



UNIVERSIDAD
**SAN IGNACIO
DE LOYOLA**

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería en Industrias Alimentarias

PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS Y ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE EN EL ACEITE EXTRAÍDO DE QUINUA EN POLVO (*CHENOPODIUM QUINOA WILLD*) MEDIANTE CO₂ SUPERCRÍTICO CON ETANOL COMO CO-DISOLVENTE

**Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero
en Industrias Alimentarias**

LEA CAROLINA ESTRADA CABANILLAS
(0000-0001-6915-5797)

Asesor:
Ing. Luis Alberto Olivera Montenegro
(0000-0002-0151-7031)

Lima - Perú
2021

JURADO DE LA SUSTENTACIÓN ORAL

.....
Presidente

.....
Jurado 1

.....
Jurado 2

Entregado el _____

Aprobado por:

.....
Graduando 1: Lea Carolina Estrada Cabanillas

.....
Asesor de Tesis: Luis Olivera Montenegro

UNIVERSIDAD SAN IGNACIO DE LOYOLA

FACULTAD DE INGENIERIA

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Lea Carolina Estrada Cabanillas, identificada con DNI N° 72074782 Bachiller del Programa Académico de la Carrera de Ingeniería Industrias Alimentarias de la Facultad de Ingeniería de la Universidad San Ignacio de Loyola, presento mi tesis titulada: “Perfil de Ácidos Grasos y Actividad Antioxidante en el Aceite extraído de Quinoa en polvo (*chenopodium quinoa willd.*) mediante CO₂ Supercrítico con Etanol como co-disolvente”.

Declaro en honor a la verdad, que el trabajo de tesis es de mi autoría; que los datos, los resultados y su análisis e interpretación, constituyen mi aporte. Todas las referencias han sido debidamente consultadas y reconocidas en la investigación.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad u ocultamiento de la información aportada. Por todas las afirmaciones, ratifico lo expresado, a través de mi firma correspondiente.

Lima, 13 de octubre de 2021



.....
Lea Carolina Estrada Cabanillas
DNI N° 72074782

Índice de contenidos

<i>Índice de tablas</i>	1
<i>Índice de Figuras</i>	1
<i>Indice de anexos</i>	1
<i>Dedicatoria</i>	1
<i>Agradecimiento</i>	1
<i>Resumen</i>	1
<i>Abstract</i>	1
<i>Introducción</i>	1
1. Capítulo 1: Problema de investigación	3
1.1. <i>Planteamiento del problema</i>	3
1.2. <i>Formulación del problema</i>	4
1.2.1. <i>Problema general</i>	4
1.2.2. <i>Preguntas específicas</i>	4
2. Capítulo 2: Justificación de la investigación	5
2.1. <i>Delimitación de la investigación</i>	6
3. Capítulo 3: Marco Referencial	7
3.1. <i>Antecedentes de la investigación</i>	7
3.2. Marco Teórico	10
3.2.1. <i>Generalidades de la Quinoa</i>	10
3.2.2. <i>Variedades de la Quinoa</i>	11
3.2.3. <i>Composición química de la quinoa</i>	13
3.2.5. <i>Aceites de semilla</i>	18
3.2.6. Métodos de extracción de aceites de semilla	18
3.2.7. <i>Fluidos supercríticos</i>	20
3.2.8. <i>Antioxidantes</i>	22
3.2.9. <i>Cosolvente</i>	22
3.2.10. <i>Etanol</i>	23
3.3. Objetivos	23
3.3.1. <i>Objetivo general</i>	23
3.3.2. <i>Objetivos específicos</i>	23
4. Capítulo 4: Diseño Metodológico	24
4.1. <i>Diseño de la investigación</i>	24
4.2. <i>Muestra de quinoa</i>	24
4.3. <i>Reactivos</i>	25

4.4.	Equipos	25
4.5.	Proceso de extracción por fluidos supercríticos	26
4.6.	Determinación de compuestos fenólicos	27
4.7.	Determinación de la actividad antioxidante total mediante DPPH'	28
4.8.	Análisis del perfil de ácidos grasos	29
4.9.	Ensayos de la calidad nutricional del aceite de quinua.....	30
5.	<i>Capítulo 5: Resultados y discusión.....</i>	<i>31</i>
5.1.	Obtención de aceite de quinua a partir de la fracción etanólica.....	31
5.2.	Contenido de compuestos fenólicos totales del aceite de quinua	34
5.3.	Actividad antioxidante total del aceite de quinua.....	36
5.4.	Análisis de ácidos grasos del aceite de quinua	41
5.5.	Evaluación de la calidad nutricional del aceite de quinua	45
	<i>Capítulo 5: Conclusiones.....</i>	<i>47</i>
	<i>Capítulo 6: Recomendaciones</i>	<i>48</i>
	<i>Referencias</i>	<i>49</i>
	<i>Anexos</i>	<i>52</i>

Índice de tablas

Tabla 1 Variedades comerciales de Quinoa en el Perú-----	12
Tabla 2 Continúa-----	13
Tabla 3 Principales semillas oleaginosas: suministro y distribución mundial (Millones de Toneladas Métricas)-----	17
Tabla 4 Rendimiento de aceite de quinua en cosolvente (etanol) post extracción con CO2 supercrítico.-----	32
Tabla 5 Comparación del contenido de compuestos fenólicos totales en el aceite de quinua y otros aceites vegetales (mg GAE/kg de aceite de quinua, chía) y mg CAE/kg de aceite de linaza) -----	34
Tabla 6 Perfil de ácidos grasos expresado en mg/g-----	42
Tabla 7 Perfil de ácidos grasos expresado en valor relativo porcentual-----	42
Tabla 8 Resultado de ácidos grasos obtenidos por Soxhlet y FSC -----	43
Tabla 9 Contenido porcentual de ácidos grasos en aceite de quinua y otros aceites vegetales -----	44

Índice de Figuras

<i>Figura 1</i> Parámetros de la <i>Quinoa Blanca de Hualhuas</i> -----	25
<i>Figura 2</i> Diagrama esquemático del sistema de extracción mediante fluido supercrítico <i>CO₂</i> y cosolvente (<i>etanol</i>)-----	27
<i>Figura 3</i> Actividad del porcentaje de inhibición del radical <i>DPPH•</i> de aceite de <i>quinua</i> -----	38
<i>Figura 4</i> Cromatograma de <i>FAME's</i> del perfil de ácidos grasos del aceite de <i>Quinoa Hualhuas</i> -----	52

Indice de anexos

<i>Anexo 1 Cromatograma de FAME'S</i> -----	52
<i>Anexo 2 Poster de Ácidos grasos y actividad antioxidante de la harina de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) obtenido por CO2 supercrítico y etanol como co-solvente</i> -----	53

Dedicatoria

A Dios.

A mi familia.

*Por ser mi fuente de motivación,
apoyo incondicional y darme palabras de aliento.*

A mi fiel compañero de cuatro patas, Canelo.

Agradecimiento

En primer lugar doy gracias a Dios por la vida y por permitir que llegue a alcanzar mi meta.

Agradezco a mis padres por haber creído en mi, haberme apoyado incondicionalmente y por el apoyo económico para sufragar los gastos del Congreso Euro Fed lipid 2019 (Sevilla, España).

A mis hermanos, por sus consejos en todo momento y por su apoyo económico.

Gracias a mi tío Miguelon por su apoyo desinteresado cuando lo necesité.

Agradezco a mi asesor, Msc. Luis Olivera Montenegro por haber entregado su tiempo y sus conocimientos durante su mentoría.

De igual manera, agradezco al Ph.D Fernando Ramos Escudero, por haberme contribuido con sus conocimientos en los estudios del aceite de quinua.

Finalmente, agradezco a mis compañeros de la universidad y del trabajo por haberme apoyado emocionalmente y darme palabras de aliento para culminar mi tesis.

Resumen

Fundamento y objetivos: La quinua es un pseudocereal con un valor nutricional excepcional, alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados y fitoquímicos beneficiosos para la salud y una actividad biológica. En este trabajo evaluamos la extracción de quinua (*Chenopodium quinoa Willd.*) en polvo mediante extracción con CO₂ supercrítico y la adición de etanol como codisolvente destinado a la recuperación de aceite y componentes bioactivos. Métodos: El experimento se realizó a 55 ° C y 23 MPa, utilizando etanol (7-8 g de quinua / 100 mL). Todas las corridas se realizaron a un flujo másico de CO₂ de 35 g / min y tiempo de extracción de 240 min. El tamaño de partícula de quinua fue de 500 µm. El perfil de ácidos grasos, el contenido de compuestos fenólicos y la actividad antioxidante del aceite extraído fue analizado por espectroscopia GC-FID y UV-vis. Resultado: perfil de ácidos grasos fue el siguiente: C14: 0 (0.31%), C16: 0 (10.01%), C18: 0 (0.68), C18: 1w-9 (23.53), C18: 1w-7 (0,94%), C18: 2w-6 (49,56%) y C18: 3w-3 (3,69). El contenido de fenoles totales fue cuantificado utilizando el reactivo de Folin-Ciocalteu, arrojando un valor de 342,87 mg/kg y la cantidad de muestra la masa requerida para inhibir el 50% de los radicales libres DPPH fue de 0,27 mg. Conclusiones: En resumen, concluimos que el uso de extracciones supercríticas de CO₂ y la adición de etanol como codisolvente es una tecnología verde interesante para la extracción de compuestos biológicos.

Abstract

Background and aims: Quinoa is a pseudo-cereal with exceptional nutritional value, high health-beneficial phytochemical and polyunsaturated fatty acid contents and a proven biological activity. In this work, we evaluated the extraction of quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*) powder using supercritical CO₂ extraction and the addition of ethanol as cosolvent aiming the recovery of oil and bioactive components. Methods: The experiment was performed at 55°C and 23 MPa, using ethanol (7-8 g of quinoa/100 mL). All runs were at CO₂ mass flow of 35 g/min and extraction time of 240 min. The quinoa particle size was 500 µm. The fatty acid profile, content of phenolic compounds and antioxidant activity of the extracted oil was analyzed by GC-FID and UV-vis spectroscopy. Result: Fatty acid profile was as follows: C14:0 (0.31%), C16:0 (10.01%), C18:0 (0.68), C18:1w-9 (23.53), C18:1w-7 (0.94%), C18:2w-6 (49.56%) and C18:3w-3 (3.69). The total phenolic content assessed by Folin-Ciocalteu reagent was 342.87 mg/kg and the amount of sample mass required to inhibit 50% of DPPH free radicals was 0.27 mg. Conclusions: To summarize, we conclude that the use supercritical CO₂ extractions and the addition of ethanol as cosolvent is interesting green technology for extraction of high-value biological compounds.

Introducción

La quinua es una planta andina originaria del lago Titicaca del Perú y Bolivia. Esta planta andina tiene como antecedentes el haber sido utilizada por los prehispánicos y con la llegada de los españoles al Perú, llegó a ser constituida parte del alimento básico de la población desde esa época. (FAO, 2001)

De acuerdo con el [Ministerio de Agricultura y Riego \(MINAGRI\) \(2015\)](#) Se le considera a la quinua como un pequeño grano cuyo nombre científico es *Chenopodium Quinoa Willd.*, donde esta planta andina se caracteriza por ser un producto de alto contenido de macronutrientes, aminoácidos y minerales.

Debido al alto valor nutricional que posee la quinua, existen investigaciones acerca del aprovechamiento de este grano, desde las distintas formas de aplicación en la industria alimentaria, como en la industria farmacéutica. Es por ello que existen autores que han estudiado las características y la calidad nutricional del aceite de quinua y de otros cereales andinos por medio de distintos métodos de extracción.

La investigación de [Benito-Román et al., \(2018\)](#), estudió la calidad del aceite de distintas variedades de quinua extraídos por el método de fluidos supercríticos, en base a términos de los valores de la actividad antioxidante, perfil de ácidos grasos y el contenido de tocoferoles en dichos aceites. Las variedades de quinua que utilizó dicho estudio fueron: Quinua Titikaka, Altiplano, Collana y Pasankalla.

Dicho estudio confirma que es factible el aprovechamiento del valor nutricional de los aceites de quinua debido a las altas concentraciones de compuestos bioactivos que arroja cada variedad de grano de quinua.

En la actualidad existen diferentes procesos de extracción del aceite de quinua en polvo, entre ellos existen tres procedimientos más practicados en el rubro alimentario, los cuales son, la prensa hidráulica, prensa de expulsión y extracción utilizando solventes. Sin embargo, existe un proceso novedoso, el cual extrae la muestra por fluidos supercríticos, el cual consiste en someter dicha muestra a una temperatura y presión más elevada de su punto crítico termodinámico. Este último método de extracción se caracteriza por difundirse a través de los sólidos como un gas y puede disolver un elemento como un líquido. Además, a través de los fluidos supercríticos, se puede cambiar fácilmente la densidad con pequeñas variaciones de condiciones de temperatura o presión. Estas características convierten al método de extracción por fluidos supercríticos una opción viable como sustituto de los solventes orgánicos en métodos de extracción. (Velasco, Villada y Carrera, 2007)

En esta investigación se utiliza la solución etanólica, el cual es el residuo propio del resultado de la extracción del aceite de la quinua en polvo, la cual ha sido extraída por el proceso de fluidos supercríticos, haciendo uso del etanol como cosolvente, siendo el residuo etanólico el objeto de estudio, a fin de comprobar la existencia de los compuestos bioactivos dentro de dicho residuo.

1. Capítulo 1: Problema de investigación

1.1. Planteamiento del problema

Actualmente las tecnologías de extracción de quinua se preocupan por obtener un mayor grado de rendimiento porcentual en los procesos. Existen procesos de extracción tradicionales con baja posibilidad de separación de los componentes sin alterar la composición del alimento, con alto grado de toxicidad, solventes altamente contaminantes para el medio ambiente, con riesgo de incendios y/o explosiones y en caso de someter la muestra al calor durante el proceso de extracción, provocaría como desventaja la destrucción térmica de algunos componentes por extraer.

De acuerdo con [Vicente Gianna \(2013\)](#) existen otras tecnologías como el método de extracción utilizando fluidos supercríticos, el cual se caracteriza por su potencial en disolver y penetrar los sólidos, lo que permite una extracción completa, que con el caudal y/o tiempo de extracción idóneo se puede obtener la extracción total de los sólidos. A través de variaciones de la temperatura o presión se puede separar completamente de los extractos.

Es por ello que las tecnologías de extracción de quinua hoy en día utilizan estos procesos industriales más sofisticados, tal como el método de extracción utilizando fluidos supercríticos, el cual tiene por objetivo el de obtener concentraciones de quinua más puros y sin pérdidas de compuestos bioactivos propios del alimento. Sin embargo, los residuos etanólicos sobrantes que quedan al finalizar el proceso por CO₂ supercrítico son desechados pese a contener cantidades de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante, ambos propiamente característicos del grano andino.

Actualmente podemos citar que en otros países se está investigando acerca de las mejoras con respecto a la eficiencia en la extracción por fluidos supercríticos a partir de los residuos etanólicos que resulten del proceso.

Esta investigación pretende demostrar la utilidad del residuo generado por la extracción de fluidos supercríticos de la harina de quinua, que se entiende como subproducto, encontrándose como residuo etanólico y utilizando este residuo como material de estudio para darle mayor eficiencia al proceso de extracción por fluidos supercríticos, llevando a cabo un perfil de ácidos grasos y actividad antioxidante del subproducto.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Es factible el aprovechamiento del residuo obtenido a partir de la extracción de harina de quinua por fluidos supercríticos?

1.2.2. Preguntas específicas

¿Los residuos etanólicos de la extracción de harina de quinua por fluidos supercríticos contienen valores altos de fenoles, ácidos grasos y actividad antioxidante?

¿De qué manera se pueden evaluar la calidad nutricional de dichos residuos etanólicos?

2. Capítulo 2: Justificación de la investigación

Según Velasco, Villada y Carrera (2007), declaran que usualmente el CO₂ es el fluido supercrítico que más se utiliza debido a sus características. El CO₂ no es tóxico, no es inflamable, no es corrosivo, es incoloro, no se obtiene a un precio elevado, es de fácil eliminación, no deja residuos, se puede someter a condiciones críticas fácilmente y se puede conseguir con diferentes grados de pureza del fluido. Además, utilizando el CO₂ como fluido supercrítico es posible trabajar a baja temperatura, por lo que es factible separar los compuestos termolábiles, se logra obtenerse a partir de procesos de fermentación alcohólica y también ayuda previniendo de la degradación térmica de los alimentos al momento de la extracción.

En esta investigación se realizará un estudio de ácidos grasos provenientes del extracto de quinua en polvo (*Chenopodium quinoa willd.*) obtenido mediante CO₂ supercrítico y etanol como cosolvente, obteniéndose como resultado de la extracción de la harina de quinua utilizando el método de fluidos supercríticos, donde este procedimiento deja un subproducto, el cual será materia de estudio.

Este subproducto es conocido como residuo etanólico, compuesto por compuestos bioactivos de la quinua y el cosolvente, que es el etanol, donde éste último desarrolla el papel de modificador de polaridad, donde los parámetros utilizados en el proceso de CO₂ supercríticos fueron de 7-8g de quinua/100 ml de etanol.

Para lograr cuantificar la presencia de ácidos grasos en los compuestos bioactivos situados en los residuos etanólicos, se realizó el método de Ichihara y Fukubayashi, este proceso arroja la cantidad de ácidos grasos totales que contiene el residuo, donde

previamente se extrajo el aceite y se separó del etanol. Por otro lado, para determinar la capacidad antioxidante, se realiza lectura de la cantidad polifenólica a través de las absorbancias y estas se leen a través del espectrofotómetro.

Las ventajas de utilizar los residuos etanólicos del procedimiento de extracción de harina de quinua por el método de fluidos supercríticos, es que se aprovecha al máximo la realización y eficiencia del proceso y se demuestra la importancia de este residuo para su futura utilización.

2.1. Delimitación de la investigación

Este trabajo de investigación se realizó en el periodo de marzo 2019 a setiembre 2019. Los extractos de harina de quinua extraídos por fluidos supercríticos fueron aportados por la Universidad San Ignacio de Loyola, donde se realizaron los ensayos de lectura de absorbancias de fenoles y la determinación de la actividad antioxidante total mediante el radical libre 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH*) y el ensayo de perfil de ácido graso se realizó en el Instituto del Mar del Perú (IMARPE).

La siguiente investigación busca comprobar la presencia de compuestos bioactivos en los residuos etanólicos propios del proceso de extracción de harina de quinua usando el método de extracción por fluidos supercríticos.

3. Capítulo 3: Marco Referencial

3.1. Antecedentes de la investigación

Existen investigaciones realizadas sobre extracciones de alimentos usando el método de fluidos supercríticos, donde se les encuentra resultados eficientes en comparación a los métodos convencionales de extracción.

Según [Makikado \(2020\)](#), se practicó el método de extracción de CO₂ con fluido supercrítico para extraer el aceite en las semillas de granada (*Punica granatum*). El objetivo de dicho estudio fue el de determinar el efecto del tratamiento térmico sobre la extracción, cuantificar la presencia de ácidos grasos, y la obtención de las características cromáticas y los dienos y trienos conjugados que se encuentran presentes en el aceite en las semillas de granada. De acuerdo con el autor, se afirma que, en todos los tratamientos, el ácido púnicico fue el mayor (41.23-48.37%), y el ácido palmítico, esteárico, oleico, linoleico, catálpico y β -eleosteárico se encontraron en menores proporciones. El estudio concluye que el aceite de semillas de granada puede ser utilizado como alimento funcional o nutracéutico por sus características benéficas al ingerir el ácido púnicico. ([Makikado 2020](#)).

De acuerdo con [Farías \(2015\)](#) se realizó un estudio donde se utilizó el método de extracción por fluidos supercríticos de los compuestos fenólicos obtenidos a partir del residuo de lías dentro del proceso de producción de pisco. Dentro de dicho estudio se comparó y evaluó la eficiencia de la extracción por fluidos supercríticos entre los métodos de extracción tradicionales, tales como el método Soxhlet y lecho agitado. Para la

extracción por fluidos supercríticos se utilizó etanol como cosolvente e igualmente se usó etanol como disolvente para las extracciones tradicionales.

El estudio realizado por Farías obtuvo mejor rendimiento dentro de los parámetros de 20 Mpa y 40° C, arrojando un rendimiento de extracción del $10,3 \pm 0,2$ %, b.s. Dentro de dicho estudio se realizó una cromatografía líquida de alta eficiencia (CLAE) con el objetivo de cuantificar los valores de los ácidos gálicos, protocateicos, vanílicos, siríngicos, derivador del ácido ferúlico y cumárico y hallar los valores de quercetina que se encuentran presentes en los extractos de lías. El estudio en mención concluye que el proceso de extracción supercrítica obtuvo mejores rendimientos en la obtención de compuestos fenólicos a partir de las lías de pisco y esto se debe a la concentración de dichos compuestos fenólicos. (Farías, 2015).

Según Rodríguez y Vásquez (2019), la extracción supercrítica con CO₂ que realizaron trajo como evidencia el potencial de extracción del etanol como cosolvente a partir de diferentes condiciones. Dicho estudio evaluó la extracción del etanol a partir de las temperaturas de 35, 42.5 y 50°C y presiones de 4000; 4350 y 4500 psi, de los cuales se logró comparar dichos parámetros a fin de obtener las condiciones más favorables para la extracción. Los 3 parámetros fueron evaluados en cuanto al potencial de extracción del etanol como cosolvente, el etanol utilizado fue el Acetonitrilo, Isopropanol. Finalmente, el estudio concluye que utilizando el etanol como cosolvente se obtiene un mejor rendimiento en el método de extracción supercrítica con CO₂. De igual manera, dicho estudio obtuvo el 17,30 % de aceite extraído utilizando el etanol como cosolvente, bajo los parámetros de 4500 psi y una temperatura de 50 °C.

De acuerdo con [Rodríguez y Vásquez \(2019\)](#), en su estudio se analizó la calidad nutricional del aceite obtenido de la muestra de maíz mediante el método de extracción por fluidos supercríticos con CO₂ haciendo uso del etanol como cosolvente evaluaron la calidad del aceite extraído de maíz, empleando el etanol como cosolvente, mediante la prueba de Anisidina, la cual consiste en evaluar la oxidación lipídica.

Según [Restrepo et al., \(2012\)](#) se realizó una investigación sobre las características fisicoquímicas, bromatológicas y microbiológicas de la palta fresca. Primero se preparó la materia prima, la cual pasó por un proceso de deshidratación utilizando 3 métodos, los cuales fueron liofilización, secado convectivo y por secado solar, obteniendo una humedad final del 10%. Posteriormente, en dicho estudio se realizaron 3 métodos de extracción del aceite de palta, los cuales se utilizó la extracción por fluido supercríticos y en las condiciones de 25 MPa, 313K, prensado en frío y soxhlet, respectivamente. Tras los resultados obtenidos de aceite de palta se procedió a determinar la calidad de estos aceites realizando el índice de acidez, índice de peróxido, índice de yodo, índice de saponificación y gravedad específica, según lo regula las normas para aceites vegetales (AOCS). Posterior a las extracciones, se evaluó las diferencias estadísticas con un valor de ($p > 0,05$) en cuanto al índice de acidez, peróxido, yodo y saponificación y resultado del análisis estadístico se ha comprobado que existen diferencias entre los tres métodos de extracción del aceite de palta. Por otro lado, en los resultados de la prueba de gravedad específica no se encontró variación significativa entre los 3 métodos de extracción. De los resultados del estudio se observó que el aceite de palta extraído por fluidos supercríticos arrojó valores de $90,18 \pm 0,78$; $16,87 \pm 1,15$; $0,48 \pm 0,35$; $226,18 \pm 1,11$ y $0,915 \pm 0,04$, para índice de peróxido, índice de acidez, índice de saponificación y gravedad específica, respectivamente.

Dicho estudio concluye que se obtuvieron mejores valores en la prueba de calidad utilizando el método de fluidos supercríticos, favoreciendo la extracción de aceite de palta, obteniendo mayores rendimientos, bajos valores de índice de acidez, menor oxidación de los ácidos grasos insaturados y elevado valor de índice de yodo, a diferencia de los métodos de extracción tradicionales.

De acuerdo [Morillo et al., \(2010\)](#) En su estudio se realizó la extracción del aceite de palma africana utilizando el método de fluidos supercríticos, donde se demostró que utilizando CO₂ supercrítico es posible conseguir una extracción más pura, mejorando la calidad del aceite y se evita utilizar solvente orgánicos. En dicho estudio se evaluaron diferentes condiciones atmosféricas, como flujo, presión y temperatura para comparar que tipo de condición genera mayor rendimiento en la extracción de aceite de palma africana aplicando un diseño central compuesto y superficie de respuesta. Dicho estudio concluye que el mayor rendimiento se obtuvo con un flujo de CO₂ de 4,2 L·min⁻¹, a una presión de 30 MPa y a 50°C. Dentro de estas condiciones atmosféricas por un tiempo de 5 horas se obtuvo un rendimiento de 88.1% de aceite de palma africana.

3.2. Marco Teórico

3.2.1. Generalidades de la Quinua

La quinua es considerada un pseudocereal que contiene compuestos bioactivos como los fenoles y betalaínas, estos pueden diferir según la variedad de granos de quinua, distribución, ecología, agromonomía y morfología. La quinua posee compuestos fenólicos donde están incluidos los ácidos fenólicos, flavonoides y taninos. Dichos compuestos bioactivos tienen la función de contribuir con las actividades fisiológicas,

antimicrobianas, antiinflamatorias, preventiva ante tumores y efectos anticancerígenos a partir de los metabolitos secundarios del grano de quinua. Este beneficio fitoquímico, se diferencia entre las variedades de quinua que existen. (Valencia et al., 2017).

De acuerdo con Valencia et al., (2017) existen estudios sobre los compuestos activos de naturaleza hidrofílica, es decir los compuestos polares, tales como los ácidos fenólicos, flavonoides, antioxidantes y el gran potencial de beneficios para la salud.

3.2.2. Variedades de la Quinua

Según La Organización de las Naciones Unidas de la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2011) afirma que la quinua cultivada posee una amplia diversidad genética que se basa de acuerdo a la pigmentación de la planta, inflorescencia y semilla, en el contenido proteico, de saponinas y betacianina en las hojas, la cual le brinda la capacidad de adaptarse a diferentes climas y condiciones agronómicas, tales como tipos de suelos, precipitaciones, diferentes temperaturas, altitudes, resistencia a temperaturas extremadamente bajas, sequías, salinidad o acidez.

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) en conjunto con el Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) (2013), a través de su Catálogo han puesto a disposición las Variedades Comerciales de Quinua en el Perú, donde se encuentra la morfología de cada grano y tipos de granos, hábitos de crecimiento, periodo vegetativo, altura y rendimiento de las plantas andinas. Las variedades de quinua comercial se presentan en la **Tabla 1**.

Tabla 1 *Variedades comerciales de Quinua en el Perú*

Nombre de la variedad	Tamaño de grano	Zona de producción
INIA 431 – Altiplano	Grande	Altiplano, Costa
INIA 427 – Amarilla Sacaca	Grande	Valles interandinos
INIA 420 – Negra Collana	Pequeño	Altiplano, Valles interandinos, Costa
INIA 415 – Pasankalla	Mediano	Altiplano, Valles Interandinos, Costa
Illpa INIA	Grande	Altiplano
Salcedo INIA	Grande	Altiplano, Valles Interandinos, Costa
Quilahuaman INIA	Mediano	Valles Interandinos
Ayacuchana INIA	Pequeño	Valles Interandinos
Amarilla Marangani	Grande	Valles Interandinos
Blanca de Juli	Pequeño	Altiplano
Blanca de Junín	Mediano	Valles Interandinos, Costa
Cheweca	Mediano	Altiplano
Huacariz	Mediano	Valles Interandinos
Hualhuas	Mediano	Valles Interandinos
Huancayo	Mediano	Valles Interandinos

Tabla 2 *Continúa*

Nombre de la variedad	Tamaño de grano	Zona de producción
Kankolla	Mediano	Altiplano
Mantaro	Mediano	Valles Interandinos
Rosada de Junín	Pequeño	Valles Interandinos
Rosada Taraco	Grande	Altiplano
Rosada de Yanamango	Mediano	Valles Interandinos

Nota. Catálogo de variedades comerciales de Quinoa en el Perú, publicado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) en conjunto con el Intitulo Nacional de Innovación Agraria (INIA) (2013).

Dentro del anterior catálogo se encuentra la Quinoa Blanca de Hualhuas, la cual es utilizada en el presente estudio y se caracteriza por producirse en mayor volumen en los Valles Interandinos y se encuentra con una tendencia creciente de cultivo debido a sus características agroclimáticas, favoreciendo la producción de este grano. (FAO-INIA, 2013).

De acuerdo con Pardo, Burga y Romero (2020), la Quinoa Blanca de Hualhuas es un tipo de grano de origen peruano-boliviano, que se caracteriza por tener un rendimiento de 3700 kg/ha, de sabor dulce, resistente al desgrane y con mayor facilidad para la extracción de saponinas.

3.2.3. Composición química de la quinua

La quinua se caracteriza por contener dentro su composición un porcentaje de ácidos grasos poliinsaturados.

Según [La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura-FAO \(2012\)](#) la quinua se caracteriza por contener ácidos grasos, los cuales se encuentran dentro de la denominación de compuestos orgánicos, junto con los monoacilgliceroles (MG), diacilgliceroles (DG), triacilgliceroles (TG), fosfolípidos (PL), eicosanoides, resolvinas, docosanoides, esteroides, ésteres de esteroides, carotenoides, vitaminas liposolubles, alcoholes grasos, hidrocarburos y ésteres de ceras.

Los ácidos grasos que se consumen mayormente se encuentran dentro de una clasificación de tres grupos según el grado de insaturación. Dentro de dicha clasificación se encuentran los ácidos grasos saturados (SFA), dentro de su estructura no poseen dobles enlaces, los ácidos grasos monoinsaturados (MUFA), aquellos que poseen un doble enlace y los ácidos grasos poliinsaturados (PUFA), los cuales cuentan con dos o más dobles enlaces en su estructura. ([FAO, 2012](#)).

Además la [FAO \(2012\)](#), sostiene las investigaciones más actuales se ha basado en el consumo de ácidos grasos en la dieta secundaria y aquellos ácidos grasos que no son consumidos comunmente, tales como los isómeros del ácido linoleico, los isómeros del ácido linolénico y aquellos ácidos grasos que poseen un anillo de furano y esto se deben a que dichos compuestos orgánicos poseen características provechosas para la salud, referente a la prevención de las enfermedades de estrés oxidativo, como por ejemplo deficiencia cardiovascular, alzheimer, diabetes, etc.

3.2.3.1. Ácido linoleico

Se encuentran dentro de la categoría de los ácidos grasos esenciales, los cuales se adquieren durante la ingesta de alimentos.

De acuerdo con [La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura-FAO \(2012\)](#) el ácido linoleico es aquel ácido que se encuentra dentro de la familia n-6. Dicho ácido cuenta con 18 átomos de carbonos y dobles enlaces. Se caracteriza por tener un valor nutricional importante, coteniendo 18:2n-6 (Ácido graso omega 6) y éste es encontrado en la mayoría de aceites vegetales.

El ácido linoleico es conocido por ayudar a prevenir las enfermedades de estrés oxidativo, así como las enfermedades cardiovasculares, que a través de su efecto hipocolesteromiante, reduce los niveles de lípidos en la sangre, evitando así la acumulación de colesterol en las arterias. ([Mataix Verdú, 2014](#)).

3.2.3.2. Ácido linolénico

De acuerdo con [Morales et al., \(2012\)](#) El ácido alfa-linolénico se caracteriza por su elongación y desaturación para transformarse en ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga dando como resultado un ácido graso esencial con un papel fundamental en las funciones del organismo.

3.2.4. Mercado mundial de aceites vegetales

Según la [Oil World \(2018\)](#), se estimó que en la campaña de los años 2018 y 2019, la producción de aceites vegetales a nivel mundial vendría a ser superior al consumo lo que produjo un aumento del nivel de stock finalizando dicha campaña.

En los años 2020 y 2021, se pronosticó que se producirán 596 millones de toneladas de semillas oleaginosas a nivel mundial, lo que serían 750.000 toneladas más que en febrero. La producción de soja de Brasil, la colza de Australia y la Unión Europea ha obtenido volúmenes más elevados de producción que compensan los pronósticos de menor producción de palmiste, semilla de algodón y girasol ([Oil World, 2018](#)).

Según el [Departamento de Agricultura de los Estados Unidos \(USDA\) \(2021\)](#) Las exportaciones mundiales de semillas oleaginosas, con un volumen de producción de 195 millones de toneladas, han aumentado en 820.000 toneladas y esto se debe a que principalmente al incremento en la exportación de semillas de colza de Australia y Ucrania. El aplastamiento de oleaginosas se eleva 1.210.000 toneladas a 514 millones. La extracción por prensado de soja de Brasil y de colza de la Unión han compensado en gran escala el prensado de soja menor de China. La producción de semilla oleaginosas aumentaron en 760.000 toneladas y esto se debe a que principalmente la producción de soja de Brasil y China han compensado las menor producción de soja de Argentina.

La principal producción de semillas oleaginosas a nivel mundial ha ido creciendo en algunos aceites, como en el aceite de algodón, maní, soya y girasol, como se puede advertir en la [Tabla 2](#).

Tabla 3 Principales semillas oleaginosas: suministro y distribución mundial (Millones de Toneladas Métricas)

Aceites	2016	2017	2018	2019	2020
Coco	5.52	5.94	5.98	5.86	5.75
Algodón	39.98	45.09	43.11	44.42	41.80
Palma	17.43	18.81	19.52	19.42	19.96
Maní	45.16	46.83	46.81	46.08	47.79
Colza	69.49	76.15	72.99	69.22	68.87
Soya	349.77	342.93	361.04	336.47	362.05
Girasol	48.23	47.83	50.56	54.96	49.46
Total	574.57	582.57	600.00	576.43	595.68

Nota. Semillas oleaginosas: Mercados y comercio mundiales, Informe actual, 2021, por United States Department of Agriculture (USDA).

La tabla anteriormente señalada proviene de un análisis global del mercado, realizado por el [Departamento de Agricultura de los Estados Unidos \(USDA\)](#), en el cual se puede observar las cifras expresadas en millones de toneladas métricas sobre la distribución de semillas oleaginosas, el cual incluye los datos del mercado, cantidad producida, nivel de consumo y la cantidad de semillas oleaginosas que se encuentran dentro del mercado de los Estados Unidos y el mundo. Asimismo, dentro de dichas cifras se consideran los diferentes acontecimientos que pueden influir en el comercio mundial de semillas oleaginosas. Dicha tabla comprende las semillas oleaginosas (copra, semilla de algodón, palmiste, maní, colza, soja y girasol), harina (copra, semilla de algodón, pescado, palmiste, maní, colza, soja y semilla de girasol) y aceite (coco, semilla de algodón, oliva, palma, palmiste, maní, colza, soja y girasol).

3.2.5. Aceites de semilla

De acuerdo con [Durán, Torres y Sanhueza \(2015\)](#), sostienen que el nivel de consumo de aceites vegetales como parte de nuestra dieta alimentaria se ha incrementado a lo largo de las últimas décadas. Cada tipo de aceite vegetal posee una diferente composición y esto se debe a las diferentes concentraciones de ácidos grasos saturados, monoinsaturados y poliinsaturados presentes en los aceites vegetales. Especialmente existe una variación en la cantidad de omega-6 y omega-3, los cuales están directamente relacionados con la fuente de origen de estos ácidos grasos. Estos ácidos grasos especiales pueden obtenerse a partir de una fuente vegetal, como las semillas, plantas o frutos, los cuales se caracterizan por su contenido nutricional. Dentro del rol de los ácidos grasos se debe considerar la función de los fitoquímicos, bien llamados compuestos bioactivos, los cuales pueden encontrarse los fitoesteroles, fitoestrógenos, flavonoles, caroteno, tocoferoles, donde dicho grupo de compuestos bioactivos cumplen la función de prevenir enfermedades de estrés oxidativo.

3.2.6. Métodos de extracción de aceites de semilla

Los aceites de semilla se pueden obtener a partir de algunos métodos de extracción, tales como a través de la extracción mediante disolventes orgánicos, mediante prensa Expeller, mediante prensa en frío y extracción mediante fluidos supercríticos.

3.2.6.1. Extracción mediante disolventes orgánicos

Para [Meléndez y Castillo \(2018\)](#) El método de arrastre por solventes (hexano y éter de petróleo) consiste en entrar en contacto con la muestra y por polaridad arrastran

las fracciones lipídicas, las desventajas de este método de extracción es de que tienen problemas con el tiempo y las temperaturas de extracción.

Actualmente los solventes mayormente utilizados se obtienen a partir de las fracciones de petróleo. Se utilizan a través del método de arrastre por solventes, tales como hexano y éter de petróleo, los cuales tienen la función de entrar en contacto con la muestra y por la polaridad de estos solventes, se arrastran las fracciones lipídicas.

3.2.6.2. Extracción mediante prensa expeller

De acuerdo con [Fastardo \(2014\)](#), el prensado es un método de extracción que consiste en obtener el líquido a partir del sistema bifásico de los estados sólido-líquido a través de un prensado. Este método se diferencia de la filtración porque la presión es aplicada a través del movimiento de las paredes de retención y no empleándose por medio del bombeo de la muestra en un espacio específico.

Según [Infantes \(2014\)](#) La extracción por prensa expeller se realiza a través de un dispositivo mecánico que involucra un tornillo horizontal con un diámetro del cuerpo creciente, que mediante el tornillo avanza, éste va aumentando la presión ejercida sobre la materia prima. La prensa expeller cuenta con un cilindro alrededor del tornillo el cual está perforado de tal manera que permite incrementar la presión interna para que primero desaloje el aire y posteriormente el aceite a través del cilindro.

3.2.6.3. Extracción mediante prensa en frío

De acuerdo con [Balboa \(2015\)](#) El método de prensado en frío es diseñado para la obtención de aceite de semillas oleaginosas. Usualmente es recomendado realizar el proceso de prensado en frío en dos etapas para obtener un mayor rendimiento de la muestra a extraer. La extracción mediante la prensa en frío es simple, su operación no es costosa y ocupa pequeños espacios.

3.2.7. Fluidos supercríticos

De acuerdo con el [Departamento de Ingeniería y Procesos de AINIA Centro Tecnológico \(2017\)](#) afirma que el método de extracción con CO₂ supercrítico es un proceso valioso que arroja resultados eficientes en cuanto a la obtención de ingredientes como colorantes naturales, aromas y esencias, así como también se obtienen resultados favorables si se requiere extraer compuestos bioactivos, tales como las vitaminas, los antioxidantes y los aceites esenciales obtenidos de alimentos naturales con altos índices de pureza.

Además, [Velasco, Villada y Carrera \(2007\)](#) señalan que la extracción por el método de fluidos supercríticos (FSC) es un proceso que se caracteriza por ser capaz de extraer compuestos químicos usando solventes sometidos a distintas condiciones de temperatura y presión. Este método se caracteriza porque se difunde por medio de los sólidos como un gas y a través de este método se puede disolver los materiales hasta obtener su fase líquida. Además, utilizando este tipo de extracción se puede cambiar la densidad variando parámetros como temperatura y presión. Dichas características diferencian el método de

extracción y lo hace idóneo para sustituir el uso de los solventes orgánicos en las extracciones convencionales.

Utilizando el método de extracción por fluidos supercríticos para la obtención de aceites se obtienen las siguientes ventajas:

1. Elevada difusividad y menos viscoso que los líquidos.
2. No presencia tensión superficial, lo que beneficia la extracción debido a la impregnación de los fluidos supercríticos con la muestra, obteniendo como resultado una matriz sólida.
3. Existe flexibilidad al escoger las condiciones de extracción durante el proceso, debido a que es posible someter a diferentes temperaturas y presiones, lo que influye en la solubilidad en los componentes en el fluidos supercríticos.
4. Utilizando este método es posible recuperarse los fluidos supercríticos por procesos de reciclaje.
5. Es un método versátil debido a que se puede aplicar en varios sectores de la industria, tales como alimentaria, agricultura, acuicultura, petroquímicas (Velasco, Villada y Carrera, 2007).

Wejnerowska y Ciaciuch (2018) realizaron una investigación sobre la obtención de aceite de las semillas de quinua utilizando el método de fluidos supercríticos, donde se estudió como los diferentes parámetros, tales como presión, temperatura, tiempo y medida de las muestras pueden afectar en el rendimiento de la extracción.

3.2.8. Antioxidantes

Según [Ramírez et al., \(2012\)](#) un antioxidante es un compuesto químico y tienen un rol específico en el cuerpo humano el cual es el de erradicar los radicales libres, los cuales producen estrés oxidativo, introduciendo oxígeno en las células del organismo, produciendo oxidación, alteración de ADN, lo que consigue acelerar el deterioro del cuerpo y genera enfermedades cardiovasculares.

De acuerdo con [Coronado et al., \(2015\)](#) El proceso de la oxidación posee 2 partes; la primera es en donde se pierden los electrones de hidrógeno y se gana oxígeno en la molécula, el segundo proceso consiste en la reducción, lo que significa que se ganan electrones de hidrógeno y a su vez se pierde oxígeno. Por lo que durante la reacción, el oxidante tiende a reducirse al reaccionar con una molécula que pasa por oxidación. Dicha secuencia de reacción es común dentro del organismo y es llamado también blanco redox. Durante la oxidación, los radicales son aquellos que tienen uno o más electrones no apareados dentro de su estructura. Asimismo, estos radicales tienden a ser muy reactivos y son pieza fundamental para formar otros radicales libres en cadena.

3.2.9. Cosolvente

De acuerdo con [Rodríguez y Vásquez \(2019\)](#) se afirma que un cosolvente se caracteriza por tener una volatilidad intermedia, el cual es utilizado en pequeñas cantidades y tienen el rol de hacer más soluble el soluto en la fase supercrítica, obteniendo así una extracción con mayor rendimiento.

3.2.10. Etanol

Según [El Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura- IICA \(2004\)](#) se conoce al etanol como el alcohol etílico extraído a partir de un proceso fermentativo de los azúcares de fuente vegetal, tales como, cereales, caña de azúcar o betarraga, los cuales mezclados obtiene la sacarosa, almidón, hemicelulosa y celulosa.

3.3. Objetivos

3.3.1. Objetivo general

El presente estudio tiene como objetivo demostrar el valor agregado de los compuestos bioactivos que son parte del residuo resultante de una extracción de harina de quinua utilizando el método de fluidos supercríticos, donde estos residuos son extraídos por el método de Ichihara y Fukubayashi, obteniendo un perfil de ácidos grasos más puro y logrando cuantificar la concentración de ácidos grasos en el residuo etanólico.

3.3.2. Objetivos específicos

- Evaluar el contenido de compuestos fenólicos totales totales en el aceite de quinua.
- Evaluar la actividad antioxidante total mediante el ensayo de DPPH.
- Analizar el perfil de ácidos grasos mediante cromatografía de gases.
- Evaluar de la calidad nutricional del aceite y potencial nutracéutico.

4. Capítulo 4: Diseño Metodológico

4.1. Diseño de la investigación

La presente investigación es del tipo aplicada ya que revalora los subproductos de los procesos industriales. El nivel de la investigación es descriptivo porque investiga las particularidades y propiedades químicas de un proceso. Esta investigación posee un diseño observacional ya que no se manipula las variables independientes.

4.2. Muestra de quinua

La semilla de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) de la variedad Blanca de Hualhuas fue proporcionada por el Programa de Cereales y Granos Andinos de la Universidad Nacional Agraria de la Molina (UNALM). Algunos detalles sobre la muestra se presentan en la **Figura 1**.



Parámetros de la Quinoa Blanca de Hualhuas

Var.	Color RGB	Origen
Blanca de Hualhuas	118, 106, 63	Perú
		
No-pigmentada		
Grano de color blanco, sabor dulce, de tamaño 1.9 a 2.2 mm.		

Figura 1 Parámetros de la Quinoa Blanca de Hualhuas

Nota. Descripción de la quinua blanca de Hualhuas utilizada en este estudio. La información fue obtenida de Granda et al., 2018; Soto-Pardo et al., 2020. La información de color (<https://www.colorhexa.com/>).

4.3. Reactivos

Etanol absoluto QP, agua destilada, DPPH (2,2-difenil-1- picrilhidrazil), ácido gálico (ácido 3,4,5-trihidroxibenzoico), ácido tricosanoico (C23:0) (estándar interno) y reactivo de Folin-Ciocalteu (Sigma-Aldrich, USA). Tolueno, carbonato de sodio (Merck, Peruana).

4.4. Equipos

- Balanza analítica de capacidad de 1.0 - 200 g (Ohaus)
- Rotavapor (Buchi)
- Extractor de fluido supercrítico multisolvente (Top Industrie, 2802.000)

- Espectrofotómetro UV-visible (Thermo Scientific)
- Cromatógrafo de gases con detector de ionización de flama GC-FID (Varian)

4.5. Proceso de extracción por fluidos supercríticos

La extracción mediante fluido supercrítico (sC-CO₂) es utilizado a fin de recuperar aceites de diferentes matrices (fracción apolar, los cuales han sido desarrollados y utilizados actualmente, así como el uso de cosolventes (etanol) para la recuperación de compuestos polares. En nuestro estudio, el equipo de extracción estuvo compuesto de un contenedor del disolvente (etanol), CO₂ supercrítico, bomba del cosolvente, y cilindro de extracción de acero inoxidable.

La muestra de quinua en polvo fue cargada en el cilindro extractor (proporción de 7 a 8 g de muestra por 100 mL de etanol con una pureza de 96%), las condiciones de presión y temperatura fueron previamente definidas en el software. Como podemos ver en la [Figura 2](#), el experimento de extracción de fluido supercrítico con CO₂ y cosolvente (etanol) fueron desarrollados a 55°C, velocidad de flujo de 35 g CO₂/min, presión fija de 230 bar durante 4 horas.

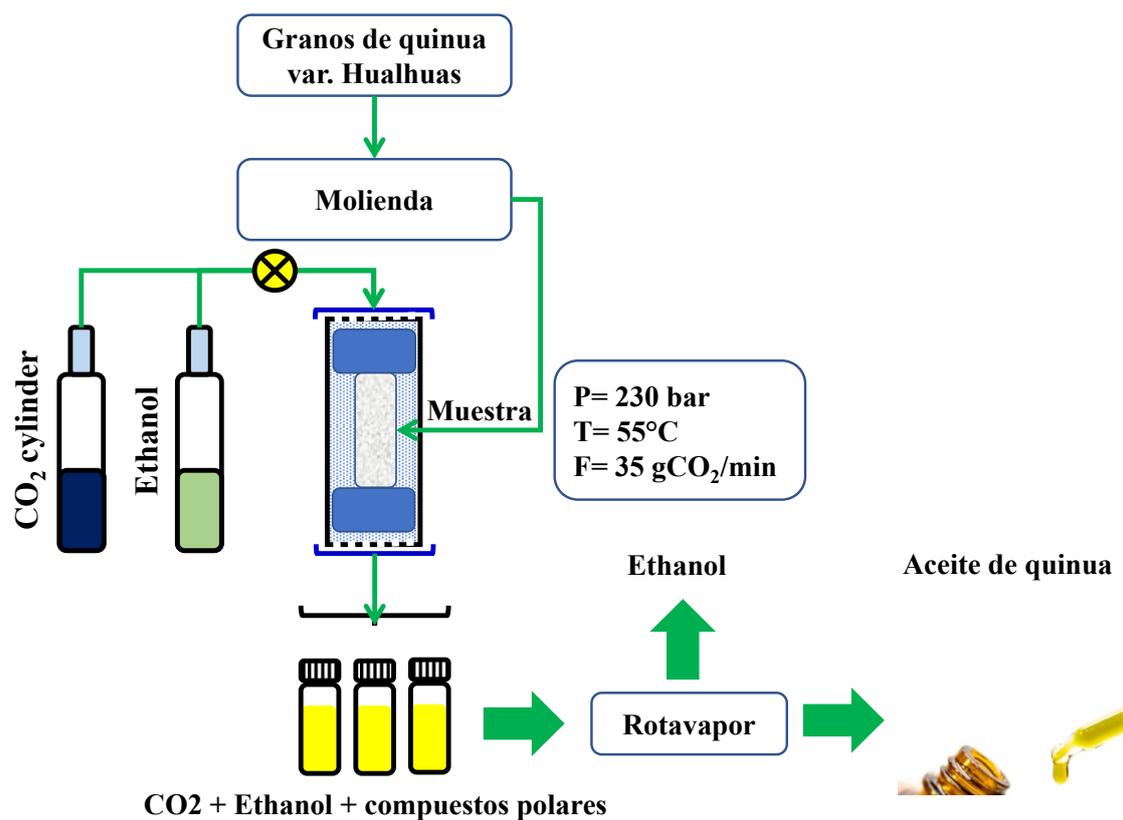


Figura 2 Diagrama esquemático del sistema de extracción mediante fluido supercrítico CO₂ y cosolvente (etanol)

Elaboración propia (2020)

4.6. Determinación de compuestos fenólicos

Para la cuantificación de polinefoles totales se llevó a cabo utilizando el método estándar de Folin-Ciocalteu (Singleton y Ross 1965). El método está basado en la reducción del metal politungsteno que cambia de color amarillo a azul Prusia.

El contenido de compuestos fenólicos totales en la muestra se desarrolló de la siguiente manera: Una alícuota de 50µL de aceite de quinua se mezcló adecuadamente

con 450 μL de tolueno. La reacción se produjo a partir de una adecuada dilución de 100 μL de muestra con 750 μL del reactivo de Folin-Ciocalteu a una concentración de 0.2 N. Luego, la mezcla se agitó con vortex a máxima velocidad durante 5 minutos. Seguidamente la fracción polar fue recuperada y se mezcló nuevamente con 750 μL de carbonato de sodio al 7.5 % en fase acuosa. Esta última mezcla se volvió a agitar durante 5 minutos en vortex a máxima velocidad. La cinética de reacción se desarrolló en baño María a 37°C durante 60 minutos.

Posterior a dicho proceso, la mezcla fue centrifugada a 14000 rpm durante 5 minutos. Las lecturas de absorbancia se hicieron en celdas semi-micro de poliestireno de 1.0 cm de paso óptico. Se utilizó el espectrofotómetro UV-Vis Genesys 10S (Thermo Scientific, Waltham, MA, USA) a una longitud de onda de 725 nm. Los resultados se expresaron como miligramos de ácido gálico equivalente por kilogramos de aceite (mg GAE/kg).

4.7. Determinación de la actividad antioxidante total mediante DPPH'

La actividad antioxidante se desarrolló utilizando el método del radical libre 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH') descrito por [Brand-Williams et al. \(1995\)](#). El método es basado en la capacidad de los compuestos polares presentes en el aceite de quinua que reaccionan con el radical libre (DPPH') mediante transferencia de electrones. El desarrollo metodológico para la determinación de la actividad antioxidante es la siguiente: La preparación de las soluciones de trabajo consistió en cuatro concentraciones de 15, 25, 50 y 75 μL de aceite de quinua (densidad del aceite = 0.92 g/mL) preparados a

un volumen final de 500 μL (el factor de dilución para cada concentración fue: 33.3, 20.0, 10.0 y 6.67). La reacción consistió en hacer reaccionar 50 μL de las soluciones de trabajo con 950 μL de DPPH \cdot a una concentración de 100 $\mu\text{mol/L}$. La reacción se desarrolló en una celda semi-micro de poliestireno de 1 cm de paso óptico, la lectura en el espectrofotómetro se registró cada 2 minutos, con un tiempo total de 20 min. Se obtuvieron las lecturas de absorbancias a una longitud de onda de 515 nm. El porcentaje de inhibición fue calculado de la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Inhibición DPPH}^{\bullet} = 100 - (A_0 - A_1/A_0) \times 100 \quad (1)$$

Donde: A_0 es la absorbancia del control, y A_1 es la muestra en cualquier tiempo.

El coeficiente de inhibición al 50% (IC_{50}) fue calculado a partir de la ecuación logarítmica ajustado con un R^2 mayor de 0.98. El IC_{50} fue calculado utilizando el siguiente modelo matemático:

$$\log y = \log \alpha + \beta \log x \quad (2)$$

4.8. Análisis del perfil de ácidos grasos

El perfil de ácidos grasos se llevó a cabo siguiendo la metodología descrita por [Ichihara y Fukubayashi \(2010\)](#). Una alícuota de 1 mg de aceite de quinua fue disuelta con 200 μL de tolueno. Posteriormente la fracción lipídica fue derivatizada con una mezcla de 1500 μL de metanol y 300 μL de ácido clorhídrico al 8 %.

Los ácidos grasos derivatizados se incubaron en baño María a 45°C durante 14 horas. Los esteres metílicos de ácidos grasos (FAMES) fueron extraídos con 1 mL de hexano, la fracción hexanólica se colocaron en viales transparentes y fueron analizados mediante cromatografía de gases (Varian CP-146 3800, Walnut Creek, CA, USA). La separación de los FAMES se llevó a cabo sobre una columna capilar de sílice fúndica FAMEWAX® WCOT (30 m x 0.25 mm i.d.: 0.25 µm de espesor, Restek Co.). La temperatura del inyector y detector fueron de 250 y 260°C respectivamente. La programación del horno fue el siguiente: 120°C por 1 min, y luego programado a 160°C con una rampa de 3.0°C/min (mantuvo durante 1 min), y posteriormente se elevó nuevamente a 240°C con una rampa de 4.0°C/min y luego se mantuvo en isoterma durante 7 minutos. El gas de arrastre fue helio a un flujo de 1 mL/min, el volumen de inyección fue de 1 µL (modo splitless). Los resultados se expresaron como % de mol del total de ácidos grasos en el aceite de quinua.

4.9. Ensayos de la calidad nutricional del aceite de quinua

La evaluación de la calidad nutricional de aceite de quinua fue observada mediante varios índices. A continuación, se presentan cinco modelos que describen el valor nutricional del perfil de ácidos grasos (Chen y Liu, 2020; Zhao et al., 2021).

$$Ratio \frac{\omega 6}{\omega 3} = \frac{\text{ácido linoleico}}{\text{ácido } \alpha\text{-linolenico}} \quad (3)$$

$$Ratio \frac{\Sigma PUFAs}{\Sigma SFAs} = \frac{\text{Poliinsaturados}}{\text{Saturados}} \quad (4)$$

$$\text{Índice aterogénico (IA)} = [C12:0 + (4 \times C14:0) + C16:0] / \sum UFA \quad (5)$$

$$\text{Índice trombogénico (IT)} = (C14:0 + C16:0 + C18:0) / [(0.5 \times \sum MUFAs) + (0.5 \times \sum \omega6 \text{ PUFAs}) + (3 \times \sum \omega3 \text{ PUFAs}) + (\frac{\omega3}{\omega6})] \quad (6)$$

$$\text{Ratio } \frac{\text{hipocolesterolemico} \left(\frac{h}{H}\right)}{\text{Hipercolesterolemico}} = (C18:1 + \sum PUFA) / (C12:0 + C14:0 + C16:0) \quad (7)$$

Donde: MUFAs son los ácidos grasos monoinsaturados, PUFAs son los ácidos poliinsaturados, C12:0 es el ácido láurico, C14:0 es el ácido mirístico, C16:0 es el ácido palmítico y C18:0 es el ácido esteárico.

4.10. Análisis estadístico

Los ensayos analíticos se repitieron al menos tres veces. Los resultados fueron expresados en media \pm desviación estándar ($\bar{x} \pm SD$). Los datos fueron analizados utilizando el programa estadístico STATISTICA version 8.0 (StatSoft, Inc., Tulsa, OK).

5. Capítulo 5: Resultados y discusión

5.1. Obtención de aceite de quinua a partir de la fracción etanólica

El rendimiento de aceite obtenido post extracción en la fracción etanólica se muestra en la **Tabla 4**. Este valor deriva del rendimiento calculado a partir de las pruebas realizadas, el número de corridas (*runs*) conducidos fueron diez. En nuestro estudio se selecciono la corrida 8 (la elección se realizó por conveniencia).

Tabla 4 Rendimiento de aceite de quinua en cosolvente (etanol) post extracción con CO2 supercrítico.

Runs	T	P	Flujo	Peso muestra	Etanol utilizado (mL)	Etanol recuperado (mL)	Rendimiento (%)
	°C	(bar)	(gCO ₂ /min)				
1				70.73	950	870	
2				70.26	1025	1015	
3				80.68	995	893	
4				78.89	1096	1096	
5				72.14	950	905	
6				85.91	1120	1060	
7				86.74	1100	1010	
8	55	230.	35	86.01	1120	1060	1.28
9				86.04	1125	1040	
10				86.66	1130	1025	

Nota. El rendimiento fue calculado a partir del total de masa extraída de aceite de quinua (g) y la masa de la muestra seca de quinua (g).

En nuestro estudio se encontró un rendimiento de aceite recuperado alrededor de 1.28%. Si bien es cierto que el porcentaje de recuperación es bajo en comparación con otros autores que mencionan entre 8.5 a 10.9% (Wejnerowska y Ciaciuch, 2018). Sin embargo, la extracción de aceites de matrices vegetales utilizando fluido supercrítico está asociado a varios factores entre ellos la presión, temperatura, tiempo, tamaño de partícula y cosolvente. Además Wejnerowska et al. (2013) han reportado que la adición de cosolvente en las matrices vegetales tiene un impacto positivo sobre la cantidad de aceite extraído. Por otro lado, la temperatura juega un rol importante, por ejemplo a temperatura

alta (80°C) y un incremento de cosolvente de 20 a 27% resulta en un incremento del rendimiento alrededor del 20%, mientras que a temperatura de 60°C el rendimiento se reduce al 5%.

Por otro lado, la presión está relacionada con el rendimiento de aceite, esto fue observado por [Wejnerowska y Ciaciuch \(2018\)](#) quienes reportaron un ligero incremento cuando la presión en el cilindro de extracción aumenta de 25 a 30 MPa. Además hay varios reportes que indican que el tipo de cosolvente proporciona mayor o menor rendimiento, ya que estos están relacionados con la polaridad del cosolvente. Por ejemplo, [Perrier et al. \(2017\)](#) han reportado que el rendimiento utilizando hexano fue alrededor del 80%, isopropanol 79%, mientras que el etanol fue el disolvente con menor rendimiento para la recuperación de aceite de colza. También se ha reportado que el tamaño de la partícula entre 0.12 a 0.50 mm es proporcional a una mayor tasa de recuperación de aceite.

Por lo tanto, el bajo porcentaje de recuperación de aceite de quinua en la fase etanólica, probablemente se debe a estos factores ya que en nuestro estudio utilizamos una presión de 230 bar, y temperatura de 55°C. varios estudios han reportado que la variación de la presión en muestras de quinuas oscila entre 180 a 300 bar, y una variación de temperatura entre 40 a 80°C ([Benito-Román et al., 2018](#); [Wejnerowska y Ciaciuch, 2018](#)).

5.2. Contenido de compuestos fenólicos totales del aceite de quinua

Los compuestos fenólicos son compuestos biológicamente activos y están presentes en aceites vegetales, estos compuestos son buenos para retardar los procesos de oxidación de lípidos en los aceites, especialmente en los ácidos grasos poliinsaturados ya que su oxidación imparte características indeseables del flavor (Tao, 2015). El resultado de la cantidad de compuestos fenólicos en total del aceite de quinua y otros aceites de semillas comúnmente consumidos se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5 Comparación del contenido de compuestos fenólicos totales en el aceite de quinua y otros aceites vegetales (mg GAE/kg de aceite de quinua, chía)

Aceite	Origen	Extracción	Contenido	Referencia
Quinua var. Blanca	Perú	SC-CO ₂	342.87±4.58	Presente estudio
Quinua var. Blanca	Perú	S	449	Chen et al., 2019
Quinua var. Kaslaea	Bolivia	S	139	Chen et al., 2019
Quinua var. Negro	Bolivia	S	420	Chen et al., 2019
Quinua var. Cahuil	Chile	S	503	Chen et al., 2019
Quinua var. Titicaca	España	SC-CO ₂	112.90	Benito-Román et al., 2018
Chía	Perú	S	6.36	Dąbrowski et al., 2018
Chía	Argentina	S	20.74	Dąbrowski et al., 2018
Ajonjolí	Sri Lanka	EP	260	Bopitiya y Madhujith, 2013

Nota: Elaboración propia. SC-CO₂, dióxido de carbono supercrítico; S, solvente; CP, prensado en frío; EP, prensa expeller. GAE, ácido gálico equivalente; CAE, ácido cafeico equivalente.

La cantidad total de compuestos fenólicos presentes en el aceite de Quinua, de la presente investigación, se obtuvo mediante la técnica de Folin-Ciocalteu. La concentración de fenoles fue de 342.87±4. mg/kg de aceite expresado como GAE, siendo un valor no menor al valor reportado del aceite de Quinua de Bolivia(139 mg GAE/kg) (Chen et al., 2019). Según el cuadro anteriormente señalado, el aceite de Quinua de Chile

tiene el mayor contenido fenólico total con un valor de 503 mg GAE/kg. El aceite de Quinoa de Bolivia y España tienen niveles medios de fenoles totales, con 139 mg GAE/kg y 112.90 mg GAE/kg, respectivamente. El aceite de Chía de Argentina tiene niveles aún más bajos con un valor de 20.74 mg GAE/kg, y las muestras de aceite de Chía de Perú contienen 6.36 mg GAE/kg, un valor debajo del promedio de los otros compuestos fenólicos de otros aceites. El aceite de Quinoa del presente estudio se encuentra dentro del nivel estándar, en comparación con los otros aceites de quinoa de los demás países.

Además, es importante resaltar que la concentración de compuestos fenólicos totales del aceite de quinoa de otros países han sido valores inferiores respecto al valor final de estos compuestos presentes en el aceite de quinoa del resultado experimental. Esto se debe a las características químicas del aceite de quinoa que favorecen a la estabilidad oxidativa del mismo aceite, disminuyendo la pérdida de valor nutricional y la propagación de radicales libres, los cuales actúan dentro del proceso de descomposición y enranciamiento de los aceites y grasas.

Los compuestos fenólicos contribuyen a la estabilidad oxidativa de los ácidos grasos poliinsaturados que confieren el sabor característico al aceite. Además, muchos de estos compuestos tienen efectos beneficiosos sobre algunas enfermedades comunes, como la hipertensión y la aterosclerosis, contribuyen a prevenir algunos tipos de cáncer y en la modificación de las respuestas inmunitarias

Las propiedades de las semillas varían conforme al origen de cada una, es decir, depende del tipo de cultivo de cada semilla y la temporada en la que se cultiva, a fin de

evaluar la cantidad nutricional de las semillas oleaginosas, respecto a cada metodología para la obtención de aceites. De los datos reportados en la [Tabla 5](#), se observa que las cantidades del aceite de quinua extraídos por distintos métodos de extracción han sido entre algunos menores en comparación al valor de la quinua peruana y la quinua chilena ([Chen et al., 2019](#)).

5.3. Actividad antioxidante total del aceite de quinua

El análisis de la actividad antioxidante presente en las matrices vegetales ha tomado gran relevancia debido a la importancia fisiológica y el papel que cumplen los antioxidantes dietarios en la salud humana ya que estos fitoquímicos antioxidantes previenen enfermedades crónicas ([Cömert y Gökmen, 2017](#)). Por otro lado, los antioxidantes aportan un rol importante sobre la estabilidad en los aceites vegetales, incrementando su vida útil en anaquel.

De acuerdo con [Molyneux \(2004\)](#), el uso del radical libre 2,2-difenil-1-picrilhidrazil (DPPH[•]) es utilizado para estimar la actividad antioxidante mediante la deslocación de un electrón desapareado que posee el radical libre DPPH[•]. Esta molécula de DPPH[•] se caracteriza por ser un radical libre estable, el cual a través de la deslocación de su electrón de reserva sobre la molécula en conjunto no llega a formar una estructura química a diferencia del resto de radicales libres. Es por dicha deslocación del electrón desapareado por el cual da lugar a un color violeta intenso.

Es así que a una mayor capacidad antioxidante (alto porcentaje de inhibición), dicha intensidad del color violeta va disminuyendo y esto se debe a que al mezclar el

radical libre DPPH• con una sustancia que es apta para donar un átomo de hidrógeno se produce una reacción por reducción y se observa la pérdida de intensidad de dicho color violeta, el cual torna a un color amarillo tenue que es posible medirse a través de las lecturas de las absorvancias (Molyneux, 2004).

En nuestro estudio se utilizó en el radical libre 2,2-difenil-1- picrilhidrazil (DPPH•) para la medida de la actividad antioxidante mediante transferencia de electrones que mide la reacción entre el extracto rico en antioxidantes y el radical libre que tiene la capacidad de aceptar un electrón. La reacción entre el extracto de aceite de quinua y el radical libre (color violeta intenso) se produce en microsegundos y es caracterizado por un color amarillo pálido propio de la reacción y monitoreado por un espectrofotómetro (Singh et al., 2021) siempre y cuando exista una adecuada solubilidad, y translucidez, que son factores necesarios para evitar errores sistemáticos.

En la [Figura 3](#) se presenta el grado porcentual de inhibición DPPH• de las diferentes concentraciones de aceite de quinua. Los resultados muestran que a medida que existe un incremento en la concentración de aceite de quinua el porcentaje de inhibición también aumenta. El % Inhibición DPPH• de las diferentes concentraciones después de 20 minutos de reacción fue el siguiente: para 14 mg fue $21.86 \pm 0.32\%$, para 23 mg fue $30.55 \pm 0.08\%$, para 46 mg fue 46.08 ± 0.63 y para 69 mg fue $63.12 \pm 0.16\%$.

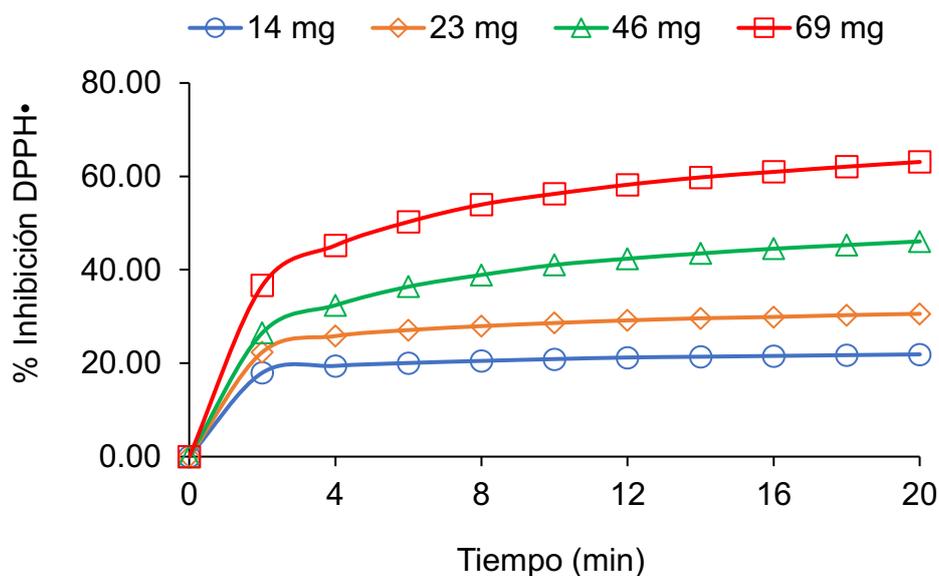


Figura 3 Actividad del porcentaje de inhibición del radical DPPH• de aceite de quinua
Elaboración propia (2020)

El porcentaje de inhibición DPPH también está influenciado por varios factores como la concentración de la muestra, concentración del radical libre, tiempo de reacción y la naturaleza de los componentes bioactivos en la muestra.

Por ejemplo, el aceite de anís muestra diferentes % Inhibición DPPH•, a los 6 minutos (3.7%), a 30 min (13.0%) y a 60 min (19.0%) (De Martino et al., 2015). En relación con la concentración de la muestra, Pereira et al. (2011) han manifestado que la fuerza de la concentración es dependiente del potencial antioxidante, esta premisa será muy cierta siempre y cuando la evaluación sea en la misma muestra con variación en las concentraciones, muy similar a nuestro estudio. Por lo que cantidad de compuestos antioxidantes presentes en la muestra corrobora el potencial antioxidante.

Según Ali et al. (2021) han reportado que la actividad antioxidante presenta una correlación de Pearson positiva frente al contenido de compuestos fenólicos totales, que

para el ensayo de DPPH^{*} es valor fue de 0.70, mientras que para el ensayo FRAP y ABTS estos valores fueron 0.90 y 0.98 respectivamente. Al respecto cabe señalar, que la actividad antioxidante es dependiente del tipo de radical que se utiliza en el ensayo *in vitro* para la evaluación de esta bioactividad. Además, cuando se evalúa la actividad antioxidante es importante conocer los grupos de compuestos presentes en la matriz alimentaria. Por ejemplo, [Nenadis y Tsimidou \(2010\)](#) han reportado que en el ensayo ORAC (capacidad de absorbanza de radicales de oxígeno) para compuestos polares el orden de actividad fue: ácido ferúlico > ácido cumárico > ácido gálico > ácido ascórbico. Por lo tanto, se puede mencionar que los compuestos químicos presentes en alimentos muestran un a moderada o pobre actividad.

Asimismo, [Granados et al., \(2014\)](#) confirma que existe una correlación directa entre la concentración del aceite de *Myrcianthes leucoxylla*, donde dentro de dicho estudio se observó que a mayor concentración hubo un incremento en el potencial antioxidante para inhibir el radical DPPH^{*} en una concentración de 300 ppm.

El IC50 como definición significa la concentración necesaria de aceite de quinua necesaria para inhibir el 50% del radical DPPH^{*}. El cálculo del coeficiente de inhibición (IC50) fue determinado a partir de la ecuación 2. En la [Figura 4](#) se presenta la concentración necesaria de aceite de quinua para secuestrar el 50% de radical libre.

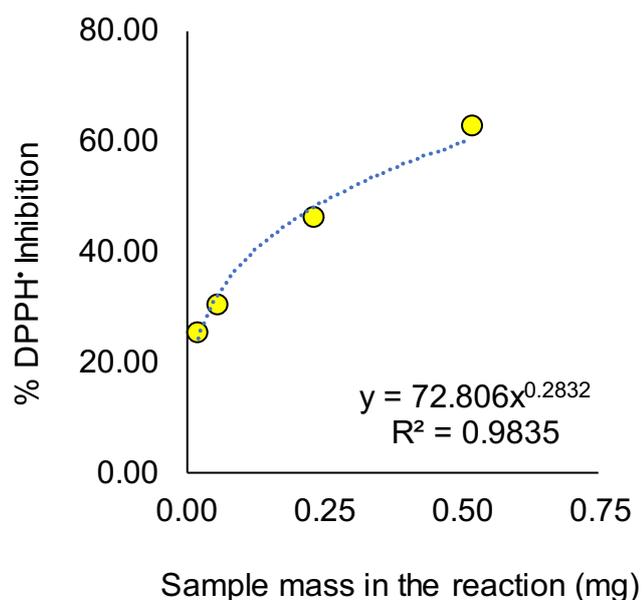


Figura 4. Porcentaje de inhibición de DPPH en función del contenido de aceite de quinua utilizando tolueno (PubChem ID 1140) como disolvente.*

Elaboración propia (2020)

A partir de la ecuación se calcula que el IC50 del aceite de quinua presenta un valor de 0.27 ± 0.00 mg necesarios para inhibir el 50% del radical DPPH*. Estos resultados están de acuerdo con los reportes de la literatura que indican que los principales responsables de este mecanismo son los compuestos fenólicos que tienen la capacidad de secuestrar radicales libres mediante la captura de los H^+ para crear una molécula estable de HPPH- H^+ .

Entre otros estudios, se encuentra los autores Benito-Román et al., (2018), los cuales obtuvieron los valores de la actividad antioxidante del aceite de quinua Titikaka, utilizando el 80% del reactivo DPPH*, obteniendo un valor porcentual de 95.1 ± 1.9 , el cual fue el mayor porcentaje de inhibición del reactivo bajo una presión de 40 Mpa y una temperatura de 40°C.

De acuerdo con Arana y Paredes (2008), en su estudio determinaron la capacidad antioxidante del aceite de la semilla de sachá inchi tostada a través del método del radical libre DPPH^{*}, obteniendo el mayor valor de actividad antioxidante en el aceite de semilla de sachá inchi tostada a un nivel intenso, el cual fue comparado con otros estudios de otros aceites de cereales andinos y se confirmó que existen varios factores de estos cereales que determinan el incremento de la capacidad antioxidante, tales como el tipo de cultivo y las cualidades agronómicas.

Además, según Sánchez-Moreno et al. (1997), sostiene que existe una relación entre la concentración del soluto y la del radical libre DPPH^{*}, lo que indica que a una menor concentración del soluto de la muestra que entre en contacto con dicho reactivo, la actividad antioxidante será mucho mayor.

5.4. Análisis de ácidos grasos del aceite de quinua

Se logró cuantificar la cantidad de ácidos grasos mediante el método de Ichihara y Fukubayashi, por cromatografía de gases, donde se precisará en la **Tabla 6** la concentración de ácidos grasos expresados en mg/g y en la **Tabla 7** expresados en valor relativo porcentual, donde la muestra será medida a partir de los parámetros instrumentales como temperatura del inyector, tiempo, rampa, gas de arrastre y entre otros.

Tabla 6 Perfil de ácidos grasos expresado en mg/g

FA (mg/g)	Chenopodium quinoa
C 14:0	3.14 ± 0.49
C 16:0	97.72 ± 8.95
C 18:0	6.9 ± 1.01
C 18:1n-9	227.93 ± 19.17
C 18:1n-7	9.11 ± 0.85
C 18:2n-6	478.23 ± 37.81
C 18:3n-3	35.77 ± 3.06

Nota. Insitituto del Mar del Perú (IMARPE)

Tabla 7 Perfil de ácidos grasos expresado en valor relativo porcentual

FA (% relativo)	Chenopodium quinoa
C 14:0	0.36 ± 0.03
C 16:0	11.37 ± 0.10
C 18:0	0.80 ± 0.05
C 18:1n-9	26.54 ± 0.04
C 18:1n-7	1.06 ± 0.01
C 18:2n-6	55.70 ± 0.24
C 18:3n-3	4.16 ± 0.01

Nota: Instituto del Mar del Perú (IMARPE)

De las tablas anteriormente señaladas, se evidencia mayor cantidad de Ácido α -linolénico (ALA), con una cantidad de 227.93 ± 19.17 mg/g y 26.54 % expresado en valor relativo porcentual.

En el [Anexo 1](#) se presenta las figuras del cromatograma de FAMES, resultado de la cuantificación de los ácidos grasos presentes en el aceite de la Quinoa Blanca de Hualhuas.

Para el caso de [Wejnerowska y Ciaciuch \(2018\)](#) La obtención de los ácidos grasos a partir de los granos de quinua, obtenidos en aceite de quinua, fue realizada a través de 2 procesos, el primero fue el método convencional, el método de destilación, haciendo uso del solvente hexano y el segundo método fue por fluidos supercríticos.

La obtención de aceite de quinua a través del método Soxhlet fue realizado a partir de una muestra de 10g de semilla de quinua mezclada con 10g de arena, además se usó como co-solvente el metanol, etanol y una mezcla de ambos solventes en dicho proceso. Para la extracción por fluidos supercríticos, se usó 0.6g de semillas de quinua mezcladas con 0.4g de arena. La concentración de ácidos grasos extraídos por ambos métodos se muestran en la [Tabla 8](#).

Tabla 8 Resultado de ácidos grasos obtenidos por Soxhlet y FSC

Métodos de Extracción	Ácidos grasos (expresado en %)							
	C14:0	C16:0	C18:1	C18:2	C18:3	C20:0	Otros	UFA
Soxhlet	0.2	11.3	28.7	50.6	5.5	0.7	3.0	84.8
FSC 1	0.2	11.0	29.7	50.0	5.2	0.7	3.2	84.9
FSC 2	0.2	11.2	28.2	50.9	5.7	0.7	3.1	84.8

Nota: Wejnerowska y Ciaciuch (2018)

En dicho estudio no se observaron diferencias significativas y obtuvieron como resultado en ambos métodos las concentraciones de ácido linolénico (~50%), ácido oleico (~29%) y ácido palmítico (~11%), lo cual arrojó un total de 56% de ácidos grasos poliinsaturados (PUFA), lo que comprueba que en el caso de [Wejnerowska y Ciaciuch \(2018\)](#) se encontraron valores altos de vitamina E, el cual cumple su función como un antioxidante natural.

De acuerdo con la **Tabla 9**, se presenta el contenido de ácidos grasos de quinua y otros aceites de origen vegetal.

Tabla 9 Contenido porcentual de ácidos grasos en aceite de quinua y otros aceites vegetales

Aceite	Ácidos grasos							
	Mirístico	Palmítico	Palmitoleico	Estearico	Oleico	isómero oleico	Linoleico	α -Linolénico
Quinua var. Blanca	0.36	11.35	0.22	0.80	26.48	1.06	55.57	4.16
Chía blanca ¹	0.04	6.86	0.02	3.29	5.76		18.28	63.52
Chía negra ¹	0.04	6.65	0.02	3.28	6.06		18.71	63.05
Ajonjolí ²		9.87	0.09	6.34	37.85		44.31	
Sacha inchi ³		4.67		3.50	10.70		33.50	44.13
Linaza ⁴		5.88	0.03	3.10	20.50		15.00	55.20
Almendra ⁴	0.02	6.73	0.48	1.78	66.69		23.90	0.14
Oliva ⁴		13.6	0.50	3.28	75.40		5.50	0.78

Nota: ¹Alvites-Misajel et al., 2019; ²Agidew et al., 2021; ³Maurer et al., 2012; ⁴Rueda et al., 2014.

Conforme a la **Tabla 9**, se puede observar que la concentración de ácido palmítico ha sido mayor en el aceite de oliva (13.6%), seguido del aceite de quinua blanca del presente estudio con una concentración de 11.35%. De igual manera sucede con la concentración de ácido oleico, donde el aceite de oliva arrojó un valor de 75.40%, seguido del aceite de almendra que contiene 66.69%. Esto demuestra que algunos aceites se diferencian por tener propiedades que facilitan la extracción de los ácidos grasos a comparación del resto de aceites. Dentro de dicha tabla se puede apreciar que la concentración de ácido linoleico de la quinua blanca de Hualhuas ha sido la mayor

respecto de los aceites restantes. Este aceite esencial contiene omega 6 el cual es característico debido a que contribuye a prevenir enfermedades de estrés oxidativo, disminuyendo la cantidad de lípidos en la sangre.

Además, de acuerdo con el estudio de los autores [Benito-Román et al., \(2018\)](#), el porcentaje de ácidos grasos insaturados del aceite de Quinoa Titikaka fue de 63%, el cual se destacó por ser un valor porcentual alto en comparación con otros valores de PUFAS en otros aceites de cereales andinos. Lo que nos da entender que la concentración de ácidos grasos insaturados está relacionada a la variedad del grano de quinua, observándose que algunos granos arrojan mayor concentración de ácidos grasos insaturados que otros.

5.5. Evaluación de la calidad nutricional del aceite de quinua

En la [Tabla 10](#) se presentan los valores del índice de calidad nutricional del aceite de quinua y otros aceites de comestibles.

Tabla 10 *índice de calidad nutricional de aceite de quinua y otros aceites vegetales*

Aceite	Σ MUFAs	Σ PUFAs	Σ (n-6)	Σ (n-3)	AI	TI	h/H
Quinoa var. Blanca	26.70	59.73	55.57	4.16	0.15	0.23	7.36
Chía blanca	5.78	81.80	18.28	63.52	0.08	0.05	12.69
Chía negra	6.08	81.76	18.71	63.05	0.08	0.05	13.13
Ajonjolí	37.94	44.31	44.31	0.00	0.12	0.39	8.32
Sacha inchi	10.70	77.63	33.50	44.13	0.05	0.05	18.91
Linaza	20.53	70.20	15.00	55.20	0.06	0.05	15.43
Almendra	67.17	24.04	23.90	0.14	0.07	0.19	13.44
Oliva	75.90	6.28	5.50	0.78	0.17	0.39	6.01

Nota: MUFAs, suma de ácidos grasos monoinsaturados; PUFAs, suma de ácidos grasos poliinsaturados; AI, índice aterogenico; TI, índice trombogenico; h/H, relación hipo/Hipercolesterolemico.

Los resultados anteriormente mostrados en la [Tabla 10](#) muestran que el contenido de MUFAs y PUFAs en el aceite de quinua fue de 26.70 y 59.73 respectivamente. Estos resultados muestran cierta similitud con el aceite de ajonjolí. A diferencia del aceite de almendra y oliva que presentan valores de MUFAs mas superiores. En relación con los PUFAs el aceite de quinua es inferior a aceites como el de chía, sachá inchi y linaza. Además el aceite de quinua es rico en ácido linolénico (omega 6) y presenta baja concentración de ácido α -linolénico (omega 3). Los índices de calidad de nutricional del aceite de quinua muestran valores para el índice aterogénico y trombogénico de 0.15 y 0.23 respectivamente y muy similar al aceite de almendra. Con respecto con el índice hipo/Hipercolesterolémico mostró un valor intermedio en comparación con aceites de mejor calidad como el aceite de chía, sachá inchi y linaza.

Capítulo 5: Conclusiones

- Con respecto a la determinación del contenido de compuestos fenólicos totales, se evidenció que el valor hallado se encontró en un rango similar a de los otros estudios que se han comparado en el presente estudio.
- La actividad antioxidante del aceite de quinua del residuo etanólico demostró que existe una relación el cual a mayor concentración de muestra se obtuvo mayor capacidad antioxidante.
- En cuanto al perfil de ácidos grasos obtenido a partir del aceite recuperado se llegó a concluir que el valor porcentual de la presente muestra en comparación con los valores obtenidos de otros estudios no han arrojado diferencias significativas, teniendo en cuenta que en dichas investigaciones se han utilizado distintos métodos de extracción de aceite.
- El aceite de quinua arrojó valores de calidad nutricional dentro del estándar en comparación a otros aceite vegetales.

Capítulo 6: Recomendaciones

- Se recomienda realizar más extracciones con diseños experimentales para optimizar los procesos de extracción con co-solvente.
- Se recomienda realizar estudios similares con otras variedades de quinua a fin de conocer su aporte en la fracción etérea.
- Se recomienda estudiar más variables dependientes para una mejor comprensión de los aceites obtenidos, como el perfil de tocoferoles, tocotrienoles, fitoesteroles, alcoholes, terpenoides, etc.

Referencias

- Arana y Paredes, A. D. (2008). Estabilidad Oxidativa y Capacidad Antioxidante del Aceite de Sacha Inchi (*Plukenetia Volubilis* L.) Extraído de Semillas Tostadas a Diferentes Condiciones. Repositorio Usil. Recuperado 8 de noviembre de 2021, de http://repositorio.usil.edu.pe/bitstream/USIL/2349/1/2008_Arana_Estabilidad_oxidativa_y_capacidad_antioxidante.pdf
- A. (s. f.). *Variedades de quinua*. Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. Recuperado 2 de febrero de 2021, de <https://www.minagri.gob.pe/portal/444-granos-andinos/9377-variedades-de-quinua>
- Balboa Acero, N. (2015). *DETERMINACIÓN DE PÉRDIDAS DE ACEITE DEL PROCESO DE PRENSADO EN LA EXTRACCIÓN DE ACEITE EN ALCOPALMA.S.A.* Repositorio Digital-Universidad Central del Ecuador. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/4582/1/T-UCE-0017-124.pdf>
- Benito-Román, O., Rodríguez-Perrino, M., Sanz, M. T., Melgosa, R., Beltrán, S. (2018). Supercritical carbon dioxide extraction of quinoa oil: Study of the influence of process parameters on the extraction yield and oil quality. *Journal of Supercritical Fluids* 139, 62-71.
- Bopitiya, D., Madhujith, T. (2013). Antioxidant activity and total phenolic content of sesame (*Sesamum indicum* L.) seed oil. *Tropical Agricultural Research*, 24, 296-302.
- Calzada, J. A. (2018, 7 diciembre). El mercado mundial de aceites vegetales: situación actual y perspectivas. Bolsa de Comercio de Rosario. <https://www.bcr.com.ar/es/mercados/investigacion-y-desarrollo/informativo-semanal/noticias-informativo-semanal/el-mercado-10>
- Chen, Y-S., Aluwi, N. A., Saunders, S. R., Ganjyal, G. M., Medina-Meza, I. G. (2019). Metabolic fingerprinting unveils quinoa oil as a source of bioactive phytochemicals. *Food Chemistry*, 286, 592-599.
- Coronado, Vega, Gutiérrez, Vásquez y Rádiala, M. S. R. M. C. (2015, junio). *Antioxidantes: perspectiva actual para la salud humana*. Biblioteca Virtual SciELO. <https://scielo.conicyt.cl/pdf/rchnut/v42n2/art14.pdf>
- Dąbrowski, G., Konopka, I., Czaplicki, S. (2018). Variation in oil quality and content of low molecular lipophilic compounds in chia seed oils. *International Journal of Food Properties*, 21, 2016-2029.
- García, M. (2017, 1 marzo). Extracciones puras con CO2 supercrítico: ¿Por qué despiertan el interés industrial? *AINIA*. <https://www.ainia.es/tecnoalimentalia/tecnologia/extracciones-puras-con-co2-supercritico/>
- George, B. (2021, marzo). *Oilseeds: World Markets and Trade*. United States Department of Agriculture. <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/oilseeds.pdf>

- Grajzer, M., Szmalczel, K., Kuźmiński, Ł., Witkowski, M., Kulma, A., Prescha, A. (2020). Characteristics and antioxidant potential of cold-pressed oils—possible strategies to improve oil stability. *Foods*, 9, 16-30.
- Granados, Yáñez Y Acevedo, C. X. D. (2014). Evaluación de la Actividad Antioxidante del Aceite Esencial Foliar de *Myrcianthes leucoxylla* de Norte de Santander (Colombia). Scientific Electronic Library Online. <https://scielo.conicyt.cl/pdf/infotec/v25n3/art03.pdf>
- Infantes García, M. (2014). “EVALUACIÓN DEL TRATAMIENTO ENZIMÁTICO PARA LA EXTRACCIÓN MECÁNICA DEL ACEITE VEGETAL DE LAS SEMILLAS DE MARACUYÁ (*Passiflora edulis* var. *Flavicarpa Degener*)”. Repositorio La Molina. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/2423/Q52-I553-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- La Organización de las Naciones Unidas de la Alimentación y la Agricultura (2011). La Quinua: Cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial, 16-17.
- Mataix Verdú, J. (2014). *Nutrición para educadores* (2.ª ed., Vol. 2). Diaz de santos. <https://books.google.com.pe/books?id=Ow5O1EQzqHAC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
- Morales, Valenzuela, Gonzáles M, Gonzáles E, Tapia, Sanhueza y Valenzuela, J. R. D. M. G. J. A. (2012). Nuevas fuentes dietarias de ácido alfa-linolénico: una visión crítica. *SciELO-Revista chilena de nutrición*, 39(No. 3), 79-87. https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-75182012000300012
- Morillo, Fernández, Hernández, Castillo y Marquina, M. F. H. C. M. (2010, mayo). <https://www.redalyc.org/pdf/857/85716999001.pdf>. La Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal. <https://www.redalyc.org/pdf/857/85716999001.pdf>
- Morillo, Fernández, Hernández, Castillo y Marquina, M. F. H. C. M. (2010, mayo). <https://www.redalyc.org/pdf/857/85716999001.pdf>. La Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal. <https://www.redalyc.org/pdf/857/85716999001.pdf>
- Muñoz, Alvarado-Ortíz, Ramos, Castañeda, Mendoza, Cárdenas, Yáñez, Cajaleón Y Encina, A. C. F. B. E. L. J. D. C. (2013). *Estudio de polifenoles, taninos y métodos químicos para determinar la actividad antioxidante de la semilla de Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.)*. Repositorio USMP. Recuperado 8 de noviembre de 2021, de https://www.usmp.edu.pe/medicina/medicina/horizonte/2013_1/Art2_Vol13_N1.pdf
- Nicaragua, N. (2004). *Análisis de estudios de cadena etanol*. Repositorio IICA. <http://repiica.iica.int/docs/B0014e/B0014e.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura - FAO, Instituto Nacional de Innovación Agraria - INIA. (2013). *Catálogo de variedades comerciales de Quinua en el Perú*. FAO. <http://www.fao.org/3/as890s/as890s.pdf>
- Pardo, Burga y Romero, M. R. V. (2020). Estudio comparativo en rendimiento y calidad de 12 variedades de quinua orgánica en la comunidad campesina de San Antonio de Manallasacc,

- Pastene, E. *Estado actual de la búsqueda de plantas con actividad antioxidante. Boletín Latinoam Caribe Plantas Med Aromáticas*. 2009; 8 (6), pp. 449- 55.
- Patthamakanokporn, O., Puwastien, P., Nitithamyong, A., Sirichakwal. P *Changes of antioxidant activity and total phenolic compounds during storage of selected fruits. J Food Composition Analysis*. 2008; 21, 241-8.
- Quispe, C. J. (2015, 16 junio). *Extracción supercrítica de compuestos fenólicos a partir de Lías obtenidas de los residuos de la producción de Pisco*. Repositorio de Tesis, Universidad Peruana Unión. <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/UPEU/122>
- Restrepo, Londoño-Londoño, Gonzáles, Benavides y Cardona, R. L. G. B. C. (2012). Comparación del aceite de aguacate variedad Hass cultivado en Colombia, obtenido por fluidos supercríticos y métodos convencionales: una perspectiva desde la calidad*. *Revista Lasallista de Investigación, Vol. 9*(No. 12), 151-161. <https://www.redalyc.org/pdf/695/69525875005.pdf>
- Rodríguez y Vásquez, A. E. (2019). “Evaluación del etanol como cosolvente en el proceso de extracción con fluido supercrítico - CO₂ para obtener aceite de maíz de la empresa Grupo Rocío”. Biblioteca Digital - Dirección de Sistemas de Informática y Comunicación. http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/15584/RodriguezMartinez_A%20-%20VasquezMinano_E.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Sánchez-Moreno, Larrauri Y Saura-Calixto, C. J. F. (1997). *Procedimiento para medir la eficacia antirradical de los polifenoles. J Sci Food Agric, 1, 270–276*.
- Tao, L. (2015). Oxidation of polyunsaturated fatty acids and its impact on food quality and human health. *Advances in Food Technology and Nutritional Sciences Open Journal, 1, 135-142*.
- Velasco, Villada y Carrera, R. H. J. (2007). Aplicaciones de los Fluidos Supercríticos en la Agroindustria. *SciELO- Información tecnológica, 18*(N° 1), 53-66. https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642007000100009
- Velasco, Villada y Carrera, R. H. J. (2007). Aplicaciones de los Fluidos Supercríticos en la Agroindustria. *SciELO, 18 (1)*(Información Tecnológica), 53–65. <https://scielo.conicyt.cl/pdf/infotec/v18n1/art09.pdf>

Anexos

Anexo 1 Cromatograma de FAME'S

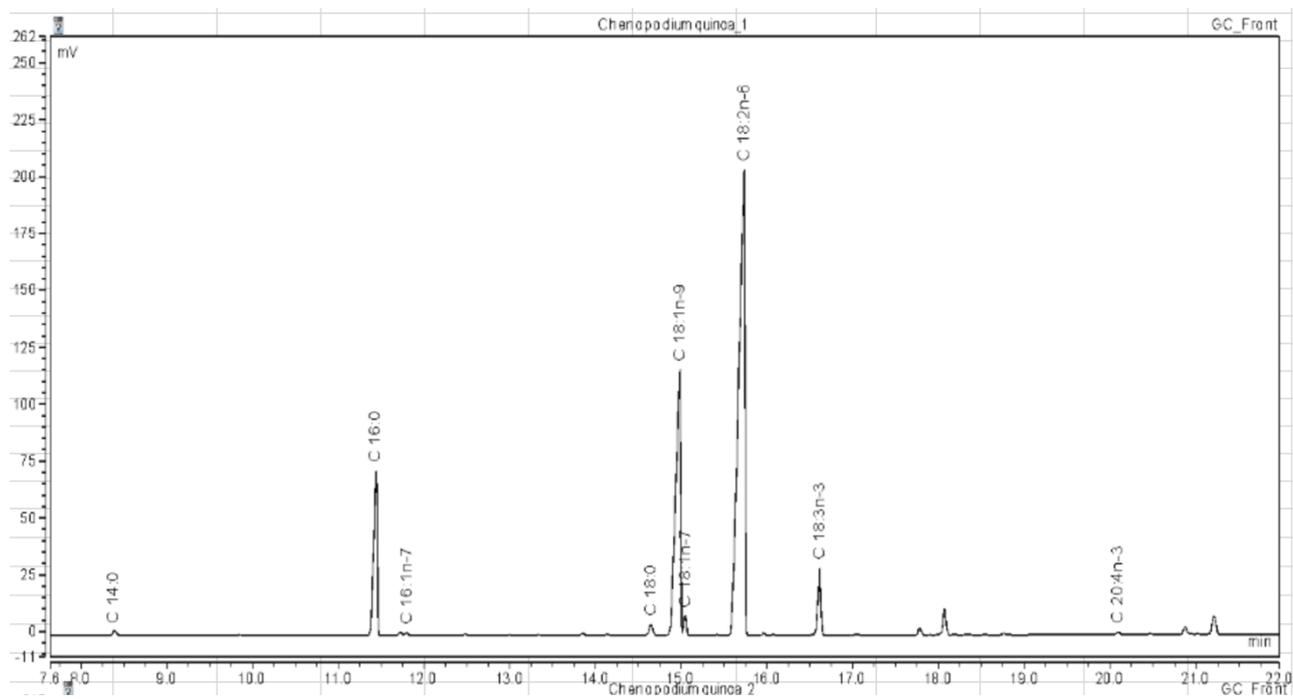


Figura 4 Cromatograma de FAME's del perfil de ácidos grasos del aceite de Quinoa Hualhuas

Fuente: Instituto del Mar del Perú (2019)



UNIVERSIDAD
SAN IGNACIO
DE LOYOLA

17th Euro Fed Lipid Congress And Expo
Seville, Spain 2019

Fatty acid profile and antioxidant activity of extract from quinoa powder (*Chenopodium quinoa Willd.*) obtained by supercritical CO₂ and ethanol as cosolvent

L. Estrada-Cabanillas^{1,2}, F. Ramos-Escudero², L. Olivera¹

¹Grupo de Ciencia, Tecnología e Innovación en Alimentos, Universidad San Ignacio de Loyola, Lima, Perú. ²Unidad de Investigación en Nutrición, Salud, Alimentos Funcionales y Nutraceuticos, Universidad San Ignacio de Loyola (UNUSAN-USIL), C/ Toulon 310, 15024 Lima, Perú.



INTRODUCTION
Quinoa is a pseudo-cereal with exceptional nutritional value, high health-beneficial phytochemical and polyunsaturated fatty acid contents and a proven biological activity. In this work, we evaluated the extraction of quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*) powder using supercritical CO₂ extraction and the addition of ethanol as cosolvent aiming the recovery of oil and bioactive components.

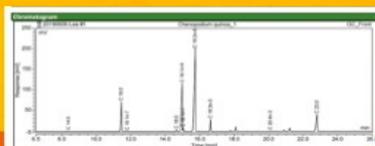
MATERIALS & METHODS:
The experiment was performed at 55°C for temperature and 23 MPa for pressure, using ethanol (7.8 g of quinoa/100 mL). All runs were at CO₂ mass flow of 35 g/min and extraction time of 240 min. The quinoa particle size was 500 µm. The fatty acid profile, content of phenolic compounds and antioxidant activity of the extracted oil was analyzed by GC-FID and UV-vis spectroscopy, respectively.

RESULTS:
Fatty acid profile was as follows: C14:0 (0.31%), C16:0 (10.01%), C18:0 (0.68), C18:1w-9 (23.53), C18:1w-7 (0.94%), C18:2w-6 (49.56%) and C18:3w-3 (3.69). The total phenolic content assessed by Folin-Ciocalteu reagent was 342.87 mg/kg and the amount of sample mass required to inhibit 50% of DPPH free radicals was 0.27 mg.

Determination of fatty acids profile

FA (mg/g)	Chenopodium quinoa	FA (% relativo)	Chenopodium quinoa
C14:0	3.34 ± 0.49	C14:0	0.36 ± 0.03
C16:0	97.72 ± 8.95	C16:0	11.37 ± 0.10
C18:0	6.9 ± 1.01	C18:0	0.80 ± 0.05
C18:1n-9	227.93 ± 19.17	C18:1n-9	26.54 ± 0.04
C18:1n-7	9.11 ± 0.85	C18:1n-7	1.06 ± 0.01
C18:2n-6	478.23 ± 37.81	C18:2n-6	55.70 ± 0.24
C18:3n-3	35.77 ± 3.06	C18:3n-3	4.16 ± 0.01

Antioxidant activity by QUENCHER DPPH



Peak Number	Retention Time (min)	Area	Height	Area %	Height %	Assigned	Reference
1	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
2	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
3	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
4	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
5	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
6	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
7	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
8	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
9	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
10	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
11	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
12	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
13	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
14	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
15	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
16	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
17	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
18	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
19	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
20	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
21	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
22	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
23	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
24	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
25	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
26	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
27	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
28	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
29	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
30	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
31	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
32	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
33	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
34	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
35	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
36	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
37	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
38	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
39	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
40	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
41	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
42	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
43	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
44	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
45	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
46	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
47	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
48	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
49	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
50	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
51	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
52	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
53	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
54	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
55	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
56	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
57	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
58	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
59	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
60	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
61	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
62	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
63	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
64	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
65	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
66	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
67	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
68	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
69	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
70	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
71	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
72	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
73	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
74	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
75	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
76	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
77	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
78	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
79	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
80	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
81	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
82	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
83	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
84	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
85	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
86	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
87	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
88	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
89	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
90	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
91	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
92	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
93	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
94	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
95	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
96	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
97	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
98	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
99	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.
100	11.000	11.000	11.000	100.00	100.00	n.a.	n.a.

CONCLUSION:
To summarize, we conclude that the use supercritical CO₂ extractions and the addition of ethanol as cosolvent is interesting green technology for extraction of high-value biological compounds.

REFERENCES
21 N. Ruzent, A. Grinbl, R.N. D'Souza, S.K. Verma, M. Coma, N. Ruzent and M.J. Utrich, *Food Res.* 7(4), 2018, 222, 227-247. / 2) F. Ramos-Escudero, A.M. Muñoz, C. Alvarado-Ovilo, A. Aronovich and J.A. Yáñez, *J. Med. Food*, 2022, 25, 206-215. / 3) L. Cavaleiro-Ribeiro, J. Mafrenco, S.M. Amêlo and M.C. Gonçalves, *Trends*, 2023, 238, 209-216. / 4) C. Hernández-Hernández, A. Moreno-Silva, J. Fernández-Bolaños, A. Benito-Gil, A. Aguiar-Morales and G. Rodríguez-Gutiérrez, *J. Sci. Food Agric.*, 2018, <https://doi.org/10.1002/jsfa.8392>

