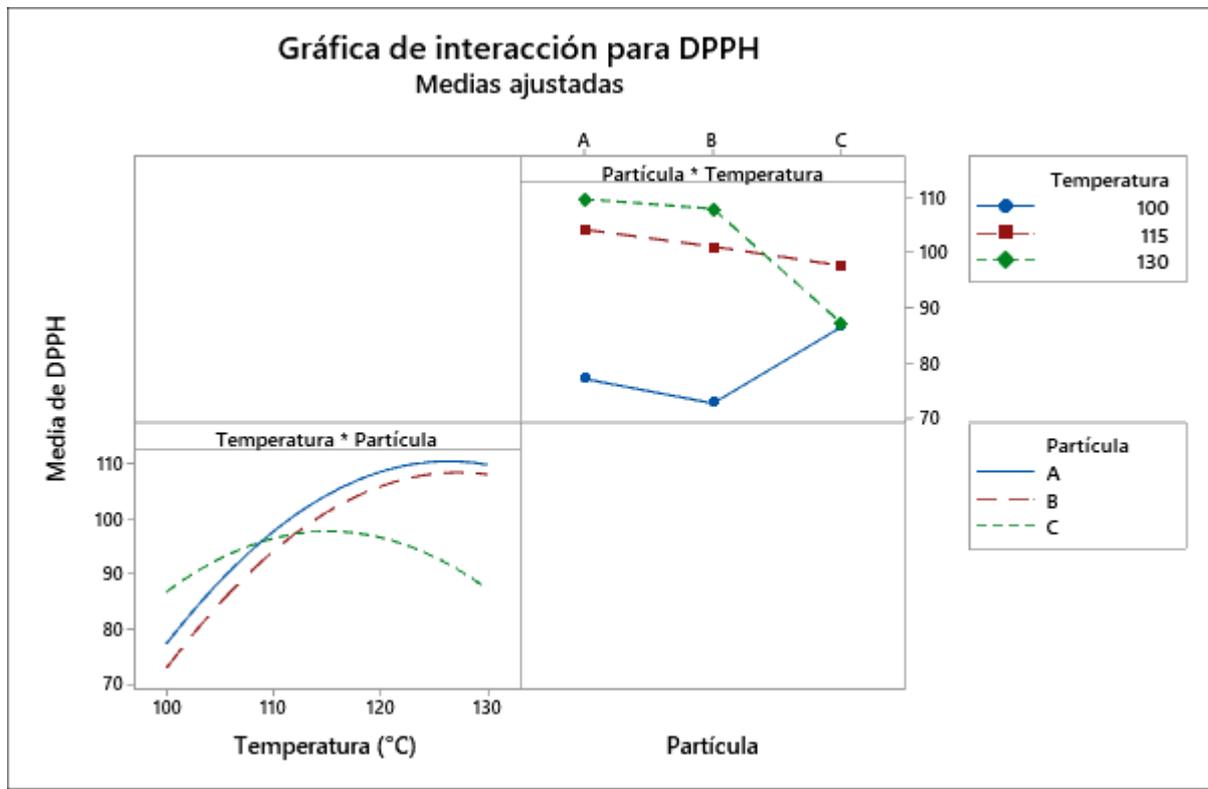
Gráfica de efectos principales, según actividad antioxidante



La figura 12, presenta la gráfica de interacción para la actividad antioxidante, observando que, se evidencia interacción entre los factores evaluados, es decir, que la relación entre el tamaño de partícula y la actividad antioxidante depende del valor de la temperatura. Si se utilizan valores altos de temperatura y de tamaño de partícula, se obtendrá menor actividad antioxidante.

Figura 12

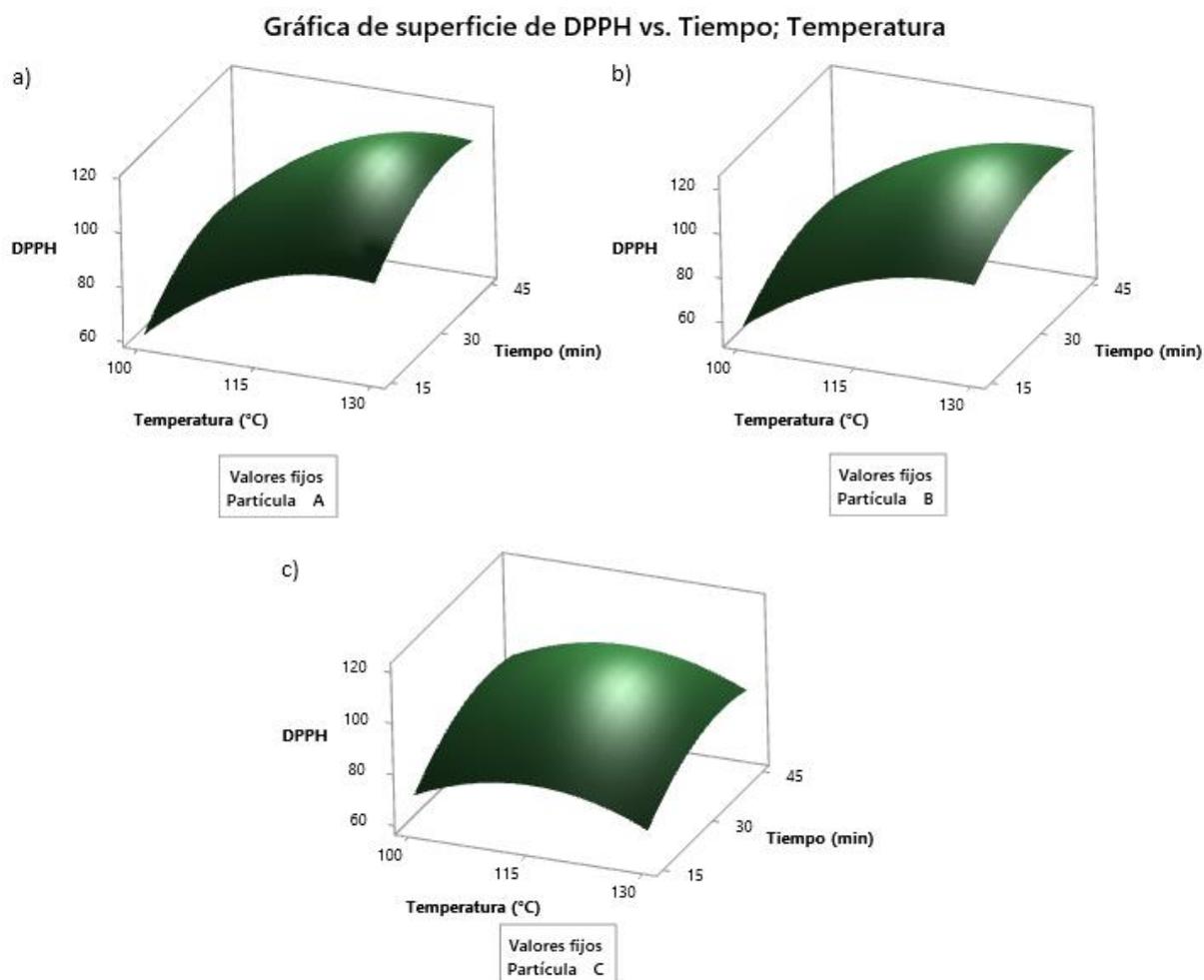
Gráfica de interacción, según actividad antioxidante



La figura 13 presenta tres gráficas de superficie 3D de las condiciones de tiempo y temperatura a diferentes tamaños de partícula (A, B y C), siendo A el menor tamaño de partícula y C, el mayor tamaño. Como resultado, el tamaño A dio como respuesta una mayor actividad antioxidante, seguido del tamaño B y, en último lugar, del tamaño C. Además, las tres gráficas representan una superficie de respuesta con un máximo simple.

Figura 13

Gráfica de superficie 3D, según actividad antioxidante

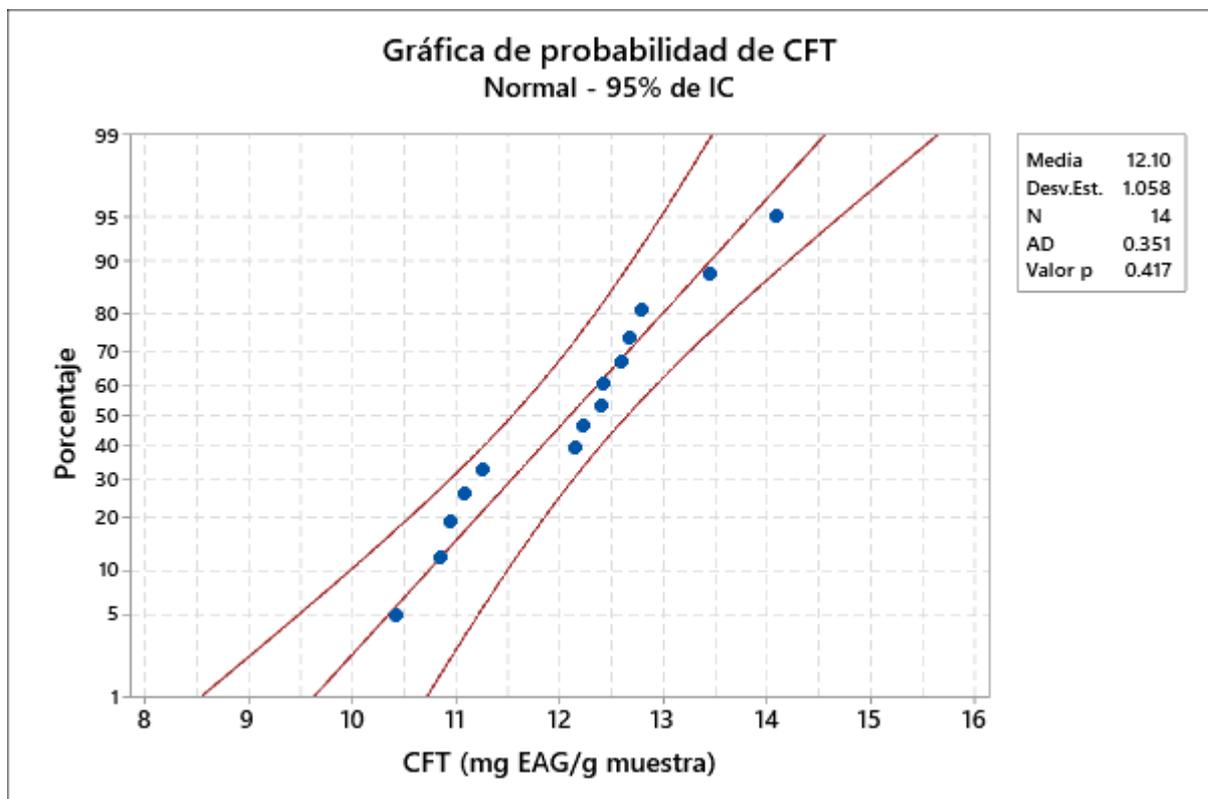


4.1.4. Resultados de la relación entre los valores de CFT y de AA.

La figura 14 muestra la distribución de la concentración de compuestos fenólicos (CFT) en mg EAG/g muestra. Los puntos azules representan los datos observados de la concentración de CFT. Las líneas rojas indican el intervalo de confianza del 95% para una distribución normal teórica. La media es 12.10, con una desviación estándar de 1.058. Hay 14 observaciones en total. Luego, el valor p de la prueba de normalidad es .417. Esto indica que no hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula de que los datos siguen una distribución normal (a un nivel de significancia de .05).

Figura 14

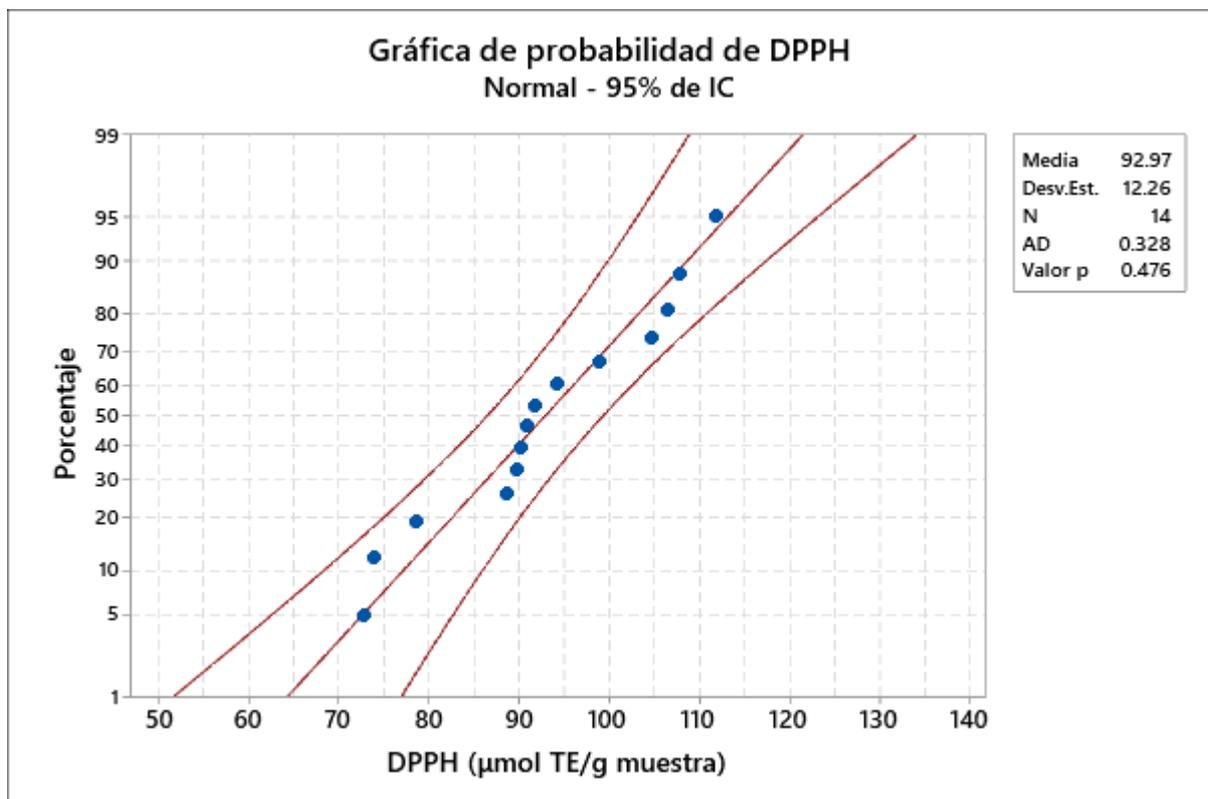
Gráfica de probabilidad, según concentración CFT



La figura 15 muestra la distribución de la actividad antioxidante en $\mu\text{mol ET/g}$ muestra. Los puntos azules representan los datos observados de la actividad antioxidante. Las líneas rojas indican el intervalo de confianza del 95% para una distribución normal teórica. La media es 92.97, con una desviación estándar de 12.26. Hay 14 observaciones en total. Luego, el valor p de la prueba de normalidad es .476. Esto indica que no hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula de que los datos siguen una distribución normal (a un nivel de significancia de .05).

Figura 15

Gráfica de probabilidad, según actividad antioxidante



El cuadro 18 presenta los resultados de la prueba de correlación de Pearson, el valor rho de la correlación entre la concentración de CFT y la AA es .579, lo que indica que existe una relación positiva entre las variables. El intervalo de confianza (IC) de rho es de .069 a .849, lo cual indica que se puede estar 95% seguro de que el coeficiente de correlación de la población se encuentra entre los valores del IC aunque, por lo general, cuando la correlación es más fuerte, el intervalo de confianza es más estrecho. El valor p es .03, lo que indica que la relación es estadísticamente significativa en el nivel de $\alpha = .05$. Aunque los resultados indican un valor p significativo, no obstante, el IC de 95% tiene un rango muy amplio, con lo cual, fue necesario verificar la existencia de algunos o algún punto de los datos extremo.

Cuadro 18

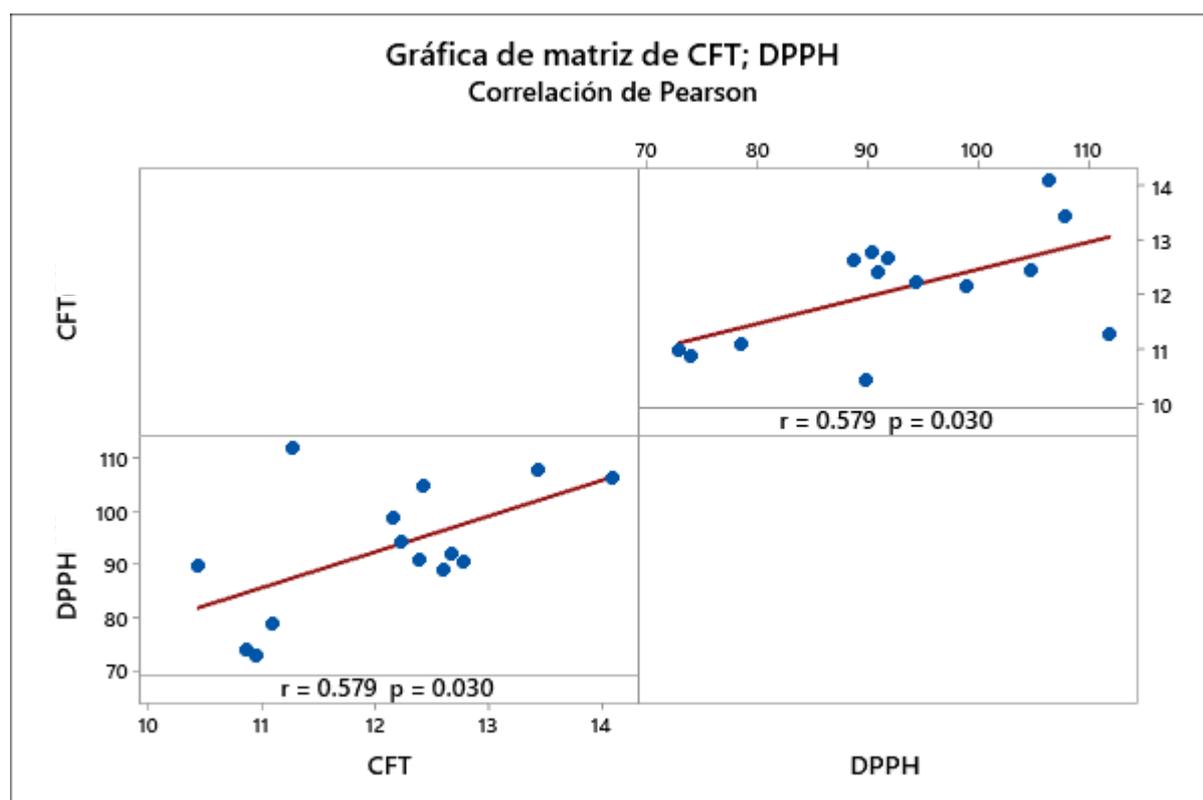
Prueba de correlación de Pearson

Respuesta 1	Respuesta 2	Correlación	IC de 95% para ρ	Valor p
CFT	AA	.579	(.069; .849)	.03

La figura 16 presenta la gráfica de matriz de las variables de respuesta, concentración de compuestos fenólicos totales vs. actividad antioxidante evidenciando el comportamiento lineal de la distribución de los datos, sin embargo, también se verifica la presencia de puntos extremos a la recta.

Figura 16

Gráfica de matriz de correlación



4.2. DISCUSIÓN

La presente investigación se centró en la extracción de compuestos bioactivos de cáscaras de jengibre (*Zingiber officinale*) mediante el uso de agua a alta presión y temperatura a diferentes condiciones de temperatura, tiempo y tamaño de partícula, siendo las variables de respuesta la concentración de compuestos fenólicos totales y la actividad antioxidante de los extractos acuosos. A continuación, se presentan las discusiones del estudio según los objetivos desarrollados.

Respecto al objetivo general “Evaluar el efecto de la temperatura, tiempo y tamaño de partícula en la actividad antioxidante del extracto acuoso de jengibre (*Zingiber officinale*) extraída por agua a alta presión y temperatura”, los resultados indicaron que la temperatura fue un factor significativo en la actividad antioxidante del extracto acuoso de cáscaras de jengibre. Este hallazgo es consistente con estudios previos que han demostrado que temperaturas más altas favorecen la liberación de compuestos fenólicos y la actividad antioxidante en extractos de plantas (Nourbakhsh Amiri et al., 2018). La investigación de Ko et al. (2019a) destaca la influencia de la temperatura en la extracción de compuestos bioactivos, coincidiendo con los hallazgos actuales. Además, el estudio de Nourbakhsh Amiri et al. (2018) resalta la importancia del tiempo de extracción y el tamaño de partícula en la extracción de compuestos fenólicos, factores que también se consideraron en este trabajo.

Asimismo, Siti Nur Khairunisa et al. (2021) halló que la temperatura es el factor de mayor contribución en la actividad antioxidante de *Zingiber zerumbet* mientras que, el tiempo y tamaño de partícula también tienen un efecto importante, además, se considera la presión como un componente que debe mantenerse a un nivel suficiente para garantizar que el agua se mantiene en estado líquido durante la extracción.

Sin embargo, los resultados son dependientes del método de extracción empleado, Contreras-López et al. (2020), evaluaron los parámetros de extracción asistida por ultrasonido, obteniendo

que la amplitud fue el principal parámetro en la obtención de compuestos fenólicos totales y actividad antioxidante, no obstante, estos autores trabajaron en un rango de temperaturas de 30 a 50 °C a condiciones de presión atmosférica.

Según las bases teóricas, se destaca que la temperatura influye en la solubilidad de los compuestos y en la velocidad de difusión de los solutos en el solvente (Zhang et al., 2018). Por otro lado, el factor tiempo no mostró significancia en la actividad antioxidante del extracto acuoso. Este resultado podría atribuirse a la rapidez con la que se alcanza la saturación de los compuestos bioactivos durante el proceso de extracción. Nourbakhsh Amiri et al. (2018) observaron un aumento significativo en la concentración de compuestos bioactivos hasta ciertos minutos de extracción, pero luego notaron una ligera disminución, posiblemente relacionada con la inestabilidad molecular de los compuestos a altas temperaturas y tiempos de extracción prolongados.

Además, el tamaño de partícula, aunque no se destacó como un factor significativo en este estudio, fue crucial en la extracción con agua, según la teoría presentada. Un tamaño de partícula demasiado pequeño puede causar efectos de canalización, mientras que un tamaño óptimo puede favorecer los fenómenos de transferencia de masa (Nourbakhsh Amiri et al., 2018). La información teórica enfatiza que la extracción con agua es favorecida por un tamaño de partícula pequeño, lo que permite un mayor contacto soluto/solvente y, por ende, un aumento en la eficiencia de extracción (Sánchez-Gonzales et al., 2019).

A través del análisis de la influencia de la temperatura, tiempo y tamaño de partícula en la actividad antioxidante del extracto acuoso de jengibre, este estudio ha demostrado que la temperatura es el factor más significativo. Además, aunque el tiempo y el tamaño de partícula no mostraron significancia en este estudio, su relevancia teórica indica que podrían influir bajo condiciones diferentes o en otros métodos de extracción similares al de la extracción con agua a alta presión y temperatura.

Respecto al primer objetivo “Determinar el porcentaje de humedad, grasas, cenizas y proteínas en la muestra en polvo compuesta por cáscaras de jengibre (*Zingiber officinale*)”, mediante el análisis CQP se encontró que el contenido de humedad fue 11.25%, el contenido de grasa cruda fue 7.62%, el contenido de proteína cruda fue 6.36% y el contenido de cenizas fue 10.69%.

Por lo analizado en artículos originales, numerosos autores han realizado experimentos con jengibre (*Zingiber officinale* Roscoe) (Contreras-López et al., 2020; Jorge-Montalvo et al., 2023; Mahmudati et al., 2020; Murphy et al., 2020; Razak et al., 2023) así como también otras especies de jengibre como *Zingiber zerumbet* (Mokhtar et al., 2018; Siti Nur Khairunisa et al., 2020; Siti Nur Khairunisa et al., 2021), *Zingiber montanum* (Thepthong et al., 2023), *Zingiber officinale* rubrum y *Zingiber officinale* amarum (Mahmudati et al., 2020) y, otras materias primas como palta (*Persea americana*) (Mazyan et al., 2021), semillas de uva (*Vitis vinifera*) (Barriga-Sánchez y Rosales-Hartshorn, 2022) y hojas de chirimoya (*Annona cherimola* Mill) (Sánchez-González et al., 2019).

Los resultados son un tanto similares a los reportados por Macit et al. (2019) cuyos análisis realizados en rizomas de jengibre seco mostraron una composición de 9 % de proteínas, 8 – 9 % de grasas, un 70% de carbohidratos, un 6% de celulosa y un 4.5% de cenizas. En contraste, el análisis de este estudio se realizó en cáscaras de jengibre con un porcentaje de proteínas y de grasas fue similar al de estos autores, no obstante, el contenido de cenizas fue un 10 % más alto, indicando que las cáscaras de jengibre presentan un contenido elevado de residuos inorgánicos.

Respecto a la muestra utilizada, las cáscaras de jengibre poseen propiedades antioxidantes, característica de particular interés ya que el jengibre no solo es un producto ampliamente utilizado en la cocina, sino también una especia que, al contener antioxidantes naturales, puede superar a los antioxidantes sintéticos orales convencionales (Beristain-Bauza et al., 2019). Mao et al. (2019) indicaron que el jengibre es rico en una gran variedad de componentes químicos,

como compuestos fenólicos, terpenos, polisacáridos, lípidos, ácidos orgánicos y fibras crudas, presentando bioactividades y mecanismos de acción complejos, no obstante, los beneficios del jengibre para la salud se atribuyen principalmente a sus compuestos fenólicos. Este aspecto añade un valor adicional al jengibre como fuente natural de antioxidantes, y específicamente, las cáscaras pueden considerarse un subproducto valioso.

Complementariamente, Santos-Braga (2019) señala que el jengibre contiene almidón, proteínas, lípidos, y compuestos fenólicos, entre otros. Beristain-Bauza et al. (2019) sostienen que el jengibre contiene compuestos fenólicos, terpenos, y otros componentes bioactivos. Sin embargo, la variabilidad en estas sustancias puede influir en las propiedades de los extractos. La presencia de almidón en el rizoma seco del jengibre podría afectar la textura y la eficiencia de la extracción, ya que este componente puede influir en la solubilidad de otros compuestos. En el presente estudio, se generó una torta que impidió recuperar al 100% el volumen de agua de operación del equipo, disminuyendo el rendimiento del extracto (w/v).

Mediante los resultados del análisis CQP y el contraste con antecedentes y teorías, este estudio busca brindar una comprensión más profunda sobre la composición y el valor de las cáscaras de jengibre y su potencial aplicación en la industria alimentaria y farmacéutica, además, lo evidenciado servirá como base para determinar métodos de extracción adecuados adicionales al brindado en este estudio, de manera tal que se logren identificar y extraer diferentes compuestos de interés.

Respecto al segundo objetivo “Cuantificar la concentración de compuestos fenólicos totales y la actividad antioxidante del extracto acuoso obtenido a alta presión y temperatura”, se encontró que la concentración de CFT estuvo en el rango de 10.29 – 14.10 mg EAG/g muestra, mientras que, la actividad antioxidante estuvo en el rango de 72.30 – 117.90 $\mu\text{mol ET/g}$ muestra.

Referente a los principales antecedentes consultados en la literatura, diferentes autores han empleado agua a alta presión y temperatura como método de extracción (Barriga-Sánchez y Rosales-Hartshorn, 2022; Mazyan et al., 2021; Mokhtar et al., 2018; Razak et al., 2023; Sánchez-González et al., 2019; Siti Nur Khairunisa et al., 2020; Siti Nur Khairunisa et al., 2021). Otro método muy empleado fue la extracción asistida por ultrasonido (Thepthong et al. 2021; Murphy et al., 2020; Contreras-López et al., 2020; Jorge-Montalvo et al., 2023), infusión y decocción (Mahmudati et al., 2020) y con solventes orgánicos (Jorge-Montalvo et al., 2023; Barriga-Sánchez y Rosales-Hartshorn, 2022; Mokhtar et al., 2018; Sánchez-González et al., 2019).

Hallazgos similares al de este estudio fueron reportados por Razak et al. (2023) quienes obtuvieron valores de AA de 71.46 ± 2.44 % expresado como porcentaje de inhibición. Asimismo, Siti Nur Khairunisa et al. (2020) encontraron valores máximos de AA de 63.26% de inhibición a 170°C, 20 min y 20 mL/g extracto de *Zingiber zerumbet*.

Por otro lado, resultados similares fueron obtenidos con extracción asistida por ultrasonido. Murphy et al. (2020) obtuvo valores máximos de contenidos de CFT de 1,039.64 mg EAG/g peso seco y AA de 54.50% en extracto etanólico. Asimismo, Contreras-López et al. (2020) obtuvieron valores máximos de CFT de 17.11 mg EAG/100 g y de AA de 157.15 mg ET/100 g. Además, en extractos de *Zingiber montanum*, Thepthong et al. (2023) obtuvieron un contenido máximo de CFT de 71.45 ± 1.45 mg EAG/g extracto metanólico y un valor máximo de AA de $IC_{50} 38.89 \pm 0.27$ µg/mL extracto etanólico.

Respecto a otros métodos de extracción, Jorge-Montalvo et al. (2023), obtuvieron mayores valores en la concentración de CFT por el método de maceración con 10.03 ± 0.14 mg EAG/g muestra (25°C por 24 h) y mayores valores de AA por el método de reflujo con 0.72 ± 0.05 IC_{50} mg materia seca/mL (85°C por 12h). Sin embargo, el tipo de extracción que emplearon

estos autores demanda una cantidad de tiempo considerablemente más alta que la necesaria con la extracción con agua a alta presión y temperatura.

Respecto a resultados de experimentos en otras variedades de jengibre, Mahmudati et al. (2020) obtuvieron valores máximos de concentración de CFT por el método de decocción (22.97 mg EAG/g) en jengibre rojo (*rubrum*) pero valores máximos de AA por infusión (79.83% de inhibición). Además, de lo obtenido en experimentos con otras materias primas, Sánchez-González et al. (2019) trabajaron con semillas de uva (*Vitis vinifera*) logrando obtener valores de AA de $1,628.15 \pm 80.32 \mu\text{mol ET/g}$ peso seco con el método de extracción con agua a alta presión y temperatura. Asimismo, Barriga-Sánchez y Rosales-Hartshorn (2022) trabajaron con hojas de chirimoya (*Annona cherimola* Mill) y obtuvieron valores máximos de concentración de CFT (5.6 g EAG/100 g hoja seca) mediante extracción con agua caliente a alta presión y temperatura (130 °C), pero valores máximos de AA de 0.86 mg ET/mg extracto seco etanólico (70% v/v).

Acercá de los métodos de extracción, los métodos convencionales, como la extracción con solventes orgánicos y la hidrodestilación, presentan problemas, como el bajo rendimiento y la pérdida de compuestos volátiles. En este contexto, la extracción con agua a alta presión y temperatura, empleada en este estudio, emerge como una alternativa menos contaminante, rápida y económica. La extracción con líquidos a presión reduce el tiempo de extracción y el consumo de solventes (Zhang et al., 2018). Estas consideraciones sobre la eficiencia y la sostenibilidad del método de extracción utilizado pueden ampliar la relevancia de los resultados y respaldar la preferencia por métodos más ecológicos en futuras investigaciones y aplicaciones industriales.

Este estudio contribuye al cuerpo de conocimiento científico sobre la extracción de compuestos bioactivos del jengibre, demostrando la efectividad del uso de agua a alta presión y temperatura como base para futuras investigaciones y aplicaciones industriales. Además, la comparación

de diferentes métodos de extracción subraya la importancia de elegir las condiciones óptimas para maximizar la recuperación de compuestos bioactivos. Este trabajo abre nuevas posibilidades para la utilización de subproductos agrícolas como fuentes de antioxidantes naturales, fomentando una industria sostenible y libre de contaminantes, debido a que solo se emplea agua como solvente de extracción y evitando, a la vez, procesos de purificación posteriores, necesarios al emplear otro tipo de solventes.

Respecto al tercer objetivo “Relacionar los resultados de la concentración de compuestos fenólicos totales y la actividad antioxidante del extracto acuoso”, se evidenció la presencia de correlación positiva entre las variables, indicando que la actividad antioxidante estuvo directamente asociada a la presencia de compuestos fenólicos totales.

Estos resultados se explican por lo indicado por Zhang et al. (2018) quienes sostuvieron que la relación positiva entre la temperatura y la actividad antioxidante se debe a una mayor liberación de compuestos bioactivos a temperaturas elevadas.

Por todo lo expuesto, este estudio reafirma la importancia de los compuestos fenólicos como principales responsables de la actividad antioxidante en los extractos de jengibre. La correlación positiva entre estos compuestos y la actividad antioxidante destaca el potencial de utilizar cáscaras de jengibre, un subproducto comúnmente desechado, como una fuente valiosa de antioxidantes naturales. Además, la evidencia de que temperaturas elevadas mejoran la extracción de compuestos bioactivos sugiere que la optimización de las condiciones de extracción podría maximizar el rendimiento y la eficacia de los extractos antioxidantes, contribuyendo a la valorización de subproductos agrícolas y al desarrollo de productos naturales con alto valor añadido. Este conocimiento puede ser aplicado en la industria alimentaria y farmacéutica para el desarrollo de suplementos y alimentos funcionales.

A pesar de los resultados alentadores, algunas limitaciones del estudio estuvieron relacionadas con el equipo empleado para la extracción. Debido a la fragilidad térmica de algunos componentes del equipo, las condiciones de operación se vieron limitadas, la temperatura máxima de operación fue de 130 °C, con lo cual, no se logró explorar a mayor profundidad el efecto de la temperatura en un rango más amplio.

Finalmente, las direcciones futuras podrían incluir investigaciones más detalladas sobre los compuestos y la toxicidad de los extractos, así como estudios sensoriales y nutricionales para evaluar el impacto en productos alimentarios. Además, explorar otros parámetros en la extracción con agua a alta presión y temperatura podría proporcionar perspectivas adicionales y mejorar la eficiencia de la extracción.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

La evaluación del efecto de la temperatura, el tiempo y el tamaño de partícula en la actividad antioxidante del extracto acuoso de jengibre mostró que la temperatura fue el único factor significativo ($p < 0.05$) en la extracción. El tiempo y el tamaño de partícula no resultaron ser factores significativos. Sin embargo, la contribución conjunta de estos tres factores explicó el 81.07% de la variabilidad de la actividad antioxidante, lo que en gran medida confirma la hipótesis planteada sobre su influencia en este proceso.

El porcentaje de carbohidratos, humedad, proteínas, grasas y cenizas en la muestra en polvo fue de 64.08%, 11.25 %, 10.69 %, 7.62 % y 6.36 %, respectivamente.

La concentración de compuestos fenólicos totales (CFT) del extracto acuoso se encontró en el rango de 10.42 - 14.1 mg EAG/g muestra y, la actividad antioxidante (método DPPH), en el rango de 72.9 – 111.9 $\mu\text{mol ET/g}$ muestra.

Al relacionar los resultados de la concentración de CFT y la actividad antioxidante del extracto acuoso se obtuvo que, existe relación entre los valores de CFT con la actividad antioxidante (ρ Pearson = .579, $p < .05$).

5.2. RECOMENDACIONES

Dado que la temperatura resultó ser el factor significativo en la extracción y considerando que un factor limitante en la presente investigación fue el factor temperatura (condiciones de operación del equipo), se recomienda realizar estudios adicionales para optimizar la temperatura en la extracción de compuestos antioxidantes.

Se sugiere un control preciso de las condiciones de almacenamiento para mantener los valores de la composición de la muestra estables y preservar la calidad del producto para su posterior análisis.

Se sugiere un monitoreo continuo de estos parámetros para garantizar la consistencia y calidad de los resultados en los ensayos posteriores.

Aunque el tamaño de partícula no fue significativo, podría ser beneficioso realizar más investigaciones para comprender mejor su impacto y evaluar posibles mejoras en la eficiencia de extracción, esto debido a que el análisis de coeficientes codificados hubo significancia estadística para el nivel A del tamaño de partícula ($<350 - 500> \mu\text{m}$).

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y VIRTUALES

- Aimone, C., Calcio Gaudino, E., Brncic, M., Barba, F. J., Grillo, G., & Cravotto, G. (2024). Sorbus spp. berries extraction in subcritical water: Bioactives recovery and antioxidant activity. *Applied Food Research*, 4(1), 100391. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2024.100391>
- Alibekov, R. S., Mustapa Kamal, S. M., Taip, F. S., Sulaiman, A., Azimov, A. M., & Urazbayeva, K. A. (2023). Recovery of phenolic compounds from jackfruit seeds using subcritical water extraction. *Foods*, 12(17), 3296. <https://doi.org/10.3390/foods12173296>
- Alolga, R. N., Wang, F., Zhang, X., Li, J., Tran, L.-S. P., & Yin, X. (2022). Bioactive compounds from the Zingiberaceae family with known antioxidant activities for possible therapeutic uses. *Antioxidants*, 11(7), 1281. <https://doi.org/10.3390/antiox11071281>
- Amorati, R., & Valgimigli, L. (2018). Methods to measure the antioxidant activity of phytochemicals and plant extracts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66(13), 3324–3329. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b01079>
- Barriga-Sánchez, M., & Rosales-Hartshorn, M. (2022). Effects of subcritical water extraction and cultivar geographical location on the phenolic compounds and antioxidant capacity of Quebranta (*Vitis vinifera*) grape seeds from the Peruvian pisco industry by-product. *Food Science and Technology*, 42, e107321. <https://doi.org/10.1590/fst.107321>
- Beristain-Bauza, S. D., Hernández-Carranza, P., Cid-Pérez, T. S., Ávila-Sosa, R., Ruiz-López, I. I., & Ochoa-Velasco, C. E. (2019). Antimicrobial Activity of Ginger (*Zingiber officinale*) and Its Application in Food Products. *Food Reviews International*, 35(5). <https://doi.org/10.1080/87559129.2019.1573829>

- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lebensmittel-Wissenschaft Und Technologie [Food Science and Technology]*, 28(1), 25–30. [https://doi.org/10.1016/s0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/s0023-6438(95)80008-5)
- Çalhan, S. D., Meryemoğlu, B., Eroğlu, P., Saçlı, B., & Kalderis, D. (2023). Subcritical water extraction of *Onosma mutabilis*: Process optimization and chemical profile of the extracts. *Molecules*, 28(5), 2314. <https://doi.org/10.3390/molecules28052314>
- Castro-Puyana, M., Marina, M. L., & Plaza, M. (2017). Water as green extraction solvent: Principles and reasons for its use. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 5, 31-36. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2017.03.009>
- Cheng, X., Zang, M., Wang, S., Zhao, X., Zhai, G., Wang, L., Li, X., Zhao, Y., & Yue, Y. (2022). Physicochemical and antioxidant properties of nanoliposomes loaded with Rosemary oleoresin and their oxidative stability application in dried oysters. *Bioengineering*, 9(12). <https://doi.org/10.3390/bioengineering9120818>
- Contreras-López, E., Castañeda-Ovando, A., Jaimez-Ordaz, J., Cruz-Cansino, N. del S., González-Olivares, L. G., Rodríguez-Martínez, J. S., & Ramírez-Godínez, J. (2020). Release of antioxidant compounds of *Zingiber officinale* by ultrasound-assisted aqueous extraction and evaluation of their in vitro bioaccessibility. *Applied Sciences*, 10(14), 4987. <https://doi.org/10.3390/app10144987>
- de Souza Junior, E. T., Martins Siqueira, L., Nolibos Almeida, R., Machado Lucas, A., Finkler da Silva, C., Cassel, E., & Figueiró Vargas, R. (2020). Comparison of Different Extraction Techniques of *Zingiber officinale* Essential Oil. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 63. <https://doi.org/10.1590/1678-4324-2020190213>

- Endy Yulianto, M., Paramita, V., Amalia, R., Wahyuningsih, N., & Dwi Nyamiati, R. (2022). Production of bioactive compounds from ginger (*Zingiber officinale*) dregs through subcritical water extraction. *Materials Today: Proceedings*, 63, S188–S194. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.02.216>
- Etheridge, C. J., & Mason, P. (2021). A science review of selected essential oils and their botanical ingredients. Focus on essential oils used for respiratory and calming indications. *Archives of Environmental Sciences and Environmental Toxicology*, 4(1). <https://doi.org/10.29011/2688-948x.100133>
- FAO (2002). *Nutrition Paper No. 77*. Report of a technical workshop, Rome, pp. 3-6.
- Ferreira, C., Moreira, M. M., Delerue-Matos, C., & Sarraguça, M. (2023). Subcritical water extraction to valorize grape biomass—A step closer to circular economy. *Molecules*, 28(22), 7538. <https://doi.org/10.3390/molecules28227538>
- Gabilondo, J., Corbino, G. B., Marti, H. R., & Malec, L. (2018). *Variación dla concentración de polifenoles totales y de la actividad antioxidante en dos cultivares de batata (Ipomoea batata L.) durante el procesado térmico para la elaboración de dulce*. <http://hdl.handle.net/20.500.12123/4082>
- Gao, Y., Ozel, M. Z., Dugmore, T., Sulaeman, A., & Matharu, A. S. (2021). A biorefinery strategy for spent industrial ginger waste. *Journal of Hazardous Materials*, 401(123400), 123400. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123400>
- GBIF. (2022). *Zingiber officinale* Roscoe. En *GBIF Secretariat*. GBIF Backbone Taxonomy. Checklist dataset. <https://doi.org/10.15468/39omei>.
- Gulzar, R., Afzaal, M., Saeed, F., Samar, N., Shahbaz, A., Ateeq, H., Farooq, M. U., Akram, N., Asghar, A., Rasheed, A., & Teferi Asres, D. (2023). Bio valorization and industrial

- applications of ginger waste: a review. *International Journal of Food Properties*, 26(2), 2772–2780. <https://doi.org/10.1080/10942912.2023.2254014>
- Jokić, S., Aladić, K., & Šubarić, D. (2018). Subcritical Water Extraction Laboratory Plant Design and Application. *Annual of the Croatian Academy of Engineering*, 21, 247–258.
- Jorge-Montalvo, P., Vílchez-Perales, C., & Visitación-Figueroa, L. (2023). Evaluation of antioxidant capacity, structure, and surface morphology of ginger (*Zingiber officinale*) using different extraction methods. *Heliyon*, 9(6), e16516. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16516>
- Kamaruddin, M. S. H., Chong, G. H., Mohd Daud, N., Putra, N. R., Md Salleh, L., & Suleiman, N. (2023). Bioactivities and green advanced extraction technologies of ginger oleoresin extracts: A review. *Food Research International*, 164(112283), 112283. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.112283>
- Kamiński, P., Gruba, M., Fekner, Z., Tyśkiewicz, K., & Kobus, Z. (2023). The influence of water extraction parameters in subcritical conditions and the shape of the reactor on the quality of extracts obtained from Norway maple (*Acer platanoides* L.). *Processes*, 11(12), 3395. <https://doi.org/10.3390/pr11123395>
- Kim, J.-K., Noh, J., Lee, S., Choi, J.-S., Suh, H., Chung, H.-Y., Song, Y.-O., & Choi, W.-C. (2002). The first total synthesis of 2,3,6-tribromo-4,5-dihydroxybenzyl methyl ether (TDB) and its antioxidant activity. *Bulletin of the Korean Chemical Society*, 23(5), 661–662. <https://doi.org/10.5012/bkcs.2002.23.5.661>
- Ko, M.-J., Nam, H.-H., & Chung, M.-S. (2019). Conversion of 6-gingerol to 6-shogaol in ginger (*Zingiber officinale*) pulp and peel during subcritical water extraction. *Food Chemistry*, 270, 149–155. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.078>

- Ko, M.-J., Nam, H.-H., & Chung, M.-S. (2019). Optimization of drying conditions for the conversion of 6-gingerol to 6-shogaol under subcritical water extraction from ginger. *Korean Journal of Food, Science and Technology*, 51(5), 447-451. <https://doi.org/10.9721/KJFST.2019.51.5.447>
- Ko, M.-J., Nam, H.-H., & Chung, M.-S. (2020). Subcritical water extraction of bioactive compounds from *Orostachys japonicus* A. Berger (Crassulaceae). *Scientific Reports*, 10(1), 10890. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-67508-2>
- Krishnamoorthy, R., Hai, A., & Banat, F. (2023). Subcritical water extraction of mango seed kernels and its application for cow ghee preservation. *Processes*, 11(5), 1379. <https://doi.org/10.3390/pr11051379>
- Liu, Y., Liu, J., & Zhang, Y. (2019). Research Progress on Chemical Constituents of *Zingiber officinale* Roscoe. *BioMed Research International*, 2019, 5370823. <https://doi.org/10.1155/2019/5370823>
- Macit, M. S., Sözlü, S., Kocaadam, B., & Acar-Tek, N. (2019). Evaluation of ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) on energy metabolism and obesity: Systematic review and meta-analysis. *Food Reviews International*, 35(7), 685–706. <https://doi.org/10.1080/87559129.2019.1608556>
- Mahmudati, N., Wahyono, P., & Djunaedi, D. (2020). Antioxidant activity and total phenolic content of three varieties of Ginger (*Zingiber officinale*) in decoction and infusion extraction method. *Journal of physics. Conference series*, 1567(2), 022028. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1567/2/022028>
- Mao, Q.-Q., Xu, X.-Y., Cao, S.-Y., Gan, R.-Y., Corke, H., Beta, T., & Li, H.-B. (2019). Bioactive Compounds and Bioactivities of Ginger (*Zingiber officinale* Roscoe). *Foods*, 8(6), 185. <https://doi.org/10.3390/foods8060185>

- Martinelli, E., Granato, D., Azevedo, L., Gonçalves, J. E., Lorenzo, J. M., Munekata, P. E. S., Simal-Gandara, J., Barba, F. J., Carrillo, C., Riaz Rajoka, M. S., & Lucini, L. (2021). Current perspectives in cell-based approaches towards the definition of the antioxidant activity in food. *Trends in Food Science & Technology*, *116*, 232–243. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.07.024>
- Mazyan, W. I., O'Connor, E., Martin, E., Vogt, A., Charter, E., & Ahmadi, A. (2021). Effects of temperature and extraction time on avocado flesh (*Persea americana*) total phenolic yields using subcritical water extraction. *Processes*, *9*(1), 159. <https://doi.org/10.3390/pr9010159>
- Mohapatra, G. N., Tripathy, B., Kumar, B. V. V. R., Chowdhury, B., & Das, R. (2021). Review on methods used to determine antioxidant activity of *Origanum majorana*. *Current Nutrition and Food Science*, *17*. <https://doi.org/10.2174/1573401317666211110104812>
- Mohd Sahardi, N. F. N., Jaafar, F., Mad Nordin, M. F., & Makpol, S. (2020). Zingiber officinale Roscoe prevents cellular senescence of myoblasts in culture and promotes muscle regeneration. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine: ECAM*, *2020*, 1787342. <https://doi.org/10.1155/2020/1787342>
- Mokhtar, N., Nordin, M. F. M., & Morad, N. (2018). Total Phenolic Content, Total Flavonoid Content and Radical Scavenging Activity from Zingiber zerumbet Rhizome using Subcritical Water Extraction. *International Journal of Engineering*, *31*(8), 1421–1429. https://www.ije.ir/article_73263_a2c983d8d7e9dd24f79c6eb632e9a19e.pdf
- Murphy, A., Norton, E., Montgomery, F., K. Jaiswal, A., & Jaiswal, S. (2020). Ultrasound-Assisted Extraction of Polyphenols from Ginger (*Zingiber officinale*) and Evaluation

- of its Antioxidant and Antimicrobial Properties. *Journal of Food Chemistry and Nanotechnology*, 6(2), 88–96. <https://doi.org/10.17756/jfcn.2020-088>
- Mustafa, I., & Chin, N. L. (2023). Antioxidant Properties of Dried Ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) var. Bentong. *Foods*, 12(1), 178. <https://doi.org/10.3390/foods12010178>
- Nastić, N., Švarc-Gajić, J., Delerue-Matos, C., Barroso, M. F., Soares, C., Moreira, M. M., Morais, S., Mašković, P., Gaurina Srček, V., Slivac, I., Radošević, K., & Radojković, M. (2018). Subcritical water extraction as an environmentally-friendly technique to recover bioactive compounds from traditional Serbian medicinal plants. *Industrial Crops and Products*, 111, 579–589. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.11.015>
- National Center for Biotechnology Information (2023). *PubChem Compound Summary for CID 442793, Gingerol*. Obtenido el 23 de enero de 2023 de: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Gingerol>
- Nourbakhsh Amiri, Z., Najafpour, G. D., Mohammadi, M., & Moghadamnia, A. A. (2018). Subcritical Water Extraction of Bioactive Compounds from Ginger (*Zingiber officinale* Roscoe). *International Journal of Engineering*, 31(12), 1991-2000.
- Pereira, S. G., Gomes-Dias, J. S., Pereira, R. N., Teixeira, J. A., & Rocha, C. M. R. (2023). Innovative processing technology in agar recovery: Combination of subcritical water extraction and moderate electric fields. *Innovative Food Science & Emerging Technologies: IFSET: The Official Scientific Journal of the European Federation of Food Science and Technology*, 84(103306), 103306. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103306>
- Pinto, D., Vieira, E. F., Peixoto, A. F., Freire, C., Freitas, V., Costa, P., Delerue-Matos, C., & Rodrigues, F. (2021). Optimizing the extraction of phenolic antioxidants from chestnut

- shells by subcritical water extraction using response surface methodology. *Food Chemistry*, 334(127521), 127521. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127521>
- Plaza, M., & Marina, M. L. (2021). Pressurized hot water extraction of bioactives. En *Comprehensive Foodomics* (pp. 771–785). Elsevier.
- Prabhakaran Nair, K. (2019). *Turmeric (Curcuma longa L.) and Ginger (Zingiber o cinale Rosc.) - World's Invaluable Medicinal Spices*. Springer Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-29189-1>
- Razak, A. M., Zakaria, S. N. A., Abdul Sani, N. F., Ab Rani, N., Hakimi, N. H., Mohd Said, M., Tan, J. K., Gan, H. K., Mad Nordin, M. F., & Makpol, S. (2023). A subcritical water extract of soil grown *Zingiber officinale* Roscoe: Comparative analysis of antioxidant and anti-inflammatory effects and evaluation of bioactive metabolites. *Frontiers in pharmacology*, 14. <https://doi.org/10.3389/fphar.2023.1006265>
- Rostamkhani, H., Faghfour, A. H., Veisi, P., Rahmani, A., Noshadi, N., & Ghoreishi, Z. (2022). The protective antioxidant activity of ginger extracts (*Zingiber Officinale*) in acute kidney injury: A systematic review and meta-analysis of animal studies. *Journal of Functional Foods*, 94(105111), 105111. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2022.105111>
- Rudjito, R. C., Matute, A. C., Jiménez-Quero, A., Olsson, L., Stringer, M. A., Krogh, K. B. R. M., Eklöf, J., & Vilaplana, F. (2024). Integration of subcritical water extraction and treatment with xylanases and feruloyl esterases maximises release of feruloylated arabinoxylans from wheat bran. *Bioresource Technology*, 395(130387), 130387. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2024.130387>
- Sánchez-González, G., Castro-Rumiche, C., Álvarez-Guzmán, G., Flores-García, J., & Barriga-Sánchez, M. (2019). Compuestos fenólicos y actividad antioxidante de los

- extractos de la hoja de chirimoya (*Annona cherimola* Mill). *Revista colombiana de química*, 48(2), 21–26. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v48n2.76029>
- Santos-Braga, S. (2019). Ginger: Panacea or consumer's hype? *Applied Sciences*, 9(8), 1570. <https://doi.org/10.3390/app9081570>
- Shirahigue, L. D., & Ceccato-Antonini, S. R. (2020). Agro-industrial wastes as sources of bioactive compounds for food and fermentation industries. *Ciencia rural*, 50(4). <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20190857>
- Siddeeg, A., AlKehayez, N. M., Abu-Hiamed, H. A., Al-Sanea, E. A., & Al-Farga, A. M. (2021). Mode of action and determination of antioxidant activity in the dietary sources: An overview. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(3), 1633–1644. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.11.064>
- Silva, S. P., Ferreira-Santos, P., Lopes, G. R., Reis, S. F., González, A., Nobre, C., Freitas, V., Coimbra, M. A., & Coelho, E. (2024). Industrial byproduct pine nut skin factorial design optimization for production of subcritical water extracts rich in pectic polysaccharides, xyloglucans, and phenolic compounds by microwave extraction. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 7(100508), 100508. <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2024.100508>
- Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R. M. (1999). 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)
- Siti Nur Khairunisa, M. A., Mad Nordin, M. F., Shameli, K., Mohamad Abdul Wahab, I., & Abdul Hamid, M. (2020). Modeling and optimization of pilot-scale subcritical water extraction on Zingiber zerumbet by central composite design. *IOP conference series*.

Materials science and engineering, 778(1), 012077. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/778/1/012077>

Siti Nur Khairunisa, M. A., Mad Nordin, M. F., Shameli, K., Mohamad Abdul Wahab, I., & Abdul Hamid, M. (2021). Evaluation of parameters for subcritical water extraction of Zingiber zerumbet using fractional factorial design. *Jurnal teknologi*, 83(2), 143–150. <https://doi.org/10.11113/jurnalteknologi.v83.14545>

Sulejmanović, M., Milić, N., Mourtzinou, I., Nastić, N., Kyriakoudi, A., Drljača, J., & Vidović, S. (2024). Ultrasound-assisted and subcritical water extraction techniques for maximal recovery of phenolic compounds from raw ginger herbal dust toward in vitro biological activity investigation. *Food Chemistry*, 437(137774), 137774. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137774>

Švarc-Gajić, J., Cvetanović, A., Segura-Carretero, A., Linares, I. B., & Mašković, P. (2017). Characterisation of ginger extracts obtained by subcritical water. *The Journal of Supercritical Fluids*, 123, 92–100. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2016.12.019>

Thepthong, P., Rattakarn, K., Ritchaiyaphum, N., Intachai, S., & Chanasit, W. (2023). Effect of extraction solvents on antioxidant and antibacterial activity of Zingiber montanum rhizomes. *ASEAN Journal of Scientific and Technological Reports*, 26(3), 1–9. <https://doi.org/10.55164/ajstr.v26i3.249309>

Trigueros, E., Benito-Román, Ó., Oliveira, A. P., Videira, R. A., Andrade, P. B., Sanz, M. T., & Beltrán, S. (2024). Onion (*Allium cepa* L.) skin waste valorization: Unveiling the phenolic profile and biological potential for the creation of bioactive agents through subcritical water extraction. *Antioxidants*, 13(2), 205. <https://doi.org/10.3390/antiox13020205>

- Yabalak, E., Aminzai, M. T., Gizir, A. M., & Yang, Y. (2024). A review: Subcritical water extraction of organic pollutants from environmental matrices. *Molecules*, *29*(1), 258. <https://doi.org/10.3390/molecules29010258>
- Yilmaz-Turan, S., Gál, T., Lopez-Sanchez, P., Martinez, M. M., Menzel, C., & Vilaplana, F. (2023). Modulating temperature and pH during subcritical water extraction tunes the molecular properties of apple pomace pectin as food gels and emulsifiers. *Food Hydrocolloids*, *145*(109148), 109148. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.109148>
- You, H., Ireland, B., Moeszinger, M., Zhang, H., Snow, L., Krepich, S., & Takagawa, V. (2019). Determination of bioactive nonvolatile ginger constituents in dietary supplements by a rapid and economic HPLC method: Analytical method development and single-laboratory validation. *Talanta*, *194*, 795–802. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2018.10.075>
- Yulianto, M., Kusumo, P., Hartati, I., & Wahyuningsih, A. (2017). Subcritical water extraction of gingerol from *Zingiber officinale*. *Rasayan Journal of Chemistry*, *10*(3), 738-743. <http://dx.doi.org/10.7324/RJC.2017.1031619>
- Zhang, Q.-W., Lin, L.-G., & Ye, W.-C. (2018). Techniques for extraction and isolation of natural products: a comprehensive review. *Chinese Medicine*, *13*(20). <https://doi.org/10.1186/s13020-018-0177-x>

VII. ANEXOS

Anexo A. Detalle de condiciones de extracción y descarga

Muestra Cáscaras de jengibre en polvo

M1		M2		M3	
Condiciones		Condiciones		Condiciones	
T	100 °C	T	115 °C	T	115 °C
t op	15 min	t	30 min	t	30 min
dp	B μm	dp	B μm	dp	B μm
P	20 bar	P	20 bar	P	20 bar
Vi	1092 mL	Vi	1088 mL	Vi	1091 mL
Vf	882 mL	Vf	866 mL	Vf	870 mL
muestra	40 g aprox.	muestra	40 g aprox.	muestra	40 g aprox.
perlas	525 g aprox.	perlas	525 g aprox.	perlas	525 g aprox.
<u>Perlas (g)</u>	<u>Muestra (g)</u>	<u>Perlas (g)</u>	<u>Muestra (g)</u>	<u>Perlas (g)</u>	<u>Muestra (g)</u>
100.66	10.06	100.10	10.10	100.13	10.06
100.89	10.08	100.58	10.04	100.44	10.09
100.89	9.99	100.20	10.18	100.43	10.06
100.29	9.89	100.51	9.74	100.1	9.8
125.43	40.02	125.27	40.06	125.66	40.01
528.16		526.66		526.76	
descarga	9 min	descarga	12 min	descarga	11 min

M4		M5		M6	
Condiciones		Condiciones		Condiciones	
T	100 °C	T	115 °C	T	115 °C
t	30 min	t	30 min	t	45 min
dp	C μm	dp	B μm	dp	A μm
P	20 bar	P	20 bar	P	20 bar
Vi	1083 mL	Vi	1095 mL	Vi	1083 mL
Vf	846 mL	Vf	878 mL	Vf	892 mL
muestra	40 g aprox.	muestra	40 g aprox.	muestra	40 g aprox.
perlas	525 g aprox.	perlas	525 g aprox.	perlas	525 g aprox.
<u>Perlas (g)</u>	<u>Muestra (g)</u>	<u>Perlas (g)</u>	<u>Muestra (g)</u>	<u>Perlas (g)</u>	<u>Muestra (g)</u>
100.17	10.02	100.13	10.07	100.24	10.25
100.18	10.01	100.52	10.27	100.08	10.11
100.08	10.02	100.08	10.00	100.01	10.06
100.11	9.96	100.71	9.70	100.76	9.6
125.93	40.01	125.30	40.04	125.14	40.02
526.47		526.74		526.23	
descarga	12 min	descarga	13 min	descarga	12 min

M7	M8	M9
Condiciones	Condiciones	Condiciones

T	130 °C	T	130 °C	T	115 °C
t	30 min	t	15 min	t	45 min
dp	A µm	dp	B µm	dp	C µm
P	20 bar	P	20 bar	P	20 bar
Vi	1110 mL	Vi	1057 mL	Vi	1093 mL
Vf	874 mL	Vf	850 mL	Vf	852 mL
muestra	40 g aprox.	muestra	40 g aprox.	muestra	40 g aprox.
perlas	525 g aprox.	perlas	525 g aprox.	perlas	525 g aprox.
<hr/>		<hr/>		<hr/>	
Perlas (g)	Muestra (g)	Perlas (g)	Muestra (g)	Perlas (g)	Muestra (g)
100.45	10.15	100.01	10.10	100.31	10.02
100.12	9.98	100.65	10.02	100.15	9.99
100.05	9.93	100.31	10.00	100.25	10.19
100.12	9.95	100.38	9.91	100.64	9.80
125.54	40.01	125.72	40.03	125.62	40
526.28		527.07		526.97	
<hr/>		<hr/>		<hr/>	
descarga	12 min	descarga	8 min	descarga	11 min

M10		M11		M12	
Condiciones		Condiciones		Condiciones	
T	115 °C	T	130 °C	T	100 °C
t	15 min	t	30 min	t	45 min
dp	A µm	dp	C µm	dp	B µm
P	20 bar	P	20 bar	P	20 bar
Vi	1083 mL	Vi	1081 mL	Vi	1081 mL
Vf	900 mL	Vf	822 mL	Vf	871 mL
muestra	40 g aprox.	muestra	40 g aprox.	muestra	40 g aprox.
perlas	525 g aprox.	perlas	525 g aprox.	perlas	525 g aprox.
<hr/>		<hr/>		<hr/>	
Perlas (g)	Muestra (g)	Perlas (g)	Muestra (g)	Perlas (g)	Muestra (g)
100.83	10.02	100.84	10.2	100.12	10.13
100.04	10.35	100.85	10.08	100.29	10.03
100	10.09	100.34	10.22	100.28	10.27
100.16	9.61	100.32	9.51	100	9.58
125.43	40.07	125.39	40.01	125.04	40.01
526.46		527.74		525.73	
<hr/>		<hr/>		<hr/>	
descarga	11 min	descarga	12 min	descarga	12 min

M13		M14		M15	
Condiciones		Condiciones		Condiciones	
T	115 °C	T	115 °C	T	130 °C

t	30 min	t	15 min	t	45 min
dp	B μm	dp	C μm	dp	B μm
P	20 bar	P	20 bar	P	20 bar
Vi	1096 mL	Vi	1083 mL	Vi	1082 mL
Vf	872 mL	Vf	870 mL	Vf	860 mL
muestra	40 g aprox.	muestra	40 g aprox.	muestra	40 g aprox.
perlas	525 g aprox.	perlas	525 g aprox.	perlas	525 g aprox.
<u>Perlas (g)</u>	<u>Muestra (g)</u>	<u>Perlas (g)</u>	<u>Muestra (g)</u>	<u>Perlas (g)</u>	<u>Muestra (g)</u>
100.68	10.11	100.12	10.03	100.13	10.66
100.89	10.13	100.15	10.35	100.25	10.12
100.16	10.63	100.2	10.24	100.56	10.16
100.22	9.15	100.68	9.44	100.39	9.13
125.93	40.02	125.46	40.06	125.25	40.07
527.88		526.61		526.58	
descarga	13 min	descarga	12 min	descarga	15 min

M16

Condiciones	
T	100 °C
t	30 min
dp	A μm
P	20 bar
Vi	1110 mL
Vf	886 mL
muestra	40 g aprox.
perlas	525 g aprox.
<u>Perlas (g)</u>	<u>Muestra (g)</u>
100.05	10.11
100.41	10
100.28	10.33
100.22	9.59
125.32	40.03
526.28	
descarga	13 min

Anexo B. Detalle de la muestra y equipos



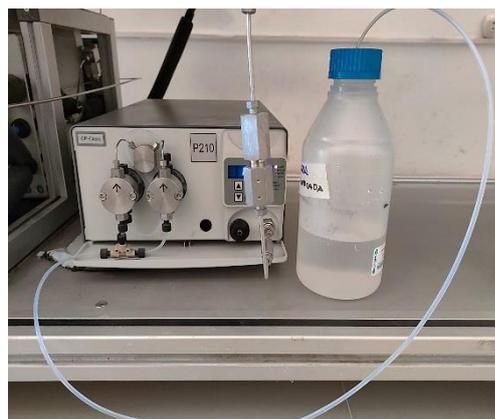
Muestra molida y tamizada, de menor tamaño de partícula (izquierda) a mayor tamaño (derecha)



Laboratorio de compuestos bioactivos, ITP, Ventanilla, Callao



Detalle de la celda de extracción del equipo TOP
INDUSTRIE 2802 0000



Detalle de la bomba co-solvente del equipo TOP
INDUSTRIE 2802 0000



Sonicación de agua a 50Hz x 30 min, equipo
Symphony. Laboratorio de Química, ITP.



Tamizadora eléctrica SIEMENS serie G-13.
Laboratorio de Compuestos Bioactivos, ITP.

Anexo C. Detalle procedimental



a) Pesado y acondicionado de jengibre (*Zingiber officinale*)



b) Procedimiento de lavado y desinfección



c) Procedimiento de secado de las cáscaras, realizado en estufa



d) Procedimiento de molienda, previo al tamizado



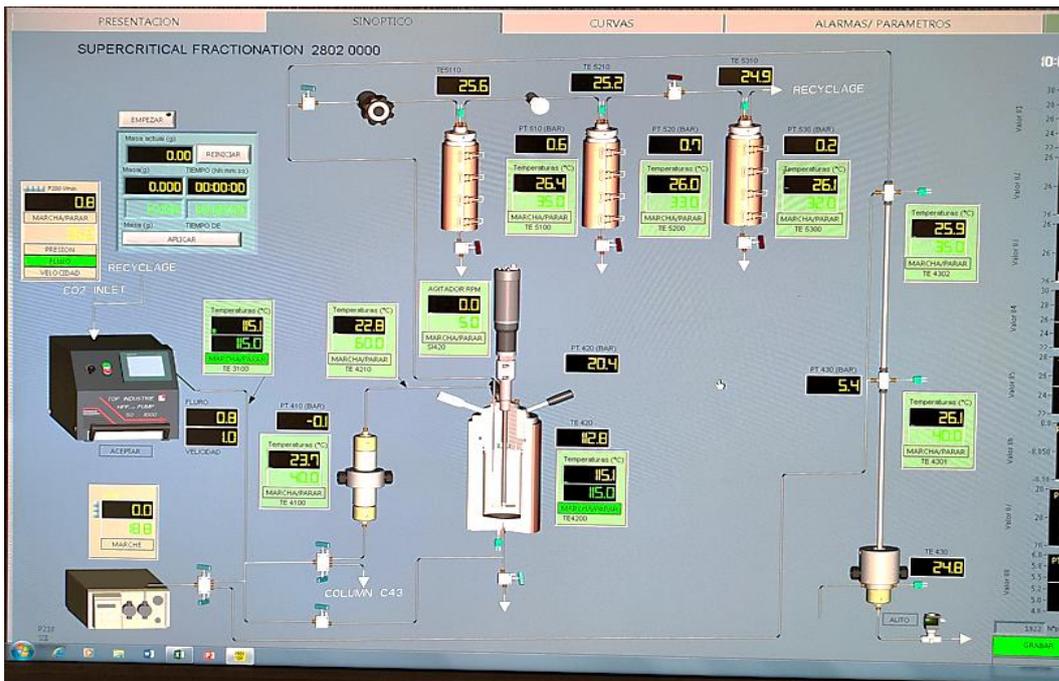
e) Obtención de muestras de cáscaras secas de jengibre (100g en cada envase, al vacío)



f) Equipo de extracción a alta presión y temperatura TOP INDUSTRIE 2802 0000. Laboratorio de compuestos bioactivos, ITP, Callao, Callao.



g) Preparación de cada muestra para su carga en el reactor del equipo e inicio de cada corrida experimental



h) Control del equipo, acondicionado y establecimiento de parámetros experimentales



i) Preparación de muestras para ensayo CFT (Folin-Ciocalteu) y actividad antioxidante (método DPPH). Laboratorio de química, ITP, Ventanilla, Callao.



j) Lectura de muestras en espectrofotómetro, THERMOSCIENTIFIC Genesys 180 UV-Vis. Laboratorio de química, ITP, Ventanilla, Callao.