



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Dirección General de Estudios de Posgrado

Facultad de Ingeniería Industrial

Unidad de Posgrado

**Hidrolizado proteico de quinua (*Chenopodium quinoa*
Willd.) con péptidos bioactivos y capacidad antioxidante:
evaluación de la factibilidad económica**

TESIS

Para optar el Grado Académico de Doctor en Ingeniería Industrial

AUTOR

Luis Alberto OLIVERA MONTENEGRO

ASESORES

Dr. Oscar Rafael TINOCO GÓMEZ

Dr. Hugo Ítalo ROMERO BONILLA

Lima, Perú

2021



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Olivera, L. (2021). *Hidrolizado proteico de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) con péptidos bioactivos y capacidad antioxidante: evaluación de la factibilidad económica*. [Tesis de doctorado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Industrial, Unidad de Posgrado]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	LUIS ALBERTO OLIVERA MONTENEGRO
DNI Carné de extranjería emitido en Perú Pasaporte Cédula de identidad <small>(Solo una de las opciones debe quedar en este recuadro)</small>	40308922
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-0151-7031
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	OSCAR RAFAEL TINOCO GOMEZ
DNI Carné de extranjería emitido en Perú Pasaporte Cédula de identidad <small>(Solo una de las opciones debe quedar en este recuadro)</small>	08606920
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-7927-931X
Datos de coasesor	
Nombres y apellidos	HUGO ÍTALO ROMERO BONILLA
DNI / Carné de extranjería emitido en Perú / Pasaporte / Cédula de identidad <small>(Solo una de las opciones debe quedar en este recuadro)</small>	EC / 00871136
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-7846-0512
Datos de investigación	
Línea de investigación	No aplica
Grupo de investigación	No aplica
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento
Ubicación geográfica de la investigación	Edificio: Pabellón C-Campus 1. País: Perú Departamento: Lima Provincia: Lima Distrito: La Molina Centro poblado: No corresponde

	Urbanización: San César Manzana y lote: N° 550 Calle: Av. La Fontana Latitud: -12.073380 Longitud: -76.953790
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Octubre 2017 - Diciembre 2020
URL de disciplinas OCDE	Ingeniería industrial https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.11.04



**UNIVERSIDAD NACIONAL
MAYOR DE SAN MARCOS**

Universidad del Perú, DECANA DE AMERICA

UNIDAD DE POSGRADO

ACTA DE SUSTENTACIÓN VIRTUAL N°09-UPG-FII-2021

**SUSTENTACIÓN DE TESIS VIRTUAL PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO
DE DOCTOR EN INGENIERÍA INDUSTRIAL**

En la ciudad de Lima, del día veintitrés del mes de junio del dos mil veintiuno, siendo las doce horas, de forma virtual se instaló el Jurado Examinador para la Sustentación de la Tesis titulada: **“HIDROLIZADO PROTEICO DE QUINUA (Chenopodium quinoa Willd.) CON PÉPTIDOS BIOACTIVOS Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE: EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD ECONÓMICA”**, para optar el Grado Académico de Doctor en Ingeniería Industrial.

Luego de la exposición y absueltas las preguntas del Jurado Examinador se procedió a la calificación individual y secreta, habiendo sido **APROBADO** con la calificación de **DIECISIETE (17) MUY BUENO**.

El Jurado recomienda que la Facultad acuerde el otorgamiento del Grado Académico de Doctor en Ingeniería Industrial, al **Mg. OLIVERA MONTENEGRO LUIS ALBERTO**.

En señal de conformidad, siendo las **13:46** horas se suscribe la presente acta en cuatro ejemplares, dándose por concluido el acto.



Firmado digitalmente por INCHE
MITMA Jorge Luis FAU 20148092282
soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 09.07.2021 09:40:06 -05:00

Dr. INCHE MITMA JORGE LUIS
Presidente



Firmado digitalmente por CEVALLOS
AMPUERO Juan Manuel FAU
20148092282 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 01.07.2021 12:05:34 -05:00

Dr. CEVALLOS AMPUERO JUAN MANUEL
Miembro



Firmado digitalmente por CHUNG
PINZAS Alfonso Ramon FAU
20148092282 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 28.06.2021 15:37:36 -05:00

Dr. CHUNG PINZÁS ALFONSO RAMÓN
Miembro

Dr. ROSALES LOPEZ PEDRO PABLO
Miembro



Firmado digitalmente por TINOCO
GOMEZ Oscar Rafael FAU
20148092282 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 29.06.2021 13:17:44 -05:00

Dr. TINOCO GÓMEZ OSCAR RAFAEL
Asesor

DEDICATORIA

Con mucho cariño dedico este trabajo a mis padres Segundo y Maria, a mis hijos Luciano y Milagros, y a mi esposa Gabriela, ellos son la inspiración de mi vida.

A mi Asesor Dr. Oscar Tinoco y coasesor Dr. Hugo Romero.

A mi grupo del doctorado en Ingeniería Industrial 2017-2.

AGRADECIMIENTO

Agradezco al Dr Tinoco por su asesoramiento, al Dr Hugo Romero Bonilla por su co-asesoria y por su valioso aporte en la mejora de mi tesis.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	1
AGRADECIMIENTO.....	2
RESUMEN.....	9
ABSTRACT	11
CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN.....	13
1.1 Situación problemática.....	15
1.2 Formulación del Problema.....	18
1.2.1 Problema General	18
1.2.2 Problemas específicos	18
1.3 Justificación de la Investigación.....	19
1.3.1 Justificación Teórica.....	19
1.3.2 Justificación práctica	22
1.3.3 Justificación Metodológica.....	23
1.4 Delimitación de Investigación.....	23
1.5 Objetivos	24
1.5.1 Objetivo general	24
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO	26
2.1 Marco filosófico de la investigación	26
2.2 Antecedentes de investigación	28
2.3 Bases Teóricas	36
2.3.1 Tecnologías para el pretratamiento de la harina de quinua.....	36
2.3.2 Capacidad antioxidante del hidrolizado proteico de quinua.....	40
2.3.3 Concepto de la Factibilidad Económica, costo	44
2.4 Marco Conceptual.....	55
2.5 Hipótesis	57
2.5.1. Hipótesis general.....	57
2.5.2. Hipótesis específicas	58

CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA	59
3.8.1 Reactivos	64
3.8.2 Preparación de la muestra	65
3.8.3 Extracción de la proteína de quinua.....	65
3.8.4 Hidrólisis enzimática de la proteína de quinua.....	70
3.8.5 Determinación de los ensayos de laboratorio	71
3.8.6 Análisis estadístico	75
3.8.7 Evaluación económica	76
3.8.7.1. Modelo de simulación de procesos	76
3.8.7.2. Parámetros de evaluación económica.....	77
3.8.7.2. Escalamiento del proceso	82
3.8.7.3 Evaluación de la correlación estadística entre las variables de entrada y los indicadores CM y VPN.....	85
3.8.7.4 Análisis estadístico para la prueba de las hipótesis	85
CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	87
4.1 Comparación del efecto del tipo de pretratamiento extracción convencional con éter de petróleo y fluidos supercríticos previo a la hidrólisis enzimática	87
4.2 Comparación del efecto del pretratamiento convencional con éter de petróleo (Método soxhlet) y fluidos supercríticos en la actividad antioxidante del hidrolizado proteico de quinua (HPQ)	92
4.3. Escalamiento del proceso de producción de hidrolizado proteico de quinua pretratada por dos métodos (Fluidos Supercríticos y método convencional)... ¡Error! Marcador no definido.	
4.4 Resultados de la evaluación económica de producción de hidrolizado proteico de quinua pretratada por dos métodos (Fluidos Supercríticos y método convencional)	100
4.4. Estudio de sensibilidad	106
4.5 Evaluación de la correlación estadística entre las variables de entrada y los indicadores CM y VPN.....	111
4.6 Análisis estadístico de la significancia del costo de manufactura (CM)	112
4.6 Análisis estadístico de la significancia del Valor presente neto (VPN).....	114
4.7 Contrastación de la hipótesis	115
4.7.1 Hipótesis específica “a” y “b” para cada tipo de tecnología	115
4.7.2 Hipótesis específica “c” y “d” para cada tipo de tecnología	119
4.7.3 Hipótesis específica “e” y “f” para cada tipo de tecnología	121
4.7.4 Hipótesis general.....	123
CONCLUSIONES	124

RECOMENDACIONES	127
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	128
ANEXOS.....	140
ANEXO 1: Data experimental Producción de hidrolizado proteico de quinua, obtenido con pretratamiento convencional utilizado para la simulación económica.	140
ANEXO 2: Data experimental Producción de hidrolizado proteico de quinua, obtenido con pretratamiento con fluidos supercriticos, utilizado para la simulación económica.	141
ANEXO 3: Balance de masa utilizado para la simulación y escalamiento industrial del proceso, pretratamiento convencional.	142
<u>ANEXO 4: Balance de masa utilizado para la simulación y escalamiento industrial del proceso, pretratamiento con fluidos supercriticos.</u>	
ANEXO 5: Requerimiento de materia prima e insumos, pretratamiento convencional	144
ANEXO 6: Requerimiento de materia prima e insumos, pretratamiento con fluidos supercriticos.....	145
ANEXO 7: Requerimiento de equipos e instrumentos a escala industrial, pretratamiento convencional.....	146
ANEXO 8: Requerimiento de equipos e instrumentos a escala industrial, pretratamiento con fluidos supercriticos.....	147
ANEXO 9: Requerimiento de electricidad a escala industrial, pretratamiento convencional.....	148
ANEXO 10: Requerimiento de electricidad a escala industrial, pretratamiento convencional.....	149
ANEXO 11: Pruebas de normalidad y homogeneidad de varianzas para la actividad antioxidante.....	¡Error! Marcador no definido.
ANEXO 12: Análisis ANOVA y Tukey para la capacidad antioxidante.....	81
ANEXO 13: Pruebas de normalidad y homogeneidad de varianzas del costo de manufactura	151
ANEXO 14: Análisis ANOVA y Tukey para el costo de manufactura	151
ANEXO 15: Pruebas de normalidad y homogeneidad de varianzas del Valor presente Neto	151
ANEXO 16: Análisis de Kruskal-Wallis para el valor presente neto	151

**ANEXO 17: Catálogo de la maquinaria seleccionada y cotizada para el
escalamiento industrial..... 151**

ÍNDICE DE CUADROS.....vi

ÍNDICE DE FIGURASvii

LISTA DE CUADROS

Cuadro1 Ventajas y desventajas de métodos de extracción verdes	36
Cuadro2 Propiedades de fases líquido, gas y Fluidos supercríticos	37
Cuadro3 Clasificación taxonómica de la quinua	47
Cuadro 4 Matriz de análisis de datos	72
Cuadro 5 Base de costo del equipamiento utilizado para la simulación económica a escala industrial.....	72
Cuadro 6 Resumen de parámetros económicos utilizado para la simulación económica para los dos pretratamientos	72
Cuadro 7 Matriz de análisis de datos	72
Cuadro8 Efecto del pretratamiento con éter de petróleo y con fluidos supercríticos a la harina de quinua	80
Cuadro9 Perfil de ácidos grasos y capacidad antioxidante en el extracto recuperado con fluidos supercriticos.....	82
Cuadro10 Efecto de la extracción con éter de petróleo (Método soxhlet) y fluidos supercriticos en la proteína total del concentrado proteico de quinua (QPC).....	83
Cuadro11 Contenido de compuestos fenólicos totales residuales	83
Cuadro12 Actividad antioxidante (AA), grado de hidrolisis (GH), proteína soluble (PS) en el hidrolizado proteico de quinua con pretratamiento convencional y fluidos supercríticos.....	86
Cuadro13 Indicadores economicos obtenidos con el simulador	95
Cuadro14 Resumen del modelo para la variable dependiente CM	104
Cuadro15 Resumen del modelo para la variable dependiente VPN	105
Cuadro16 Análisis estadístico de la significancia del costo de manufactura (CM)....	106
Cuadro17 Análisis estadístico de la significancia del Valor presente neto (VPN)	107
Cuadro 18 Comparación de medias de la Actividad antioxidante (AA) en el hidrolizado proteico de quinua con pretratamiento convencional y fluidos supercríticos.....	109

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Efecto fisiológico de péptidos bioactivos	40
Figura 2 Inflorescencias de la quinua.	48
Figura 3 Representación esquemática de la producción de péptidos bioactivos derivas de plantas.	50
Figura 4 Diseño experimental.....	57
Figura 4 Equipo extractor multisolvente marca Top Industrie, propiedad del Instituto tecnológico de la Producción.....	63
Figura 6 Proceso de obtención de hidrolizado proteico de quinua	66
Figura 7 Ensayos realizados	68
Figura 8 Procedimiento para la simulación, evaluación económica, estudios de sensibilidad y correlación de variables.	79
Figura 9 Diagrama de proceso de producción a escala industrial de hidrolizado proteico de quinua con pretratamiento con fluidos supercríticos	89
Figura 10 Diagrama de Gantt de producción a escala industrial de hidrolizado proteico de quinua con pretratamiento con fluidos supercriticos	91
Figura 11 Diagrama de proceso de producción a escala industrial de hidrolizado proteico de quinua con pretratamiento convencional con éter de petróleo.	92
Figura 12 Diagrama de Gantt de producción a escala industrial de hidrolizado proteico de quinua con pretratamiento convencional con éter de petróleo.....	93
Figura 13 Gráfico de productividad, costo de manufactura y capital total invertido	96

Figura 14 Gráfico de sectores para la producción del hidrolizado proteico de quinua a escala laboratorio con el pretratamiento de extracción convencional	97
Figura 15 Gráfico de sectores para la producción del hidrolizado proteico de quinua a escala laboratorio con el pretratamiento de extracción con fluidos supercriticos	98
Figura 16 Gráfico de sectores para la producción del hidrolizado proteico de quinua a escala industrial con el pretratamiento de extracción convencional.	99
Figura 17 Gráfico de sectores para la producción del hidrolizado proteico de quinua a escala industrial con el pretratamiento de extracción con fluidos supercriticos.	99
Figura 18 Capacidad antioxidante del hidrolizado proteico de quinua y compuestos fenólicos remanentes.....	110
Figura 19 Compuestos fenólicos remanentes en el hidrolizado proteico de quinua	111

RESUMEN

Se evaluó el efecto de dos pretratamientos sobre la actividad antioxidante en el hidrolizado proteico de quinua, utilizando la extracción con CO₂ supercrítico y etanol como cosolvente, este tipo de pretratamiento se comparó con un método convencional de extracción con éter de petróleo sin recuperación de compuestos bioactivos. Las extracciones se realizaron a una temperatura de 55°C y una presión de 23 MPa utilizando etanol (7-8 g de quinua/100 ml); el flujo de masa de CO₂ fue de 35 g/min, el tiempo de extracción fue de 240 min, y el tamaño de partícula fue de 500 µm, se aplicó la enzima COROLASE® 7089 para la hidrólisis enzimática, finalmente la prueba ABTS evaluó la actividad antioxidante. Se encontró un efecto significativo en el grado de hidrólisis (23,93%) y la actividad antioxidante (1181,64 µmol TE/g de proteína) en comparación con el método convencional (24,33%) y (1448,84 µmol TE/g de proteína). Se realizó la evaluación económica utilizando el simulador SuperPro Designer 9.0® para estimar el costo de manufactura (CM) considerando lotes de escala de laboratorio (1,5 kg/lote) e industrial (2500 kg/lote), el estudio de sensibilidad compuesto por 16 corridas para evaluar la influencia de dos variables de entrada (productividad y rendimiento del hidrolizado) sobre dos indicadores económicos: Costo de manufactura (CM) y valor actual neto (VPN). Para la escala industrial, la inversión total está en el rango de 400-500 k dólares para el método de extracción convencional y 900-1000 k dólares cuando se utiliza el método de extracción con fluidos supercríticos. El estudio de correlación estadística permitió identificar una relación entre las variables de entrada y los indicadores económicos. Los resultados sugieren que el uso de CO₂ supercrítico y la adición de etanol como co-solvente es una tecnología verde interesante, para recuperar el aceite y separar los compuestos fenólicos antes de la hidrólisis enzimática para evitar la interferencia con las actividades biológicas de los hidrolizados de proteína de quinua y muestra una mayor actividad antioxidante; y los mejores indicadores económicos surgen cuando se utiliza el desengrasado con fluidos supercríticos como paso previo para obtener el hidrolizado de proteína.

Palabras clave: hidrolizado proteico de quinua; corteza; extracción con fluidos supercríticos; evaluación económica; coste de fabricación; retorno de la inversión.

ABSTRACT

The effect of two pretreatments on the antioxidant activity were evaluated in quinoa protein hydrolysate, using supercritical CO₂ extraction and ethanol as cosolvent, this type of pretreatment was compared to a conventional petroleum ether extraction method without recovery of bioactive compounds. The extractions were carried out at a temperature of 55°C and a pressure of 23 MPa using ethanol (7-8 g quinoa/100 ml); the CO₂ mass flow was 35 g/min, the extraction time was 240 min, and the particle size was 500 µm, enzyme COROLASE® 7089 was applied for enzymatic hydrolysis, finally ABTS test assessed antioxidant activity. A significant effect was found on the degree of hydrolysis (23.93%) and antioxidant activity (1181.64 µmol TE/g protein) compared to a conventional method (24.33%) and (1448.84 µmol TE/g protein). Economic evaluation was performed using SuperPro Designer 9.0® simulator was used to estimate the cost of manufacturing (CM) when considering batches of laboratory (1.5 kg/batch) and industrial (2500 kg/batch) scales. A sensitivity study consisting of 16 runs was carried out to evaluate the influence of two input variables (productivity and hydrolyzate yield) on three economic indicators: Cost of Manufacturing (CM) and Net Present Value (NPV). For industrial scale, the total investment is in the range of USD 400-500 k for the conventional extraction method and USD 900-1000 k when using supercritical fluid extraction method. The statistical correlation study allows to identify a relationship between the input variables and the economic indicators. results suggest that the use of supercritical CO₂ and the addition of ethanol as co-solvent is an interesting green technology, to recovery oil and separate phenolic compounds prior to enzymatic hydrolysis to avoid interference with biological activities from quinoa protein

hydrolysates and shows highest antioxidant activity. When scenarios are simulated in which the residues of certain operations (saponins and oils) are sold, higher profits are obtained.

Keywords: quinoa protein hydrolyzate; rind; supercritical fluid extraction; economic evaluation; cost of manufacturing; return on investment.

CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN

Se conocen actualmente procedimientos de obtención de hidrolizados proteicos de quinua con péptidos bioactivos con capacidad antioxidante, en la cual todos aplican pretratamientos a la harina de quinua con métodos convencionales como el desgrasado con solventes orgánicos, tales como el éter de petróleo, hexano, entre otros; para evitar interferencias de la grasa en las operaciones siguientes como por ejemplo la extracción de proteína y la hidrólisis enzimática, no se ha reportado ninguna técnica con pretratamiento para separar o purificar la harina de quinua u otros compuestos que pueden interferir con la medición de la capacidad antioxidante de los péptidos bioactivos obtenidos, como por ejemplo los compuestos fenólicos que también aportan capacidad antioxidante y pueden estar presentes en los hidrolizados proteicos, dando mediciones erróneas en la capacidad antioxidante.

En ese sentido, con la finalidad de proporcionar un método de purificación de la harina de quinua, previo a la hidrólisis enzimática, en la presente investigación se evaluó el efecto sobre la actividad antioxidante y la factibilidad económica a escala industrial en la producción de hidrolizado proteico de quinua, aplicando un pretratamiento con fluidos supercríticos utilizando CO₂ supercrítico y etanol como cosolvente, este pretratamiento fue comparado con el método convencional de extracción con éter de petróleo sin recuperación de compuestos bioactivos (compuestos fenólicos); con el propósito de proponer una metodología para la producción hidrolizados proteicos de quinua con alta capacidad antioxidante, y factible a escala industrial, permitiendo así el uso de tecnologías limpias y un máximo aprovechamiento y valor agregado de la quinua.

El pretratamiento propuesto utilizando CO₂ supercrítico y etanol como cosolvente, se aplica con el objetivo de extraer el aceite y además separar los compuestos fenólicos que provocan interferencias en la capacidad antioxidante de los hidrolizados al momento de ser analizados. Este pretratamiento fue comparado con el método convencional de obtención de hidrolizados proteicos de quinua, donde se realiza una extracción del aceite o desgrasado de la quinua con solventes orgánicos, sin separación de compuestos bioactivos. Después de realizar los ensayos de laboratorio, se realizó una simulación del proceso de producción de hidrolizado proteico de quinua, para cada pretratamiento, tanto para escala de laboratorio y escala industrial, además se establecieron cuatro escenarios de aprovechamiento de los subproductos obtenidos por ambos métodos tanto para nivel laboratorio e industrial, haciendo un total de 16 escenarios.

El capítulo 1 menciona la situación problemática relacionada a la influencia del tipo de pretratamiento: extracción con fluidos supercríticos y extracción convencional con solventes aplicado a la harina de quinua, previo a la hidrólisis enzimática sobre la capacidad antioxidante y la factibilidad económica a escala industrial de la producción de hidrolizado proteico de quinua, se formula el problema y los objetivos, así como la justificación teórica y práctica.

El capítulo 2, comprende el marco teórico, el marco filosófico, los antecedentes de la investigación relacionados a los métodos de obtención de hidrolizados proteicos de quinua con péptidos bioactivos, la funcionalidad de los péptidos bioactivos, la evaluación económica de procesos industriales.

El capítulo 3, muestra la metodología del experimental que está conformado por dos etapas (Figura 5): La primera es la obtención del hidrolizado proteico de quinua aplicando los dos pretratamientos, la medición y evaluación de la capacidad antioxidante. La segunda etapa es la evaluación de la factibilidad económica de la producción del hidrolizado proteico mediante simulación con el software

SuperProDesigner V.9.0® para cada pretratamiento, a escala de laboratorio e industrial, bajo cuatro escenarios.

En el capítulo 4 se describe el análisis, interpretación y discusión de los resultados.

1.1 Situación problemática

Muchas investigaciones han demostrado la alta calidad nutritiva de la proteína de quinua, según Abugoch et al. (2008) “posee un contenido proteico en torno al 10-22% según el genotipo y un valor biológico superior a la caseína y la proteína de soja, ambos considerados como buenas fuentes de aminoácidos”, Guerrero et al., 2015, reporta que la quinua presenta “un alto contenido de lisina en comparación con otros cereales como el arroz y el trigo, y una alta puntuación de aminoácidos”, también es una buena fuente de fibra dietaria y ácidos grasos insaturados, además contiene vitaminas, minerales una rica fuente de compuestos fenólicos, especialmente flavonoides (Cariochi et al. 2015).

Las agroexportaciones peruanas han tenido un crecimiento sostenido a lo largo de los últimos 15 años, llegando en el 2020 a pesar de la pandemia del COVID-19 cifras récord USD 7550 millones 6.7% más que en el 2019 (Mincetur, 2021). La quinua es considerada por la FAO como el “alimento del futuro”, esto por su contribución a la seguridad alimentaria para el siglo XXI (Guerrero et al. 2015). Actualmente, “el Perú es el primer productor y exportador de quinua a nivel mundial, superando a Bolivia desde el 2014. (PROMPERU 2018). Asimismo, las principales zonas productoras en el país están son: Puno, Ayacucho, Cusco, Apurímac y Arequipa; que en conjunto representan el 66.90% del total de la producción nacional, siendo Puno el que concentra la mayor producción, con 39,539 toneladas en el 2019. De acuerdo a la Dirección de Estudios Económicos e Información Agraria del MINAGRI, 2020; “en los últimos 5 años la quinua ha incrementado su valor de exportación de USD 82.206.357 en el 2013 a USD 134

460 000 en el 2019, este último equivalente a 45,500 toneladas exportadas, mostrando un incremento de 1,9% respecto al año anterior, a finales del año 2018, se cerraron las exportaciones del grano con ventas superiores a los USD 106 millones, siendo los principales compradores Estados Unidos y la Unión Europea” (Análisis de Mercado - Quinoa 2015 - 2020.pdf, s. f.).

Sin embargo, en base a la información sobre la presentación de productos exportados, publicados por Perú Trade Now (PROMPERU, 2020) “alrededor del 91 % en valor FOB exportado es bajo la forma de grano, 3.6% en hojuelas y 2.2% en harina, es decir, sin mayor valor agregado”, siendo Estados Unidos el mayor comprador con USD 94.4 millones; esto reafirma la importancia de enfocar esfuerzos hacia la industrialización de alimentos funcionales y nutracéuticos provenientes de la biodiversidad peruana. Es por ello, que gremios empresariales como ADEX y la Cámara de comercio de Lima, también entidades públicas como PRODUCE y MINAGRI indicaron en la Convención de granos andinos realizado en Cusco en noviembre del 2015 que Perú corre un gran riesgo de perder el liderazgo del mercado de la quinua a nivel internacional si posterga la generación de productos con valor agregado a base de quinua y otros granos andinos. Fuente: Diario Gestión agosto 2015, en entrevista a Carlos García CCL.

Las empresas de la cadena de valor de granos andinos todavía mantienen una competitividad limitada para cumplir regulaciones internacionales, entre las que se puede mencionar lo descrito en el Informe de Promperú 2015 sobre “Normalización de los granos andinos y requisitos para la exportación”. Los requisitos para exportar estos alimentos son: asegurar la inocuidad de los productos con el objetivo proteger la salud de los consumidores, el cumplimiento de etiquetado adecuado, cumplimiento de LMR (Límites máximos residuales), bioterrorismo, Novel Foods, Normas privadas (HACCP, ISO 9001, ISO 14 001, ISO 22 000, BRC, Kosher, Gluten Free, No GMO).

En ese sentido, de acuerdo con los datos de Visiogain y Reuters (2014); “en el 2015 el mercado de alimentos funcionales y nutracéuticos alcanzó un valor de US\$241 billones, registrando un crecimiento de 37% en 2 años y se espera que en el 2020 la demanda global llegue a US\$ 480 billones con una tasa de crecimiento de 15%”. Los productos

que han tenido un alto impacto en el crecimiento del mercado de productos funcionales y nutraceuticos han sido los suplementos alimenticios, superando a las bebidas funcionales y alimentos fortificados. Según un reporte de *Annu Rev Food Sci Technol* (2015); 6: 1.1-1.15, en referencia a los péptidos bioactivos obtenidos de fuentes vegetales, existe una demanda creciente en Europa y Norteamérica, en el mercado asiático una demanda creciente por fuentes vegetarianas y en el resto del mundo un mercado emergente, el precio promedio de mercado actual se registra en US\$ 220/kg.

Por lo tanto, según Agyei et al., (2016) citado por Cisneros (2017) “los péptidos de quinua pueden ser usados en la fortificación de productos, comercializándose, así como alimentos funcionales o nutraceuticos, también en la industria cosmética son usados para promover la salud de la piel, es decir con fines dermatológicos”. Sin embargo, “los alimentos son estructuras complejas que puede contener diferentes compuestos bioactivos, como los compuestos fenólicos que tienen diferentes actividades biológicas (antioxidante, antihipertensivo, antidiabético y antimicrobiano); estos compuestos pueden estar presentes en los hidrolizados proteicos, por lo que es recomendable extraer esos compuestos fenólicos en etapas previas a la hidrolisis enzimática para evitar interferencias durante la determinación de la capacidad antioxidante; para separar los compuestos fenólicos de las proteínas derivadas de matrices alimentarias, los métodos de extracción que se pueden aplicar podrían ser: extracción con disolventes orgánicos como el etanol o acetona, extracción asistida por ultrasonido, extracción con agua a presión constante y la extracción con fluidos supercriticos” (E. Daliri et al., 2017).

Asimismo, en el estudio de Guerrero et al. (2015) “obtención de hidrolizados proteicos de quinua, realizan un pretratamiento a la harina de quinua previo a la extracción de la proteína, para reducir y estandarizar el tamaño de grano (molienda y tamizado), así como para eliminar el aceite mediante la extracción con solventes como hexano, éter de petróleo, cloroformo, metanol entre otros”, sin embargo, por ejemplo, en la investigación de Wejnerowska & Ciaciuch (2018) se puede observar que “la tecnología de fluidos supercriticos es un método alternativo de recuperación de extractos vegetales

que generalmente permite obtener extractos de alta calidad en comparación con los métodos convencionales”. Siendo según Przygoda et al. (2014) “el dióxido de carbono supercrítico (CO₂) es el solvente más utilizado por que no es toxico, no es explosivo, es económico, se separa fácil, permite realizar extracciones selectivas al variar la presión y la temperatura”.

Finalmente, el objetivo de esta investigación es la evaluación de la influencia del tipo de pretratamiento: extracción con fluidos supercríticos y extracción convencional con solventes aplicado a la harina de quinua, previo a la hidrolisis enzimática sobre la capacidad antioxidante y la factibilidad económica a escala industrial de la producción de hidrolizado proteico de quinua.

1.2 Formulación del Problema

1.2.1 Problema General

¿El tipo de pretratamiento con fluidos supercríticos y extracción convencional con solventes aplicado a la harina de quinua previo a la hidrolisis enzimática, influyen sobre la capacidad antioxidante y la factibilidad económica a escala industrial en la producción de hidrolizado proteico de quinua?

1.2.2 Problemas específicos

- a) ¿Cómo influye el tipo de pretratamiento con fluidos supercriticos, aplicado a la harina de quinua, previo a la hidrolisis enzimática, en la capacidad antioxidante en **µmol TE/g proteína, del hidrolizado proteico de quinua?**
- b) ¿Cómo influye el tipo de pretratamiento extracción convencional con solventes, aplicado a la harina de quinua, previo a la hidrolisis enzimática, en la capacidad antioxidante en **µmol TE/g proteína, del hidrolizado proteico de quinua?**

- c) ¿Cómo influye el tipo de pretratamiento con fluidos supercriticos, aplicado a la harina de quinua, previo a la hidrolisis enzimática, en el costo de manufactura en USD/kg proteína, del hidrolizado proteico de quinua?
- d) ¿Cómo influye el tipo de pretratamiento extracción convencional con solventes, aplicado a la harina de quinua, previo a la hidrolisis enzimática, en el costo de manufactura en USD/kg proteína, del hidrolizado proteico de quinua?
- e) ¿Cómo influye el tipo de pretratamiento con fluidos supercriticos, aplicado a la harina de quinua, previo a la hidrolisis enzimática, en el valor presente neto en USD, del hidrolizado proteico de quinua?
- f) ¿Cómo influye el tipo de pretratamiento extracción convencional con solventes, aplicado a la harina de quinua, previo a la hidrolisis enzimática, en el valor presente neto en USD, del hidrolizado proteico de quinua?

1.3 Justificación de la Investigación

1.3.1 Justificación Teórica

El estilo de vida de los consumidores alrededor del mundo está cambiando. Los grandes y complejos movimientos económicos, culturales y políticos han llevado a una fuerte tendencia a cambiar los hábitos de consumo consolidados (Brazil Food Trends 2020, 2010). En particular la quinua tiene una demanda cada vez mayor a nivel mundial, para las personas que tienen alergia al gluten o colesterol alto en la sangre, comparado con otros cereales como el maíz, el arroz y el trigo, la quinua tiene alto valor nutricional y puede ser utilizado como un suplemento en dietas humanas y animales. Porque los consumidores que están preocupados por su salud han mostrado una preferencia por alimentos con mayor valor nutricional, la quinua parece ser una buena alternativa, no solo para uso industrial sino también para el consumo popular (Meneguetti et al., 2011).

Amaral et al. (2017), indica que “la búsqueda de prácticas de vida más saludables ha llevado al sector industrial a desarrollar productos que promuevan la salud con comodidad y alta calidad, además de adoptar procesos sostenibles y limpios”. Korhonen y Pihlanto (2006), mencionan que “en los últimos años, se está reconociendo la importancia del rol de las proteínas como componentes fisiológicamente activos, ya que es considerada, como una fuente de péptidos bioactivos”. Sin embargo, de acuerdo con Wu et al. (2008) “los péptidos se encuentran inactivos en la proteína original, necesitando un proceso de hidrólisis o digestión intestinal para pasar a su formar activa”. “Mediante hidrólisis enzimática de proteínas de alimentos, se libera la secuencia aminoacídico, las cuales podrían presentar propiedades farmacológicas, tales como la capacidad antioxidante” (Udenigwe & Aluko, 2012); además, según Hernandez-Ledesma et al. (2011), “los péptidos también pueden tener efectos fisiológicos en el sistema cardiovascular (antihipertensivo, antioxidante, antitrombótico e hipocolesterolemico), los cuales cumplen un rol importante en la prevención de enfermedades coronarias”, por lo que se “confirma que existe una tendencia creciente en el uso de péptidos bioactivos, los cuales derivan de proteínas de alimentos, como agentes de intervención contra las enfermedades crónicas”.

“Los péptidos antioxidantes pueden limitar también el daño oxidativo, tanto en alimentos preparados (usándolos como antioxidantes naturales), así como al proteger de la oxidación a las células del organismo cuando estos sean ingeridos en la dieta” (Vioque & Millan, 2005). Gallegos et al. (2013) reporta que “los péptidos bioactivos con capacidad antioxidante se pueden obtener a partir de proteínas de fuentes vegetales convencionales y no convencionales, dentro de las fuentes convencionales reportadas son: Soya (*Glycine max* L.), Arroz (*Oryza sativa* L.), Maíz (*Zea mays* L.), Garbanzo (*Cicer arietinum* L.), dentro de las fuentes no convencionales reportadas están: Amaranto (*Amaranthus spp.*); Trigo Sarraceno (*Fagopyrum esculentum* Moench), Colza (*Brassica napus* L.) and Piñón mexicano (*Jatropha curcas* L.)”. Sin embargo, según la investigación de Cisneros (2017), en su investigación “reporta la obtención péptidos de quinua por medio de hidrólisis enzimática evaluándose la capacidad antioxidante”

Sin embargo, en base a lo reportado por E. Daliri et al. (2017). por la complejidad de las estructuras de los alimentos, es recomendable “extraer estos compuestos fenólicos en etapas anteriores a la hidrólisis enzimática para evitar interferencias durante los ensayos para determinar dichas actividades biológicas, utilizándose para separar los compuestos fenólicos de las proteínas de diversas matrices alimentarias métodos de extracción utilizando solventes como etanol, hexano ó acetona, tecnologías limpias como la extracción supercrítica y asistida por ultrasonido y extracción con agua a presión”

Asimismo, según la investigación de Guerrero et al. (2015) “para la extracción de la proteína de quinua se debe preparar la muestra, por ejemplo, reducir el tamaño del grano (molienda y tamizado), así como un desgrasado, dentro de los métodos más comunes es el desgrasado es la aplicación de solventes como hexano o éter de petróleo”. Teniendo en cuenta, “la tecnología de extracción por fluidos supercríticos (FSC) es un método alternativo para recuperar extractos de vegetales, los cuales generalmente permite obtener extractos de alta calidad en comparación por métodos convencionales” (Wejnerowska et al. 2018). En consecuencia, de acuerdo con lo reportado por Viganó et al. (2016) “muchos materiales vegetales se han obtenido mediante el uso de FSC, el dióxido de carbono supercrítico (SCO₂) es el disolvente supercrítico más preferido para las extracciones de alimentos porque es no tóxico, no explosivo, se separa fácil y completamente del extracto y tiene el potencial de realizar extracciones selectivas variando la presión y la temperatura”.

Finalmente, Shi et al. (2019) en su investigación confirma que “los hidrolizados proteicos de quinua pueden utilizarse como alimento funcional y/o nutracéutico en pacientes para la prevención de algunas enfermedades como la obesidad”, Mudgil et al. (2020) en su reciente investigación “también confirma que los hidrolizados proteicos de quinua se identificaron propiedades inhibitoras de enzimas claves en el control de enfermedades de diabetes tipo 2 e hipertensión”

Es así como, de acuerdo con lo indicado anteriormente, esta investigación dará a conocer la influencia del tipo de pretratamiento, extracción con fluidos supercríticos y extracción convencional con solventes aplicados a la harina de quinua, el costo de manufactura, la rentabilidad a escala industrial y la capacidad antioxidante del hidrolizado proteico de quinua, bajo un enfoque de creación de productos de alto valor de mercado y con métodos de producción rentables.

1.3.2 Justificación práctica

La exportación de quinua en grano ha aumentado en los últimos años, en el 2017 fue 122 millones de dólares valor FOB y en 2018 fue 125 millones de dólares valor FOB. Esto ha permitido que el Perú sea el primer exportador de a nivel mundial de quinua en grano, sin embargo, solo algunas empresas agroindustriales exportan productos con un mayor grado de transformación y valor agregado, siendo importante pasar a ser de un país exportador de materiales primas a un país exportado de productos de mayor valor de mercado, siendo esto importante para lograr mayores beneficios en todos los eslabones de la cadena productiva de la quinua.

El estudio evaluará la influencia del tipo de pretratamiento aplicado a la harina de quinua, en la purificación de la muestra para la obtención de hidrolizado proteico de quinua con mayor capacidad y la factibilidad económica del proceso de producción. Las empresas agroindustriales podrán desarrollar una línea de proceso para la obtención de extractos hidrolizados de quinua con alta capacidad antioxidante, además, de lograr productos de alta calidad por la aplicación de tecnologías verdes como los fluidos supercríticos, así como un mayor aprovechamiento de la quinua, generándose productos para mercados de alimentos funcionales.

La aplicación del pretratamiento con Fluidos supercríticos en comparación de extracción convencional con solvente aplicados a la harina de quinua de esta investigación servirá de antecedente para la producción de alimentos funcionales de alto valor.

1.3.3 Justificación Metodológica

Esta propuesta plantea incorporar el conocimiento de la aplicación de fluidos supercríticos como pretratamiento a la harina de quinua para la obtención de hidrolizado proteico de quinua con mayor capacidad antioxidante y mayor rentabilidad económica a escala industrial.

En consecuencia, de acuerdo con lo mencionado en los antecedentes, actualmente no existe estudios donde se utilice pretratamientos diferentes a los tradicionales de extracción con solventes en la obtención de hidrolizados proteicos de quinua. De igual manera no existes investigaciones que evalúen económicamente los procesos a nivel industrial de la producción de hidrolizados proteicos de quinua.

1.4 Delimitación de Investigación

El espacio de la presente investigación, se plantea abarcar el departamento de La Libertad por la mayor concentración de empresas agroindustriales con mayor facturación a nivel nacional, que podrían estar interesadas en implementar nuevas líneas de producción y categorías de productos basado en alimentos funcionales para nuevos mercados, no se ha considerado por departamento de producción de quinua, sino por la disponibilidad de mayor nivel de tecnología de procesamiento.

Respecto a lo temporal, se realizará una investigación durante treinta y seis meses. Las actividades se realizaron en las instalaciones de la Universidad San Ignacio de Loyola, Facultad de Ingeniería, Carrera profesional de Ingeniería Agroindustrial, así como, del Instituto Tecnológico de la producción (ITP), del Ministerio de la Producción.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Evaluar la influencia del tipo de pretratamiento: con fluidos supercríticos y extracción convencional con solventes aplicados a la harina de quinua previo a la hidrólisis enzimática, sobre la capacidad antioxidante y la factibilidad económica en función del costo de manufactura y valor presente neto, orientado a obtener un hidrolizado proteico de quinua con capacidad antioxidante de péptidos bioactivos y factible económicamente a escala industrial.

1.5.2 Objetivos específicos

- a) Determinar la capacidad antioxidante en **$\mu\text{mol TE/g protein}$** del hidrolizado proteico de quinua, obtenido mediante la aplicación de fluidos supercríticos, aplicado a la harina de quinua previo a la hidrólisis enzimática.
- b) Determinar la capacidad antioxidante en **$\mu\text{mol TE/g protein}$** del hidrolizado proteico de quinua, obtenido mediante extracción convencional con solventes, aplicado a la harina de quinua previo a la hidrólisis enzimática.
- c) Determinar el costo de manufactura (**USD/kg proteína**) a escala industrial, del hidrolizado proteico de quinua, obtenido mediante la aplicación de fluidos supercríticos, aplicado a la harina de quinua previo a la hidrólisis enzimática.
- d) Determinar el costo de manufactura (**USD/kg proteína**) a escala industrial, del hidrolizado proteico de quinua, obtenido mediante la aplicación de extracción convencional con solventes, aplicado a la harina de quinua previo a la hidrólisis enzimática.

- e) Evaluar la factibilidad económica, utilizando el valor presente neto (**USD**) a escala industrial, del hidrolizado proteico de quinua, obtenido mediante la aplicación de fluidos supercriticos, aplicado a la harina de quinua previo a la hidrolisis enzimática.

- f) Evaluar la factibilidad económica, utilizando el valor presente neto (**USD**) a escala industrial, del hidrolizado proteico de quinua, obtenido mediante la aplicación de extracción convencional con solventes, aplicado a la harina de quinua previo a la hidrolisis enzimática.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1 Marco filosófico de la investigación

La investigación científica se enfoca en cuantificar capacidad antioxidante y la evaluación de la factibilidad económica del proceso de obtención de un hidrolizado proteico de quinua a nivel industrial, pero antes de ello se estudiará la extracción del aceite y de los compuestos fenólicos, debido a que estos interfieren en la extracción de la proteína y en la determinación de la capacidad antioxidante respectivamente. Se aplicarán dos pretratamientos para la extracción del aceite y de los compuestos fenólicos será con CO₂ supercrítico y cosolvente etanol y otro por método convencional con solventes orgánicos (éter de petróleo) para la extracción de la grasa, se analizó y evaluó aplicando las siguientes corrientes filosóficas:

Según Perez (2015), describe que “el positivismo es una estructura o sistema de carácter filosófico, que considera que no existe otro conocimiento que el que proviene de hechos reales que han sido verificados por la experiencia, por lo tanto, niega la posibilidad de que la teoría pueda ser una fuente del conocimiento y además niega la posibilidad que la filosofía pueda contribuir al conocimiento científico”.

Una parte del marco epistemológico lo constituye el Positivismo, ya que según lo descrito por Perez (2015), “el positivismo lógico, siendo una forma de empirismo, adoptó el postulado que todo conocimiento debe someterse a la verificación lógica y experimental, es decir, la premisa de que algo tiene sentido si y solo si es verificable empíricamente”. Adicionalmente, Muñoz (2007) también reafirma ello, menciona que

“la experimentación es el verdadero método o el método por excelencia de la investigación científica, es decir, se enfatiza que la investigación experimental es la verdadera investigación”.

La segunda parte del marco epistemológico se considera al “Racionalismo crítico” postulado Raimund Popper (1902-1994), en el cual según Birger-Hjorland (2005), reporta que “las mejores teorías son aquellas que son sometidas al proceso de falsación, propuesto por Popper, en oposición al positivismo lógico propuso el método de falsación en lugar de la verificación para la validez del conocimiento científico”.

Finalmente, la tercera parte del marco epistemológico se sustenta en la filosofía ambiental en esta perspectiva, “la sociología no encuentra en el ambiente un nuevo tema o un objeto para ser estudiado mediante sus métodos tradicionales, sino el horizonte de un futuro sustentable acompañado por la imaginación sociológica y orientado por una racionalidad ambiental” (Leff, 2007).

Leff (2007), considera varios temas para orientar la teoría de sociología ambiental, en el cual una de ellas es la “sociología ambiental”, siendo los principales retos de esta:

“Los fines y los valores de la sustentabilidad establecen principios éticos y normativos: la vida humana en armonía con las condiciones ecológicas del planeta, la diversidad cultural, el reconocimiento del otro; incluye normas técnicas de control y evaluación ambiental, pero no es un fin predeterminado. La racionalidad ambiental convoca a la creación de un nuevo mundo: un mundo complejo, abierto a la diversidad, a la diferencia y a la otredad. Estos son los retos de la sociología ambiental en la encrucijada de la crisis ambiental y las perspectivas de un futuro sustentable”.

2.2 Antecedentes de investigación

E. Daliri et al. (2017), indica que los alimentos pueden contener otros compuestos bioactivos no proteicos, es por ello, que es aconsejable separarlos de la proteína del alimento, con el objetivo de evitar interferencia. Por ejemplo, los compuestos fenólicos son conocidos por sus capacidades antioxidantes, antihipertensivas, antidiabéticas y antimicrobianas, por lo tanto, cuando se encuentre presente en el hidrolizado, puede interferir con las actividades biológicas que se analizan. Los compuestos fenólicos pueden separarse de las proteínas alimentarias usando métodos como la extracción de etanol, fluidos supercríticos (dióxido de carbono), extracción con agua presurizada y extracción de acetona, antes de la hidrólisis enzimática.

Se determinó la digestibilidad y la actividad de peroxidación de lípidos del concentrado de proteína de quinua en un modelo de larvas de pez cebrá, y se llegó a la conclusión de que la digestión obtenida al final del proceso digestivo mostraba un porcentaje de inhibición del 82,10%, comparable al demostrado al utilizar el BHT como control positivo (87,13%) (Vilcacundo, et al. 2017), se determinó la actividad antioxidante en la quinua blanca, roja y negra, germinada y no germinada, determinando que la quinua germinada puede ser utilizada en nuevos productos por su potencial antioxidante y calidad proteica (Piñuel et al., 2019). Además, se han identificado diecisiete péptidos bioactivos derivados de las proteínas de la quinua, que pueden utilizarse como nuevos ingredientes en el desarrollo de alimentos funcionales o nutraceuticos, con el fin de reducir las enfermedades asociadas al estrés oxidativo, incluido el cáncer (Vilcacundo et al., 2018).

“Estudios anteriores han reportado la extracción de péptidos de quinua por hidrólisis enzimática, para la evaluación de la capacidad antioxidante sus efectos biológicos indican que son ideales para su uso en la dieta humana” (Meneguetti Q., Brenzan M., Batista M., Barboza R., Rodriguez D., Aparicio D, 2011).

Por otro lado, Carciochi et al. (2014), en su estudio "Optimization of antioxidant phenolic compounds extraction from quinoa (*Chenopodium quinoa* W.) sedes", cuyo objetivo de su estudio fue optimizar las condiciones óptimas de extracción de compuestos fenólicos y flavonoides de semillas de quinua (*Chenopodium quinoa*) utilizando ultrasonido tecnología de asistencia, se utilizó diseño central aleatorio compuesto para evaluar el efecto de extracción, como temperatura, concentración de etanol en el solvente y ultrasonido. Se determinó la potencia en el contenido fenólico total (TPC), contenido flavonoide total (TFC) y actividad antioxidante por superficie de respuesta, se obtuvieron ecuaciones modelo pronosticadas para describir los datos experimentales de TPC, TFC y actividades antioxidantes con variación significativa en los lineales, cuadráticos y efectos de interacción de las variables independientes. El análisis de regresión mostró que más del 88% de la variabilidad fue explicada por los modelos, siendo las mejores condiciones de extracción fueron: temperatura de extracción de 60 ° C, 80% de etanol como solvente y no aplicación de ultrasonidos, bajo condiciones óptimas, la respuesta predicha correspondiente, los valores fueron 103.6 mg EAG / 100 g peso seco (dw), 25.0 mg, quercetina equivalente / 100 g dw y 28.6% DPPH de eliminación de radicales, para TPC, TFC y actividad antioxidante, respectivamente.

En su mayoría de investigaciones realizadas, diversos autores proponen el método convencional de desgrasado con solventes para la producción de concentrados proteicos de quinua sin separación de los compuestos fenólicos, aislado proteico de quinua e hidrolizados proteicos de quinua. Abugoch et al. (2008), propone un desgrasado con hexano 10% (peso/volumen) x 24 h; Elsohaimy et al. (2015) propone desgrasado con cloroformo: metanol (2:1; volumen/volumen) en proporción 1:10 con harina de quinua x 2h; Guerrero et al. (2015), propone desgrasado con hexano en proporción 1: 4 con la harina de quinua x 12 h; Mahdavi (2018), propone desgrasado con hexano en proporción 1:5 con la harina de quinua x 24 h; Mudgil (2020), propone desgrasado con hexano en proporción 1:5 con la harina de quinua x 2 h; Rivera 2006 propone desgrasado con hexano en proporción 1:10 con la harina de quinua x 24 h; Rueda (2020) propone desgrasado con éter de petróleo en proporción de 1:10 con la harina de quinua x 2 h. La desventaja de estos métodos es que no separan los

compuestos fenólicos, y la utilización de solventes orgánicos en alimentos, afecta la pureza e inocuidad, pudiendo quedar trazas que pueden ser tóxicas para los humanos, además de la contaminación del medio ambiente.

Mufari et al. (2021), en su investigación realizó “la extracción de compuestos bioactivos de la harina de quinua malteada utilizando diferentes mezclas de agua/etanol en condiciones subcríticas, y dos Se modelos matemáticos para describir la cinética de extracción, las variables evaluadas fueron temperatura de extracción, tasa de flujo másico de disolvente y composición del disolvente, y las mejores condiciones se seleccionaron mediante un diseño de selección. El extracto con la mayor actividad antioxidante fue con 95% de inhibición de DPPH, 125,96 mg EAG/100 g de harina de contenido total de compuestos fenólicos, y 58,72 mg QE/100 g de harina de contenido total de flavonoides; esto se obtuvo a 200°C, 2,5 g/min y 25% de etanol, los resultados se compararon con las técnicas de extracción convencionales, el rendimiento de extracción y capacidad antioxidante fue mejorada, comprobándose que también es una esta técnica prometedora ya que también permite obtener extractos con una actividad antioxidante similar a la comercial antioxidantes”.

En la patente WO 2013/091125 denominado “Procedimiento para la formulación de un alimento en formato de gel para ser usado como alimento nutricional, enriquecidos en péptidos y maltodextrinas obtenidos desde harina de quinoa”, muestra un procedimiento para la obtención de péptidos de quinua, en el cual se realiza un pretratamiento con solvente etanol al 95% para desgrasar la harina de quinua, en dicho procedimiento no se extraen los compuestos fenólicos de la quinua, la hidrólisis enzimática se realiza con una enzima neutrasa, pero no se reportan la capacidad antioxidante del hidrolizado, que muy probable provenga de los péptidos productos de la hidrólisis y de los compuestos fenólicos que no fueron separados.

Wejnerowska & Ciaciuch (2018); propone un método para recuperar el aceite de la harina de quinua, utilizando fluidos supercríticos logrando recuperar solo el 89% del total de aceite, utilizando los parámetros de proceso 25 MPa de presión, temperatura

de 40°C, tiempo de 80 minutos, y co-solvente 20% metanol: etanol (1:1), la limitación de este método que es solo separa el aceite, pero no, los compuestos fenólicos y el aceite a la vez, adicionalmente el rendimiento es relativamente bajo y también utiliza como cosolvente metanol, el cual no es adecuado para alimentos, puesto que es toxico para humanos.

Benito-Roman et al. (2018); propone un método para recuperar el aceite de la harina de quinua, utilizando fluidos supercríticos, el cual no reporta el total de aceite recuperado, utilizando los parámetros de proceso 40 MPa de presión, temperatura de 40°C, tiempo de 90 minutos, y tamaño de partícula de la harina de 250 a 500 µm, la limitación de este método que es solo separa el aceite, pero no los compuestos fenólicos y el aceite a la vez, si bien es cierto no utiliza cosolventes, es probable que la cantidad de aceite recuperado debe ser bajo, además el tamaño de partícula se sabe que influye en el rendimiento de la extracción, y este solo reporta una rango óptimo.

Ochoa (2017) en su investigación sobre “hidrólisis enzimática en una y dos etapas de la proteína de la cañihua (*chenopodium pallidicaule aellen*) para obtener péptidos bioactivos”, reporta “resultados con potencial bioactivo, capacidad antioxidante y antihipertensiva a partir de un concentrado proteico de cañihua (79.38 %, p/p) mediante hidrólisis enzimática utilizando las enzimas comerciales Alcalasa® (endoproteasa), Neutrasa® (endoproteasa) y Flavourzyme® (complejo proteasa/peptidasa) en una y dos etapas. Los mayores grados de hidrólisis (GH) se obtuvieron a los 240 minutos para las reacciones en una etapa con Alcalasa y Neutrasa con valores de 42.82 y 35.96 por ciento, respectivamente. Un incremento importante en el GH se obtuvo cuando se combinaron las enzimas (reacciones de dos etapas) Alcalasa/Flavourzyme y Alcalasa/Neutrasa con valores de 46.76 y 60.28 %, respectivamente. La capacidad antioxidante (CAOX) ABTS+ in vitro aumentó con el GH de la proteína, obteniéndose los valores mayores con reacciones de dos etapas, donde las combinaciones Alcalasa/Neutrasa y Alcalasa/Flavourzyme dieron valores ABTS+ en el rango de 3 y 3.50 µmol de equivalente trolox (TE)/mg de proteína, respectivamente”.

Mahdavi Yekta et al. (2018), en su investigación sobre el efecto de las condiciones de hidrólisis en la actividad antioxidante del hidrolizado proteico de quinua, evaluó la aplicación de diferentes temperaturas (40, 45, 50, y 55°C), diferentes periodos de tiempo (60, 120, 150, 180, y 10 min) y el ratio de enzima sustrato (30, 60, and 90 unid anson/kg protein) en el grado de hidrólisis y la capacidad antioxidante, obtuvo el mejor resultado de grado de hidrólisis (24.65%) fue a 55°C, 210 min, ratio de enzima 60 unid. Anson/kg proteína, y la mayor actividad antioxidante del hidrolizado proteico fue de (355.44), logrado a 50°C, 150 min y ratio de enzima 60 unid. Anson/kg proteína, llegando a la conclusión que no existe una diferencia significativa entre el nivel de actividad antioxidante y el grado de hidrólisis, además, que la actividad antioxidante de los péptidos derivados de la proteína de quinua es suficiente para ser incorporados en productos alimenticios.

Asimismo, Mahdavi Yekta (2020), en otras de sus investigaciones en hidrolizados proteicos de quinua “realizo el desgrasado de la harina de quinua con hexano, extracción alcalina de la proteína, luego fue hidrolizada con pepsina y enzimas alcalinas, preparándose doce tratamientos previos con diferentes temperaturas, períodos de tiempo, y la relación entre la enzima y el sustrato para determinar la condición óptima de hidrólisis y evaluar su capacidad para inhibir los radicales libres ABTS. El aumento de la temperatura, los niveles de actividad de las enzimas y el tiempo causaron un aumento significativo del grado de hidrólisis mientras que el T12 con una relación de enzimas de 90 AU/kg y La temperatura de 55°C durante 210 minutos mostró el mayor grado de hidrólisis. La mayor capacidad de neutralizar los radicales ABTS (21,35% y 21,67%) se asignaron a T₇ (enzima/sustrato proporción 60, la temperatura de 50°C) y T₁₁ (proporción enzima/sustrato 90, la temperatura de 50°C) durante 150 minutos, respectivamente, confirmándose que las proteínas de la quinua como potencial fuente de péptidos antioxidantes podrían aplicarse como ingrediente funcional en la industria alimentaria”.

Respecto a la aplicación de pretratamiento de la muestra con fluidos supercríticos para la obtención de péptidos de quinua, solo se ha encontrado estudios de actividad

antioxidante a partir de diversas proteínas vegetales, dentro de las cuales están las provenientes de cereales andinos como el amaranto, cañihua y quinua, sin embargo, no se han reportado investigaciones de obtención de hidrolizados proteicos de quinua, donde se realice un pretratamiento con fluidos supercríticos. Por lo tanto, el problema subyacente de los antecedentes mencionados anteriormente, donde se utilizan métodos convencionales de para la obtención de hidrolizados proteicos de quinua, pretratamiento con solventes orgánicos para el desgrasado, no se separan los compuestos fenólicos, esto ocasiona que la actividad biológica antioxidante no solo proviene de los péptidos bioactivos, sino también de otros componentes de la quinua con actividades biológicas similares.

Por otro lado, en diversas investigaciones han utilizado software de simulación de procesos, entre los más utilizados en dichos estudios es el SuperPro Designer®, utilizado en diversas aplicaciones de procesos de alimentos, químicos y biotecnológicos. Entre los principales estudios se pueden describir a continuación: Alnur (2013) utilizó varios simuladores para la producción de xilitol a escala industrial, utilizando biomasa a partir de hemicelulosa; al realizar la comparación de todos, califica como mejor a SuperPro Designer®.

Campos-Ramírez et al. (2020), realizo “un estudio técnico-económico preliminar de dos propuestas tecnológicas de producción de biodiesel empleando aceite de soya como materia prima principal y bajo las condiciones económicas actuales de Brasil, en el cual también utilizo el simulador SuperPro Designer® v.8.5”, en dicho estudio proponen dos tecnologías para la producción de biodiesel a partir de soya, la primera que fue el caso base e produce biodiesel refinado y glicerol crudo la segunda tecnología propuesta que es una variante de la primera en la cual también obtienen biodiesel refinado y glicerol crudo pero de añade una operación de purificación; también realizaron un estudio de sensibilidad con 12 corridas y donde evaluaron la influencia de cinco variables de entrada sobre tres indicadores económicos: Valor Actual Neto (VAN), Tasa Interna de Retorno (TIR) y Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI). Asimismo, determinaron el monto total a invertir de USD 18,5 millones y USD 21,4 millones para

construir el Caso Base y la Variante, además, el VAN, TIR y PRI para el Caso Base fueron de USD 17 444 000, 33,83 % y 2,54 años respectivamente, mientras que los valores obtenidos de estos 3 indicadores para la Variante fueron de USD 22 577 000, 38,05 % y 2,26 años respectivamente, cosa que indica que la Variante constituye la propuesta tecnológica más rentable; también para determinar la corrección estadística de las variables (cinco de entrada y tres de salida), utilizaron un software estadístico donde obtuvieron ecuaciones que permite hacer predicciones ante cualquier variación de las variables de entrada. Finalmente concluyeron que la introducción de operaciones de purificación de glicerol incrementa los indicadores económicos y de rentabilidad de la planta de producción de biodiesel.

Viganó et al. (2017) realizaron una “evaluación económica para dos procesos, el primero consta de cuatro extractos de bagazo de maracuyá, utilizando un proceso secuencial de varias etapas, que se realiza en tres pasos: (1) extracción con fluidos supercríticos, (2) extracción con líquidos a presión, para ello utilizaron el software SuperPro Designer 9.0®, y además también realizaron un estudio de sensibilidad para plantas de producción de 1, 5, 50 y 500 L”.

Csighy et al. (2017), realizaron el “modelamiento del proceso de desmineralización de la leche de vaca mediante un método de desmineralización parcial utilizando un sistema de filtración por membranas, para modelar el proceso utilizo SuperPro Designer, el software posee herramientas de modelos de reactor, componentes químicos, base de datos de mezclas y estimaciones de precios, se analizó la influencia de algunos parámetros de operación en los indicadores económicos para investigar la viabilidad del proceso, llegando a la conclusión que el proceso a nivel industrial se puede llevar exitosamente y con un periodo de recuperación de la inversión relativamente corto (2 años)”.

De Aguiar (2018) “evaluó económicamente un proceso utilizando fluidos supercríticos para la extracción de oleorresina rica en capsaicinoides de pimienta Malagueta,

teniendo en cuenta variables de proceso como el rendimiento de la extracción y concentración de capsaicinoides, para la simulación del proceso utilizaron SuperPro Designer 8.5®, determinándose los indicadores económicos como el costo de producción, llegando a la conclusión que la producción a gran escala es económicamente aplicable”.

Finalmente, se reportan otros estudios como donde se evaluó económica los procesos a escala industrial: la extracción de antocianina y producción de etanol a partir de maíz en un proceso de molienda en seco modificado (Somavat, 2018), la producción de etanol a partir de *Ipomoea batatas* (Govindarajan, 2019) y la producción de biodiesel a partir de aceite de soya y metanol (Intelligen, 2005).

Cisneros (2017) en su investigación obtuvo un “hidrolizado proteico de quinua aplicando desgrasado convencional de la harina, y luego realizó la purificación de los péptidos bioactivos de quinua (*Chenopodium quinoa* W.) con capacidad antioxidante y antihipertensiva mediante ultrafiltración y cromatografía. Dichos péptidos fueron obtenidos a partir de un concentrado proteico de quinua, mediante hidrólisis con Neutrasa, por un período de 120 minutos. Se encontró que dicho hidrolizado presentó una capacidad antioxidante (CAO) de $1,667.4 \pm 9.6 \mu\text{mol TE/g}$ proteína y un valor IC_{50} de $300.7 \mu\text{g/mL}$ para inhibir la enzima convertidora de angiotensina (ACE). El permeado obtenido de la ultrafiltración en una membrana, cuyo *cut off* fue de 3 kDa, permitió obtener una mayor CAO y antihipertensiva que el hidrolizado de quinua. Dicho permeado fue sometido a purificación mediante cromatografía. Se evaluó la cromatografía de adsorción en la resina DA-201 C y cromatografía de filtración sobre gel en Biogel P-2. Cuando se emplearon ambas técnicas (adsorción y filtración sobre gel, en ese orden), se encontró una mayor CAO y antihipertensiva que cuando solo se realizó cromatografía de filtración sobre gel. La CAO y antihipertensiva aumentaron en 2.3 y 7.7 veces, respectivamente, en relación con el hidrolizado inicial; alcanzándose el máximo valor de CAO de $3,784.9 \pm 17.1 \mu\text{mol TE/g}$ proteína y una máxima inhibición de la ACE mediante un IC_{50} de $39.1 \pm 0.01 \mu\text{g/mL}$. También se halló una correlación de

82.1 % entre la CAO y antihipertensiva, demostrando que ambas propiedades funcionales están relacionadas entre sí”.

2.3 Bases Teóricas

2.3.1 Tecnologías para el pretratamiento de la harina de quinua

Pretratamiento con métodos tradicionales de extracción

Khaw et al. (2017), reporta algunos métodos básicos de extracción a base de metanol o soxhlet y métodos de destilación con vapor, las mayoría de estos enfoques se han utilizado durante varias décadas y son referidas como métodos tradicionales, tales métodos de extracción son a menudo simples y prácticos, sin embargo, no están exentos de inconvenientes, como tediosos para operar, emplear disolventes peligrosos que requieren pasos adicionales para eliminar, y muchos emplean calor, resultando en la degradación de moléculas termolábiles. Además, algunos métodos también son selectivos para unos pocos tipos de compuestos, aunque dependiendo del disolvente puede significar un gran rendimiento de un rango definido de compuesto. La extracción Soxhlet, aunque considerado como la principal técnica de referencia para medir el rendimiento de otras técnicas se utiliza tradicionalmente para la extracción de lípidos. Por otro lado, estos métodos son ineficientes, tiene un pobre rendimiento de extracto bioactivo en relación con el alto aporte de energía, pero son caros debido a la necesidad de eliminar de grandes cantidades de residuos orgánicos, que en sí mismos pueden poner en riesgo problemas medioambientales.

Pretratamiento con tecnologías emergentes verdes

La aparición de la química verde con fines de extracción se produjo en la década de 1990 con el objetivo de reducir el consumo de energía y el reemplazo de solventes convencionales, con menos efectos nocivos para el medio ambiente. Entre las tecnologías más ecológicas, es decir, tecnologías que usan cantidades más pequeñas

de solventes, consumo menor de energía, disolución eficiente o tiempos de procesamiento reducidos para la extracción a base de plantas, actualmente está disponibles la extracción asistida por ultrasonido, extracción por microondas, extracción por fluidos supercríticos, prensado mecánico y distensión instantánea controlada. De todas las mencionadas, la tecnología con fluidos supercríticos ofrece entradas de energía de procesamiento reducidas y un enfoque alternativo a los solventes, además, la recuperación de solventes gaseosos en la despresurización (reversión a gas), lográndose la separación de fases entre el fluido supercrítico y las moléculas extraídas que están en estado sólido o líquido, de modo que mediante esta separación de fases facilita la recolección de CO₂ puro (gas), para reutilizarse, reduciéndose así los costos totales de energía.

Adicionalmente, algo importante es que la tecnología de fluidos supercríticos evita la necesidad para residuos de solventes que requieren ser incinerados, un proceso ambientalmente costoso y peligroso. Los fluidos supercríticos han tenido éxito como solventes en los procesos de extracción y esto puede ser atribuido a sus propiedades ajustables únicas, como la densidad variable, similar a líquido/gas, viscosidad y alta difusividad.

Cuadro 1: Ventajas y desventajas de métodos de extracción verdes

Método	Ventajas	Desventajas
Microondas-extracción asistida (utilizado con métodos tradicionales)	Extracción rápida; poca cantidad de solvente; Relativamente bajos costos adicionales	Uso de altas presiones y temperatura; limitada cantidad de muestra; no selectivo (gran cantidad de componentes extraídos)
Extracción con fluidos supercríticos (EFS)	Extracción rápida, poca cantidad de solventes orgánicos y no orgánicos; sin residuos de solventes; preserva componentes termolábiles; densidad ajustable del solvente (SCF); extracción selectiva	Altos costos de configuración; conocimiento técnico de FS propiedades requeridas (ej. fase, comportamiento, región de cruce)

	(poco número de componentes extraídos); Bajo costo de operación/arranque	
Extracción mecánica	Principalmente para extracción de aceite y jugo, no requiere calor ni solventes.	Limitada aplicación y no selectivo
Ultrasonido-extracción asistida (utilizado con métodos tradicionales)	Extracción rápida, pequeña cantidad de solvente, costos adicionales relativamente bajos.	No selectivo
DIC extraction—détente instantáneo (impulsado por vapor con rápida despresurización)	Rendimiento de extracción mejorado, extracción rápida	Altos costos; alto consumo de energía; Alta temperatura; preferible uso para muestras de procesos de pretratamiento

Fuente: Khaw et al. (2017)

Fluidos supercríticos

Un fluido supercrítico de cualquier sustancia está presente donde la temperatura y la presión están por encima de su punto crítico, formando una fase homogénea con propiedades de líquidos y gases: mesofase. Se puede comparar con un líquido compresibles o un gas denso, donde el componente líquido no sigue la ley de los gases ideales, que se supone no hay interacciones entre moléculas, debido a su baja viscosidad y alta difusividad en forma de gas. Los fluidos supercríticos cuando se usa como solvente, pueden penetrar fácilmente los materiales vegetales con una velocidad de transferencia de masa rápida, además, la densidad puede modificarse ajustando la presión y la temperatura.

Cuadro 2: Propiedades de fases líquido, gas y Fluidos supercríticos

Fase	Densidad x 10 ² (kg.m ⁻³)	Propiedad física Difusividad x 10 ⁻³ (cm ² .s ⁻¹)	Viscosidad x 10 ⁻⁴ (kg.m. s ⁻¹)
Líquido SCF	6-16	<0.005	2-30
P _c , T _c	2-5	0.7	0.1-0.3
4P _c , T _c	4-9	0.2	0.3-0.9
Gas	0.006-0.002	0.1-0.4	0.1-0.3

Fuente: Khaw et al. (2017)

Pretratamiento con Fluidos supercríticos: Extracción de compuestos fenólicos y aceite

No se han reportado estudios de pretratamiento con fluidos supercríticos, para extraer compuestos fenólicos y aceite previo de la extracción de la proteína e hidrólisis enzimática, se han reportado estudios específicos de extracción de aceite principalmente, Khaw et al. (2017), en su estudio “Tecnología de fluidos supercríticos para extracción de compuestos bioactivos de fuentes naturales: Una revisión”, reportan la extracción de Tocoferol de quinua en una cantidad de 201.3 mg/100 g, estudiaron cuatro tiempos para incrementar el rendimiento de la vitamina E comparado con extracción de hexano.

Otras aplicaciones con fluidos supercríticos en quinua, se han reportado un estudio reciente de Wejnerowska, 2018, su investigación “Optimisation of Oil Extraction from Quinoa Seeds with Supercritical Carbon Dioxide with Co-solvents”, realizó una extracción con fluido supercrítico, con dióxido de carbono para obtener aceite de semillas de quinua, se investigaron los efectos de las variables de extracción, a saber, la presión, la temperatura, el tiempo, el tamaño de las partículas y el co-solvente, en la extracción de dióxido de carbono supercrítico. Se compararon los rendimientos de extracción totales y las composiciones que utilizan CO₂ puro y CO₂ + cosolventes

seleccionados. La recuperación máxima para el aceite de quinua se encuentra en alrededor del 89%, y se obtiene cuando las extracciones se llevan a cabo a 25 MPa, 40 ° C durante 80 minutos. Un efecto significativo sobre la recuperación del aceite se ejerce mediante la reducción del tamaño de las semillas a un tamaño de partícula $\leq 0,50$ mm y la adición de cosolvente a la semilla en una cantidad de 20% de metanol / etanol (1: 1, p/p). Independientemente del método de extracción y las condiciones, la composición de ácidos grasos no se cambia sustancialmente.

Métodos y tecnologías de obtención de hidrolizados proteicos de quinua

Mahdavi et al. (2018), realizaron un estudio sobre los “Efectos de las condiciones de hidrolisis y actividad antioxidante de hidrolizados proteicos de quinua”, en dicho estudio utilizan el método recomendado por Chauhan, Cui, and Eskin (1999), donde la harina de quinua es dispersada en una solución con Hidróxido de sodio, se recuperan los sobrenadantes por centrifugación, dichos sobrenadantes se filtran y se realiza precipitación isoeléctrica, lavados con agua, neutralizado y secado por liofilización. Guerrero et al 2015, utiliza una metodología similar en su estudio “Optimización de la metodología de extracción de proteína de quinua (*Chenopodium quinoa Willd.*)”.

Asimismo, Cisneros 2017, en su estudio “Purificación de péptidos bioactivos de quinua (*chenopodium quinoa*) con capacidad antioxidante y antihipertensiva” siguió la “metodología propuesta por Fritz et al. (2011) para proteínas de semillas de amaranto, con ligeras modificaciones”, en la que de igual forma solubiliza la proteína con hidróxido de sodio y seguidamente de una precipitación isoeléctrica. De la revisión de literatura citada, se puede evidenciar que todos han seguido metodologías similares para la extracción de proteína de quinua.

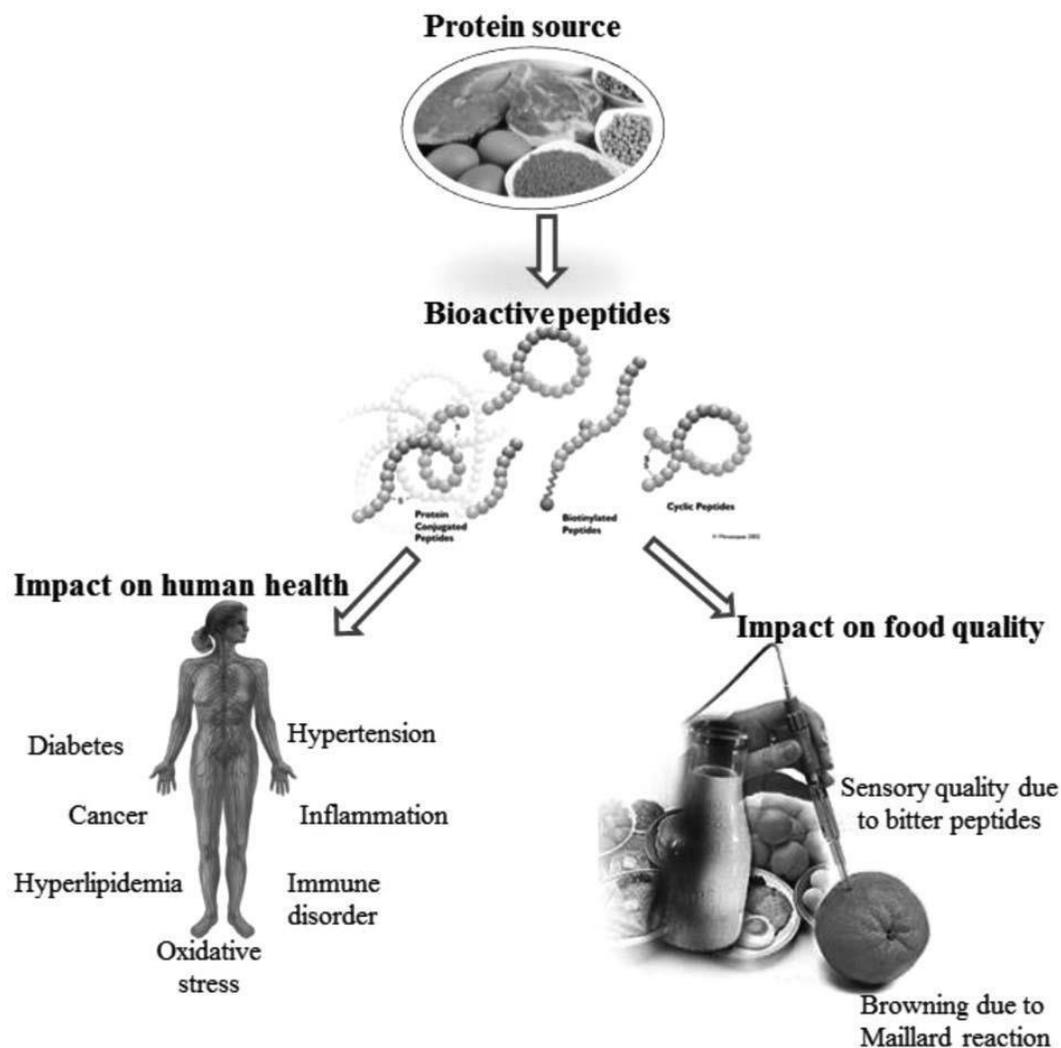
2.3.2 Capacidad antioxidante del hidrolizado proteico de quinua

Los péptidos bioactivos, es un conjunto de “2- 20 aminoácidos y una masa molecular menor a 6000 Da. Su aporte nutricional y actividad biológica no se presenta dentro de

la proteína intacta, deben ser liberados, mediante un proceso de hidrólisis enzimática de la proteína de origen” (Vioque et al., 2000; Catala-Clariana et al., 2010; Soares de Castro y Sato 2015; Mine et al. 2010).

Los péptidos bioactivos, son considerados como pequeños fragmentos de proteínas que, tras la digestión gastrointestinal, hidrólisis enzimática con enzimas proteolíticas o de fermentación, imparten funciones y beneficios positivos que influyen en la salud humana. Las enzimas proteolíticas gastrointestinales liberan péptidos en pequeñas fracciones, las cuales son absorbidas por nuestro cuerpo para cumplir funciones biológicas (Kannan et al., 2012). En los cereales, verduras y frutas, se han encontrado diferentes compuestos que tienen la propiedad de retrasar la progresión de enfermedades. Las proteínas y péptidos asumen un rol importante en tales actividades, esto se debe a que los agentes bioactivos producen beneficios en la salud y nutrición (Hartmann y Meisel, 2007). En la figura 1 se presentan los efectos fisiológicos de los péptidos bioactivos en los seres humanos y como ingrediente para mejorar la calidad de los alimentos.

Figura 1: Efecto fisiológico de péptidos bioactivos



Fuente: E. Daliri et al. (2017).

El proceso de obtención consiste en la hidrólisis de las proteínas con enzimas proteolíticas de calidad alimentaria para liberar numerosos fragmentos peptídicos y obtener un hidrolizado. Alternativamente, las proteínas podrían ser fermentadas por bacterias. Sin embargo, es preferible la hidrólisis enzimática que la fermentación microbiana, debido al corto tiempo de reacción, facilidad de escalabilidad y predictibilidad, ya que se eligen enzimas específicas que pueden dividir los segmentos identificados de la proteína original para hidrolizar los péptidos, esta estrategia mejora

la identificación de péptidos conocidos de origen desconocido de proteínas (Hartmann y Meisel, 2007).

La materia prima se somete a hidrólisis enzimática a una temperatura dada y pH. Adicionalmente, la hidrólisis enzimática permite obtener péptidos cortos y debajo peso molecular (<10 kDa), muestran mayor bioactividad (mayor capacidad antioxidante) que los de alto peso molecular (Cisneros, 2017). El grado de hidrólisis (GH), es otro método para determinar la formación de péptidos bioactivos, Salazar -Vega et al. (2009) hace referencia a que hidrolizados con más de 10 por ciento de GH tiene aplicaciones médicas mientras que aquellos con menos de 10 por ciento de GH se pueden utilizar para mejorar las propiedades funcionales de las harinas proteicas o de las proteínas.

“Las especies reactivas de oxígeno (ROS), se generan constantemente en los organismos aeróbicos como resultado de las reacciones metabólicas (Vertuani, Angusti & Manfredini, 2004). Una excesiva producción de ROS puede sobrepasar la capacidad antioxidante de nuestro metabolismo. Las proteínas, lípidos y el ADN son las que sufren la consecuencia de este daño oxidativo, ya que son atacadas por los radicales libre, dañando las enzimas, membranas celulares y material genético” (Chirino, Orozco-Ibarra & Pedraza-Chaverry, 2006).

Los antioxidante “provenientes de la dieta, son importantes debido a que captan dichos radicales libres. La ingesta de éstos, se relaciona con la reducción del riesgo a enfermedades cardiovasculares y ciertos tipos cáncer. Es por ello, que un vasto número de antioxidantes han sido aislados e identificados de fuentes naturales. Los péptidos con propiedades antioxidantes han sido foco de investigaciones recientes. Diversos autores han investigado la obtención de péptidos bioactivos antioxidantes de fuentes como pescado,soya, leguminosas, cereales, etc. Dichos péptidos, son capaces de estabilizar los radicales libres producidos por nuestro metabolismo” (Cisneros, 2017).

“Los radicales libres pueden atacar a las proteínas de la membrana, los lípidos y el ADN y provocar enfermedades como cáncer, enfermedades inflamatorias, diabetes mellitus y enfermedades neurodegenerativas neurodegenerativas, el riesgo potencial asociado con los antioxidantes sintéticos, como sus potenciales efectos cancerígenos en los riñones, el hígado y los pulmones ha intensificado la búsqueda de péptidos antioxidantes bioactivos. Se han identificado varios péptidos antioxidantes procedentes de alimentos, recientemente varios investigadores aislaron un nuevo péptido antioxidante Ser-Asp-Arg-Asp-Leu-Leu-Gly-Pro-Asp- Glu-Glu-Gln-Tyr-Leu-Pro-Lys tras hidrolizar las proteínas de *Pennisetum glaucum* con enzimas digestivas; en otro estudio la hidrólisis de la proteína del marisco hoki produjo Glu-Ser-Thr-Val-Pro- Glu-Arg-Thr-His-Pro-Ala-Cys-Pro-Asp-Phe-Asn que tiene una fuerte actividad antioxidante (Kim et al., 2007). Liu et al. (2015) también aislaron Asp-His-Thr-Lys-Glu, Phe-Phe-Glu-Phe-His y Met-Pro-Asp-Ala-His-Leu que tienen una fuerte actividad de barrido de radicales de oxígeno de oxígeno. Los péptidos bioactivos Ala-Glu-Glu-Arg-Tyr- Pro y Asp-Glu-Asp-Thr-Gln-Ala-Met-Pro aislados de hidrolizada de clara de huevo de gallina mostraron una fuerte capacidad de de oxígeno mientras que Asp- Cys-Gly-Tyr y Asn-Tyr-Asp-Glu-Tyr mostraron una fuerte actividades de barrido de radicales hidroxilo, por otra parte, los hidrolizados de proteínas de *Hylarana guentheri* produjeron dos dipéptidos, Leu/Ile-Lys y Phe-Lys, con fuerte capacidad de absorción de de oxígeno (Gu et al., 2014). Aunque los péptidos han mostrado actividades de barrido de radicales en estudios in vitro, es necesario seguir investigando sobre las reacciones secundarias no deseadas, seguridad y alergenicidad para establecer su uso terapéutico” (E. Daliri et al., 2017).

2.3.3 Concepto de la Factibilidad Económica, costo

Un proceso industrial tiene potencial de mercado, si su aspecto económico es favorable. Para la evaluación económica de la presente investigación, se siguió la metodología seguida por Viganó, J. 2016, el cual se describe a continuación:

Costos del equipamiento del proceso

Las cotizaciones actuales de los proveedores son la información mas precisa para obtener valores del equipamiento, estos costos son generalmente para equipos con capacidades diferentes a las requeridas, sin embargo, es posible escalar el costo del equipo a la capacidad requerida a través de la ecuación 1:

$$C1 = C2 \left[\frac{Q1}{Q2} \right]^n \dots\dots\dots(1)$$

Donde:

C1: es el costo del equipo con capacidad Q1

C2: Es el costo base conocido para el equipamiento con capacidad Q2

n: Es una constante dependiendo del tipo de equipo, y estos son recolectados de la literatura

Costos de manufactura (CM)

El costo de manufactura se determina mediante la siguiente ecuación:

$$\mathbf{CM = Costos directos (CD) + Costos fijos (CF) + Costos generales (CG)}$$

Para determinar el costo de manufactura Turton et al. (2008), menciona que para cada sección del proceso se estima en función de cinco costos principales:

- Capital fijo de inversión: implica gastos relacionados con la implementación de la línea de producción
- Costo de mano de obra operativa: Relacionado a los operadores de las unidades de producción

- Costos de servicios publicos: Considera todos los servicios, como agua, vapor, aire comprimido, gas, para generadores de vapor, refrigeración, etc.
- Costo de tratamiento de residuos: Considera el costo de la disposición de los residuos.
- Costo de materia prima: Considera costos de la materia primas, insumos y solventes.

Los costos directos implica edificios, instalaciones electricas, instrumentación, istalación, etc.; los costos indirectos implica ingenieria y construcción, tarifas administrativas, seguros, recursos humanos para administración, servicios de limpieza etc. Los costos directos mas el capital dijo de inversión representa la inversión total.

Simulación y Escalamiento del proceso

Según Torregrosa (2013), “La simulación, desde el punto de vista de la ingeniería química, es la solución de las ecuaciones de balance de materia y energía para procesos químicos en estado estacionario o dinámico, así como del dimensionamiento y la obtención de costos de los equipos involucrados en un proceso determinado, pero la simulación no sólo se aplica en las industrias químicas, sino también a multitud de procesos industriales y sistemas naturales.”

Adicionalmente, Torregrosa (2013) describe la “La simulación de procesos químicos como una herramienta indispensable para la solución adecuada de los problemas de procesos. En este ámbito, esta herramienta permite analizar, diseñar y optimizar procesos de interés para las diversas especialidades de la ingeniería”.

“Los tres tipos de modelos que pueden resolverse por medio de la simulación son:

- Análisis de un proceso: sirve para predecir el comportamiento óptimo del proceso mediante la computación de las ecuaciones de diseño obtenidas a partir del modelado previo del mismo. Además, permite la interpolación y extrapolación -

dentro de ciertos límites - así como la búsqueda de las condiciones fuera de la gama de propiedades conocidas.

- Diseño del proceso: la simulación proporciona todos los datos de proceso requeridos para el diseño detallado de los diferentes equipos y para la construcción de plantas a nivel banco, piloto o industrial, que después de construirlas y operarlas servirán para retroalimentar el modelo utilizado o para validarlo.
- Optimización del proceso: facilita la optimización del modelo de acuerdo con los datos experimentales obtenidos de la observación del proceso.”

Santos et al. (2012), menciona que se pueden considerar suposiciones respecto al rendimiento y la composición del producto en escala de laboratorio, será similar a la escala industrial, si se utilizan las mismas condiciones de procesamiento, por ejemplo temperatura, presión, porosidad, etc. El financiamiento de escalamiento del proceso puede o no ser considerado, además se debe diseñar el proceso para una operación total de horas al año.

Para el cálculo de la materia prima, insumos, reactivos, y desechos se debe realizar un balance de masa, tanto a escala laboratorio como industrial.

Calculo de la productividad

Es la relación entre la cantidad de bienes y servicios producidos, y la cantidad de recursos utilizados. (Krajewski, 2008).

Estudio de sensibilidad

Se debe establecer un precio para el producto, si existe dificultad se pueden utilizar precios referenciales de productos similares en el mercado.

Margen bruto

El margen bruto es la relación entre las ganancias anuales y los ingresos anuales, expresados en porcentaje, este número representa la proporción de cada unidad

monetaria de ingresos, que la empresa retiene como ganancia bruta. Por lo tanto, mientras mayor sea este porcentaje, el proyecto es más atractivo para los inversionistas.

Retorno de la inversión (ROI)

Es el porcentaje de dinero recuperado anualmente, del beneficio de la planta de proceso, y se expresa de la siguiente ecuación:

$$\text{ROI} = \frac{\text{Beneficio}}{\text{Costos fijo de inversión}}$$

Cuanto mayor es el ROI, más atractivo es el proyecto, en muchos casos se establece un valor mínimo de entre el 10% y 15% para aceptar o rechazar el proyecto.

Valor presente neto (VPN)

Uno de los índices más significativos para la evaluación económica es el valor presente neto (VPN), el cual resulta de la diferencia del valor presente de los flujos de efectivo entrantes y los flujos de dinero de salida. El valor presente neto es el excedente restante para que el inversor recupere la inversión inicial.

2.3.4 Taxonomía de la quinua

Chenopodium quinoa Willd., Sp. Pl. ed. 4 1(2): 1301. 1789 llamada comúnmente “quinua”, “quinoa”, “quingua”, “triguillo”, “trigo inca”, “arrocillo”, “arroz del Perú”, “kinoa”, se conoce, generalmente como pseudo-cereal ya que no es miembro de la familia Poaceae (Gramineae), pero produce frutos secos indehiscentes (aquenios) que se pueden moler en harina y usar como cultivo de cereal. Los países principales productores de quinua son Perú, Bolivia y Ecuador, en la actualidad se está distribuyendo ampliamente su cultivo en muchas otras partes del mundo (Tapia et al., 1979). La quinua tiene la siguiente clasificación taxonómica, mostrada en la Cuadro 2.

Cuadro 3: Clasificación taxonómica de la quinua

Reino	:	Vegetal
División	:	<i>Angiospermophyla</i>
Clase	:	<i>Dicotyledonea</i>
Sub clase	:	<i>Archichlamydeae</i>
Orden	:	<i>Centrospermales</i>
Familia	:	<i>Chenopodaceae</i>
Género	:	<i>Chenopodium</i>
Especie	:	<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.

Fuente: Gandarillas (1979)

Según lo reportado por Rodríguez (2018), la quinua es: “Planta herbácea, anual de 0,5 a 3,0 m de altura, verde, roja a púrpura, poco o nada ramificada. Hojas simples, esparcidas, pecioladas, de romboidales a lanceoladas, de 10 a 15 cm, de borde ondulado o lobulado-dentado; las jóvenes papilosas. Flores dispuestas en inflorescencias glomerulares agrupadas en panículas terminales o axilares, de 15-70 cm (Figura 2). Flores monoclamídeas, hermafroditas o unisexuales femeninas de perigonio pentámero sepaloideo, papiloso; en las hermafroditas androceo con cinco estambres de filamento corto y curvado, ovario con 2-3 estigmas; en las unisexuales solo perigonio y gineceo. Fruto en aquenio de c. 2 mm de diámetro, cubierto por el perigonio papiloso, que se desprende cuando seco; perigonio y fruto de color verde, púrpura o rojo. Semilla con perisperma delgado y de colores variables”.

Figura 2: Inflorescencias de la quinua.



Fuente: Repo-Carrasco (2014)

2.3.5 Péptidos bioactivos

El exceso de radicales libres puede producir oxidantes, que pueden reducir la calidad de alimentos grasos, acortan la vida útil de los alimentos y dañan la piel (Mendes et al., 2005). En condiciones fisiológicas normales, el sistema de defensa antioxidante puede utilizar enzimas (por ejemplo, la superoxidasa dismutasa, la catalasa y el glutatión peroxidasa) y antioxidantes no enzimáticos cofactores, tocoferol, ácido ascórbico) para eliminar los ataques moleculares nocivos (Chen et al., 2016). Sin embargo, el desequilibrio entre los radicales libres y los endógenos del sistema de defensa antioxidante puede dar lugar a estrés oxidativo en las células y el daño componentes celulares diversos (ADN, proteínas y lípidos de la membrana, etc.).

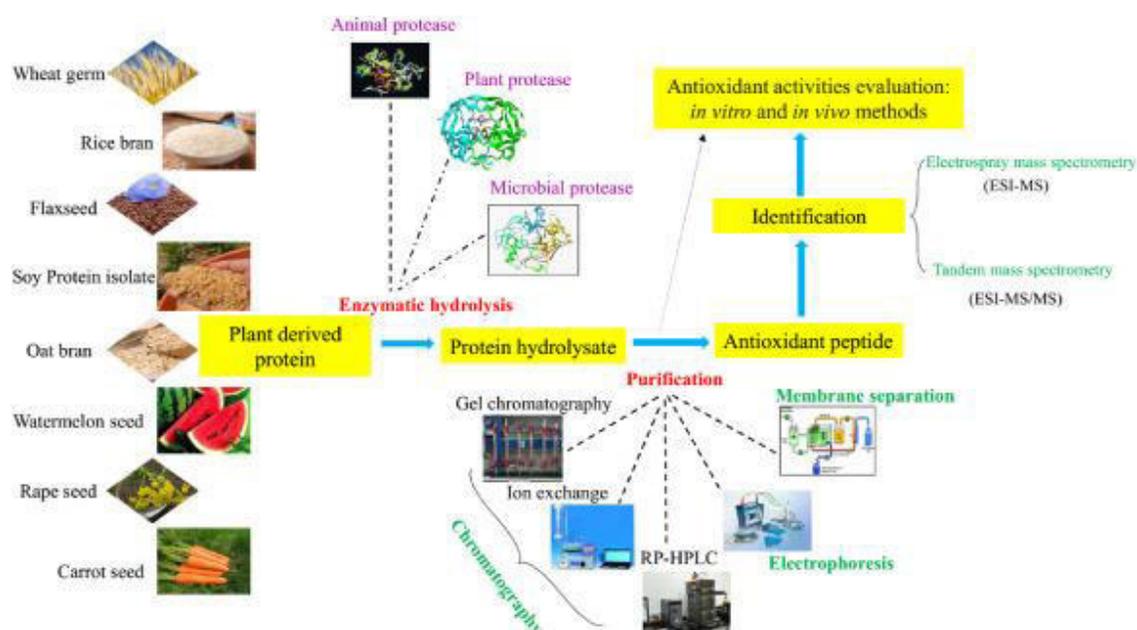
El daño oxidativo puede causar muchas enfermedades crónicas, incluyendo la diabetes, la enfermedad de Alzheimer, artritis, enfermedades cardíacas y cáncer, entre otras (Rice & Diplock, 1993). Antioxidantes sintéticos (t-butil hidroquinona, galato de propilo y butil hidroxianisol) pueden controlar eficazmente la oxidación de los nutrientes de los alimentos. Además, la ingesta dietética de antioxidantes podría reducir el riesgo de enfermedades crónicas relacionadas con el estrés oxidativo. Sin embargo, los antioxidantes sintéticos tienen la desventaja de los altos costos y el potencial riesgo de toxicidad. Con el aumento de la demanda de los consumidores de productos de alto valor nutritivo y proteínas funcionales, los investigadores cambian su enfoque de las materias primas tradicionales a la proteína vegetal. Cabe destacar que los péptidos antioxidantes naturales originados a partir de proteínas vegetales tienen la atención mundial debido a sus ventajas de protección del medio ambiente, sostenibilidad, bajo costo y sin efectos secundarios tóxicos. La información sobre péptidos antioxidantes derivados de plantas es resumida en el siguiente cuadro:

Preparación de péptidos antioxidantes derivados de proteínas vegetales por hidrólisis enzimática

Desde la perspectiva del desarrollo sostenible y de la utilización de los recursos biológicos, recursos proteínicos en subproductos o desechos generados durante el procesamiento de la planta tienen un gran potencial para la producción de péptidos bioactivos. La racionalidad y el desarrollo y la utilización de subproductos o desechos del procesamiento de plantas son propicios a aumentar el valor de utilización nutricional de los desechos, ahorrando energía y protegiendo el medio ambiente, entre otros. En particular, el gluten de trigo, el germen de trigo, la colza, semillas de sandía, gluten de maíz, salvado de arroz, salvado de avena, torta de palma y cerveceros pasaron y se han utilizado granos para producir péptidos antioxidantes. Un diagrama esquemático del proceso de producción de péptidos antioxidantes obtenidos de la planta se describe en la Fig. 3, las proteínas vegetales son hidrolizadas en primer lugar por la proteasa (proteasa animal, proteasa vegetal y proteasa microbiana) para formar hidrolizado de proteína, y luego es más

purificado por separación de membranas, electroforesis y cromatografía (gel cromatografía de permeación (GPC), cromatografía de intercambio iónico (IEC), cromatografía líquida de alta resolución en fase inversa (RP-HPLC), etc.) para obtener péptidos antioxidantes. El péptido antioxidante obtenido fue identificado por la EM o MS/MS y su actividad antioxidante fue evaluada por experimentos *in vivo* e *in vitro*.

Figura 3: Representación esquemática de la producción de péptidos bioactivos derivados de plantas.



Fuente: Wen et al. (2020)

2.3.6 Actividad antioxidante

“La actividad antioxidante es un excelente ejemplo de un beneficio funcional que pueden proporcionar los extractos de plantas. Se sabe que las plantas contienen una variedad de antioxidantes naturales que protegen y preservan su integridad física y metabólica, así como su herencia por medio de sus semillas. Muchos de estos extractos y compuestos de plantas están surgiendo como candidatos para moderar los efectos

del proceso de envejecimiento en la piel, limitando las consecuencias bioquímicas de la oxidación.

compuestos como la vitamina C, la vitamina E y el ácido rosmarínico se utilizan comúnmente en alimentos y cosméticos por su potente actividad antioxidante que ayuda a la estabilidad del producto. La reducción de la oxidación tiene un claro beneficio tanto para el producto como para la piel, y la percepción de los consumidores sobre los antioxidantes es positiva, lo que los hace particularmente atractivos como ingredientes de los cosméticos. El peligro es que el uso de un solo antioxidante se posiciona a menudo como una panacea. El fenómeno del producto que contiene el "antioxidante más potente jamás descubierto" desmiente el entendimiento científico de que los antioxidantes trabajan en sinergia. La codependencia fisiológica de la vitamina C soluble en agua y la vitamina E lipofílica es bien aceptada. Los antioxidantes vegetales difieren no sólo en el potencial redox y la solubilidad, sino también en su mecanismo de acción. Algunos apagan uno o más ROS como el superóxido, los radicales hidroxilos o el oxígeno singlete. Otros inhiben la actividad o la expresión de enzimas oxidantes, o aumentan la actividad o la expresión de compuestos antioxidantes o enzimas como la catalasa o los iones metálicos quelantes oxidantes, o actúan por otros mecanismos, conocidos y desconocidos. Dada la variedad de estructuras químicas y mecanismos biológicos de los antioxidantes descritos de las plantas, no es sorprendente que no todos los antioxidantes confieran el mismo grado de protección funcional a la piel.

Los antioxidantes de pequeño peso molecular que se encuentran naturalmente en la piel incluyen compuestos sintetizados por las células de la piel como el glutatión y el ubiquinol, así como los asimilados de fuentes vegetales en la dieta como la vitamina E, la vitamina C y los retinoides. En algunos casos funcionan de manera sinérgica, pero también forman parte de sistemas regulados independientemente para hacer frente a los problemas de redox de la célula o el tejido. Dado que se dispone fácilmente de muchos bioensayos relativamente sencillos para evaluar la actividad antioxidante, se ha demostrado que un gran número de compuestos y extractos vegetales actúan como antioxidantes in vitro, y muchos han demostrado también la capacidad de reducir el

estrés oxidativo en la piel in vivo, así como en las células de la piel in vitro. Es de esperar que esta actividad proteja a las células que envejecen; sin embargo, como se verá en los ejemplos que figuran a continuación, muchos compuestos antioxidantes presentan actividades biológicas adicionales como la inhibición de la inflamación o la modulación de la transcripción de genes que tal vez no estén exclusivamente relacionadas con la actividad antioxidante, y esta incertidumbre puede frustrar los simples intentos de asociar la actividad antioxidante en sí misma con un beneficio clínico previsible". (Angerhofer et al., 2009)

2.3.7 Extracción con Fluidos supercríticos

"La investigación en todo el mundo se ha conducido para evaluar tecnologías no térmicas con el fin de minimizar los efectos del deterioro térmico convencional, tales como: campo eléctrico pulsado, calentamiento óhmico, luz ultravioleta, tecnología de luz pulsada, ultrasonido, plasma frío, alta presión hidrostática y homogenización a ultra alta presión. Los consumidores anhelan alimentos con mejor calidad nutricional, junto con la inocuidad alimentaria y el uso de tecnología ecológica, en ese sentido, la Extracción con Fluidos supercríticos (EFSC) sigue aumentando su potencial aplicación a nivel global, debido a que el número de patentes sigue aumentando en los últimos años, se observa que su aplicación forma parte del escenario actual impulsado por la demanda de productos de alta calidad y la globalización de la economía, su uso destaca en productos farmacéuticos, alimentarios, químicos y cosméticos. El aumento de la tecnología en el ámbito industrial se destaca debido a: selectividad, facilidad y capacidad de separación, que permite obtener un gran número de compuestos orgánicos, de los cuales es imposible o no viable extraer con procesos tradicionales o cuya depuración necesita columnas de alta resolución, no siempre disponible en el mercado nacional, lo que hace muy costosa su utilización". Khaw et al. 2017.

La investigación en todo el mundo se ha conducido para evaluar tecnologías no térmicas con el fin de minimizar los efectos del deterioro térmico convencional, tales como: campo eléctrico pulsado, calentamiento óhmico, luz ultravioleta, tecnología de luz pulsada, ultrasonido, plasma frío, alta presión hidrostática y homogenización a ultra

alta presión. Los consumidores anhelan alimentos con mejor calidad nutricional, junto con la inocuidad alimentaria y el uso de tecnología ecológica, en ese sentido, la Extracción con Fluidos supercriticos (EFSC) sigue aumentando su potencial aplicación a nivel global, debido a que el número de patentes sigue aumentando en los últimos años, se observa que su aplicación forma parte del escenario actual impulsado por la demanda de productos de alta calidad y la globalización de la economía, su uso destaca en productos farmacéuticos, alimentarios, químicos y cosméticos.

El aumento de la tecnología en el ámbito industrial se destaca debido a: selectividad, facilidad y capacidad de separación, que permite obtener un gran número de compuestos orgánicos, de los cuales es imposible o no viable extraer con procesos tradicionales o cuya depuración necesita columnas de alta resolución, no siempre disponible en el mercado nacional, lo que hace muy costosa su utilización.

2.4 Marco Conceptual

Quinua: La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) es un pseudo cereal de la familia *Chenopodiaceae*, la quinua es una fuente excelente de proteínas, lípidos e hidratos de carbono, la importancia de la proteína de quinua es su contenido alto de lisina, siendo este el primer aminoácido limitante de los cereales comunes.

Alimento funcional: Son alimentos que proporcionan beneficios para la salud, más de allá de proporcionar energía o nutrición. Son alimentos donde un nuevo(s) ingrediente(s) ha sido añadido, proporcionándole al alimento una nueva función

Alimento nutraceutico: Es un alimento o parte de un alimento que proporciona un beneficio para la salud, para la prevención y tratamiento de enfermedades. El término nutraceutico fue acuñado por Stephen DeFelice (1989) y deriva de los términos "Nutrición" y "Farmaceutico".

Suplemento nutricional: "Producto que se añade a un régimen de alimentación. Un suplemento alimentario se toma por la boca y, por lo general, contiene uno o varios

ingredientes alimentarios (como vitaminas, minerales, hierbas, aminoácidos y enzimas). También se llama suplemento alimentario”.

Aislado proteico: Se considera “aquel cuyo contenido de proteínas es mayor al 70%. Las proteínas constituyentes deben ser exactamente las que se encontraban en la fuente orgánica inicial, sin haber sufrido procesos de degradación o hidrólisis no deseables”.

Enzima: Una enzima es una proteína que actúa como catalizador biológico, llevando a cabo reacciones bioquímicas a muy altas velocidades, no se consume durante la reacción y en general presenta un elevado grado de especificidad.

Fluidos supercríticos: La extracción con fluidos supercríticos (FSC) es un método alternativo utilizado para recuperar y separar extractos de plantas, el dióxido de carbono supercrítico (SC-CO₂) es el solvente más común debido a sus propiedades únicas, es decir, es no inflamable, no tóxico, económico, no polar, fácil de eliminar y también ofrece una mayor tasa de extracción.

Compuestos bioactivos: son compuestos que normalmente se producen en pequeñas cantidades en las plantas, que están siendo ampliamente estudiados para evaluar sus efectos en la salud.

Hidrolisis enzimática: Método para formar enlaces peptídicos a partir de proteínas vegetales o animales, por medio de una enzima (proteasa) en forma libre o inmovilizada, el método es especialmente útil en la síntesis de péptidos muy cortos. (2–5 oligómeros) y en la condensación de grandes fragmentos peptídicos.

Hidrolizado proteico: Producto que se obtiene, mediante la hidrólisis de la proteína, se realiza normalmente en un reactor, con control de agitación, pH, temperatura y tiempo del proceso. El sustrato se disuelve o resuspende en agua hasta que el pH y la temperatura se estabilizan; a continuación, se agrega la proteasa iniciando la hidrólisis.

Actividad biológica: Es “la capacidad inherente de una sustancia, tal como un fármaco o una toxina, para alterar una o más funciones químicas o fisiológicas de una célula. Esta capacidad está relacionada con su concentración y con la duración de la exposición celular a esta sustancia”.

Péptidos bioactivos: “son regiones de proteínas (entre 2-20 aminoácidos y una masa molecular menor a 6000 Da), cuya secuencia de aminoácidos tienen, además de su valor nutricional, una actividad biológica.”

Capacidad antioxidante: La actividad antioxidante consiste en la acción de combatir los radicales libres; y la capacidad antioxidante es la cantidad de radicales libres que la sustancia antioxidante puede combatir, su potencia.

Péptidos antioxidantes: Tienen “estructura primaria (secuencia de aminoácidos) y secundaria que presentan grupos sulfhidrilo hidrofóbicos y el aminoácido H imparten propiedades antioxidantes. Los péptidos bioactivos antioxidantes contienen entre 5 y 16 residuos de aminoácidos y son considerados compuestos seguros y saludables de bajo costo, elevada actividad y fácil absorción (hasta 5-6 residuos de aminoácidos)”.

2.5 Hipótesis

2.5.1. Hipótesis general

El tipo de pretratamiento con fluidos supercríticos y extracción convencional con solventes aplicado a la harina de quinua previo a la hidrólisis enzimática, influyen en la capacidad antioxidante proveniente de péptidos bioactivos y en la factibilidad económica a escala industrial en la producción del hidrolizado proteico de quinua.

2.5.2. Hipótesis específicas

- a) El tipo de pretratamiento con fluidos supercríticos, aplicado a la harina de quinua, previo a la hidrólisis enzimática, permite obtener un hidrolizado proteico de quinua con mayor capacidad antioxidante proveniente de péptidos bioactivos y en menor proporción de compuestos fenólicos remanentes.
- b) El tipo de pretratamiento extracción convencional con solventes, aplicado a la harina de quinua, previo a la hidrólisis enzimática, permite obtener un hidrolizado proteico de quinua con mayor capacidad antioxidante proveniente de péptidos bioactivos y menor proporción de compuestos fenólicos remanentes.
- c) El tipo de pretratamiento con fluidos supercríticos, aplicados a la harina de quinua, previo a la hidrólisis enzimática, permite obtener un hidrolizado proteico de quinua a escala industrial con menor costo en USD/Kg proteína.
- d) El tipo de pretratamiento con extracción convencional con solventes, aplicados a la harina de quinua, previo a la hidrólisis enzimática, permite obtener un hidrolizado proteico de quinua a escala industrial con menor costo en USD/Kg proteína.
- e) El tipo de pretratamiento con fluidos supercríticos, aplicados a la harina de quinua, previo a la hidrólisis enzimática, permite obtener un hidrolizado proteico de quinua a escala industrial con mayor valor presente neto en USD.
- f) El tipo de pretratamiento extracción convencional con solventes, aplicados a la harina de quinua, previo a la hidrólisis enzimática, permite obtener un hidrolizado proteico de quinua a escala industrial con mayor valor presente neto en USD.

CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA

3.1 Tipo y diseño de investigación

La investigación es aplicada y experimental, con diseño experimental y enfoque cuantitativo, propone un método de aprovechamiento de la quinua para la obtención de hidrolizados proteicos de quinua con capacidad antioxidante proveniente de péptidos bioactivos, además de la evaluación económica del proceso a escala industrial. Se trabajó con el siguiente diseño experimental, como se muestra a continuación:

Diseño experimental para la evaluación de la capacidad antioxidante (AA) y la evaluación económica (CM y VPN)

GCR X₁ O₁ O₂ O₃

GCE X₂ O₄ O₅ O₆

Donde:

GCR: grupo control referencial GE: grupo experimental O: observación X: tratamientos

Nota: se considera grupo control al pretratamiento con la tecnología convencional

Figura 4: Diseño experimental para análisis de regresión múltiple aplicado a los 16 escenarios, variables de entrada (rendimiento y productividad) por tipo de tecnología sobre los dos indicadores financieros (CM y VPN)



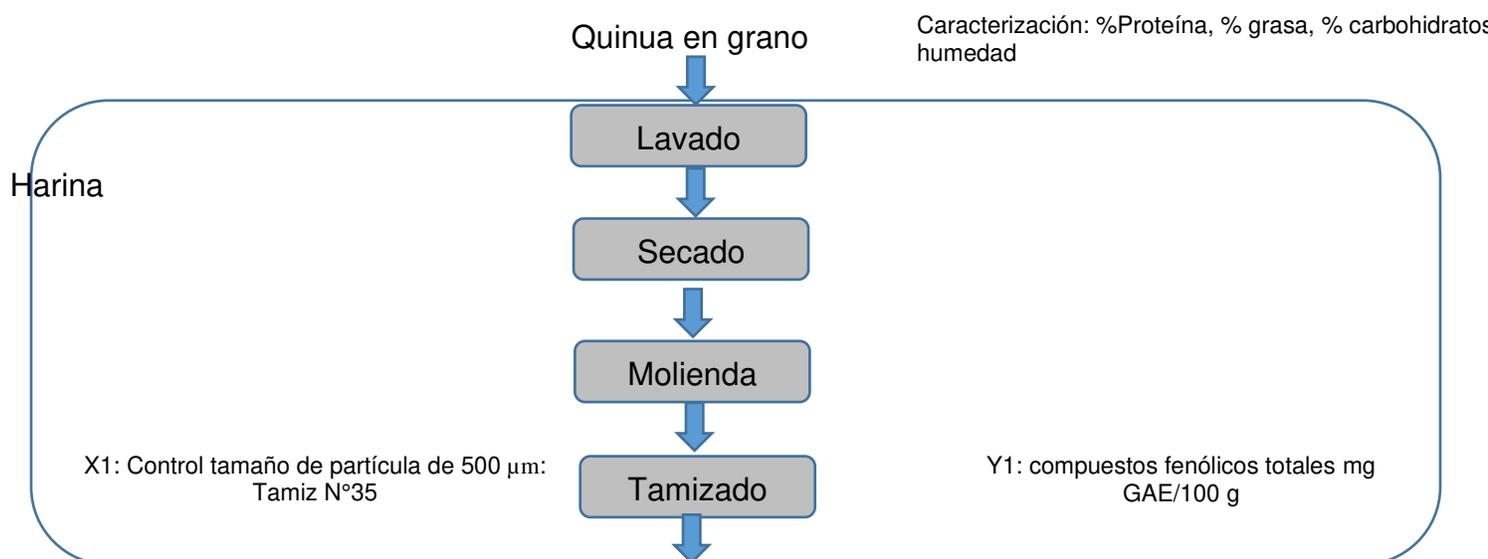
Donde:

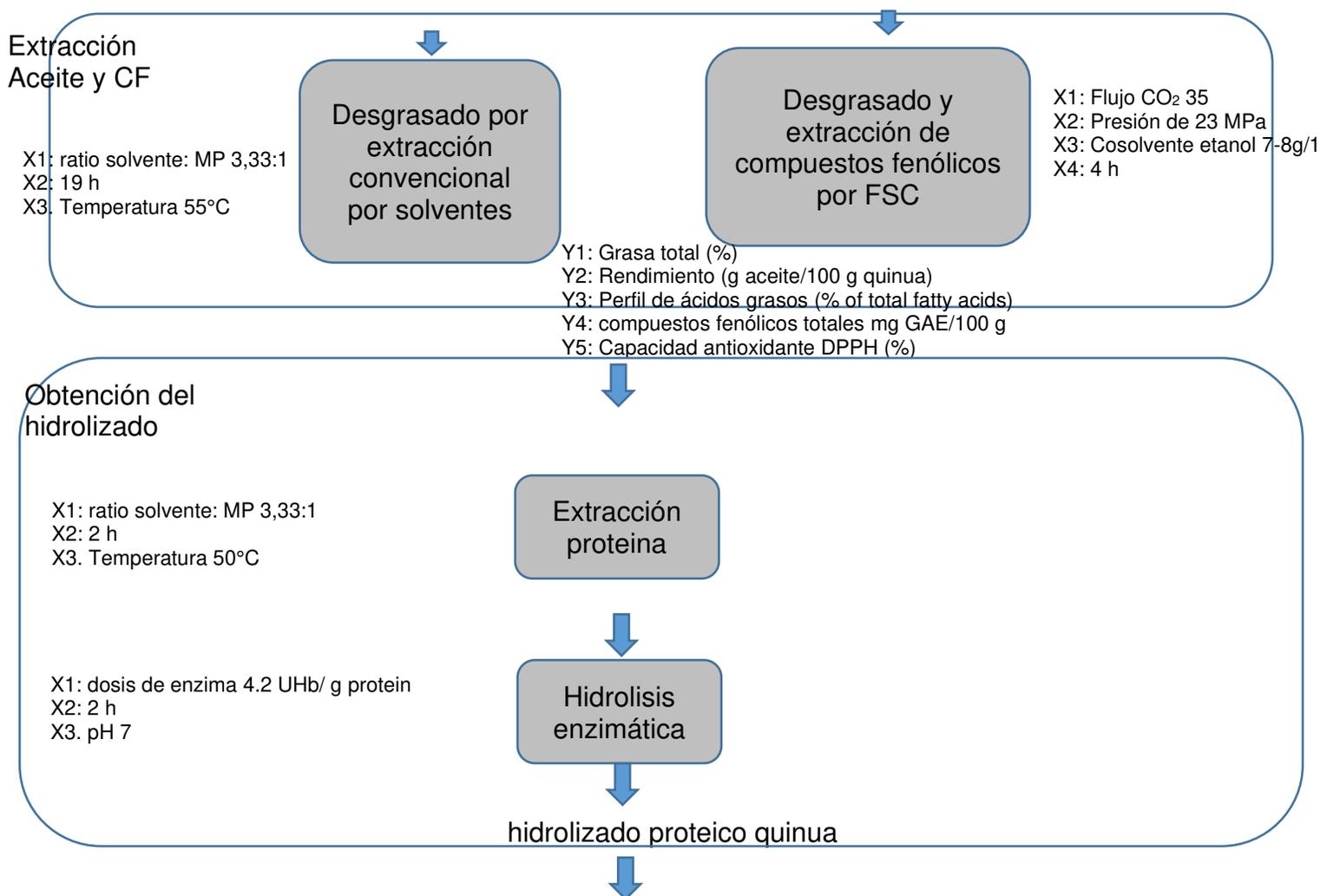
M: Muestras en quien se realiza el estudio O: observaciones obtenidas en cada una de las variables distintas en la muestra r: relación entre variables

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se describe en la figura 5 el procedimiento experimental seguido:

Figura 5: Procedimiento experimental





1. Análisis por ABTS de los hidrolizados proteicos de quinua obtenidos por cada tecnología por triplicado

Y1: proteína soluble (mg/ml)
Y2: grado de hidrolisis (%)
Y3: Capacidad antioxidante (μmol TE/g proteína)

2. Análisis estadístico ANOVA de una sola vía, seguido de una comparación múltiple de medias de Tukey ($\alpha = 0.05$).

X1: Tipo de pretratamiento

Y1: Capacidad antioxidante (μmol TE/g proteína)



3. Escalamiento y simulación a escala laboratorio e industrial

4. Determinación de los indicadores económicos: Costo manufactura (CM) y Valor presente neto (VPN)

X1: Costo de materia prima
X2: Costo de inversión
X3: Costo de la mano de obra
X4: Costo de utilidades
X5: Costo de tratamiento de residuos

Y1: Costo de manufactura
Y2: Valor presente neto
Y3: Retorno de la inversión

5. Evaluación de la correlación estadística entre las variables de entrada y los indicadores CM y VPN: Regresión lineal para obtener una ecuación multifactorial para cada uno de los dos indicadores evaluados

X1: productividad
X2: Rendimiento de hidrolizado

Y1: Costo de manufactura
Y3: Valor presente neto

6. Análisis estadístico de la significancia del CM y VPN

- CM: Análisis de ANOVA de un factor, seguido de Tukey ($\alpha = 0.05$)
- VPN: Análisis de Kruskal-Wallis, seguido de comparación de Dunn-Bonferroni ($\alpha = 0.05$)

X1: Tipo de pretratamiento (Fluidos supercriticos/convencional y escala laboratorio e industrial)

Y1: Costo de manufactura
Y2: Valor presente neto

Fuente: Elaboración propia

3.2 Unidad de análisis

La unidad de análisis es Quinoa blanca en grano variedad Huallhuas (INIA-415), adquirida del Programa de Cereales de la UNALM.

3.3 Población de estudio

Toda la producción de quinua de la variedad Huallhuas (INIA-415) de la estación experimental del Programa de Cereales de la UNALM.

3.4 Tamaño de muestra

El muestreo es probabilístico y de tipo aleatorio simple, y el tamaño de muestra por razones metodológicas fue de 5 kg.

3.5 Selección de muestra

La muestra fue seleccionada por un muestro simple de la variedad Huallhuas, por ser la más comercial de quinua blanca, la muestra fue proveída por el Programa de Cereales de la UNALM por razones de identificación de la variedad, estandarización y uniformidad de la calidad del grano.

3.6. Técnicas de recolección de Datos

La recolección de datos se realizó con la técnica de observación experimental y se utilizó una ficha de registro de datos.

La investigación fue llevada a cabo en el Laboratorio de Química, de la Universidad San Ignacio de Loyola, La Molina-Perú. Y en el Instituto Tecnológico del Perú (ITP), Callao-Perú.

3.7. Análisis e interpretación de la información

La primera parte se utilizó un análisis de varianza multifactorial con diseño experimental para poder determinar la influencia de los pretratamientos en la hidrólisis enzimática sobre la capacidad antioxidante del hidrolizado proteico de quinua, para ello se empleó el software Minitab 16.0. Para la segunda parte para las simulaciones de los procesos a escala industrial y cálculo de los costos unitarios y la rentabilidad se utilizó el software

SuperPro Designer 9.0® (Intelligen Inc., Scotch Plains, NJ, EE. UU.), todos los ensayos y/o tratamientos se realizaron por triplicado.

Para la segunda de factibilidad económica, la significancia del CM y VPN se aplicó un análisis de ANOVA de tres factores con un nivel de significancia de ($p < 0.05$). Para evaluar la significancia de los resultados obtenidos del Valor Presente Neto (VPN). Finalmente, para evaluar correlaciones o ecuaciones que describan, de forma cuantitativa, la relación estadística existente entre las variables de entrada y salida, se utilizó SPSS for Windows versión 24.0 (SPSS, Inc., Chicago, IL, USA).

3.8 Procedimiento experimental

Para la producción del hidrolizado proteico de quinua se aplicó previamente dos pretratamientos a la harina, un pretratamiento con fluidos supercríticos y el otro con extracción convencional por solventes, utilizando éter de petróleo. Luego se procedió a extracción alcalina de la proteína y a la hidrolisis enzimática utilizando una enzima comercial endopeptidasa. Se evaluó la capacidad antioxidante del hidrolizado proteico de quinua obtenido por ambos métodos.

Luego se procedió a la simulación utilizando el software de simulación SuperProDesigner V9. del proceso a escala de laboratorio de 1.5 kg de quinua en grano y escala industrial de 2500 kg por día de quinua en grano.

3.8.1 Reactivos

Estandar de ácido gálico, reactivo Folin-Ciocalteu, 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo, el 2,4,6-tris (2-piridil)-triazina (TPTZ) y Trolox se compraron a Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, EE. UU.). Los reactivos experimentales como acetato de sodio, éter de petróleo, hidróxido de sodio, ácido clorhídrico al 37%, ácido bórico, sulfato de amonio, ácido acético glacial, ácido sulfúrico, alcohol etílico, alcohol metílico, suero de albúmina bovina, anhídrido

acético, carbonato de sodio y cloruro férrico se obtuvieron de Synth (Diadema, SP, Brasil). Deisenhofen, Alemania.

3.8.2 Preparación de la muestra

Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), en este estudio se utilizaron semillas de la variedad Hualhuas; la muestra fue suministrada por el Programa de Leguminosas y Cereales de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú. La composición proximal aproximada de la quinua (% base seca) fue de humedad 10, carbohidratos 75.15, proteínas 13.97, grasas 5.70% y cenizas 3.38. Las semillas de quinua se lavaron con agua fría durante 6 min. para eliminar las saponinas; luego se secaron a 50°C hasta alcanzar el 8% de humedad. Después de eso, se molieron en un molino IKA Basic 11 (EE. UU.). Finalmente, la harina de quinua se tamizó en un tamiz de 0,5 mm (N°35) con un tamaño de partícula similar.

3.8.3 Extracción de la proteína de quinua

Para la extracción de proteínas de la harina, se siguió la metodología propuesta por Fritz et al. (2011) para proteínas obtenidas de las semillas de amaranto, aplicando luego modificaciones durante la etapa de extracción de aceite. El diagrama de flujo con las operaciones de proceso seguido, se muestran en la Figura 5.

Pretratamiento de la harina de quinua con Fluidos supercríticos (FSC)

El objetivo del pretratamiento con fluidos supercríticos fue eliminar el aceite de la harina de quinua para evitar interferencias durante la extracción de proteínas y además, extraer los compuestos fenólicos con el fin de evitar interferencias durante los ensayos de la actividad antioxidante del hidrolizado proteico de quinua (E. Daliri et al., 2017).

Se utilizó un equipo multisolvente (2802.0000, Top Industry, Francia), el cual tiene un software que se utiliza para controlar la temperatura del precalentador, reactor, separador para registrar las presiones). Este equipo se diseñó para desarrollar diferentes técnicas de extracción, entre ellas: la extracción con CO₂ supercrítico y un

modificador de polaridad. El extractor tiene una bomba de cosolvente que absorbe el etanol de una botella y lo lleva al reactor que contiene la muestra; la extracción de aceite y compuestos fenólicos de la harina de quinua aplicó esta técnica de uso de cosolvente. Al colocar la harina de quinua en la celda del reactor se llevó a cabo la extracción; la bomba de cosolvente absorbió el 96% de etanol, considerando una relación muestra/solvente de 7 g/100 ml. Los parámetros de funcionamiento del equipo fueron determinados mediante pruebas preliminares, evaluando el mayor porcentaje de extracción de aceite y compuestos fenólicos, siendo estos: $P = 23 \text{ MPa}$, Temperatura del reactor = 55°C y Flujo = $35 \text{ g CO}_2/\text{min}$; el tiempo de extracción fue de aproximadamente 4 h. En la figura 5 se observa el equipo utilizado.

Figura 5: Equipo extractor multisolvente marca Top Industrie, propiedad del Instituto Tecnológico de la Producción.



Fuente: Elaboración propia.

Extracción de aceite aplicando el método convencional (éter de petróleo)

Para extraer el aceite de la harina, se mezcló en una proporción de 150g de harina con 500ml de éter de petróleo (Relación masa/solvente 1: 3.33), revolviendo durante 16 h a temperatura de refrigeración. Después, el disolvente residual del producto se filtró y se eliminó en la cabina seca con recirculación de flujo de aire a 50°C por 1 h.

Extracción de la proteína de quinua

Se aplicó el mismo método de extracción de proteínas para ambas muestras de harina de quinua (ver figura 6) y como se describe a continuación.

Extracción alcalina: La extracción de la proteína se llevó a cabo bajo una relación materia prima-solvente de 1:10, pH 10 (utilizando NaOH 1 N), 50°C durante 30 min en baño maría con agitación.

Centrifugación: Después de la extracción alcalina, la solución se centrifugó a 4500 rpm durante 45 min a una temperatura de 10°C, conservando los sobrenadantes. Se realizó una segunda extracción con la muestra restante utilizada como referencia en condiciones similares.

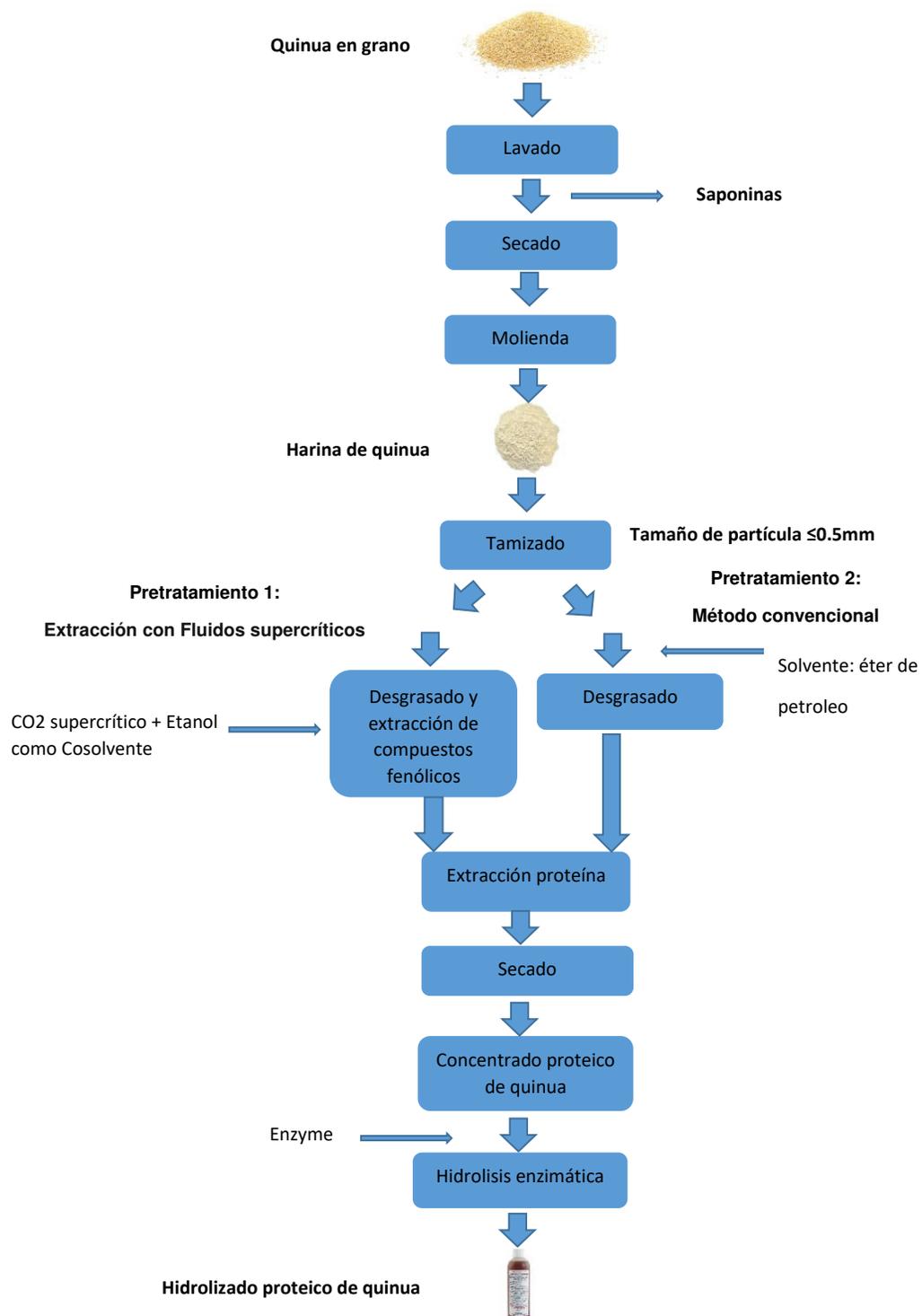
Filtrado: Los sobrenadantes de ambas extracciones se filtraron con un matraz Kitasato, una bomba de vacío utilizando papel de filtro Whatman N°1 y luego se realizó la precipitación.

Precipitación isoelectrica: Se ajustó el pH a 4,8 (utilizando HCl 1N), agitando durante 5 min a temperatura ambiente. El precipitado obtenido fue conservado y separado del sobrenadante.

Lavado y centrifugado: Los precipitados en ambas muestras fueron lavadas con agua destilada se llevaron a cabo en una relación concentrado/solvente de 1:5, seguido de una centrifugación a 4500 rpm durante 45 min a una temperatura de 5°C, recuperando

el de precipitación. Luego se realizó la neutralización en una suspensión de agua destilada y se reguló el pH a 7 (utilizando NaOH 1N). Luego, las muestras se secaron en un secador por atomización a escala de laboratorio (Buchi B-290), a una temperatura de entrada de aire de 120°C, un caudal de 600 y una alimentación del producto del 15%. Finalmente, la proteína de quinua se almacenó en bolsas de polietileno a 20°C para posteriormente determinar el porcentaje de proteína total e hidrólisis enzimática.

Figura 6: Proceso de obtención de hidrolizado proteico de quinua

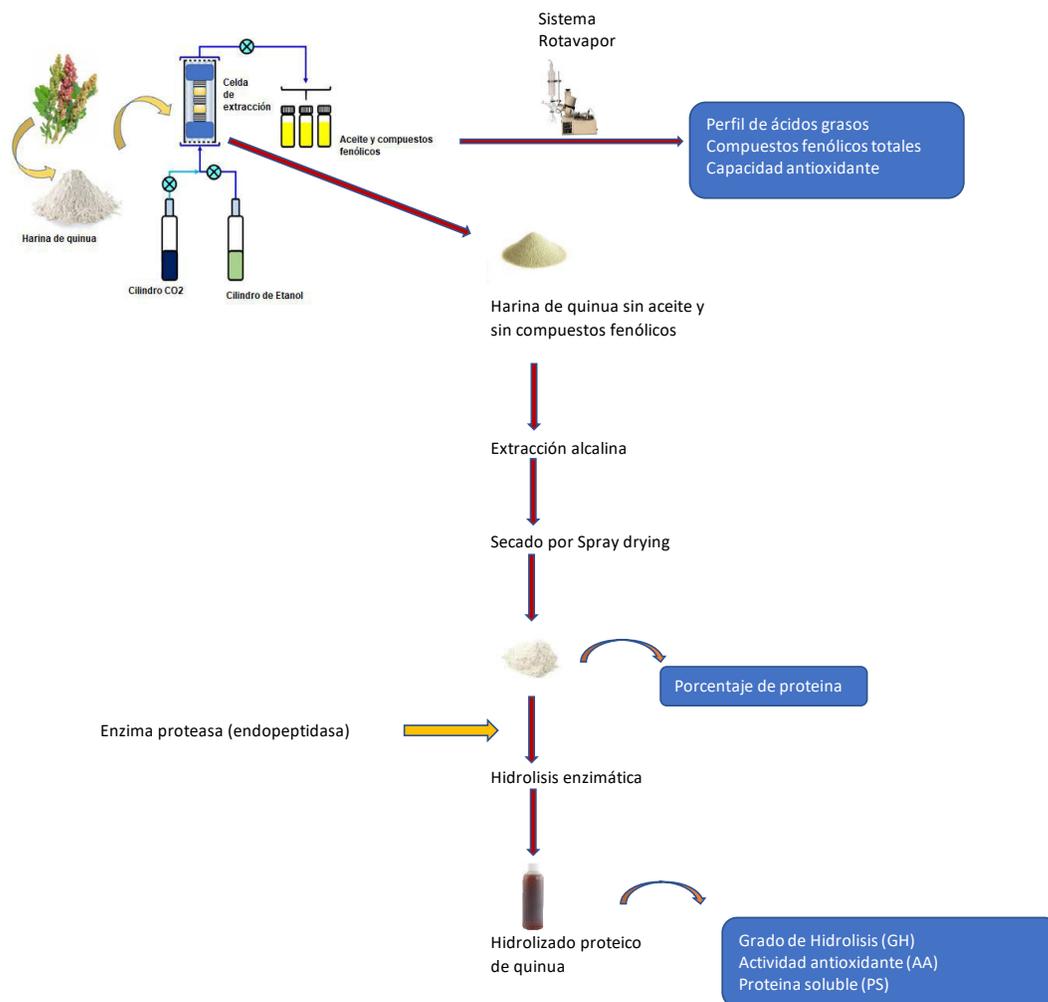


Fuente: Elaboración propia

3.8.4 Hidrólisis enzimática de la proteína de quinua

La hidrólisis de los concentrados de proteína de quinua se llevó a cabo de acuerdo con la propuesta de Guerrero - Ochoa y otros (2015); se utilizó una enzima comercial endopeptidasa COROLASE® 7089 (AB Enzymes, Alemania). Obtenida de cultivos de *Bacillus subtilis* que hidroliza proteínas de alto peso molecular en péptidos de bajo peso molecular. Se preparó una suspensión al 2,5% (la proteína se disolvió en tampón fosfato 0,2 M, pH 7,0); la suspensión se calentó a 55°C, y luego se añadió la enzima. La concentración de la enzima fue de 4,2 UHb/g de proteína, la suspensión se mantuvo en agitación suave y constante; el tiempo fue de 120 min. La reacción se llevó a cabo en Erlenmeyer de 250 ml. Finalmente, la reacción se detuvo por inactivación térmica a 85°C durante 10 min; la mezcla se enfrió a temperatura ambiente, seguida de una centrifugación a 4500 rpm durante 45 min para recuperar los péptidos contenidos en el sobrenadante; luego, se llevó a cabo los ensayos. La figura 7 se muestra los ensayos realizados en el hidrolizado proteico de quinua.

Figura 7: Ensayos realizados



Fuente: Elaboración propia

3.8.5 Determinación de los ensayos de laboratorio

Determinación del contenido de grasa total (GT)

Los lípidos totales fueron extraídos por el método de extracción soxhlet utilizando hexano, y luego fueron determinados por gravimetría.

Determinación del contenido de compuestos fenólicos totales (CFT)

El método que se utilizó fue el reportado por Repo-Carrasco & Encina (2008) para determinar los compuestos fenólicos de la harina de quinua, pero con ligeras

modificaciones. Se realizó la extracción con etanol y se centrifugó para una separación eficiente. Se colocó una muestra de 5 g en 20 ml de metanol dentro de un tubo Falcon que se mezcló en un homogeneizador de alta velocidad durante 1 min hasta alcanzar una consistencia uniforme. Manteniendo la muestra homogeneizada en reposo durante 24 h bajo refrigeración (4°C); luego, la centrifugamos se realizó durante 30 min a 3800 rpm. El contenido de polifenoles totales se determinó utilizando el método descrito por Singleton y Rossi (1965), comunicado por Ramos-Escudero (2012) utilizando el reactivo Folin-Ciocalteu para la determinación del contenido de polifenoles. Una muestra de 100 µl del extracto reaccionó con 750 µl del reactivo de Folin-Ciocalteu 0,2 N; 5 min después de la reacción se añadieron 750 µl de carbonato de sodio al 7,5%. La reacción se llevó a cabo a 25°C en la oscuridad durante 30 min. La absorbancia se midió a 725 nm. La curva de calibración se realizó con las siguientes concentraciones de ácido gálico: 5, 10, 40, 70 y 100 µg/mL. Los resultados se expresaron como equivalentes de ácido gálico (EAG) en mg/100 g de semillas de quinua; Y también para la harina antes y después del pretratamiento con FSC y método convencional en base a peso seco (DW).

Determinación del contenido de Proteína total (PT)

Se utilizó la metodología de Kjeldahl para determinar la proteína total en el grano, harina y concentrado proteico de quinua, según el método 984.13 de la AOAC; (AOAC, 1995). Este método se basa en la destrucción de la materia orgánica con concentraciones de ácido sulfúrico, formando sulfato de amonio que en el exceso de hidróxido de sodio libera amoníaco. Se recibe en ácido sulfúrico y se forma sulfato de amonio, luego se evalúa el exceso de ácido con hidróxido de sodio en presencia de rojo de metilo o en ácido bórico, formando borato de amonio y se evalúa con ácido clorhídrico. La conversión del factor de proteína utilizada fue de 5,85.

Determinación de proteína soluble (PS)

Según la metodología propuesta por Lowry et al. (1951). Se trata de un “método colorimétrico en el que las proteínas reaccionan con el reactivo Folin - Ciocalteu que se reduce por los residuos de tirosina y triptófano presentes en un complejo de cuproproteínas para dar otro complejo azul volátil cuya intensidad es proporcional a las concentraciones de aminoácidos aromáticos y cambiará según el tipo de proteínas”.

Este análisis se realizó “mezclando 400 μ L de la muestra hidrolizada con 2 ml de la solución de reacción de Na_2CO_3 al 2% en 0,1 M de NaOH, $\text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ al 0,5% en agua destilada y tartrato de sodio al 1% en agua destilada, en una proporción de 100:1:1; 200 μ L. A esta mezcla se le añadió el reactivo Folin - Ciocalteu 1N, que se agitó e incubó a temperatura ambiente durante 30 min. Después de eso, la absorbancia se midió a 650 nm. Los resultados se determinaron con la ayuda de una curva estándar utilizando una solución de BSA como patrón en un rango de concentración de 0,05 - 0,3 mg/ml. El blanco se preparó sustituyendo la muestra hidrolizada por 400 μ L de agua destilada”.

Determinación del grado de hidrólisis (GH)

El grado de hidrólisis se determinó por el método reportado por Adler - Nissen (1979); aunque se hicieron algunas modificaciones en esta investigación. En un “tubo de ensayo se añadieron 0,5 ml de tampón de borato 0,2 M (pH 8,2); 0,63 ml de la muestra de proteína hidrolizada disuelta en SDS al 1% y 0,5 ml de solución de ácido picrilsulfónico (TNBS, 1mg/ml). Todo el complejo, protegido de la luz, fue agitado e incubado a 50°C durante 60 min al baño maría. Se detuvo la reacción añadiendo 1 ml de HCl 0,1N y luego se dejó reposar a temperatura ambiente durante 20 min. Más tarde, se añadió 2 ml de agua destilada, y luego se deja reposar otros 10 min antes de medir la absorbancia medida a 340 nm. Los resultados se determinaron con la ayuda de una curva estándar utilizando una solución de L-leucina en SDS al 1 % en un rango de concentración de 0,5 - 3,0 mM. La muestra utilizada como referencia se preparó sustituyendo la muestra

por 0,63 ml de solución de SDS al 1 % en agua". Los valores del grado de hidrólisis (GH) se calcularon mediante la siguiente fórmula:

$$\text{GH (\%)} = \frac{100 \times (\text{AN}_2 - \text{AN}_1)}{\text{Npb}} \dots\dots\dots (2)$$

Donde:

GH: Grado de hidrólisis

AN₁: Contenido de nitrógeno amino de la proteína antes de la hidrólisis. Es la muestra tomada antes de añadir la enzima, considerada como tiempo 0 (mg/g de proteína).

AN₂: Contenido de nitrógeno amino de la proteína después de la hidrólisis (mg/g de proteína)

Npb: Contenido de nitrógeno amino de los enlaces peptídicos en el sustrato (concentrado de proteínas), que se determinó después de la hidrólisis total con HCl 6M a 110°C durante 24 h seguida de la filtración a través del papel de filtro Whatman N° 40 y la posterior neutralización con NaOH 6M.

Determinación de la actividad antioxidante (AA) por ABTS

Se utilizó el método reportado por Torruco y otros (2009) y Re y otros (1999). Fue adaptado para las proteínas hidrolizadas en esta investigación. Se realizó el ensayo preparando la solución A: 7 mM de ABTS y la solución B: 25,4 mM de K₂S₂O₈, ambas diluidas en agua desionizada. Lo mezclamos en una proporción de 9:1 y lo almacenamos durante 12-16 h en la oscuridad antes de su uso. El nombre de esta solución es solución madre. Después de ese tiempo, la solución diluida de ABTS se preparó en solución salina de tampón fosfato (PBS), que está compuesta por 8,18 g/L de NaCl, 0,27 g/L de KH₂PO₄, 1,42 g/L de Na₂HPO₄ y 0,15 g/L de KCl disueltos en agua desionizada hasta alcanzar un pH de 7,4 (utilizando NaOH 1M). Después de eso, las soluciones diluidas de ABTS y PBS se mezclaron en una proporción de 1:50, respectivamente hasta alcanzar una absorbancia de 0.70 ± 0.03 a 734 nm. Para medir la actividad antioxidante, se utilizó 40 µL de la muestra hidrolizada previamente diluida en PBS, que luego se

mezcló con 4 mL de la solución diluida de ABTS. Una hora después de la reacción (en la oscuridad), se determinó la absorbancia a 734 nm. Los resultados se determinaron mediante una curva estándar utilizando una solución Trolox en un rango de concentración de 0,5-2,0 mM y se expresaron en μmol de Trolox equivalente (TE)/g de proteína. Análogamente, la muestra utilizada como referencia se preparó utilizando PBS como sustituto de la muestra.

3.8.6 Análisis estadístico

Todos los ensayos se llevaron a cabo por triplicado. Los resultados fueron expresados como la media \pm desviación estándar. Las medias fueron comparadas por ANOVA de una vía, seguido de la prueba Tukey's post hoc test ($p < 0.05$). Adicionalmente, se aplicó análisis de regresión múltiple para evaluar la correlación estadística de dos variables independientes (rendimiento del hidrolizado y productividad) sobre dos importantes indicadores económicos del proceso (CM y VPN). Todo lo anterior se llevó a cabo utilizando SPSS for Windows versión 24.0 (SPSS, Inc., Chicago, IL, USA), como se resume a continuación:

Cuadro 4: Matriz de análisis de datos

Variable	Indicador	Escala de medición	Estadísticos Descriptivos	Análisis Inferencial
X ₁ : tipo de pretratamiento	Capacidad antioxidante por ABTS	(μmol TE/g proteína)	Promedio Desviación estándar	ANOVA de un factor, seguido de una comparación múltiple de medias de Tukey ($\alpha = 0.05$).
X ₁ : Tipo de pretratamiento	Costo de manufactura (CM)	USD/ kg	Promedio Desviación estándar	ANOVA de un factor, seguido de una comparación múltiple de medias de Tukey ($\alpha = 0.05$).
X ₁ : Tipo de pretratamiento	Valor presente Neto (VPN)	USD	Mediana Rango medio	Kruskal-Wallis, con nivel de significancia de ($\alpha = 0.05$). Seguido prueba de Dunn-Bonferroni

X ₁ : productividad	Costo de manufactura (CM)	USD/ kg	Ecuación de regresión lineal	Análisis de regresión múltiple lineal
X ₂ : rendimiento de hidrolizado	Valor presente Neto (VPN)	USD		

Fuente: Elaboración propia

3.8.7 Evaluación económica

3.8.7.1. Modelo de simulación de procesos

La evaluación económica simulada de los procesos de obtención de hidrolizado proteico de quinua se realizaron usando el software SuperPro Designer 9.0 ® y siguiendo el procedimiento empleado por Viganó et al. (2017), el procedimiento seguido se muestra en la figura 7. Los diagramas de proceso y equipos a emplearse para la obtención del hidrolizado proteico de quinua por el método convencional y fluidos supercríticos se presentan en las figuras 9 y 10 respectivamente. El balance de masa, los rendimientos y condiciones del proceso fueron obtenidos del desarrollo de la parte experimental de laboratorio, se muestran en los anexos I, II, III y IV.

A escala de laboratorio e industrial, se consideró una capacidad diaria de procesamiento de materia prima de 2.5 kg y 2500 kg respectivamente; este caudal masico se utilizó para determinar el volumen de la celda de extracción con fluidos supercriticos, utilizando la densidad aparente de la harina de quinua para un tamaño de partícula ≤ 0.55 , reportado por Cotovanu (2020) de 0.55 g/mL, siendo el volumen de la celda de extracción de 1.38 L para escala laboratorio y de 4000 L para la escala industrial, adicionalmente, para el cálculo del costo de la unidad de extracción de fluidos supercriticos, Rocha-Uribe (2014), reporta una ecuación determinada experimentalmente, que relaciona el volumen de la unidad de extracción en m³ y el costo del equipamiento de toda la unidad de extracción a escala industrial, la ecuación se muestra a continuación:

$$Y = 31901x^{0.6909} \dots\dots\dots (3)$$

En base a la aplicación de la ecuación 2, se determinó el costo de la unidad a escala industrial de USD 9,828,054.25 (Ver cuadro anexo 10).

La capacidad de la unidad de extracción, los volúmenes de la tecnología de fluidos supercríticos para el desgrasado y para separar los compuestos fenólicos, se determinó de 2. 5 L (laboratorio) y 4000 L (planta industrial).

Los volúmenes de la tecnología convencional para el desgrasado, se consideró utilizar un tanque reactor con agitación, cuyo volumen es de 2,5 L (laboratorio) y 15 000 L (planta industrial); en ambos procesos los volúmenes se calcularon en base a la densidad aparente (0,55 g/cm³) de la harina de quinua a procesar, reportada por Cotovanu et al. (2020).

3.8.7.2. Parámetros de evaluación económica

Los costos propuestos en este estudio son en base a cotizaciones y literatura de los proveedores los cuales sirvieron de apoyo al estudio proporcionando datos precisos para cada equipo, es decir, los parámetros con los que trabaja y precio de cada uno de ellos. Se debe considerar a los costos actuales presentados en el estudio como referenciales para las capacidades propuestas. Según Viganó (2016) y Smith (2005), es posible escalar el costo del equipo con la capacidad requerida con la ecuación 1, en la cual C₁ representa el costo del equipo con capacidad Q₁, de la misma forma C₂ es el costo del equipo con capacidad Q₂ y n es el coeficiente de costo, este último se obtuvo de bibliografía y varía según el equipo que se emplea, los valores utilizados para la investigación se muestran en el cuadro 5, costo base, equipos y la inversión de capital fijo para cada planta a escala industrial.

$$C1 = C2 \left(\frac{Q1}{Q2} \right)^n \dots\dots\dots (4)$$

Cuadro 5: Base de costo del equipamiento utilizado para la simulación económica a escala industrial

Escala de 2500 kg por lote de producción diaria			Convencional		Fluidos supercríticos	
Etapa	Equipamiento	n (coeficiente costo)	Cantidad	Costo total (USD)	Cantidad	Costo total (USD)
Selección	Seleccionadora sistema óptico	0.89 ^a	1	7,000	1	7,000
Lavado	Tanque reactor (10 m ³)	0.45 ^b	3	60,000	3	60,000
Centrifugado	Decanter (3m ³ /h)	0.71 ^c	1	4,500	1	4,500
Secado	Secador fluidizado	0.65 ^b	1	56,000	1	56,000
Molienda y tamizado	Molino martillos	0.91 ^b	1	8,000	1	8,000
Desgrasado y extracción de compuestos fenólicos	Tanque reactor (15 m ³ y 10 m ³) Unidad de extracción de fluidos supercríticos (4m ³)	0.45 ^b 0.60 ^d	2 -	50,000 -	- 1	- 9,828,054
Extracción alcalina de proteínas	Tanque reactor (2 tanques 10m ³ and 1 tanque 5 m ³)	0.45 ^b	3	50,000	3	50,000
Centrifugado 2	Decanter (20 m ³ /h)	0.71 ^c	1	30,000	1	30,000
Filtración	Filtro prensa	0.66 ^a	3	18,231	3	18,231
Precipitación	Tanque reactor	0.45 ^b	2	42,000	2	42,000
Centrifugado 3	Decanter (20 m ³ /h)	0.71 ^c	1	30,000	1	30,000
Lavado 2	Tanque de lavado (2.5 m ³)	0.53 ^b	1	5,000	1	5,000
Centrifugado 4	Decanter (3m ³ /h)	0.71 ^c	1	4,500	1	4,500
Neutralizado	Tanque reactor (0.5 m ³)	0.45 ^b	1	1,000	1	1,000
Secado por aspersión	Spray dryer	0.59 ^e	1	75,000	1	75,000
Hidrolisis enzimática	Tanque reactor (2.5 m ³)	0.45 ^b	2	10,000	2	10,000
Inactivación						
Centrifugado	Decanter (5 m ³ /h)	0.71 ^c	1	7,500	1	7,500
Transporte total sólidos	Faja transportadora	0.89 ^a	7	3,087	7	3,087
Transporte total de fluidos	Bomba	0.55 ^b	11	28,347	11	28,347
Costo total de inversión (USD)				490,165		10,268,219

Domingo. (2006)^a, Smith. (2005)^b, University of Texas^c, Rocha-Urbe et al. (2014)^d, Aguiar et al. (2020)^e. Los precios pueden cambiar en cada caso debido a diferentes capacidades para el proceso.

FUENTE: Elaboración propia

Para calcular el costo de manufactura (CM) se realiza la suma de 3 componentes de gran importancia, estos son: costos directos, costos fijos y gastos generales. Turton et al. (2008), propone una metodología para hallar el valor del CM la cual consiste en la estimación del capital fijo de inversión (FCI), costo de la mano de obra operativa (COL), costo de servicios públicos (CUT), costo de materia prima (CRM) y costo de disposición de residuos sólidos (CWT). El software determina el costo de manufactura de acuerdo con la ecuación 5:

$$CM = 0.304 \times FCI + 2.73 \times COL + 1.23 \times (CUT + CWT + CRM) \dots\dots\dots (5)$$

A continuación, se presentará el detalle de cada uno de los costos mencionados en el párrafo anterior, los cuales son de gran importancia para el cálculo del CM. Según Viganó, el costo de capital fijo de inversión (FCI) se refiere a los gastos de maquinaria y equipo necesarios para la producción, mientras que los costos de mano de obra operativa (COL) es la cantidad de dinero destinada a cada uno de los operarios cuyo trabajo está ligado directamente con el procesamiento. El costo de servicios públicos (CUT) se refiere al costo del consumo de energía eléctrica y consumo de vapor en la planta de procesamiento, considerando el gasto realizado por cada uno de los equipos. Además, el CRM representa la cantidad de dinero que cuesta adquirir tanto la materia prima como los insumos (solventes), para el caso del CWT se considera el mismo valor para ambas tecnologías, el cual considera el residuo insoluble que se genera en la extracción de la proteína.

Finalmente, para la determinación del costo de manufactura (CM) a escala industrial se consideró cuatro escenarios para cada tecnología:

Escenario 1: venta del hidrolizado proteico de quinua, saponinas y aceite.

Escenario 2: venta de hidrolizado proteico de quinua y venta de saponinas.

Escenario 3: venta del hidrolizado proteico de quinua y venta del aceite.

Escenario 4: solo venta del hidrolizado proteico de quinua.

Considerándose como escenario base solamente la venta del hidrolizado proteico de quinua (Escenario 4).

El cuadro 6 muestra los parámetros económicos utilizados para la simulación.

Cuadro 6: Resumen de parámetros económicos utilizado para la simulación económica para los dos pretratamientos

Tipo de costo	Escala laboratorio: 1.5 kg/día por batch	Escala industrial 2500 kg/día por batch
Inversión de capital fijo (FCI)		
Extracción convencional	USD 94,562.61	USD 490,165.00
Extracción con fluidos supercríticos	USD 249,698.88	USD 10,268,219.25
Ratio de depreciación	10%/año	10%/año
Ratio de mantenimiento anual	6%/año	6%/año
Costo operacional de mano de obra (COL)		
Salario (\$/h)	USD 2.34	USD 2.34
Número de trabajadores / línea de proceso	2	6
Costo de materia prima (CRM)		
Quinoa en grano	1567 USD/ton	1567 USD/ton
Industrial CO ₂	0.033 USD/kg	0.033 USD/kg
Etanol absoluto	0.53 USD/kg	0.53 USD/kg
Éter de petróleo	859 USD/t	859USD/t
NaOH 1N	125USD/t	125USD/t
HCl 1N	41.37USD/t	41.37USD/t
NaOH 0.1N	120USD/t	120USD/t
Buffer fosfato	1160 USD/t	1160 USD/t
Enzima endopeptidasa <i>COROLASE 7089</i>	27.73 USD	27.73 USD
Costo de Utilidades (CUT)		
Electricidad	0.1183 USD/kW	0.1183 USD/kW
Agua	1.63USD/t	1.63USD/t
Costo de tratamiento de residuos (CWT)		
Residuos	100 USD/ton	100 USD/ton

FUENTE: Elaboración propia

3.8.7.2. Escalamiento del proceso

En cuanto al procesamiento industrial las etapas son iguales al proceso de laboratorio, sin embargo, se emplean equipos de mayor tecnología, se consideró que ambas plantas funcionarían tres turnos diarios durante 330 días al año, lo que corresponde a 7920 h al año. El proceso debe iniciar con la selección y clasificación de materia prima, esta debe realizarse en equipos que permitan clasificar los granos de quinua de acuerdo con su color y tamaño, además debe separar la materia prima de partículas físicas contaminantes, si bien es cierto en el mercado no es fácil conseguir esta clase de equipos, sin embargo, Birbuet y Machacado (2009) proponen el uso de maquinaria industrial para el procesamiento de arroz, adaptando ciertos parámetros como color y tamaño, para la presente investigación se ha considerado un seleccionador óptico que selecciona y clasifica los granos de quinua en función de su tamaño y color (Ver Anexo). A continuación, se realiza el desaponificado en un tanque con agitación de 30 m³ de capacidad y enchaquetado para elevar la temperatura hasta 60°C por un tiempo de 60 min y un ratio de materia prima/solvente de 1:10, pues según Quiroga et al. (2015), el flujo turbulento de agua favorece a la eliminación de saponinas, garantizando reducirlas en un nivel significativo de > 0.11 ; en ese sentido que se obtiene un porcentaje significativo de una solución de saponina (rendimiento de 0.31 g saponina / 100 g de quinua en grano en base seca), por lo tanto, esta se puede comercializar como un subproducto de este proceso, ya que actualmente este componente es valorado en el mercado por su eficiencia como desinfectante, tal y como lo señalan Yábar y Reyes (2017) haciendo énfasis a que este subproducto controla el crecimiento de microorganismos como el E. coli, adicionalmente, presentan varias propiedades fisicoquímicas y biológicas que incluyen actividades antioxidantes, analgésicas, inmunoestimulantes, antimicrobianas, antivirales y citotóxicas, y efectos antiinflamatorios y hemolíticos (Mhada et al, 2020).

Posterior a ello, se realiza un centrifugado para eliminar el exceso de agua, sin embargo, debido a que se debe disminuir la humedad de la quinua desaponificada hasta 8% (siguiendo lo propuesto en la parte experimental de laboratorio) se debe realizar un proceso de secado empleando un secador de lecho fluidizado, este tipo de secadores permiten disminuir la humedad de partículas en producción industrial permitiendo un ahorro de tiempo y energía, asimismo los productos obtenidos tienen mejor calidad, sobre todo los nutrientes y compuestos bioactivos sensibles al calor. (Pablos, 2013). El siguiente paso es la reducción de tamaño de las partículas para ello se debe emplear un molino de martillos que permite reducir el tamaño de las partículas haciéndolas finas, sin embargo, debido a que se obtiene una amplia variedad de tamaños de partícula a cada operación de molienda le debe seguir un tamizado (Gheorghe et al., 2013) con el fin de obtener lo desarrollado en la parte experimental de laboratorio, es decir; un tamaño de partícula inferior a 0.5 mm. Para ambas operaciones se puede emplear un módulo de molienda y tamizado (Ngabea et al., 2015). Al culminar estos procesos se obtiene la harina de quinua.

Esta harina debe pasar por un proceso de desgrasado pues cuenta con un porcentaje de grasa considerable, según Olivera-Montenegro et al. (2021), este es de 5.70 ± 0.10 .

Posteriormente, se procede a realizar el pretratamiento de la harina de quinua (purificación previa) mediante el método propuesto por la presente investigación, extracción con fluidos supercríticos (CO_2 supercrítico) y etanol como cosolvente con el objetivo de extraer el aceite y los compuestos fenólicos para evitar interferencias en la determinación de la capacidad antioxidante del hidrolizado proteico de quinua. El uso de cosolventes se sustenta en lo reportado por Wejnerowska, 2018. Para mejorar la polaridad del fluido supercrítico se utiliza solventes polares como el etanol en porcentajes del 1 al 10%, para aumentar su poder solvatante y poder extraer a la vez los compuestos fenólicos y el aceite de

la harina de quinua, el equipo seleccionado es un equipo industrial de extracción supercrítica de 500 kg de capacidad modelo (Ver anexo 12.8)

Para el pretratamiento convencional se utilizó éter de petróleo para extraer la grasa de la harina de quinua, el equipo industrial seleccionado es un tanque reactor con agitación 15 m³ de capacidad, un tanque de preparación para el éter de petróleo de 11 m³ de capacidad y una bomba de 200 m³/h para el trasvase del solvente al tanque reactor. El aceite obtenido de ambos métodos puede ser comercializados y valorados por su capacidad antioxidante y perfil de ácidos grasos.

La harina de quinua desgrasada es transportada por cangilones de la operación de pretratamiento al tanque de extracción alcalina con agitación, para ello se seleccionó un equipo de 15 m³ de capacidad, en esta etapa se agrega la solución alcalina de NaOH y se deja reposar, luego se procede a recuperar el sobrenadante en una centrifuga (decanter de 20 m³ /h de capacidad), el transporte de del tanque de extracción alcalina se realiza utilizando una bomba industrial de 2000 m³ /h. Para la operación de precipitación se transporta el sobrenadante pasando a través de un filtro industrial de 6491 L/h hacia el tanque reactor de 13 m³, luego la proteína es recuperada mediante un decanter de 20 m³ /h de capacidad, adicionalmente se hacen lavados sucesivos con agua en un tanque de lavado industrial de 3 m³.

La proteína de quinua lavada es neutralizada con una solución de HCL, en un tanque industrial de 5000 kg/h y también es estandarizado la proporción de sólidos hasta un valor mínimo de 20% para proceder al secado por atomización, para el secado por atomización se seleccionó un atomizador industrial de capacidad de 150 kg de agua evaporada/h. Finalmente, se realiza la hidrolisis enzimática en un tanque reactor con agitación y chaqueta de calentamiento de 2000 l/h, finalizado la hidrolisis, se procede a inactivar las enzimas en el mismo equipo, luego el hidrolizado es filtrado en un decanter industrial de 3 m³/h para

eliminar sólidos en suspensión, finalmente el hidrolizado proteico de quinua en forma líquida puede ser envasado en formatos de acuerdo a los requerimientos del mercado. Todos los equipos seleccionados para el escalamiento industrial pueden visualizarse en el anexo 10.

3.8.7.3 Evaluación de la correlación estadística entre las variables de entrada y los indicadores CM y VPN

Una vez efectuado el estudio de sensibilidad, se aplicó análisis de regresión múltiple a los 16 tratamientos, incluyendo el método convencional y FSC, para determinar la correlación estadística de las dos variables de entrada consideradas (rendimiento del hidrolizado y productividad) y los dos parámetros económicos de salida evaluados fueron el CM y VPN, con el objetivo de obtener correlaciones o ecuaciones que describan, de forma cuantitativa, la relación estadística existente entre las variables de entrada y salida.

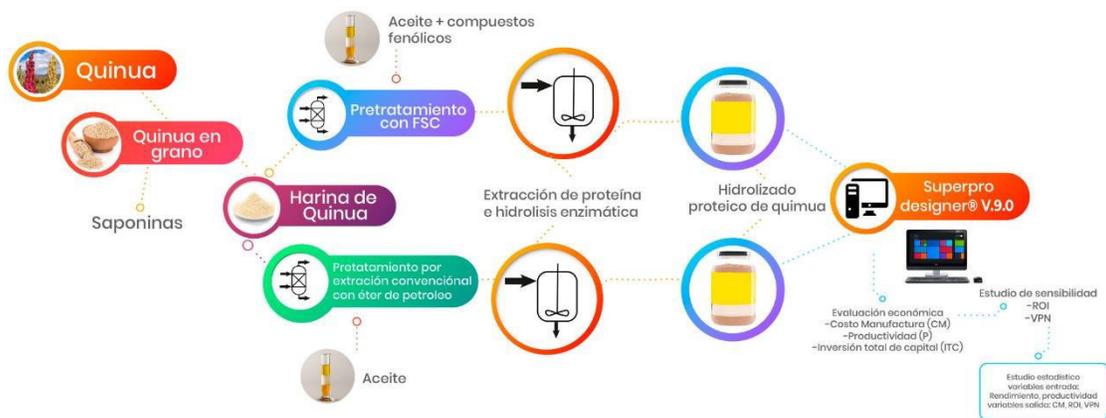
Por último, se determinó la corrida (o escenario) con el resultado económico más positivo con respecto a los resultados de CM y VPN obtenidos, además de aquella con el más negativo.

3.8.7.4 Análisis estadístico para la prueba de las hipótesis

Para evaluar la significancia de los resultados obtenidos del costo de manufactura (CM), se aplicó un análisis de ANOVA de un factor con un nivel de significancia de ($p < 0.05$), el factor considerado fue F1: Tipo de pretratamiento a escala industrial y laboratorio, seguido de la prueba post hoc de Tukey, previamente se evaluó la normalidad y la homogeneidad de varianzas de los datos, según se observa en el anexo 11.

Para evaluar la significancia de los resultados obtenidos del Valor Presente Neto (VPN), se aplicó un análisis de Kruskal-Wallis con un nivel de significancia de ($p < 0.05$), el factor considerado fue F1: Tipo de pretratamiento a escala industrial y laboratorio, seguido de la prueba de comparaciones por parejas de Dunn-Bonferroni, previamente se evaluó la normalidad y la homogeneidad de varianzas de los datos, según se observa en el anexo 13.

Figura 8: Procedimiento para la simulación, evaluación económica, estudios de sensibilidad y correlación de variables.



Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Comparación del efecto del tipo de pretratamiento extracción convencional con éter de petróleo y fluidos supercriticos previo a la hidrolisis enzimática

Efecto de la extracción del aceite con extracción convencional (Método soxhlet) y Fluidos supercriticos en el porcentaje de grasa total (GT), se muestra en la Cuadro 7.

Cuadro 7: Efecto del pretratamiento con éter de petróleo y con fluidos supercríticos a la harina de quinua

	QF	DQE	DQF	p-value*
GT (%)	5.70 ± 0.10 ^a	1.58 ± 0.02 ^b	0.03 ± 0.01 ^c	< 0.01

QF: Harina de quinua; DQE: Harina de quinua desgrasada con éter de petróleo; DQF: Harina de quinua tratada con fluidos supercriticos.

Nota. Las medias con subíndices diferentes difieren al nivel $p = 0,05$, seguido del método de la diferencia Significativa Honesta de Tukey.

Fuente: Elaboración propia

El contenido total de grasa de la muestra de harina de quinua (QF) para los dos pretratamientos fue de 5,70%, después de la aplicación de los pretratamientos el contenido de grasa total en la harina pretratada con éter de petróleo (DQE) fue de 1,58%, y para la quinua pretratada con FSC fue de 0,03%, es decir, la cantidad de grasa eliminada es de 77,59% (DQE) y 99,7% (DQF) respectivamente. Por lo tanto, el tipo de pretratamiento tiene un efecto significativo en el proceso de desengrasado ($p < 0,05$). Wejnerowska y otros (2018) reportan de un porcentaje de aceite recuperado del 89% utilizando SCF y del 20% de metanol/etanol como cosolvente (1:1 p/p) y un tamaño de partícula de 0,5 mm. Además, en el mismo estudio, el porcentaje de recuperación es mayor que el obtenido por métodos convencionales (Soxhlet). En general, se evidencia una mayor recuperación en comparación con el pretratamiento convencional.

Por otro lado, Estrada-Cabanillas et al., (2019), analizó los perfiles de ácidos grasos y compuestos bioactivos del extracto de aceite recuperados con fluidos supercríticos en la presente investigación, mediante cromatografía de Gases y espectroscopia UV-vis (GC-FID), donde el contenido fenólico total evaluado por el reactivo Folin-Ciocalteu fue de 34,28 mg EAG/100 g y la cantidad de masa de muestra necesaria para inhibir el 50% de los radicales libres DPPH fue del 27%, estos resultados se muestran en la Cuadro 8.

Cuadro 8: Perfil de ácidos grasos y capacidad antioxidante en el extracto recuperado con fluidos supercríticos

Perfil de ácidos grasos (% del total de ácidos grasos)							compuestos	Capacidad
C14:0	C16:0	C18:0	C18:1w-9	C18:1w-7	C18:2w-6	C18:3w-3	fenólicos totales	antioxidante
							(mg EGA/100 g)	por DPPH
								(%)
0.31	10.01	0.68	23.53	0.94	49.56	3.69	34.28	27

Fuente: Estrada-Cabanillas et al., (2019)

Wejnerowska et al. (2018) informan de valores más altos en los ácidos grasos C16:0 (11,2%), C18:1 (28,2%), C18:2 (50,9%), esto pueden deberse a la variedad utilizada, porque en el mismo estudio, se demuestra que, independientemente del método y las condiciones de extracción, estos no se ven afectados cuanto a la composición de los ácidos grasos. Adicionalmente, Tang, Y. y Tsao, R. (2017) reportaron que el contenido de ácidos grasos de los granos de quinua son principalmente los ácidos linoleicos (52%), oleico (25%), palmítico (10%) y α -linolénico (4%).

Efecto de la extracción con éter de petróleo (Método soxhlet) y Fluidos supercríticos en el contenido de proteína total (PT) y concentrado proteico de quinua (CPQ)

El contenido total de proteínas en la harina de quinua (QF) fue 13,97%. Después de aplicar los dos tratamientos previos, se realizó la extracción alcalina de la proteína de ambas muestras, se obtuvo el concentrado de proteína de quinua (CPQ) por el método de secado por aspersión, siendo el contenido total de proteína en el pretratamiento convencional (QPC-E) del concentrado de proteína de quinua de 72,03%, y el pretratamiento de la proteína de quinua con fluidos supercríticos (CPQ-F) de 72,18%. El tipo de pretratamiento no tiene un efecto significativo en el contenido de proteína total del concentrado CPQ-E y CPQ-F respectivamente ($p < 0,05$), utilizando un factor de conversión de 5,85, estando dentro del rango reportado por Cisneros, 2017 quien obtuvo un valor de 73,24% utilizando la variedad de quinua Huallhuas y el pretratamiento con éter de petróleo. El valor de la proteína total para cada tipo de pretratamiento está dentro del rango reportado por Abugoch et al. (2009), que es de 72,2 - 83,5% y supera el mencionado por Aluko y Monu (2003) (65,5%). Manuel R. Guerrero-Ochoa, M., Pedreschi, M. y Chirinos, R. (2015) optimizaron el proceso de extracción de la proteína de la quinua utilizando hexano como solvente para la remoción de grasa, el cual obtuvieron 62,5% de proteína, valor que fue inferior al obtenido en este estudio, a continuación, se muestran los resultados en el Cuadro 9.

Cuadro 9: Efecto de la extracción con éter de petróleo (Método convencional) y fluidos supercríticos en la proteína total del concentrado proteico de quinua (QPC)

	QF	QPC-E	QPC-F	p-value*
TP (%)	13.97 ± 0.13 ^b	72.03 ± 0.03 ^a	72.18 ± 0.02 ^a	< 0.01

QF: Harina de quinua; QPC-E: Concentrado proteico de quinua con pretratamiento con éter de petróleo; QPC-F: Concentrado proteico de quinua con pretratamiento con fluidos supercríticos.

Nota. Las medias con subíndices diferentes difieren al nivel $p = 0,05$, seguido del método de la diferencia Significativa Honesta de Tukey.

Fuente: Elaboración propia

Efecto de la extracción convencional con éter de petróleo (Método soxhlet) y fluidos supercríticos en los compuestos fenólicos totales (CFT) residuales en el concentrado de proteína de quinua (CPQ)

Los resultados de los compuestos fenólicos totales residuales se muestran en el cuadro 10.

Cuadro 10: Contenido de compuestos fenólicos totales residuales

	QF	QPE	QFF	QPF	p-value*
CFT	117.97 ±	41.17 ±	51.67 ±	15.17 ±	< 0.01
(mg EAG/100 g)	1.71 ^a	0.94 ^c	1.20 ^b	0.41 ^d	

QF: Harina de quinua; QPE: Harina de quinua pretratada con éter de petróleo; QFF: Harina de quinua pretratada con fluidos supercríticos; QPF: Proteína de quinua pretratada con fluidos supercríticos.

Nota. Las medias con subíndices diferentes difieren al nivel $p = 0,05$, seguido del método de la diferencia Significativa Honesta de Tukey.

Fuente: Elaboración propia

El contenido inicial de compuestos fenólicos en la harina de quinua (QF) fue de 117,97 mg EAG/100 g, luego se aplicaron ambos pretratamientos, determinándose que el contenido de compuestos fenólicos en la harina de quinua pretratada con fluidos supercríticos (QF-F) fue de 51. 67 mg EAG/100 g. Luego se extrajo la proteína por hidrólisis alcalina para los dos pretratamientos, determinándose que el contenido de compuestos fenólicos para el CPQ-E era de 41,17 mg EAG/100 g, y para el CPQ-F era de 15,17 mg EAG/100 g.

El contenido de compuestos fenólicos del aceite extraído fue de 34,28 mg EAG/100 g. En este contexto, el tipo de pretratamiento tiene un efecto significativo en los niveles de compuestos fenólicos totales residuales en QF y QPC ($p < 0,05$). Hasta la fecha, no se ha reportado de ningún estudio que utilice el pretratamiento con fluidos supercríticos; no obstante, se han realizado otras investigaciones utilizando CO_2 supercrítico y metanol, etanol y metanol/etanol como cosolventes; lo que demuestra que la adición de cosolventes polares mejora la eficiencia de la extracción. Sin embargo, Carciochi et al 2014. informan de un valor de recuperación más elevado, de 102,86 mg EAG/100 g, utilizando una extracción a una temperatura de 60°C , con un 80% de etanol como disolvente y sin aplicación de ultrasonidos. Por otro lado, Nickel, J., Pio, L., Torma, F., Arocha, M., Helbig, E. (2015) realizaron un estudio sobre los efectos de diferentes tipos de procesamiento sobre el componente total de los compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante, demostrando que otros procesos como los lavados con agua corriente y la cocción con agua hirviendo aumentan el contenido de compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante.

Se ha observado que la aplicación de fluidos supercríticos como el CO_2 y el etanol como cosolvente tiene un efecto significativo ($p < 0,05$) en la reducción de la cantidad

de grasa y de los compuestos fenólicos totales, logrando un mayor grado de purificación de la muestra antes de la extracción de la proteína e hidrólisis enzimática (datos no mostrados).

4.2 Comparación del efecto del pretratamiento convencional con éter de petróleo (Método soxhlet) y fluidos supercríticos en la actividad antioxidante del hidrolizado proteico de quinua (HPQ)

Los resultados se muestran en la Cuadro 9. El tipo de pretratamiento no tiene un efecto significativo sobre la proteína soluble de QPC-E y QPC-F respectivamente ($p < 0,05$), sin embargo, la hidrólisis enzimática aumenta la proteína soluble de la HPQ-E hidrolizada (7,18 mg/ml) y la HPQ-F (7,02 mg/ml), estos valores mostraron diferencias significativas ($p < 0,05$). Los efectos revelaron que la hidrólisis de proteínas disocia los agregados de proteínas insolubles, produce péptidos más pequeños, aumenta la exposición de los grupos hidrófilos y facilita la interacción de los aminoácidos hidrófilos con el medio acuoso (Aluko y Monu, 2003).

El grado de hidrólisis es un parámetro importante para la determinación de las propiedades funcionales y bioactivas de los hidrolizados de proteínas, Sila y otros (2016). Las condiciones de la hidrólisis, como el tiempo, la temperatura, el pH y la actividad de las enzimas tienen una gran influencia en este parámetro (Cisneros, 2017).

Agyei et al. (2016) mencionan que un grado de hidrólisis superior al 10 por ciento permite obtener péptidos bioactivos para aplicaciones médicas y alimentarias. Hidrólisis enzimática de ambas muestras realizadas, también se presenta la Cuadro2 para la comparación entre grupos de estudio, mostrando una diferencia significativa en el grado de hidrólisis, que es ligeramente superior a la obtenida en la muestra con pretratamiento convencional ($p < 0,05$). Estos valores se acercan más a los comunicados por Mahdavi, Nouri y Hossein (2018) que correspondían al 24,65%. Sin embargo, Guerrero-Ochoa y otros (2015)

informaron de un valor aproximado del 30% durante el mismo período que el utilizado en este estudio (120 min). Otro estudio de la proteína de quinua hidrolizada reporta un mayor grado de hidrólisis (36%) utilizando pepsina para la hidrólisis a los 120 min (Shi, Z; Hao, Y; Teng, C; Yao, Y. y Ren, G., 2019).

En este contexto, demuestra que la enzima utilizada y las condiciones de hidrólisis han sido apropiadas. En consecuencia, las diferencias se deben al tipo de enzima utilizada, Segura y otros (2013), citados por Cian y otros (2015), mencionan que cuando se utilizan endoproteasas se alcanzan valores de DH no superiores al 20-25 por ciento.

Cuadro 11: Actividad antioxidante (AA), grado de hidrolisis (GH), proteína soluble (PS) en el hidrolizado proteico de quinua con pretratamiento convencional y fluidos supercríticos

	QPE	HPQ-E	QPF	HPQ-F	p-value
SP (mg/ml)	6.82 ± 0.04 ^c	7.18 ± 0.04 ^a	6.89 ± 0.02 ^c	7.02 ± 0.05 ^b	< 0.01
DH (%)	0.000 ^c	24.33 ± 0.04 ^a	0.000 ^c	23.93 ± 0.04 ^b	< 0.01
AA(μmolTE/g protein)	1046.02 ± 10.92 ^c	1448.84 ± 8.40 ^a	875.51 ± 12.13 ^d	1181.64 ± 13.25 ^b	< 0.01

QPE: Proteína de quinua pretratada con éter de petróleo; HPQ-E: Hidrolizado proteico de quinua pretratada con éter de petróleo; QPF: Proteína de quinua pretratada con fluidos supercríticos; HPQ-F: Hidrolizado proteico de quinua pretratada con fluidos supercríticos.

Nota. Las medias con subíndices diferentes difieren al nivel $p = 0,05$, seguido del método de la diferencia Significativa Honesta de Tukey.

Fuente: Elaboración propia

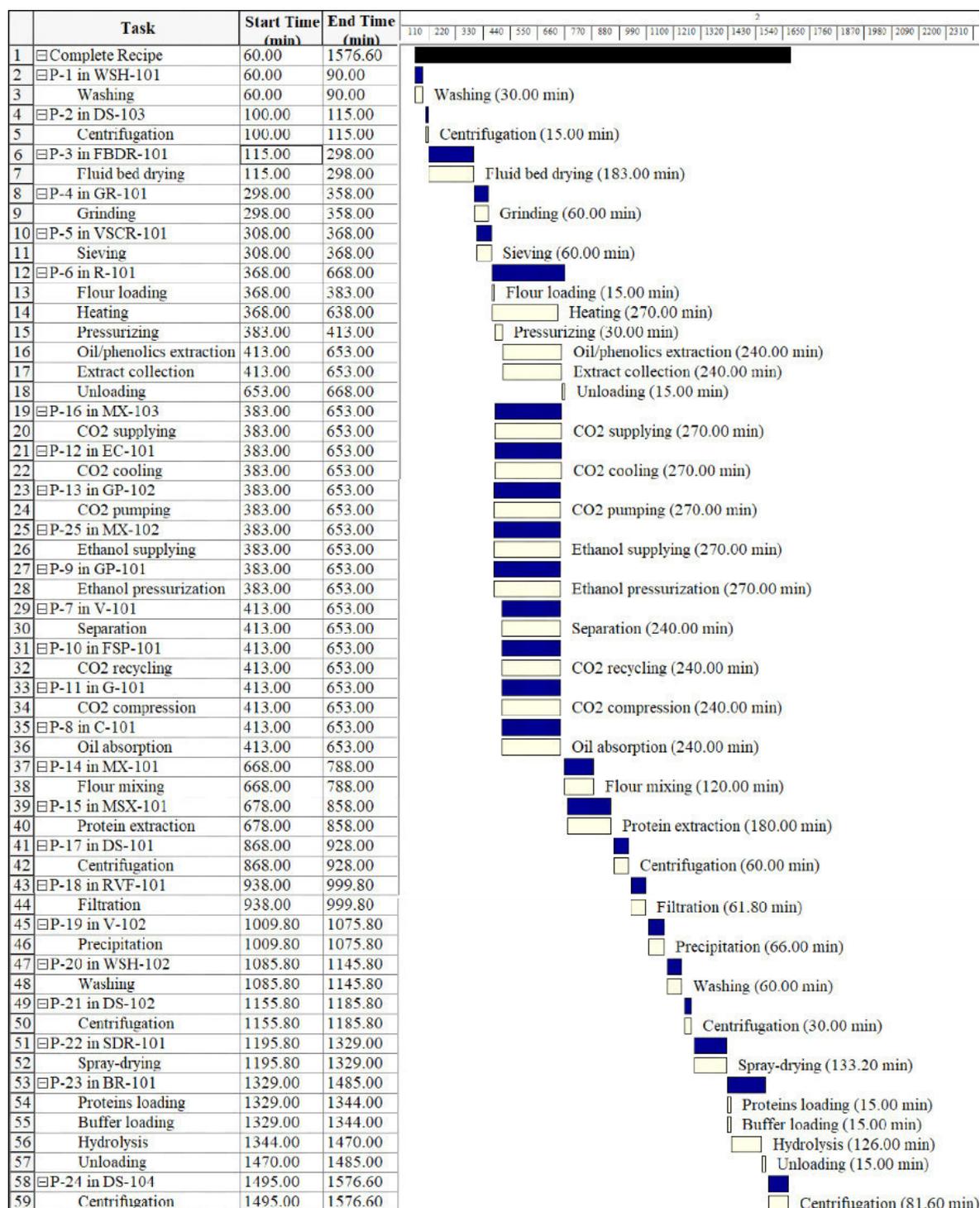
El tipo de pretratamiento mostró un efecto significativo en la actividad antioxidante (AA) HPQ-E y HPQ-F respectivamente ($p < 0,05$), también aumenta con la hidrólisis enzimática en ambos pretratamientos. El mayor aumento de AA (38,50%) fue para el método convencional, según los resultados mostrados en el cuadro 11, en comparación con (34,96%) para el pretratamiento con fluidos supercríticos. Estudios similares informan de valores próximos de la actividad antioxidante a los 180 min (775 mmol equivalentes de Trolox/mg de proteína), a partir de hidrolizado de proteína de quinua, utilizando *Bacillus* spp. proteasa serina alcalina (Peñas, E; Luz Paucar-Menacho, L; Frias, J; Martínez-Villaluenga, C; 2017); cómo se afirma en Tang, Y., Tsao, R. (2017), esta mayor capacidad antioxidante puede deberse a un remanente de compuestos fenólicos totales y antioxidantes lipofílicos como los ácidos grasos, tocoferoles y carotenoides que también contribuyen a la actividad antioxidante y que podrían extraerse mediante un pretratamiento convencional (E. Daliri et al., 2017).

Flavonoides y ácidos fenólicos de las semillas de quinua realizados por HPLC, y el principal ácido fenólico encontrado fue el ácido gálico. ácido p-hidroxibenzoico, ácido vainílico, ácido p-cumárico, ácido cafeico y cinámico, pero el principal flavonoide encontrado en las semillas fue la orientina y la rutina (Pasko P., Sajewicz M., Gorenstein S., Zachwieja Z.; 2008). En el presente estudio se analizó el contenido de flavonoles por espectrometría en los hidrolizados de proteína de quinua, encontrándose una mayor cantidad de flavonoles expresados en mg de equivalente de rutina / 100 g en la muestra con pretratamiento convencional que en la muestra con pretratamiento de fluidos supercríticos.

Para la obtención del diagrama de proceso se realizó el balance de masa, de acuerdo con la data obtenida en la parte experimental, según se observa en la figura 8, las etapas que presentan rectángulos rosas indican el número de unidades del equipamiento industrial de dicha operación que se requieren, nótese que el requerimiento de recipientes de extracción del equipo de fluidos supercríticos es de tres, coincidiendo con el modelo seleccionado (Ver anexo 12.8).

El software también permitió obtener un diagrama de Gantt (ver figura 10) del proceso de producción a escala industrial con pretratamiento con fluidos supercríticos, donde se puede observar que el tiempo total para procesar un lote de 2500 kg/ quinua grano, es de 26.26 horas aproximadamente, el diagrama de Gantt obtenido se presenta a continuación:

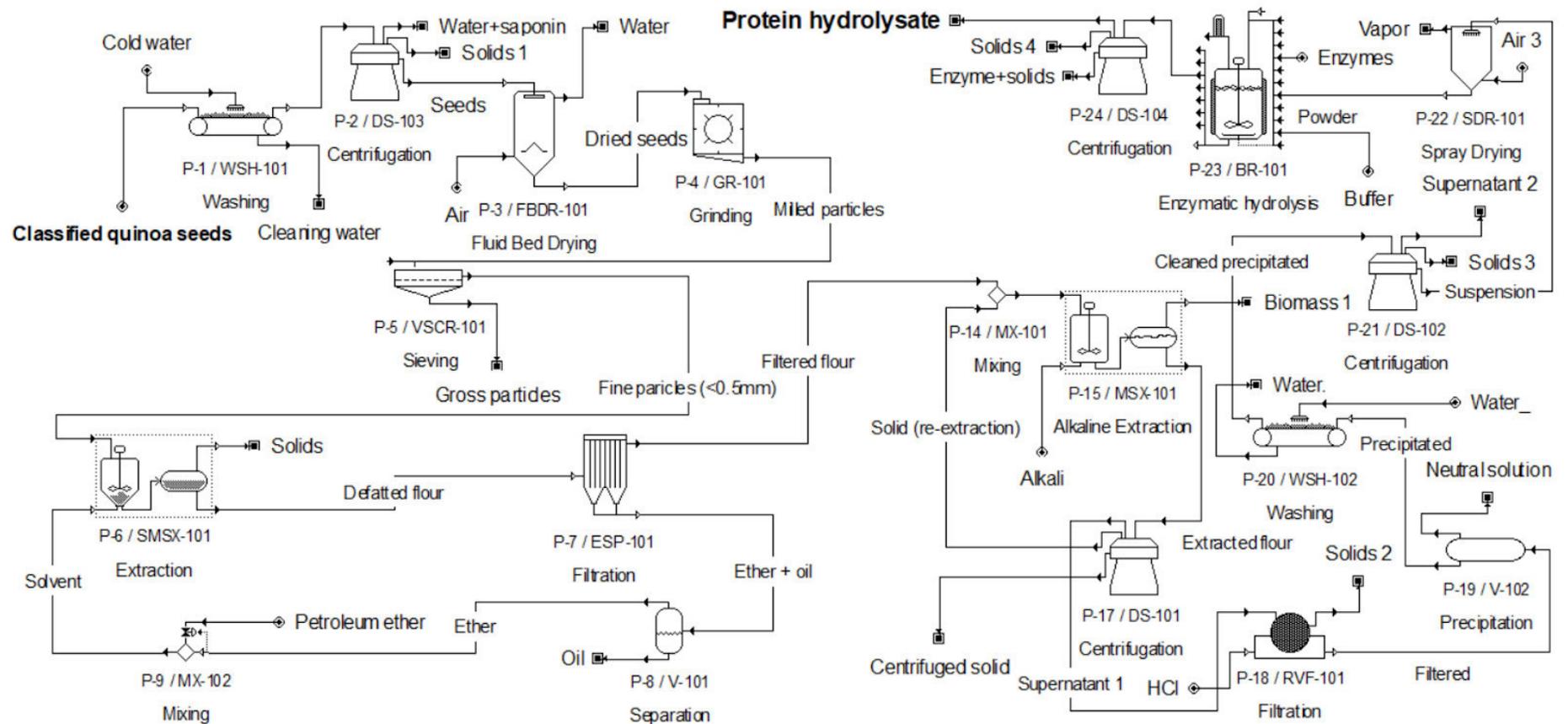
Figura 10: Diagrama de Gantt de producción a escala industrial de hidrolizado proteico de quinua con pretratamiento con fluidos supercriticos



Fuente: Elaboración propia

La figura 11, muestra el diagrama de flujo de producción a escala industrial (2500 kg/lote de quinua grano) con el método convencional obtenido en el simulador se presenta a continuación:

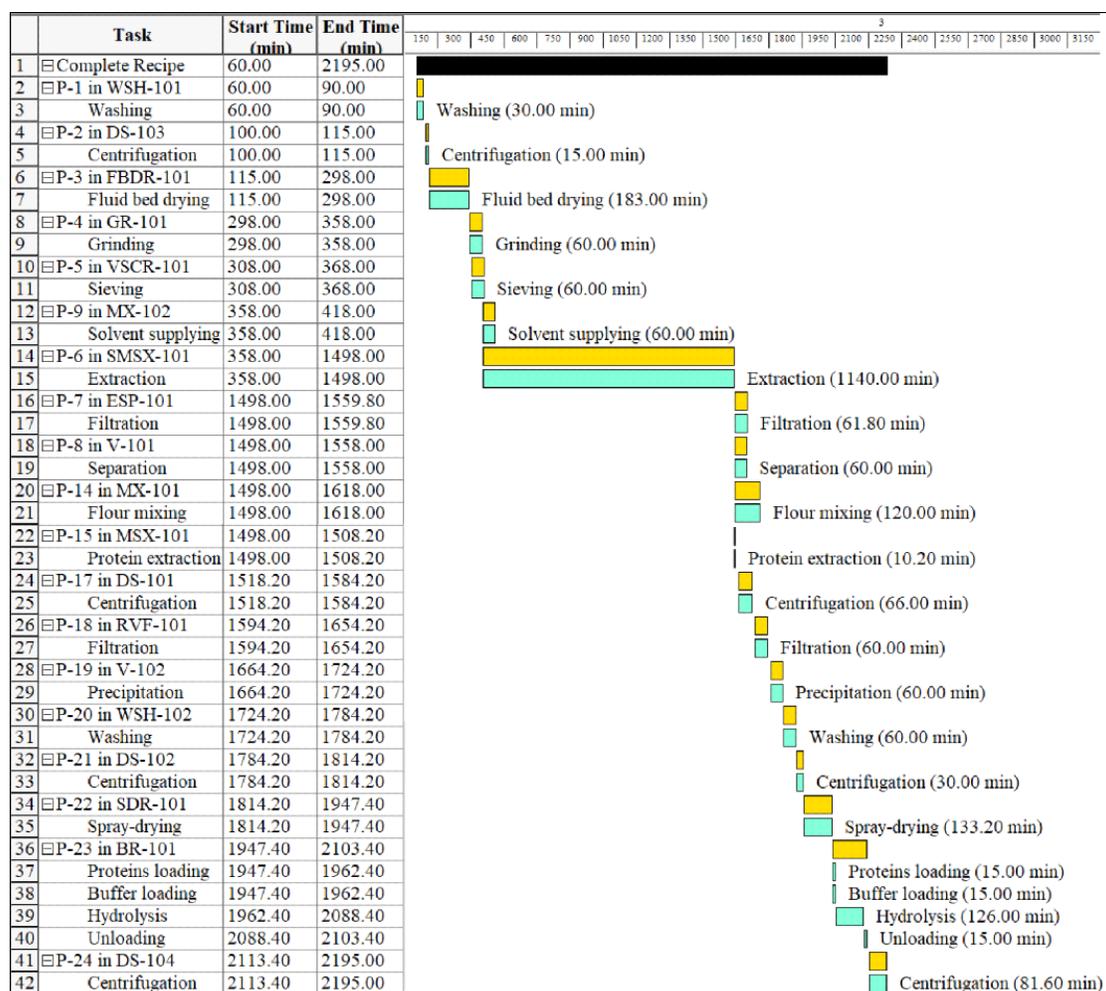
Figura 11: Diagrama de proceso de producción a escala industrial de hidrolizado proteico de quinua con pretratamiento convencional con éter de petróleo.



Fuente: Elaboración propi

El diagrama de Gantt obtenido para el proceso de producción a escala industrial con pretratamiento convencional con éter de petróleo se muestra en la figura 12, donde se puede observar que el tiempo total para procesar un lote de 2500 kg/quinua grano, es de 36.58 horas aproximadamente, siendo este mayor en 39.30 % del tiempo total respecto del proceso industrial con pretratamiento con fluidos supercriticos, esto se debe a que el tiempo de desgrasado de la extracción convencional es mayor (1140 min) versus fluidos supercriticos (240 min), el diagrama de Gantt obtenido para este último se presentó en la figura 10.

Figura 12: Diagrama de Gantt de producción a escala industrial de hidrolizado proteico de quinua con pretratamiento convencional con éter de petróleo.



Fuente: Elaboración propia

4.4 Resultados de la evaluación económica de producción de hidrolizado proteico de quinua pretratada por dos métodos (Fluidos Supercríticos y método convencional)

La evaluación económica se realizó tanto a escala de laboratorio (1.5 kg/ lote de quinua grano) y escala industrial (2500 kg/lote quinua grano), para cada pretratamiento, asimismo, se consideró cuatro escenarios: escenario 1: venta del hidrolizado proteico de quinua, saponinas y aceite; escenario 2: venta de hidrolizado proteico de quinua y venta de saponinas; escenario 3: venta del hidrolizado proteico de quinua y venta del aceite; escenario 4: solo venta del hidrolizado proteico de quinua, los indicadores económicos obtenidos se presentan en el siguiente en el Cuadro 12.

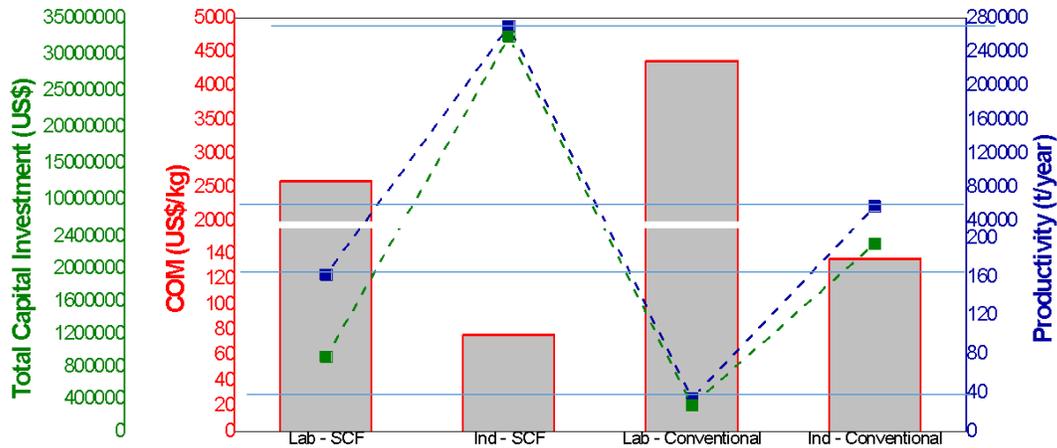
Se determinó el costo unitario de producción (CM) de ambos procesos, a partir de ello se obtuvo la productividad y la inversión de capital total de ambos métodos de obtención de hidrolizado para las dos escalas de producción (1,5 kg y 2500 kg). Además, gracias a la simulación se obtuvieron los resultados mostrados en las gráficas de sectores circulares para los dos volúmenes tanto para la escala de laboratorio e industrial. El CM de los cuatro tratamientos realizados disminuyeron sustancialmente a medida que la escala de producción aumentaba, mientras que la inversión de capital total (FCI) y la productividad del proceso aumentan sustancialmente (ver figura 13). Por lo tanto, las plantas que tienen una capacidad superior a las escalas trabajadas en laboratorio (1,5 kg de quinua procesada) tienen mayor productividad (269 998 TM/año para FSC y 57 734 TM/año para el convencional respectivamente) y menor CM (USD/kg 75.94 para FSC y USD/kg 135.87 para el convencional respectivamente). Ante ello es posible señalar que la planta de procesamiento de 2500 kg de quinua que emplea desgrasado supercrítico sumado a procesos de concentración e hidrolizado de proteína de quinua fue la más apropiada entre las simuladas.

Cuadro 12: Indicadores economicos obtenidos con el simulador

Escenario	Planta	Proceso	Venta saponinas	Venta aceite	Productividad (ton/año)	CM (USD/kg protein)	CRM (%)	COL (%)	FCI (%)	CUT (%)	CWT (%)	GM (%)	ROI (%)	PBT (year)	IRR (%)	VPN (at 7% interest) (USD)	Operating cost (USD/year)	Gross Profit (USD/year)	Revenues (USD/year)
1	Laboratorio	SCF	Yes	Yes	162	2,599.68	22,93	19,36	40,44	17,27	0,00	1019,12	-33,86	NA	NA	\$ -3.470.000,00	\$ 421.000,00	\$ -384.000,00	\$ 37.000,00
2	Laboratorio	SCF	Yes	No	162	2,641.68	22,93	19,36	40,44	17,27	0,00	1190,85	-34,40	NA	NA	\$ -3.512.000,00	\$ 421.000,00	\$ -389.000,00	\$ 32.000,00
3	Laboratorio	SCF	No	Yes	162	2,618.79	22,93	19,36	40,44	17,27	0,00	1025,88	-33,88	NA	NA	\$ -3.472.000,00	\$ 421.000,00	\$ -384.000,00	\$ 37.000,00
4	Laboratorio	SCF	No	No	162	2,660.88	22,93	19,36	40,44	17,27	0,00	1199,84	-34,43	NA	NA	\$ -3.514.000,00	\$ 421.000,00	\$ -389.000,00	\$ 32.000,00
5	Laboratorio	Convencional	Yes	Yes	35	4,367.18	7,13	51,23	38,84	2,61	0,19	1751,31	-36,63	NA	NA	\$ -1.305.000,00	\$ 151.000,00	\$ -144.000,00	\$ 7.000,00
6	Laboratorio	Convencional	Yes	No	35	4,409.26	7,13	51,23	38,84	2,61	0,19	2065,05	-36,99	NA	NA	\$ -1.315.000,00	\$ 151.000,00	\$ -145.000,00	\$ 6.000,00
7	Laboratorio	Convencional	No	Yes	35	4,386.29	7,13	51,23	38,84	2,61	0,19	1764,85	-36,64	NA	NA	\$ -1.305.000,00	\$ 151.000,00	\$ -144.000,00	\$ 7.000,00
8	Laboratorio	Convencional	No	No	35	4,428.38	7,13	51,23	38,84	2,61	0,19	2089,35	-37,01	NA	NA	\$ -1.315.000,00	\$ 151.000,00	\$ -145.000,00	\$ 6.000,00
9	Industrial	SCF	Yes	Yes	269998	28.90	67,17	1,19	28,92	2,72	0,00	67,31	85,96	1,16	139,45	205.006.000,00	20.504.000,00	42.215.000,00	62.719.000,00
10	Industrial	SCF	Yes	No	269998	70.98	67,17	1,19	28,92	2,72	0,00	62,29	70,51	1,42	108,36	162.784.000,00	20.504.000,00	33.872.000,00	54.376.000,00
11	Industrial	SCF	No	Yes	269998	48.01	67,17	1,19	28,92	2,72	0,00	67,11	85,26	1,17	138,05	203.102.000,00	20.504.000,00	41.839.000,00	62.343.000,00
12	Industrial	SCF	No	No	269998	90.10	67,17	1,19	28,92	2,72	0,00	62,03	69,82	1,43	106,95	160.880.000,00	20.504.000,00	33.495.000,00	53.999.000,00
13	Industrial	Convencional	Yes	Yes	57734	57.06	55,54	19,12	3,88	6,65	14,80	42,4	155,83	0,64	300,86	28.159.000,00	7.845.000,00	5.775.000,00	13.620.000,00
14	Industrial	Convencional	Yes	No	57734	92.79	55,54	19,12	3,88	6,65	14,80	32,64	104,53	0,96	168,67	18.171.000,00	7.845.000,00	3.801.000,00	11.646.000,00
15	Industrial	Convencional	No	Yes	57734	73.55	55,54	19,12	3,88	6,65	14,80	41,98	153,26	0,65	293,67	27.658.000,00	7.845.000,00	5.676.000,00	13.521.000,00
16	Industrial	Convencional	No	No	57734	109.29	55,54	19,12	3,88	6,65	14,80	32,06	101,96	0,98	162,73	17.671.000,00	7.845.000,00	3.702.000,00	11.547.000,00

Fuente: Elaboración propia

Figura 13: Gráfico de Valor de la inversión total (línea verde), CM (barra roja) y productividad (línea azul) utilizando fluidos supercríticos y tecnología convencional



Fuente: **Elaboración propia**

Si bien es cierto, debido al tiempo de extracción de aceite en el método con fluidos supercríticos puede observarse que este método proporciona una productividad mayor respecto al convencional, el proceso convencional requiere 16 horas de extracción, además que la ratio MP/solvente es 1:3.33, esto requiere que la carga de solvente descarga y el proceso de extracción genere una productividad menor del proceso convencional. Además, el proceso supercrítico tiene un mayor rendimiento de extracción de 6.30 g grasa/ 100 g quinua harina en base seca versus el convencional de 4.58 g grasa/ 100 g quinua haría en base seca, provocando también obtener un valor de CM inferior al proceso convencional, pues al procesar mediante el método convencional a escala industrial se tiene un costo de fabricación de 135.87 USD/kg de producto, sin embargo al realizar el mismo proceso empleando fluidos supercríticos para desgrasar la quinua se obtiene un costo de fabricación de 75.94 USD/kg, esto se traduce en un menor costo (55.89%) en la fabricación del hidrolizado proteico de quinua con fluidos supercríticos.

Asimismo, se debe considerar que los precios propuestos son estimados

considerando la venta de subproductos del proceso industrial como la saponina actualmente empleada como desinfectante y los aceites obtenidos del desgrasado los cuales son de gran utilidad en la industria alimentaria para la fabricación de nuevos productos. De no realizarse la venta de dichos compuestos el valor de CM del proceso con fluidos supercríticos sigue siendo inferior al valor del proceso industrial, sin embargo, el porcentaje de ahorro disminuye a 17.5% aproximadamente.

Los componentes que conforman el CM se explican en la sección 2.2 indicando el significado de cada uno de los cuatro componentes (CRM, COL, FCI, CUT). En las gráficas de sectores (ver figuras 14 y 15) se muestran claramente la ampliación del porcentaje de cada componente, siendo el valor de CRM mucho mayor a pesar de tener costos de materia prima constantes, esto es debido a que la cantidad de quinua aumenta de 1.5 kg a 2500 kg, lo que genera incremento de requerimiento de cada uno de los solventes. Es así como al emplear el método convencional se tiene un CRM de 7.47 que incrementa a 39.47, mientras que al utilizar un desgrasado supercrítico incrementa de 6.06 a 85.23 considerando al CO₂ y al etanol absoluto como componentes importantes en dicha variación.

Figura 14: Gráfico de sectores para la producción del hidrolizado proteico de quinua a escala laboratorio con el pretratamiento de extracción convencional



Fuente: Elaboración propia

Leyenda:

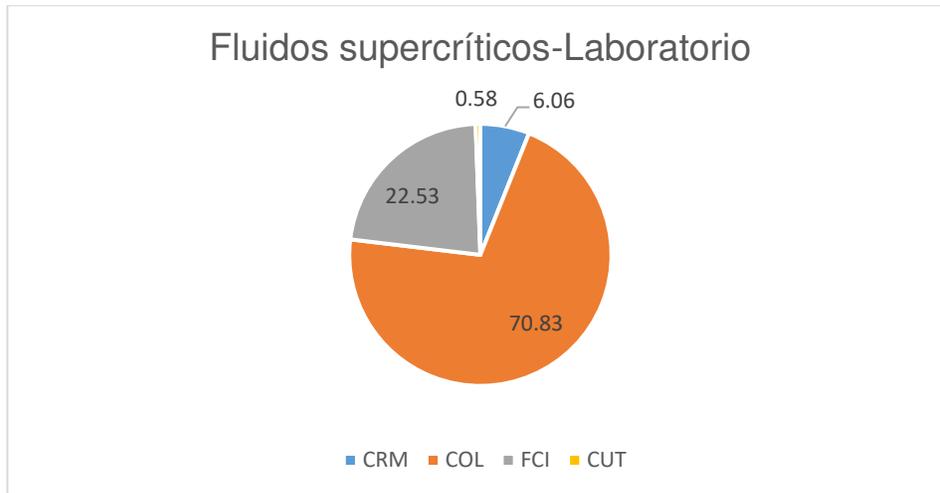
CM: Costo de manufactura

CFI: Capital Fijo de Inversión

CUT: Costo de servicios públicos

CRM: Costo de materia prima

Figura 15: Gráfico de sectores para la producción del hidrolizado proteico de quinua a escala laboratorio con el pretratamiento de extracción con fluidos supercríticos



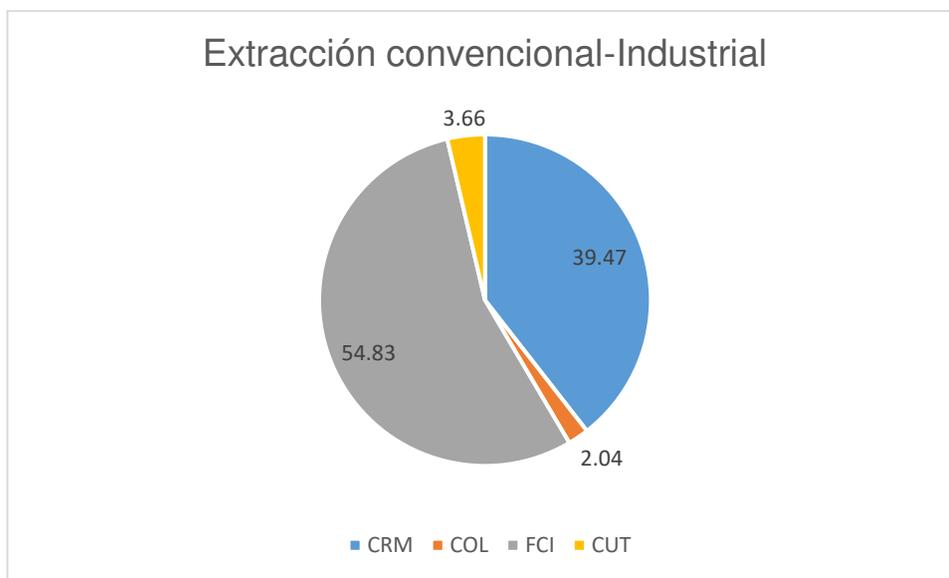
Fuente: Elaboración propia

Los costos de energía por su parte aumentan de 0.75 a 3.66 empleando el método convencional y 0.58 a 2.34 empleando extracción supercrítica, este incremento es mucho menor al que se da con materia prima y ocurre porque el costo a escala industrial tanto de luz como agua es bajo. Cabe recalcar que dicho incremento es consecuencia de mayor consumo eléctrico e hídrico al considerarse mayores capacidades.

Además, el costo de inversión total de capital aumenta sustancialmente (de 6.72 a 54.83) al emplear un desgrasado convencional de la harina de quinua (ver figuras 16 y 17), mientras que la inversión total de capital disminuye al realizar un proceso de desgrasado por fluidos supercríticos (de 22.53 a 9.72). Por su

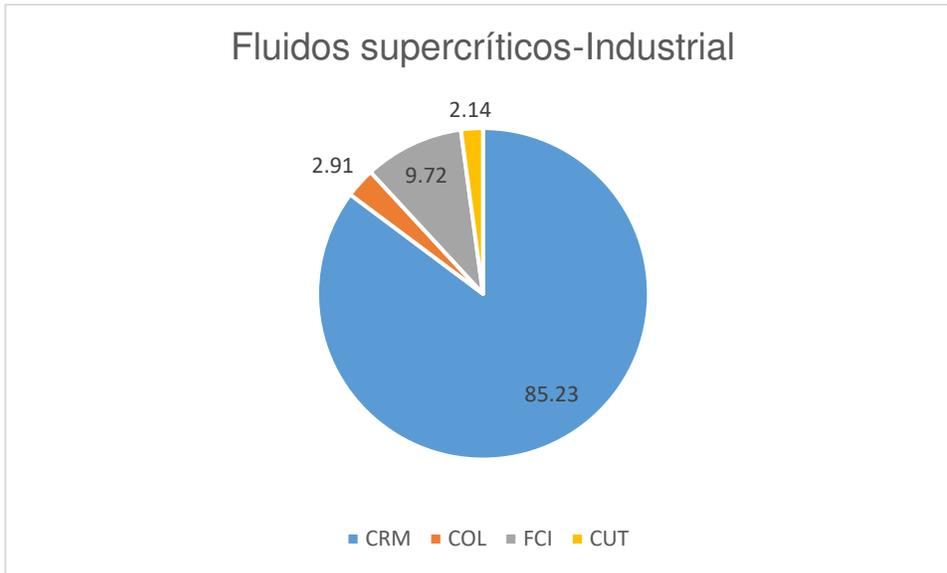
parte el valor COL disminuye de manera sustancial al industrializar el proceso empleando ambos métodos, pues a pesar de necesitar el mismo número de personas considerando 3 turnos, la proporción de otros elementos del costo de fabricación son superiores por lo cual el porcentaje de este factor con respecto a los otros disminuye.

Figura 16: Gráfico de sectores para la producción del hidrolizado proteico de quinua a escala industrial con el pretratamiento de extracción convencional.



Fuente: Elaboración propia

Figura 17. Gráfico de sectores para la producción del hidrolizado proteico de quinua a escala industrial con el pretratamiento de extracción con fluidos supercríticos



Fuente: Elaboración propia

Se debe considerar además que el valor de costo de manufactura (CM) disminuye sustancialmente según aumenta la capacidad de la planta, siendo el proceso a escala industrial de fluidos supercríticos el que otorga valores de CM más bajos.

4.4. Estudio de sensibilidad

Se encontró productos similares en el mercado internacional que sirvieron de referencia para fijar un precio y realizar el análisis de sensibilidad. El precio considerado para el hidrolizado proteico de quinua fue de USD 200,00/kg, para esto se tomó como referencia el precio de hidrolizado proteico de quinua comercial de la marca “Trulux quinoa pro-X”, el precio considerado para el

extracto de saponinas fue de 30.75 USD/kg (precio de referencia tomado de saponina, Panax 240g) y para el caso del aceite de quinua fue de 33.55 USD/kg (precio de referencia tomado de Mystique Hills Organic Quinoa Seed Oil for Skin & Hair).

Se muestran los criterios generales de rentabilidad para el proceso de obtención de hidrolizado proteico de quinua empleando dos tratamientos de desgrasado diferentes (método convencional y por fluidos supercríticos) los cuales se muestran en las tablas 4 y 5, algunos resultados a escala de laboratorio no han sido aplicables, mientras que todos los escenarios a escala industrial se lograron estimar. El criterio utilizado por el simulador para establecer un proceso como no aplicable (NA) se basa en el tiempo de recuperación finito y el bajo retorno. El proceso se clasifica como NA cuando el precio de venta es mucho más cercano o bajo que el CM. (Viganó et al., 2016).

El margen bruto es la relación entre los beneficios e ingresos anuales, dicho valor se expresa como porcentaje (Vlysidis et al. 2011). Ello quiere decir que el margen bruto representa la proporción de cada dólar de ingreso que la empresa retiene como beneficio neto. (Osorio, 2016). En base a esto podemos afirmar que mientras más elevado sea el porcentaje de margen bruto el proyecto obtendrá mayores ganancias netas y por ende será más atractivo. En ambos procesos industriales se obtiene un porcentaje de margen bruto atractivo, sin embargo, la evaluación realizada empleando fluidos supercríticos muestra un resultado más alto, el cual es de 67.31% frente a un 42,40% obtenido de la simulación empleando método convencional, considerando la venta de saponinas y aceite. Si no se considera la venta de los 2 subproductos adicionales, el valor de margen bruto empleando fluidos supercríticos sigue siendo superior al método convencional, sin embargo, ambos se ven reducidos, siendo el margen bruto empleando el proceso de desgrasado convencional de

62,03% frente a un 32,06% al emplearse un desgrasado con fluidos supercríticos. Este hallazgo reafirma los resultados mostrados en el punto 3.1 debido a que el uso industrial de equipos de fluidos supercríticos se muestra como la opción más adecuada frente a las demás opciones evaluadas.

El ROI es el porcentaje de dinero recuperado anualmente de las ganancias, mientras más alto es este valor más deseable es el proyecto. (Viganó et al., 2016). En muchos casos se establece un ROI del 10 al 15 % como el mínimo recomendado para aceptar o rechazar un proyecto. (Osorio, 2016). El ROI para el proceso convencional y fluidos supercríticos a escala laboratorio alcanzando alcanzan valores negativos como se observa en el cuadro 10. Sin embargo, si fijamos como punto necesario la industrialización del proceso para tener mayor productividad y menores costos de fabricación, se toman en cuenta las simulaciones realizadas al procesar 2500 kg de quinua para ambos procesos de obtención de hidrolizado proteico. Para este volumen de procesamiento de quinua se obtuvo que el ROI mínimo se alcanzó luego de simular los datos para el proceso con fluidos supercríticos a escala industrial, este valor fue de 69.82% sin venta de saponinas y aceites. Mientras que si empleamos procesos de desgrasado convencional se puede alcanzar un valor de ROI de 101,96% sin venta de saponinas y aceites y un 155,83% con la venta de estos, esto se debe a que la inversión en capital fijo en la planta con fluidos supercríticos es mucho mayor USD 10 268 219.25 frente a la planta convencional USD 490 165.00 respectivamente (ver anexo 11). A pesar de que los resultados se muestran favorables para el proceso a escala industrial con el método convencional, se debe tomar en cuenta los resultados de los otros indicadores, así como también que el valor de ROI para proceso industrial empleando desgrasado supercrítico es muy favorable y en conjunto con los otros indicadores demuestran que es la opción adecuada frente a las demás.

El periodo de recuperación de capital PBT (Payback Time) representa el tiempo necesario para recuperar el costo de inversión, dicho valor se puede calcular

tomando como base el ROI. (Osorio, 2016). Para el proceso de obtención empleando fluidos supercríticos el tiempo de recuperación varía entre 0.5 y 0.76 años, esto dependerá de si se decide vender los subproductos de la obtención del hidrolizado, tales como saponinas y aceites. Sin embargo, si se realiza la obtención del hidrolizado empleando método con fluidos supercríticos el tiempo de recuperación es más prolongado y también depende de si se venden o no los subproductos, dicho tiempo varía en un rango de 1,16 a 1,43 años; sin embargo, para el tratamiento convencional el tiempo de recuperación es menor de 0.64 a 0.98 años, siendo el tiempo mayor si no se venden los compuestos mencionados. Por ende, esta ventaja del método convencional se debe a que la inversión de capital fijo es aproximadamente 95% menor (ver anexo 11).

Uno de los indicadores fundamentales es el VPN (valor presente neto), este representa el valor actual de las entradas de efectivo y el valor actual de las salidas de efectivo, es decir representa el excedente que el inversionista recupera de la inversión inicial. (Vlysidis et al. 2011). Si el VPN del proyecto es positivo luego de asumir un 7% de interés de descuento, el proyecto debe considerarse factible. (Osorio, 2016). Todos los escenarios industriales evaluados a escala industrial en el presente estudio resultaron con valores positivos luego de asumir dicha tasa de interés de 7%. El valor más alto de VPN es USD 205 006 000 el cual resultó luego de realizar la simulación para obtención de hidrolizado proteico de quinua empleando desgrasado supercrítico y realizando la venta de saponinas y aceites (ver cuadro 10). Sin embargo, a escala laboratorio se obtuvieron los valores más bajos para un proceso empleando fluidos supercríticos el cual fue de USD 3 514 000, sin considerar venta de saponinas y aceites. Cabe recalcar que todos los valores a escala laboratorio fueron negativos, tanto también para el método convencional.

Otro indicador importante es el IRR, este valor representa la tasa de rendimiento del proyecto, es decir, mientras más alta sea es más deseable emprender el proyecto. Si el IRR calculado es superior al ROI se recomienda invertir en el

proyecto. A pesar de que para los procesos a escala de laboratorio no se pudo calcular el IRR, a escala industrial dichos valores son de 139.45% para el proceso con fluidos supercríticos y de 300.86% para el proceso convencional (ver cuadro 10), es decir; en el que se realiza la venta de saponinas y aceites, dicho valor además es superior al ROI (155,83%) lo que hace que sea factible para el proyecto.

Es importante destacar, que este es un estudio preliminar. Turton (2008) propuso 5 clasificaciones generalmente aceptadas de estimaciones de costos de capital, las cuales se emplean con mayor frecuencia en las industrias de proceso, estas son: estimación detallada, estimación definitiva, estimación preliminar, estimación de estudio y estimación del orden de magnitud. Este trabajo se encuentra dentro de estimación de estudio, pues emplea una lista de los principales equipos encontrados para realizar el proceso de obtención de hidrolizado proteico de quinua, a partir de los costos encontrados para cada uno de ellos se estima un aproximado para el presente estudio. Seguido de esto se realiza una sumatoria de los equipos a emplearse para obtener el costo de capital estimado. Es por ello por lo que los resultados del presente estudio representan los indicadores para reconocer si el proyecto tiene viabilidad y se puede continuar con él.

El propósito de esta sección fue evaluar económicamente el proceso de obtención de hidrolizado proteico de quinua empleando como tratamiento de desgrasado el método convencional y de fluidos supercríticos, proporcionando esta información a la comunidad científica y a las empresas interesadas en invertir en el desarrollo de este producto. El desarrollo de esta investigación brindará información relevante para estudios más sistemáticos y precisos. Por otro lado, se sugiere que estudios posteriores para la obtención de otros productos derivados de quinua u otros granos andinos deben evaluarse cuidadosamente tomando en cuenta la demanda, el mercado al que se enfoca,

el país, los requisitos de calidad entre otros temas que garanticen resultados más deterministas.

4.5 Evaluación de la correlación estadística entre las variables de entrada y los indicadores CM y VPN

Al efectuar la evaluación de la correlación estadística existente entre las dos variables de entrada consideradas (rendimiento de producción de hidrolizado proteico de quinua; productividad de la planta de producción de hidrolizado proteico de quinua); sobre dos indicadores económicos importantes del proceso (CM y VPN), se obtuvo una ecuación multifactorial para cada uno de los tres indicadores evaluados, las cuales se muestran a continuación:

$$CM = 53473.63 - 32502.49 (\text{Rendimiento de hidrolizado}) \dots\dots \text{Eq. (6)}$$

$$VPN = -6608839.99 + 693.72 (\text{Productividad})\dots\dots \text{Eq. (7)}$$

Las ecuaciones multifactoriales se obtuvieron descartando la de menor significación en el modelo, que representa una variable dependiente, la variable excluida para el CM fue la productividad (Cuadro 13), sin embargo, para el caso de la variable VPN, la variable excluida fue rendimiento del hidrolizado (Cuadro 14).

Cuadro 13: Resumen del modelo para la variable dependiente CM

Model	R	R squared	R squared fitted	Standard error of estimate	Change statistics Change in R squared	Change in F	gl1	gl2	Sig. Change in F
1 Productivity	0,959 ^a	0.920	0.914	847.39066	0.920	160.202	1	14	0.011
2 Hydrolyzate yield	0,976 ^b	0.952	0.945	678.36932	0.033	8.846	1	13	0.000

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 14: Resumen del modelo para la variable dependiente VPN

Model	R	R squared	R squared fitted	Standard error of estimate	Change statistics Change in R squared	Change in F	gl1	gl2	Sig. Change in F
1 Productivity	0,909 ^a	0.826	0.813	28224413.47963	0.826	66.273	1	14	0.000
2 Hydrolyzate yield	0,958 ^b	0.918	0.906	20038761.38098	0.093	14.774	1	13	0.002

Fuente: Elaboración propia

Con los resultados obtenidos se puede evidenciar que el CM mantiene una relación fuerte con la variable independiente rendimiento del hidrolizado. Del mismo modo, al realizar el cálculo del coeficiente de correlación de la variable dependiente VPN con las variables independientes mencionadas se observa que mantiene una relación fuerte con la variable productividad. Estos modelos permiten estimar los principales indicadores dinámicos de la inversión para diferentes variaciones ya sea del rendimiento del hidrolizado y de la productividad. De esta forma, los productores de hidrolizado proteico de quinua, pueden realizar predicciones del comportamiento económico de la planta para diferentes escenarios de las dos variables iniciales consideradas.

4.6 Análisis estadístico de la significancia del costo de manufactura (CM)

La significancia de los resultados obtenidos del costo de Producción (CM) se muestran en la Cuadro15, se evaluó por análisis de ANOVA de un factor con un nivel de significancia de ($p < 0.05$), seguido de la prueba de Tukey post hoc, el factor considerado fue: F1: El tipo de pretratamiento a las dos escalas de producción (laboratorio/industrial). Previa validación de los supuestos del ANOVA, estos muestran distribución normal y homogeneidad de varianzas (anexo 11).

Cuadro 15: Análisis estadístico de la significancia del costo de manufactura (CM)

Variable dependiente	Tipo de pretratamiento				p
	Escala Laboratorio		Escala Industrial		
	Fluidos supercriticos	Convencional	Fluidos supercriticos	Convencional	
Costo Manufactura (USD/kg)	2630.26 ^a ±26.66	4397.98 ^b ±26.69	59.47 ^c ±26.69	83.17 ^c ±22.72	.00

Nota. Las medias con subíndices diferentes difieren al nivel $p = 0,05$, seguido del método de la diferencia Significativa Honesta de Tukey.

Fuente: Elaboración propia

Los resultados muestran que el Factor 1: El tipo de pretratamiento a las dos escalas de producción (laboratorio/industrial), tiene un efecto significativo en el costo de manufactura para ambos métodos de producción del hidrolizado proteico de quinua a escala de laboratorio; pero para la escala industrial no hay diferencias significativas con un nivel de significancia de 0.05, como se observa en el cuadro 15, sin embargo, podemos observar que el costo de manufactura a escala industrial con el pretratamiento con fluidos supercriticos es mejor, al ser menor que el convencional. Esto puede deberse a un mayor rendimiento de obtención de hidrolizado proteico obtenido con fluidos supercriticos de 197.12 g hidrolizado/ 100 g quinua en comparación al convencional de 160.52 g hidrolizado/ 100 g quinua, además de un mayor aprovechamiento de los subproductos como el aceite (Rendimiento de extracción con fluidos supercriticos de 6.30 g de grasa /100 g de harina y rendimiento con proceso convencional 4.58 g de grasa /100 g de harina), permitiendo diluir los costos fijos de producción.

Finalmente, se corrobora con los valores obtenidos, el cual al aumentar la escala de producción el costo de manufactura disminuye, para ambas tecnologías, haciendo viable la producción del hidrolizado proteico de quinua a nivel industrial.

4.6 Análisis estadístico de la significancia del Valor presente neto (VPN)

Para evaluar la significancia de los resultados obtenidos del Valor Presente Neto (VPN), se aplicó un análisis no paramétrico de Kruskal-Wallis para muestras independientes, debido a que los datos no presentaron distribución normal ni homogeneidad de varianzas (anexo 13), con un nivel de significancia de ($p < 0.05$), el factor considerado fue: F1: El tipo de pretratamiento a las dos escalas de producción (laboratorio/industrial). Los resultados se muestran en el Cuadro 16.

Cuadro 16: Análisis estadístico de la significancia del Valor presente neto (VPN)

Variable dependiente	Tipo de pretratamiento				p
	Escala Laboratorio		Escala Industrial		
	Fluidos supercriticos	Convencional	Fluidos supercriticos	Convencional	
Valor presente neto (USD)	-3,492,000 ^a 2.50	-1,310,000 ^{ab} 6.50	182,943,000 ^b 14.50	22,914,500 ^{ab} 14.50	.003

Nota. Las medianas con subíndices diferentes difieren al nivel $p = 0,05$, seguido de la prueba de comparaciones por parejas de Dunn-Bonferroni.

Fuente: Elaboración propia

Los resultados muestran que el Factor 1: El tipo de pretratamiento a las dos escalas de producción (laboratorio/industrial) tiene un efecto significativo en el Valor presente neto, cuando se compara la escala de laboratorio con fluidos supercriticos y la escala industrial también con fluidos supercriticos, con un nivel de significancia de 0.05, como se observa en el cuadro 16. Para los demás

grupos no se observan diferencias significativas. Esto se corrobora con los valores obtenidos, el cual al aumentar la escala de producción el valor presente neto aumenta, pasa de negativo en la escala de laboratorio a positivo en la escala industrial, haciendo viable la producción del hidrolizado proteico de quinua a nivel industrial.

Adicionalmente, el aprovechamiento de los subproductos como las saponinas y el aceite permite diluir los costos fijos de producción y a la vez se mejora los flujos netos.

4.7 Contrastación de la hipótesis

4.7.1 Hipótesis específica “a” y “b” para cada tipo de tecnología

Hipótesis específica “a”

H₀: El tipo de pretratamiento con fluidos supercríticos, aplicado a la harina de quinua, previo a la hidrólisis enzimática, permite obtener un hidrolizado proteico de quinua con menor capacidad antioxidante proveniente de péptidos bioactivos y en mayor proporción de compuestos fenólicos remanentes.

H_a: El tipo de pretratamiento con fluidos supercríticos, aplicado a la harina de quinua, previo a la hidrólisis enzimática, permite obtener un hidrolizado proteico de quinua con mayor capacidad antioxidante proveniente de péptidos bioactivos y en menor proporción de compuestos fenólicos remanentes.

Nivel de significancia $\alpha=0.05$

Hipótesis específica “b”

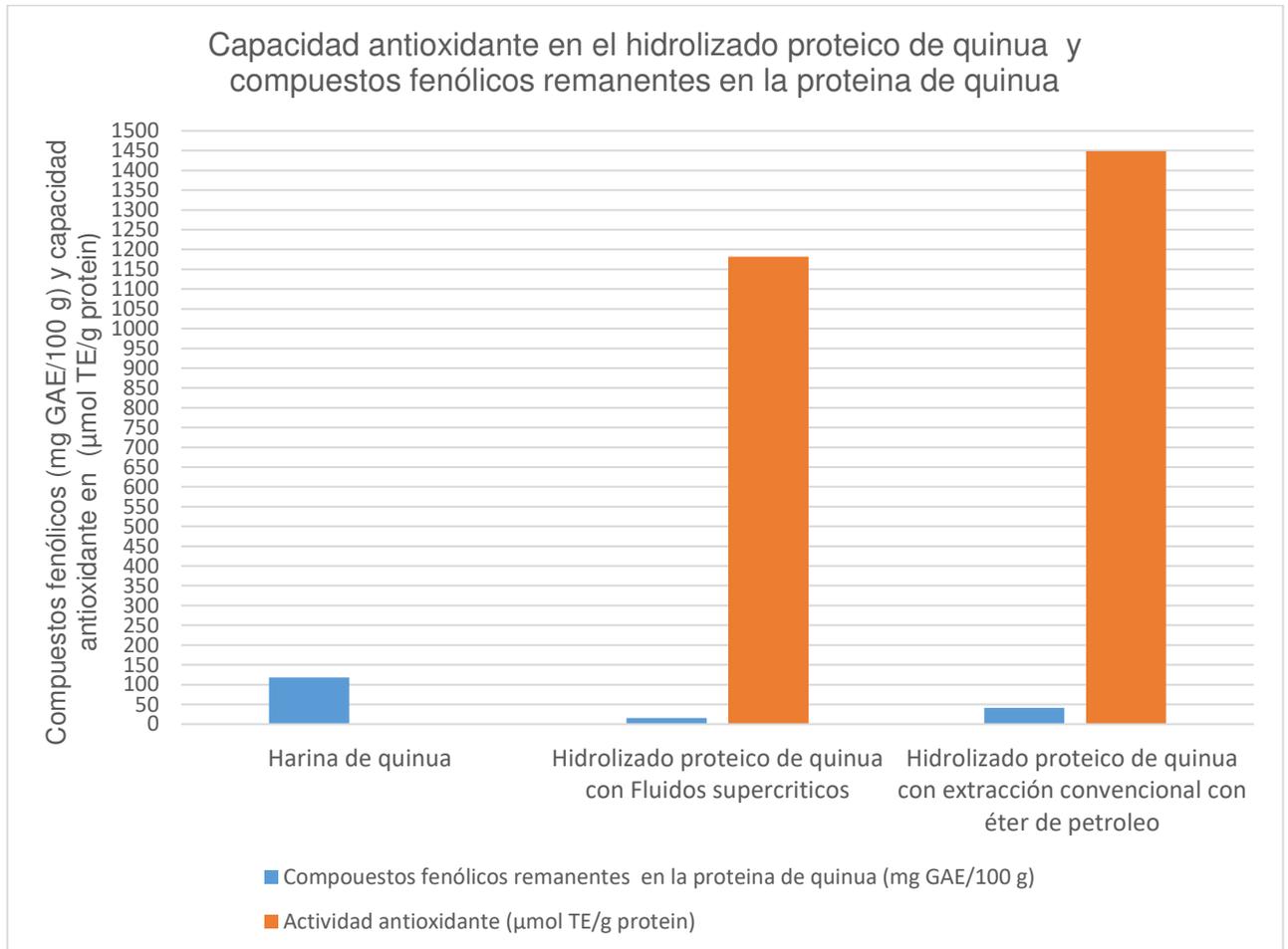
H₀: El tipo de pretratamiento extracción convencional con solventes, aplicado a la harina de quinua, previo a la hidrólisis enzimática, permite obtener un hidrolizado proteico de quinua con menor capacidad antioxidante proveniente de péptidos bioactivos y en mayor proporción de compuestos fenólicos remanentes.

H_a: El tipo de pretratamiento extracción convencional con solventes, aplicado a la harina de quinua, previo a la hidrólisis enzimática, permite obtener un hidrolizado proteico de quinua con mayor capacidad antioxidante proveniente de péptidos bioactivos y en menor proporción de compuestos fenólicos remanentes.

Nivel de significancia $\alpha=0.05$

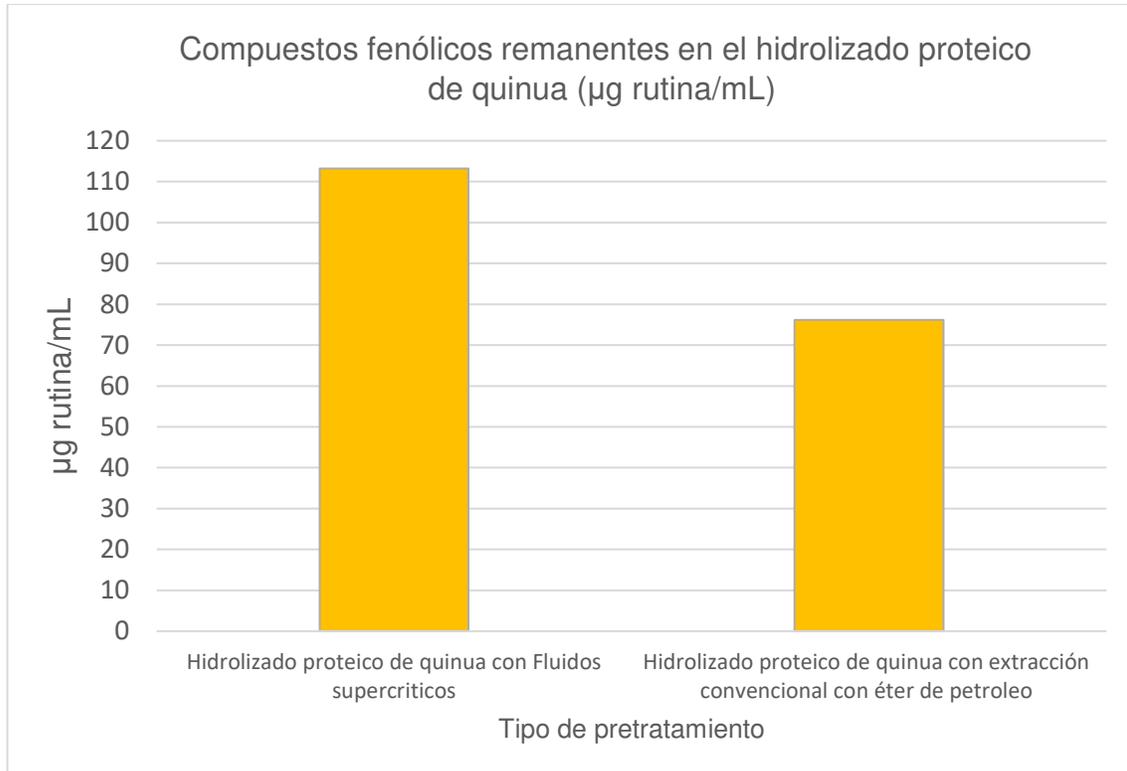
Los resultados de la capacidad antioxidante del hidrolizado proteico de quinua obtenido por cada pretratamiento fueron conducidos por triplicado, se sometieron los datos a un análisis de comparación de medias mediante ANOVA de una vía (Cuadro 11), los datos de la actividad antioxidante presentaron distribución normal y homogeneidad de varianza (Anexo 11), seguida de la prueba de post hoc test de Tukey para un nivel de significancia de ($p < 0.05$), en el cual se observa que el tipo de pretratamiento muestra un efecto significativo en la actividad antioxidante del hidrolizado obtenido por tratamiento por fluidos supercriticos (HPQ-F) y con pretratamiento por extracción convencional con éter de petróleo (HPQ-E) respectivamente ($p < 0.05$). La mayor actividad antioxidante **1448.84 $\mu\text{mol TE/g proteína}$** fue para el pretratamiento convencional respecto al método con pretratamiento con fluidos supercriticos **1181.64 $\mu\text{mol TE/g proteína}$** , siendo mayor en 18.44% según se observa en la Cuadro17, esto confirma que la mayor actividad antioxidante se debe al remanente de compuestos fenólicos (ver figuras 18 y 19), los cuales contribuyen en la mayor actividad antioxidante y por lo tanto, estos deben ser separados, finalmente la capacidad antioxidante del hidrolizado con pretratamiento con fluidos supercriticos sigue siendo alta y lo convierte en producto con actividad biológica.

Figura 18: Capacidad antioxidante del hidrolizado proteico de quinua y compuestos fenólicos remanentes.



Fuente: Elaboración propia

Figura 19: Compuestos fenólicos remanentes en el hidrolizado proteico de quinua.



Fuente: Elaboración propia

Decisión: Se rechaza la H_0 para la tecnología para la hipótesis específica “a” y para la hipótesis específica “b”.

Conclusión: Se puede afirmar que el tipo de pretratamiento influye en la capacidad antioxidante promedio del hidrolizado proteico de quinua, cuya mayor capacidad antioxidante proviene de los péptidos bioactivos y en menor proporción de los compuestos fenólicos con una significación del 5%, sin embargo, para el caso del pretratamiento con fluidos supercriticos la mayor capacidad antioxidante proviene de los péptidos bioactivos y en menor proporción proviene de los compuestos fenólicos remanentes.

4.7.2 Hipótesis específica “c” y “d” para cada tipo de tecnología

Hipótesis específica “c”

H₀: El tipo de pretratamiento con fluidos supercríticos, aplicados a la harina de quinua, previo a la hidrólisis enzimática, permite obtener un hidrolizado proteico de quinua a escala industrial con mayor costo en USD/Kg proteína.

H_a: El tipo de pretratamiento con fluidos supercríticos, aplicados a la harina de quinua, previo a la hidrólisis enzimática, permite obtener un hidrolizado proteico de quinua a escala industrial con menor costo en USD/Kg proteína.

Nivel de significancia $\alpha=0.05$

Hipótesis específica “d”

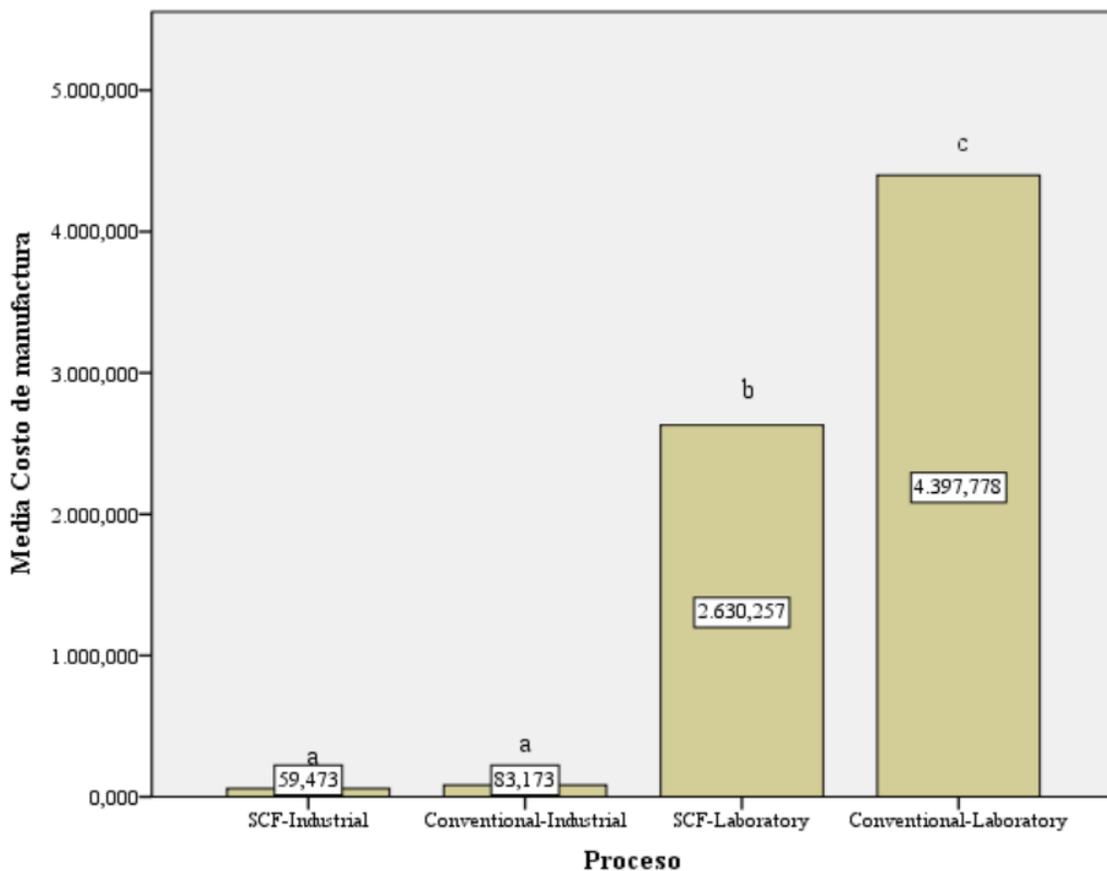
H₀: El tipo de pretratamiento con extracción convencional con solventes, aplicados a la harina de quinua, previo a la hidrólisis enzimática, permite obtener un hidrolizado proteico de quinua a escala industrial con mayor costo en USD/Kg proteína.

H_a: El tipo de pretratamiento con extracción convencional con solventes, aplicados a la harina de quinua, previo a la hidrólisis enzimática, permite obtener un hidrolizado proteico de quinua a escala industrial con menor costo en USD/Kg proteína.

Nivel de significancia $\alpha=0.05$

El análisis de la significancia del factor considerado, muestran que no existe un efecto significativo del tipo de pretratamiento a escala industrial en el costo de manufactura del hidrolizado proteico de quinua, con un nivel de confianza de 0.05%, como se observa en la figura 20, sin embargo, con el tipo de pretratamiento con fluidos supercríticos se obtiene un menor costo que el convencional.

Figura 20: Grafico de la prueba post hoc Tukey para el costo de manufactura



Fuente: Elaboración propia

Decisión: Se acepta la H_0 para la tecnología para la hipótesis específica "c" y para la hipótesis específica "d".

Conclusión: Se puede afirmar que el tipo de pretratamiento no tiene un efecto significativo en el costo de manufactura, sin embargo, permite obtener un menor costo de manufactura a escala industrial con un nivel de significancia del 5% en ambos pretratamientos; adicionalmente, utilizando la tecnología de pretratamiento con fluidos supercríticos el costo de manufactura es menor que el pretratamiento convencional.

4.7.3 Hipótesis específica “e” y “f” para cada tipo de tecnología

Hipótesis específica “e”

H₀: El tipo de pretratamiento con fluidos supercríticos, aplicados a la harina de quinua, previo a la hidrolisis enzimática, permite obtener un hidrolizado proteico de quinua a escala industrial con menor valor presente neto en USD.

H_a: El tipo de pretratamiento con fluidos supercríticos, aplicados a la harina de quinua, previo a la hidrolisis enzimática, permite obtener un hidrolizado proteico de quinua a escala industrial con mayor valor presente neto en USD.

Nivel de significancia $\alpha=0.05$

Hipótesis específica “f”

H₀: El tipo de pretratamiento extracción convencional con solventes, aplicados a la harina de quinua, previo a la hidrolisis enzimática, permite obtener un hidrolizado proteico de quinua a escala industrial con menor valor presente neto en USD.

H_a: El tipo de pretratamiento extracción convencional con solventes, aplicados a la harina de quinua, previo a la hidrolisis enzimática, permite obtener un hidrolizado proteico de quinua a escala industrial con mayor valor presente neto en USD.

Nivel de significancia $\alpha=0.05$

El análisis de la significancia del factor considerado, muestran que no existe un efecto significativo del tipo del pretratamiento a escala industrial en el Valor presente neto de la producción del hidrolizado proteico de quinua, con un nivel de confianza de 0.05% como se observa en la figura 21, como se observa en el cuadro 16. Sin embargo, con el tipo de pretratamiento con fluidos supercríticos se obtiene un mayor valor presente neto que en que en el convencional.

Figura 21: Cuadro de la prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes, para el contraste de hipótesis

Muestra 1-Muestra 2	Estadístico de prueba	Estándar Error	Desv. Estadístico de prueba	Sig.	Sig. ajust.
SCF-Laboratory-Conventional-Laboratory	-4,000	3,362	-1,190	,234	1,000
SCF-Laboratory-Conventional-Industrial	-8,000	3,362	-2,380	,017	,104
SCF-Laboratory-SCF-Industrial	-12,000	3,362	-3,570	,000	,002
Conventional-Laboratory-Conventional-Industrial	-4,000	3,362	-1,190	,234	1,000
Conventional-Laboratory-SCF-Industrial	-8,000	3,362	-2,380	,017	,104
Conventional-Industrial-SCF-Industrial	4,000	3,362	1,190	,234	1,000

Cada fila prueba la hipótesis nula hipótesis nula de que las distribuciones de la muestra 1 y la muestra 2 son iguales.

Se muestran las significaciones asintóticas (pruebas bilaterales). El nivel de significancia es ,05.

Fuente: Elaboración propia

Decisión: Se acepta la H_0 para la tecnología para la hipótesis específica “e” y para la hipótesis específica “f”.

Conclusión: Se puede afirmar que el tipo de pretratamiento no tiene un efecto significativo en el Valor presente neto de producción del hidrolizado proteico de

quinua a escala industrial, con un nivel de significancia del 5%. Sin embargo, permite obtener un mayor valor presente neto a escala industrial en ambas tecnologías; siendo mayor con la tecnología de pretratamiento con fluidos supercríticos.

4.7.4 Hipótesis general

La hipótesis general fue contrastada con las hipótesis específicas a, b, c, d, e, f concluyéndose que el tipo de pretratamiento: extracción con fluidos supercríticos y extracción convencional con solventes aplicado a la harina de quinua previo a la hidrólisis enzimática, influyen en la capacidad antioxidante, pero en el costo de manufactura y valor presente neto a escala industrial, sin embargo, el aumento de la escala permite obtener un menor costo y un mayor valor presente neto a escala industrial en ambas tecnologías, haciendo factible económicamente la producción del hidrolizado proteico de quinua.

CONCLUSIONES

- Los resultados obtenidos mostraron un efecto significativo del tipo de pretratamiento sobre la actividad antioxidante del hidrolizado proteico de quinua, la actividad antioxidante en el pretratamiento convencional (QPH-E) fue mayor que en el pretratamiento con fluidos supercriticos (QPH-F), esto debido a la presencia de compuestos fenólicos. La aplicación de fluidos supercriticos para separar compuestos fenólicos en etapas previas a la hidrólisis enzimática, es una buena alternativa para evitar interferencias a la hora de determinar actividades biológicas, además, permite un máximo aprovechamiento de la quinua, ya que el rendimiento de recuperación del aceite también es mayor con respecto al método convencional.
- La simulación de ambas propuestas tecnologías de producción de hidrolizado proteico de quinua en el simulador SuperProDesigner, permitió conocer sus principales indicadores técnico económicos, el análisis de la significancia de los factores considerados, muestran que no existe un efecto significativo en el costo de producción del hidrolizado proteico, a escala industrial entre cada tecnología, siendo menor en la escala industrial de 2500 kg/día, con el pretratamiento con fluidos supercriticos USD 59.45/kg proteína, respecto a

USD 83.17/kg proteína con el pretratamiento convencional, siendo el mejor escenario con aprovechamiento de venta del aceite y saponinas respectivamente.

- El análisis de significancia de los factores considerados, muestran que no existe un efecto significativo en el Valor presente neto de la producción del hidrolizado proteico a escala industrial entre cada tecnología, sin embargo, es mayor en la escala industrial del pretratamiento con fluidos supercríticos USD 205.006.000 y menor para el pretratamiento convencional USD 28.159.000, siendo igual forma el mejor escenario con aprovechamiento del aceite y saponinas respectivamente.
- Ambos procesos muestran ser viables y económicamente aplicables a escala de producción industrial. Emplear procesos industriales permite disminuir el valor del CM y aumentar la productividad en ambos casos. Sin embargo, al evaluar los escenarios que poseen ingresos adicionales por la venta de subproductos como saponinas y aceites se obtienen resultados aún más favorables que cuando no se realiza dicha venta. Las plantas de extracción de pequeña capacidad (1,5 kg de quinua procesada) a pesar de tener ingresos adicionales por venta de subproductos no pueden sobrevivir económicamente debido al alto valor del CM, lo que genera indicadores económicos negativos.
- El estudio de sensibilidad realizado consideró un precio del hidrolizado proteico de quinua de 200 USD/kg en base a los precios que ofrece el mercado, además como ya se mencionó se evaluaron escenarios en los que surge un ingreso adicional generado por la venta de subproductos como saponinas y aceites. De dicho estudio se obtuvo que el escenario más favorable es el número 9 en el cual se toma en cuenta la venta de los 2

subproductos para obtener mayores ganancias, menor tiempo de retorno de inversión (1.16 años) e indicadores financieros altos. Cabe recalcar que los indicadores mostraron resultados superiores cuando se empleó el proceso de desgrasado supercrítico ya que mostraron valores de VPN altos, valores de IRR superiores a 100 y un tiempo de recuperación de 1.16 año, a diferencia del proceso convencional en el cual se tienen menores valores de IRR mayores y un tiempo de recuperación que varía entre los 0,64 y 0,98 años, esto debido a la mayor inversión que requiere planta con la unidad de extracción con fluidos supercríticos.

- Finalmente, la tecnología de fluidos supercríticos con utilización de CO₂ supercrítico es un solvente único, es no inflamable, no tóxico, de bajo costo, no polar y fácil de utilizar, permitiendo obtener productos libres de contaminantes de solventes orgánicos como los métodos convencionales, permitiendo aprovechar al máximo la quinua, como la parte extractable (aceite y compuestos fenólicos) y la parte no extractable para la Producción de hidrolizado proteico de quinua, alineado con las nuevas tendencias de la industria alimentaria, cosmética y/o farmacéutica, tales como la producción de ingredientes funcionales, nutraceuticos, sostenibles, de alto valor nutricional y alimentos con etiquetas limpias.

RECOMENDACIONES

- Realizar estudios de identificación de los péptidos bioactivos obtenidos por ambos pretratamientos, para evaluar si estos influyen y generan péptidos diferentes.
- Realizar estudios de mercado para complementar la viabilidad de implementación del Proyecto de Producción de hidrolizado proteico de quinua.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abugoch James, L. E. (2009). Chapter 1 Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). En *Advances in Food and Nutrition Research* (Vol. 58, pp. 1-31). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S1043-4526\(09\)58001-1](https://doi.org/10.1016/S1043-4526(09)58001-1).
- Abugoch, L. E., Romero, N., Tapia, C. A., Silva, J., & Rivera, M. (2008). Study of Some Physicochemical and Functional Properties of Quinoa (*Chenopodium Quinoa* Willd) Protein Isolates. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(12), 4745-4750. <https://doi.org/10.1021/jf703689u>.
- Agyei, D., Ongkudon, C. M., Wei, C. Y., Chan, A. S., & Danquah, M. K. (2016). Bioprocess challenges to the isolation and purification of bioactive peptides. *Food and Bioprocess Processing*, 98, 244-256. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2016.02.003>
- Aluko, R. E., & Monu, E. (2003). Functional and Bioactive Properties of Quinoa Seed Protein Hydrolysates. *Journal of Food Science*, 68(4), 1254-1258. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2003.tb09635.x>
- Amaral, M., Kokh, D. B., Bomke, J., Wegener, A., Buchstaller, H. P., Eggenweiler, H. M., Matias, P., Sirrenberg, C., Wade, R. C., & Frech, M. (2017). Protein conformational flexibility modulates kinetics and thermodynamics of drug binding. *Nature Communications*, 8(1), 2276. <https://doi.org/10.1038/s41467-017-02258-w>
- Análisis de Mercado - Quinoa 2015 - 2020.pdf, s. f. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1479275/An%C3%A1lisis%20de%20Mercado%20-%20Quinoa%202015%20-%202020.pdf>

AOAC. 1995. *The Association of Analytical Chemists: Official methods of analysis*.

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. *The Journal of Supercritical Fluids*, 139, 62-71. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2018.05.009>

Birbuet, J.C., Machicado, C.G. (2009). *Technological Progress and Productivity in the quinoa sector*. CiteSeerX.

Brunner, G. (2005). Supercritical fluids: technology and application to food processing. *Journal of Food Engineering*, 67(1), 21-33.

Calderón T., Manuel V. (2014): Enzymatic hydrolysis of *Chenopodium Quinoa* Willd “Quinoa”, determining its kinetic parameters: pH, Temperature and Substrate Concentration. *Investigators Magazine* 1(2): 1-24.

CALLISAYA, J. 2011. *Aislados proteínicos de granos andinos quenopodiáceas quinoa (Chenopodium quinoa) y cañihua (Chenopodium pallidicaule) por 104 precipitación isoeléctrica*. [Tesis para optar el título profesional de químico de alimentos. La Paz, Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés].

Carciochi R.; Manrique G.; Dimitrov K. (2014). Optimization of antioxidant phenolic compounds extraction from quinoa (*Chenopodium quinoa*) seeds. *Journal of Food Science and Technology*, 52(7), 4396–4404.

Csighy, A., Koris, A., & Vatai, G. (2017). Modelling the Partial Demineralization Process of Cow Milk by Superpro Designer. *Hungarian Journal of Industry and Chemistry*, 45(2), 9-12. <https://doi.org/10.1515/hjic-2017-0013>.

Chakrabarti, S., Guha, S., Kaustav, M. (2018). Food-Derived Bioactive Peptides in Human Health: *Challenges and Opportunities*. *Nutrients*. 10(11), 1738.

- Chen, X., Sheng, J., Wang, X., & Deng, J. (2016). Exploring Determinants of Attraction and Helpfulness of Online Product Review: A Consumer Behaviour Perspective. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2016, 1-19. <https://doi.org/10.1155/2016/9354519>.
- Cherouveim, K. y Costopoulos, T. (2005). *Decanter Centrifugal Machines for Mixture Separation*. First International Conference on Experiment/Process/System Modelling/Simulation/Optimization.
- Cian, R; Garzón, A; Ancona, D; Guerrero, L; Drago, S. 2015. Hydrolyzate s from *Pyropia columbina* seaweed have antiplatelet aggregation, antioxidant and ACE I inhibitory peptides which maintain bioactivity after simulated gastrointestinal digestion. *Food Science and Technology* 64(2), 881-888.
- Cisneros, M. (2017): *Purification of bioactive peptides of quinoa (chenopodium quinoa) with antioxidant and antihypertensive capacity*. Tesis de pregrado de la Universidad Nacional Agraria la Molina.
- D. Aguiar, J. F. Osorio-Tobón, L. P. Sales Silva, G. Fernandez Barbero y J. Martínez. (2018). "Economic analysis of oleoresin production from malagueta peppers (*Capsicum frutescens*) by supercritical fluid extraction", *The Journal of Supercritical Fluids*, 133, 86–93. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2017.09.031>.
- Daliri, E. B.-M., Lee, B. H., & Oh, D. H. (2018). Current trends and perspectives of bioactive peptides. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58(13), 2273-2284. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1319795>.
- Daliri, E., Oh, D., & Lee, B. (2017). Bioactive Peptides. *Foods*, 6(5), 32. <https://doi.org/10.3390/foods6050032>
- Domingo, A. (2006). *Diseño de equipos e instalaciones*. Universidad de Salamanca.

D. K. Govindarajan, Y. Meganathan, G. P. Udayakumar y R. Kothandan, (2019). "Techno-Economic Analysis for the Production of Ethanol from Ipomoea batatas (sweet potato)", *American International Journal of Research in Science, Technology, Engineering & Mathematics, ISSN (Online): 2328-3580.* https://www.researchgate.net/publication/331224874_Techno-Economic_Analysis_for_the_Production_of_Ethanol_from_Ipomoea_batatas_sweet_potato

Domínguez, L; Parzanese, M. s.f. *Tecnologías para la Industria Alimentaria, Fluidos Supercríticos. Argentina.* Alimentos Argentinos- MinAgri.

Estrada-Cabanillas, L., Ramos-Escudero, F., & Olivera, L. (2019). Fatty acid profile and antioxidant activity of extract from quinoa powder (*Chenopodium quinoa* Willd.) obtained by supercritical CO₂ and ethanol as cosolvent. 3.

Estrada, D. (octubre de 2020) *Consumo Plant-Based Protein en Sudamérica ¿Qué espera el consumidor?*
<https://www.brighttalk.COM/webcast/14429/439293/consumo-plant-based-protein-en-sudam-rica-qu-espera-el-consumidor>

FAO. (2013). *Catálogo de variedades comerciales de quinua en el Perú.*
<http://www.fao.org/3/a-as890s.pdf>

Food News Latam (16 de febrero de 2016) *La demanda de ingredientes de proteínas vegetales.:* <https://www.foodnewslatam.COM/paises/4965-internacional/5195-la-demanda-de-ingredientes-de-prote%C3%ADnas-vegetales-en-el-mercado.html>

Fritz, M; Vecchi, B; Rinaldi, G; Añón, M. 2011. Amaranth seed protein hydrolyzates have *in vivo* and *in vitro* antihypertensive activity. *Journal of Food Chemistry* 126(3),878-884.

Gallegos S., Chel L., Corzo L., Matínez A. (2013). Peptide's whit antioxidant activity from plant-based protein. *OmniaScience: ISBN: 978-84-940234-4-6.111-122.*

- GARCÍA, A. V. (1995). *Extracción con fluidos supercríticos: principios y aplicaciones al análisis de residuos de plaguicidas*. In *Residuos de plaguicidas*. Pesticide residues.
- GESTIÓN (enero de 2019) *Boom de proteínas vegetales y postres veganos en EE.UU. genera nuevas oportunidades para Perú*: <https://gestion.pe/economia/boom-proteinas-vegetales-postres-veganos-ee-uu-genera-nuevas-oportunidades-peru-256382-noticia/?ref=gesr>
- Gheorghe, S. et al. (2013). *Grinding Characteristics of Wheat in Industrial Mills*. <http://dx.doi.org/10.5772/53160>
- Guerreo-Ochoa, M. R., Pedreschi, R., & Chirinos, R. (2015). Optimised methodology for the extraction of protein from quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *International Journal of Food Science & Technology*, 50(8), 1815-1822. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12834>
- J. I. Torregrosa (2013). *Conceptos básicos de simulación de procesos*. Valencia, España: Departamento de Ingeniería Química y Nuclear, Universitat Politècnica de València. https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/29929/Art%c3%adculoDocente_3.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Hernandez-Ledesma, A.; Contreras, M.; Recio, I. (2011). Antihypertensive peptides: Production, bioavailability, and incorporation into foods. *Advances in Colloid and Interface Science* 165(1), xx-xx
- Kerry (12 de noviembre de 2018) *El auge de las proteínas vegetales en América Latina*. <https://www.kerry.COM/insights/kerrydigest/2018/the-rise-of-plant-proteins-in-latin-america>
- Kiran, E., Debenedetti, P. G., & Peters, C. J. (Eds.). (2012). *Supercritical fluids: fundamentals and applications*. Springer Science & Business Media. Book chapter ISBN 978-94-015-8295-7.

- Korhonen H., Pihlanto A. (2006): Bioactive peptides: Production and functionality. *International Dairy Journal* 16, 945-960.
- Kunas, K., Oakley, R., Hasan, F., Goodwin, M., Larsen, J. Jones, N. (2005). *Stirred Tank Reactor System* [Patente].
- LINDEN, G. y LORIENT, D. 1996. *Bioquímica agroindustrial: Revalorización alimentaria de la producción agrícola*.
- Mhada, M., Metougui, M. L., El Hazzam, K., El Kacimi, K., & Yasri, A. (2020). Variations of Saponins, Minerals and Total Phenolic Compounds Due to Processing and Cooking of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Seeds. *Foods*, 9(5), 660. <https://doi.org/10.3390/foods9050660>
- Mahdavi, M., Nouri, L., Hossein, M. (2018). The effects of hydrolysis condition on antioxidant activity of protein hydrolyzate from quinoa. *Food Science and Nutrition. Vol 7, Issue3 (2019) 930-936*.
- Markets and Markets (Julio de 2020) *Mercado de proteínas de origen vegetal por fuente (soja, trigo y guisantes), tipo (aislados, concentrados y texturados), forma (seca y líquida), aplicación (alimentos y piensos) y región (América del Norte, Europa, APAC, América del Sur, RoW) - Pronóstico global hasta 2025*. <https://www.marketsandmarkets.COM/Market-Reports/plant-based-protein-market-14715651.html#:~:text=%5B199%20Pages%20report%5D%20The%20global,7.1%25%20during%20the%20forecast%20period>.
- Maul, A. A., Wasicky, R., & Bacchi, E. M. (1996). Extração por fluido supercrítico. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 5(2), 185-200.
- Mendis, E., Rajapakse, N., Byun, H.-G., & Kim, S.-K. (2005). Investigation of jumbo squid (*Dosidicus gigas*) skin gelatin peptides for their in vitro antioxidant effects. *Life Sciences*, 77(17), 2166-2178. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2005.03.016>

Meneguetti Q., Brenzan M., Batista M., Barboza R., Rodrigues D., Aparicio D. (2011): Biological Effects of Hydrolyzed Quinoa Extract from Seeds of *Chenopodium quinoa* Willd. *J Med Food* 14(6), 653-657.

Meneguetti, Q. A., Brenzan, M. A., Batista, M. R., Bazotte, R. B., Silva, D. R., & Garcia Cortez, D. A. (2011). Biological Effects of Hydrolyzed Quinoa Extract from Seeds of *Chenopodium quinoa* Willd. *Journal of Medicinal Food*, 14(6), 653-657. <https://doi.org/10.1089/jmf.2010.0096>.

MINCETUR, 2021. Agroexportaciones peruanas lograron cifras record en el 2020. <https://www.gob.pe/institucion/mincetur/noticias/341168-agroexportaciones-peruanas-lograron-cifras-record-en-el-2020>

Mufari, J. R., Rodríguez-Ruiz, A. C., Bergesse, A. E., Miranda-Villa, P. P., Nepote, V., & Velez, A. R. (2021). Bioactive compounds extraction from malted quinoa using water-ethanol mixtures under subcritical conditions. *LWT*, 138, 110574. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110574>

Najafiam L., Salam A. (2014): Production of bioactive peptides using enzymatic hydrolysis and identification antioxidative peptides from patin (*Pangasius Sutchi*) sarcoplasmic protein hydolysate. *Journal of Functional Foods* 9, 280-289.

N. A. Auli, M. Sakinah, A. M. M. A. Bakri, H. Kamarudin, and M. N. Norazian, (2013) "Simulation of Xylitol Production: A Review", *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 7(5), 366-372. <http://www.ajbasweb.com/old/ajbas/2013/Special,%20issue2%202013/366-372.pdf>

Ngabea, S.A. et al. (2015). Design, Fabrication and Performance Evaluation of a Magnetic Sieve Grinding Machine. *Global Journal of Engineering Science and Research*.

- Nickel, J., Spanier, L. P., Botelho, F. T., Gularte, M. A., & Helbig, E. (2016). Effect of different types of processing on the total phenolic compound content, antioxidant capacity, and saponin content of *Chenopodium quinoa* Willd grains. *Food Chemistry*, 209, 139-143. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.04.031>
- Olivera-Montenegro, L., Best, I., & Gil-Saldarriaga, A. (2021). Effect of pretreatment by supercritical fluids on antioxidant activity of protein hydrolyzate from quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food Science & Nutrition*, 9(1), 574-582. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2027>
- Osorio-Tobón, J.F., Carvalho, P.I.N., Rostagno, M.A., Meireles. M.A.A. (2016). Process integration for turmeric products extraction using supercritical fluids and pressurized liquids: Economic evaluation, *Food Bioprod. Process.* (98) 227-235.
- Pablos, A. (2013). *Caracterización y obtención de la cinética de secado de arenas en lecho fluidizado*. <https://core.ac.uk/download/pdf/168407357.pdf>.
- Pasko P., Sajewicz M., Gorenstein S., Zachwieja Z. (2008). Analysis of Selected Phenolic Acids and Flavonoids in *Amaranthus cruentus* and *Chenopodium quinoa* Seeds and Sprouts by HPLC. 0231–Akadémiai Kiadó, Budapest. 20(2008)4, 661–672. DOI: 10.1556/AChrom.20.2008.4.11
- Peña E., Paucar L., Frias J, Martinez C. (2017). *Production of antioxidant hydrolyzates from quinoa proteins using a bacillus spp. alkaline serine protease*. Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos y Nutrición (ICTAN-CSIC), Madrid 28006, España; Departamento de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Nacional del Santa, Nuevo Chimbote, Ancash, Perú. Abatract presentando en el VI Congreso Mundial de la Quinoa y III Simposio Internacional de Granos Andinos.
- Perez P., Ferreira N., Reis J., Andrade N., Souza R., Alves E. (2012): Bioactive Peptides: Synthesis, Properties, and Applications in the Packaging and Preservation of Food. *COMprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 11, 187 – 204.
- Piñuel, L., Boeri, P., Zubillaga, F., Barrio, D., Torreta, J., Cruz, A., Vásquez, G., Pinto, A., Wilman Carrillo, W. (2019). Production of White, Red and Black Quinoa

(*Chenopodium quinoa* Willd. Var. Real) Protein Isolates and Its Hydrolysates in Germinated and Non-Germinated Quinoa Samples and Antioxidant *Activity Evaluation*. *Plants*, 8(8), 257.

PROMPERU (2013). Quinua.
<http://www.siicex.gob.pe/siicex/resources/sectoresproductivos/final%20quinua%20referencia.pdf>.

PROMPERU (2018). *Development of agro-export foreign trade. Annual report 2018*.
<http://www.siicex.gob.pe/siicex/resources/sectoresproductivos/Desenvolvimiento%20agroexportador%202018.pdf>.

P. Somavat, D. Kumar y V. Singh (2018). Techno-economic feasibility analysis of blue and purple corn processing for anthocyanin extraction and ethanol production using modified dry grind process, *Industrial Crops & Products*, 115; 78–87
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.02.015>

Przygoda K.; Wejnerowska G. (2014). *Extraction of tocopherol-enriched oils from Quinoa seeds by supercritical fluid extraction*. *Industrial Crops and products*.

Quiroga et al. (2015). *Traditional processes and Technological Innovations in Quinoa Harvesting, Processing and Industrialization*.

Ramos-Escudero, F., Muñoz, A., Alvarado-Ortiz, C., Yañez, J. (2012). Purple Corn (*Zea mays* L.) Phenolic COMpounds Profile and Its Assessment as an Agent Against Oxidative Stress in Isolated Mouse Organs. *Journal of Medicinal Food* 15(2), xx-xx

Repo-Carrasco, R. (2014). *Nutritional value and bioactive COMpounds in Andean crops, Rediscovering forgotten treasures*.

Repo-Carrasco, R.; Encina, C. (2008). Determination of antioxidant capacity and phenolic COMpounds in andean cereals: Quinoa (*Chenopodium quinoa*), kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*) y quiwicha (*Amaranthus caudatus*). *Journal of Chemical Society- Peru*. 74(2); 85-99.

Rivera M. (2006): *Obtaining, structural characterization and determination of the functional properties of a protein isolate of organic quinoa (Chenopodium quinoa Willd.)*. Chile University:

CO₂ supercritical extraction systems and manufacturing cost for habanero chili. *The Journal of Supercritical Fluids*, 93, 38-41.
<https://doi.org/10.1016/j.supflu.2014.03.014>

RODRÍGUEZ, P. 1981. *Obtención de aislado proteico a partir de lupino (Lupinus mutabilis)*. [Tesis para optar el título profesional de ingeniero en industrias alimentarias. Lima, Perú. UNALM].

SHEN, L.; WANG, X.; WANG, Z.; WU, Y. y CHEN, J. 2008. Studies on tea protein extraction using alkaline and enzyme methods. *Food Chemistry* 107(2): 929 – 938.

Shi, Z; Hao, Y; Teng, C; Yao, Y; Ren, G. (2019). Functional properties and adipogenesis inhibitory activity of protein hydrolyzates from quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food Sci Nutr*. 7(6): 2103–2112.

Sila, A; Bougatef, A. 2016. Antioxidant peptides from marine by-products: Isolation, identification, and application in food systems. A review. *Journal of Functional Foods* 21;10-26.

Smith, R. (2005). *Chemical Process Design and Integration*. West Sussex, Inglaterra. John Wiley & Sons, Ltd.

SuperPro Designer. (2005), *Biodiesel production from degummed soybean oil*, Intelligen, Inc., & Massachusetts Institute of Technology, 2005.
https://www.intelligen.com/superpro_overview.html

Tang Y., Tsao R. (2017): Phytochemicals in quinoa and amaranth grains and their antioxidant, anti-inflammatory and potential health beneficial effects: a review. *Molecular Nutrition and Food Research*: 61 (7), 1600767.

- Torruco-Uco, J.; Chel-Guerrero, L., Martinez-Ayala, A.; Davila-Ortiza, G., Betancurt-Ancona, D. (2009). Angiotensin-I converting enzyme inhibitory and antioxidant activities of protein hydrolysates from *Phaseolus lunatus* and *Phaseolus vulgaris* seeds. *Food Science and Technology* 42; 1597–1604.
- Turton, R., Bailie, R.C., Whiting, W. B., Shaeiwitz, J.A. (2008). *Analysis, synthesis and design of chemical processes*.
- Udenigwe, C. C., & Aluko, R. E. (2012). Food Protein-Derived Bioactive Peptides: Production, Processing, and Potential Health Benefits. *Journal of Food Science*, 77(1), R11-R24. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2011.02455.x>
- University of Texas. Cost Indexes. <http://engineering.utep.edu/enge/EE/15/02/1.htm>
- Viganó, J., Zabet, G. L., & Martínez, J. (2017). Supercritical fluid and pressurized liquid extractions of phytonutrients from passion fruit by-products: Economic evaluation of sequential multi-stage and single-stage processes. *The Journal of Supercritical Fluids*, 122, 88-98. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2016.12.006>
- Vilcacundo, R., Barrio, D., Carpio, C., Garcia, A., Ruales, J., Hernández, B., Carrillo, W. (2017). Digestibility of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Protein Concentrate and Its Potential to Inhibit Lipid Peroxidation in the Zebrafish Larvae Model. *Plant Foods for Human Nutrition*, 72(3); 294-300.
- Vilcacundo, R., Mirallesa, Carrillo, W., Hernández, H. (2018). In vitro chemopreventive properties of peptides released from quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) protein under simulated gastrointestinal Digestion. *Food Research International*, 105, 403-411.
- Vioque, J.; Millan, F. (2005). *Bioactive peptides in food new health promoting agents*. file:///C:/Users/lolivera/Downloads/IG_AGROCSIC_3.pdf.
- Vlysidis, A., Binns, M., Webb, C., Theodoropoulos, C. (2011). A techno-economic analysis of biodiesel biorefineries: Assessment of integrated designs for the co-production of fuels and chemicals, *Energy*, 36, 4671-4683.

- Wejnerowska, G., & Ciaciuch, A. (2018). Optimisation of oil extraction from quinoa seeds with supercritical carbon dioxide with co-solvents. *Czech Journal of Food Sciences*, 36(No. 1), 81-87. <https://doi.org/10.17221/122/2017-CJFS>
- Wen, C., Zhang, J., Zhang, H., Duan, Y., & Ma, H. (2020). Plant protein-derived antioxidant peptides: Isolation, identification, mechanism of action and application in food systems: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 105, 308-322. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.09.019>
- Yábar, E. & Reyes, V. (2017). *Eficacia de un desinfectante biodegradable a base de saponinas de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) en el control de crecimiento de Escherichia coli*. Universidad Nacional del Centro del Perú.

ANEXOS

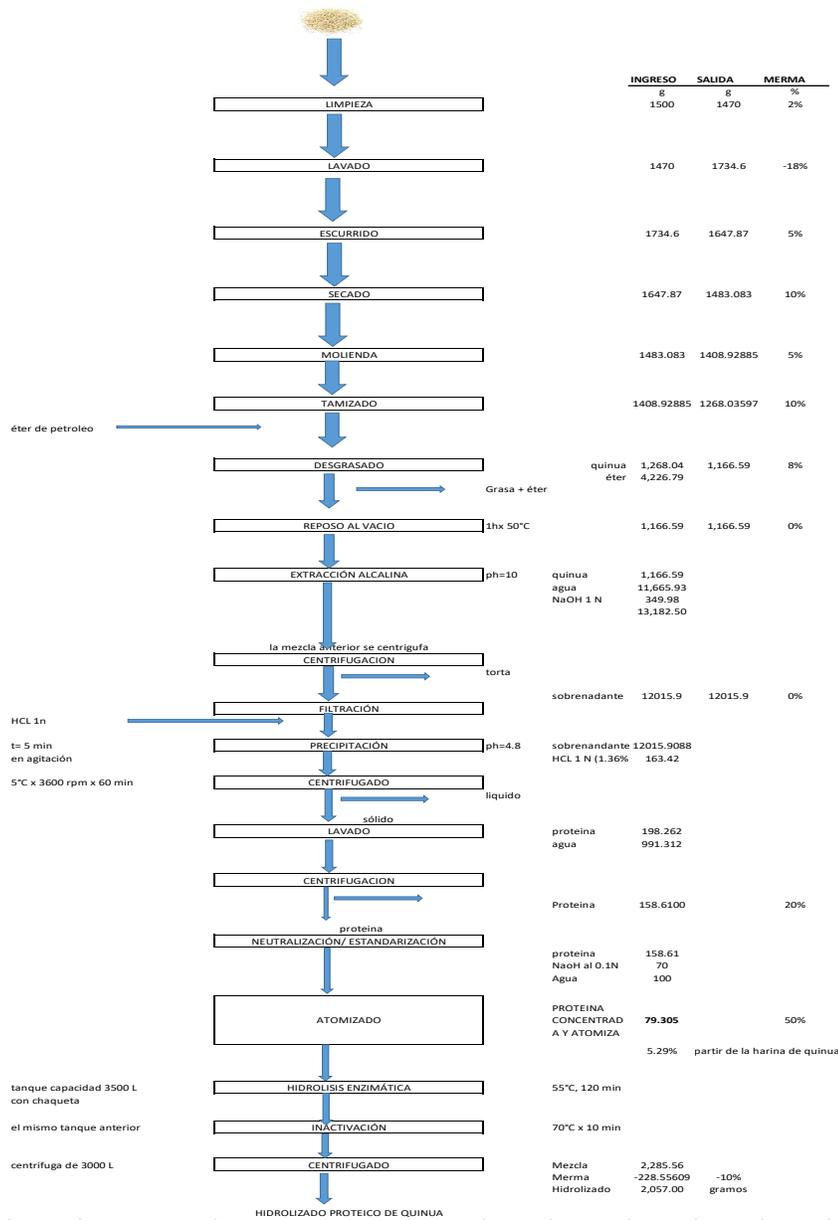
ANEXO 1: Data experimental Producción de hidrolizado proteico de quinua, obtenido con pretratamiento convencional utilizado para la simulación económica.

Etapa	Parámetro	Valor	Unidad
Extracción saponina - 1° paso	Rendimiento extracción	0.31	g saponina/100 g quinua (bs)
	Tiempo extracción	0.5	h
	Temperatura (Lavado1 - 30 min)	50	°C
	Temperatura (Lavado 2 - 30 min)	15	°C
Extracción de aceite con éter de petróleo - 2° Paso	Rendimiento extracción	4.58	g fat/100 g quinua
	Tiempo extracción	19	h
	Temperatura	55	°C
	Ratio MP/solvente	1:3. 33	
Extracción de proteína - 3° step	Rendimiento extracción	11.7 4	g proteina/ 100 g quinua
	Tiempo extracción	2	h
	Temperatura	50	°C
Atomizado - 4° step	Rendimiento extracción	5.57	
	Tiempo extracción	2.22	h
	Temperatura	120	°C
Hidrolisis enzimática	Rendimiento	160.	g hidrolizado / 100 g quinua
	Tiempo	52	min
	Concentración enzima	4.2	UHb/g proteina
	pH	7	

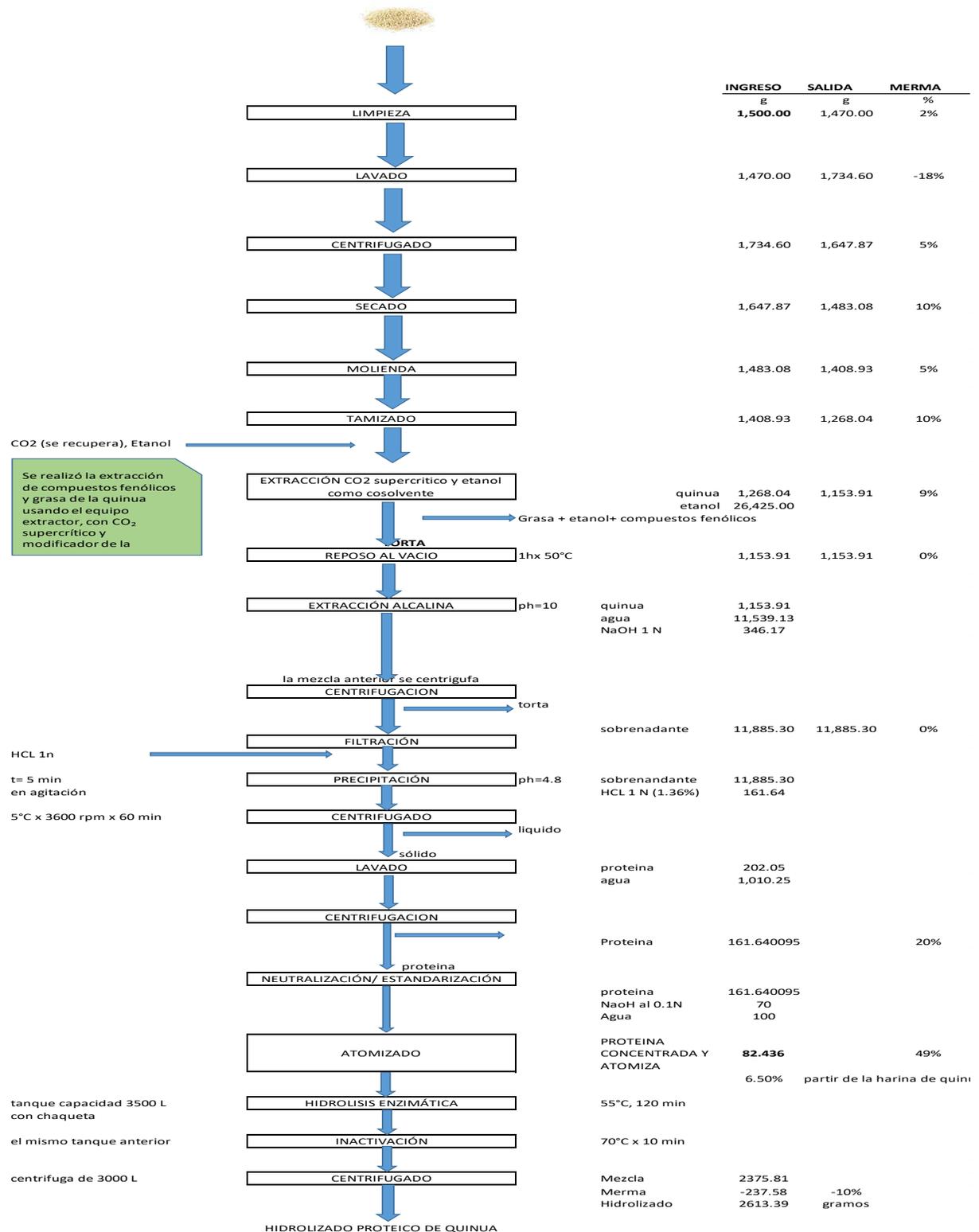
ANEXO 2: Data experimental Producción de hidrolizado proteico de quinua, obtenido con pretratamiento con fluidos supercriticos, utilizado para la simulación económica.

Etapas	Parametro	Valor	Unidad
Extracción saponina - 1° paso	Rendimiento extracción	0.31	g saponina/100 g quinua (bs)
	Tiempo extracción	1	h
	Temperatura (Lavado1 - 30 min)	50	°C
	Temperatura (Lavado 2 - 30 min)	15	°C
Extracción supercritica - 2° step	Rendimiento extracción	6.30	g fat/100 g quinoa flour (bs)
	Tiempo extracción	4	h
	Temperatura	55	°C
	Presión	23	MPa
	Flujo de CO ₂	35	g CO ₂ /min. g quinoa flour/100 ml etanol
	Ratio harina/cosolvente	7-8	
Extracción de proteína - 3° step	Rendimiento extracción	11.74	g proteina/ 100 g quinua (bs)
	Tiempo extracción	2	h
	Temperatura	50	°C
Atomizado - 4° step	Rendimiento extracción	6.84	g proteina/100 g quinua (bs)
	Tiempo extracción	2.22	h
	Temperatura	120	°C
	Presión		
Hidrolisis enzimática	Rendimiento	197.1	g hidrolizado / 100 g quinua
	Tiempo	120	min
	Concentración enzima	4.2	U H b/g proteina
	pH	7	

ANEXO 3: Balance de masa utilizado para la simulación y escalamiento industrial del proceso, pretratamiento convencional.



ANEXO 4: Balance de masa utilizado para la simulación y escalamiento industrial del proceso, pretratamiento con fluidos supercriticos.



ANEXO 5: Requerimiento de materia prima e insumos, pretratamiento convencional

Materia prima/insumo	g
Quinoa	1500
Agua de lavado	1500
Éter de petróleo para desgrasado	4,226.79
Agua para extracción alcalina	11665.93
NaOH al 1N	349.98
HCl 1N	163.42
Agua de lavado 2	991.312476
NaOH al 0.1 N	70
Agua para la neutralización	100
Buffer fosfato	2,205.68
Enzima (Endopeptidasa COROLASE 7089)	0.57

ANEXO 6: Requerimiento de materia prima e insumos, pretratamiento con fluidos supercriticos

Materia prima/insumo	kg
Quinoa	2500
Agua de lavado	2450
Etanol para fluido supercritico	26425.00
Agua para extracción alcalina	11539.1273
NaOH al 1N	346.173818
HCl 1N	161.64
Agua de lavado 2	1010.25059
NaOH al 0.1 N	70
Agua para la neutralización	100
Buffer fosfato	2,292.78
Enzima (Endopeptidasa COROLASE 7089)	0.59

ANEXO 7: Requerimiento de equipos e instrumentos a escala industrial, pretratamiento convencional

Equipo/Instrumento	Cantidad	Capacidad	Precio (USD)	Consumo de energía
Recipiente de acero inoxidable	1	2 kg	30.00	-
Balanza analítica	1	6 kg	333.00	0.22
Recipiente de acero inoxidable	2	2 kg	60.00	-
Recipiente de acero inoxidable	1	2 kg	30.00	-
Secador de bandejas	1	3 kg	100.00	0.4
Tamizador	1	2 kg	4,000.00	0.23
Equipo de fluidos supercríticos	2	10 kg	197,880.00	50
Matraz	1	6 kg	185.00	-
Matraz	2	6 kg	370.00	-
Equipo de baño maría con agitación	2	9 kg	1,332.00	0.12
Potenciómetro	2	-	504.00	0.19
Centrifuga	1	10 kg	200.00	1.5
Manual	1	-	-	-
Equipo de baño maría con agitación	2	9 kg	1,332.00	0.12
Centrifuga	1	10 kg	500.00	1.5
Manual	1	-	-	-
Centrifuga	1	2 kg	100.00	1.5
Baker	1	1 kg	6.00	-
Equipo de baño maría con agitación	1	9 kg	666.00	0.12
potenciómetro	1	-	252.00	0.19
Atomizador de laboratorio	1	2 kg	50,000.00	0.8
Equipo de baño maría	1	2 kg	400.00	0.40
Centrifuga	1	2 kg	200.00	1.5
			258,480.00	

ANEXO 8: Requerimiento de equipos e instrumentos a escala industrial, pretratamiento con fluidos supercriticos

Etapa	Equipo/Instrumento	Cantidad	Capacidad	Precio (USD)	Consumo de energía
Selección y clasificación	Recipiente de acero inoxidable	1	2 kg	30.00	-
Pesaje	Balanza analítica	1	6 kg	333.00	0.22
Lavado	Recipiente de acero inoxidable	2	2 kg	60.00	-
Escurrido	Recipiente de acero inoxidable	1	2 kg	30.00	-
Secado	Secador de bandejas	1	3 kg	100.00	0.4
Molienda y tamizado	Tamizador	1	2 kg	4,000.00	0.23
Desgrasado	Equipo de fluidos supercriticos	2	10 kg	197,880.00	50
De desgrasado a reposo	Matraz	1	6 kg	185.00	-
Reposo al vacío	Matraz	2	6 kg	370.00	-
Extracción alcalina	Equipo de baño maría con agitación	2	9 kg	1,332.00	0.12
	Potenciómetro	2	-	504.00	0.19
Centrifugación 2	Centrifuga	1	10 kg	200.00	1.5
Filtración	Manual	1	-	-	-
Precipitado	Equipo de baño maría con agitación	2	9 kg	1,332.00	0.12
Centrifugado 3	Centrifuga	1	10 kg	500.00	1.5
Lavado 2	Manual	1	-	-	-
Centrifugado 4	Centrifuga	1	2 kg	100.00	1.5
	Baker	1	1 kg	6.00	-
	Equipo de baño maría con agitación	1	9 kg	666.00	0.12
Neutralización	Potenciómetro	1	-	252.00	0.19
	Atomizado	Atomizador de laboratorio	1	2 kg	50,000.00
Hidrólisis enzimática	Equipo de baño maría	1	2 kg	400.00	0.40
Inactivación					
Centrifugado	Centrifuga	1	2 kg	200.00	1.5
				258,480.00	

ANEXO 10: Requerimiento de electricidad a escala industrial, pretratamiento convencional

n	Equipo	Potencia HP	Fases m/t	Factor de Pot. Cos f	Pot. act. KW	Pot. ap. KW	Pot. a p. tot. KW	Tiempo h	Consumo KW-h
1	Clasificadora de quinua	3	t	0.80	2.2 38	2.79 75	2.79 75	1.2 5	3.49 6875
1	Tanque de lavado	2	t	0.80	1.4 92	1.86 5	1.86 5	1 1	1.86 5
1	Decanter	15	t	0.80	11. 19	13.9 875	13.9 875	0.9 4	13.1 4825
1	Secador de lecho fluidizado	27	t	0.80	20. 142	25.1 775	25.1 775	3.0 5	9137 5
1	Molino de martillos	10	t	0.80	7.4 6	9.32 5	9.32 5	1 1	9.32 5
1	Equipo de fluidos supercríticos Tanque reactor con agitación (1 para solución y 1 para extracción)	21	t	0.80	15. 666	19.5 825	19.5 825	4.2	82.2 465
2		10	t	0.80	7.4 6	9.32 5	18.6 5	2	37.3 13.5
1	Decanter	15	t	0.80	11. 19	13.9 875	13.9 875	0.9 7	6787 5
3	Filtro prensa	13	t	0.80	9.6 98	12.1 225	36.3 675	3.0 4	110. 5572
2	Tanque reactor con agitación	10	t	0.80	7.4 6	9.32 5	18.6 5	1	18.6 5
1	Decanter	15	t	0.80	11. 19	13.9 875	13.9 875	0.9 8	13.7 0775
1	Tanque de lavado	2	t	0.80	1.4 92	1.86 5	1.86 5	1	1.86 5
1	Decanter	15	t	0.80	11. 19	13.9 875	13.9 875	1	13.9 875
1	Tanque reactor con agitación	10	t	0.80	7.4 6	9.32 5	9.32 5	1	9.32 5
1	Atomizador industrial	13	t	0.80	9.6 98	12.1 5	12.1 225	2.2 2	119 5
2	Tanques con chaqueta	2	t	0.80	1.4 92	1.8 65	3.73	2	7.46
1	Decanter 5	15	t	0.80	11. 19	13.9 875	13.9 875	1	13.9 875
6	Total de transportadores de cangilones	1.5	t	0.80	1.1 19	1.39 875	8.39 25	1	8.39 25
1	Bomba	30	t	0.80	22. 38	27.9 75	307. 725	1	307. 725
CONSUMO DE POTENCIA SOLO SALA DE PROCESO									770

K
W-
H

K
W-
H

CONSUMO DE TODA LA PLANTA (x 100/90)		856	\$
CONSUMO DE LA PLANTA (SOLES)		101	
Tarifa (\$/Kwh)	0.11 83		

ANEXO 11: Pruebas de normalidad y homogeneidad de varianzas para la actividad antioxidante

Pruebas de Normalidad

Hidrólisis_enzimatica		Shapiro-Wilk Estadístico	gl	Sig.
Capacidad_antioxidante	EP_Hidrolisis	0.924	4	0.560
	EP_Sin Hidrolisis	0.984	4	0.925
	FSC_Hidrolisis	0.878	4	0.329
	FSC_Sin hidrolisis	0.885	4	0.362

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración propia

Prueba de homogeneidad de varianzas

		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Capacidad_anti oxidante	Se basa en la media	0.306	3	12	0.821
	Se basa en la mediana	0.306	3	12	0.821
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	0.306	3	11.020	0.821
	Se basa en la media recortada	0.315	3	12	0.815

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 12: Análisis ANOVA y Tukey para la capacidad antioxidante

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square
Trolox_equivalente	Between Groups	42,042	3	14,014
	Within Groups	,073	12	,006
	Total	42,115	15	
Concentración_BSA	Between Groups	,309	3	,103
	Within Groups	,015	12	,001
	Total	,324	15	
Capacidad_antioxidante	Between Groups	703565,085	3	234521,695
	Within Groups	1537,396	12	128,116
	Total	705102,481	15	

Capacidad_antioxidante

Tukey HSD^a

Hidrólisis_enzimatica	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
FSC_Sin hidrolisis	4	875,50675			
EP_Sin Hidrolisis	4		1046,01925		
FSC_Hidrolisis	4			1181,64150	
EP_Hidrolisis	4				1448,84325
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4.000.

ANEXO 13: Pruebas de normalidad y homogeneidad de varianzas del costo de manufactura

Resumen de procesamiento de casos

		Casos					
		Válido		Perdidos		Total	
		N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
Costo de manufactura	SCF-Laboratory	4	100,0%	0	0,0%	4	100,0%
	Conventional-Laboratory	4	100,0%	0	0,0%	4	100,0%
	SCF-Industrial	4	100,0%	0	0,0%	4	100,0%
	Conventional-Industrial	4	100,0%	0	0,0%	4	100,0%

Pruebas de normalidad

		Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Costo de manufactura	SCF-Laboratory	0,986	4	0,934
	Conventional-Laboratory	0,985	4	0,932
	SCF-Industrial	0,985	4	0,932
	Conventional-Industrial	0,987	4	0,940

Costo de manufactura

Fuente: Elaboración propia

Prueba de homogeneidad de varianzas

		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Costo de manufactura	Se basa en la media	0,088	3	12	0,965
	Se basa en la mediana	0,088	3	12	0,965
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	0,088	3	11,835	0,965
	Se basa en la media recortada	0,088	3	12	0,965

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 14: Análisis ANOVA y Tukey para el costo de manufactura

ANOVA

Costo de manufactura					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	53657972,73	3	17885990,91	26995,3	0,000
Dentro de grupos	7950,721	12	662,560		
Total	53665923,45	15			

Pruebas post hoc

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: Costo de manufactura

HSD Tukey

(I) Proceso	(J) Proceso	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
SCF-Laboratory	Conventional-Laboratory	-1767,52000*	18,201100	0,000	-1821,55727	-1713,48273
	SCF-Industrial	2570,78500*	18,201100	0,000	2516,74773	2624,82227
	Conventional-Industrial	2547,08500*	18,201100	0,000	2493,04773	2601,12227
Conventional-Laboratory	SCF-Laboratory	1767,52000*	18,201100	0,000	1713,48273	1821,55727
	SCF-Industrial	4338,30500*	18,201100	0,000	4284,26773	4392,34227
	Conventional-Industrial	4314,60500*	18,201100	0,000	4260,56773	4368,64227
SCF-Industrial	SCF-Laboratory	-2570,78500*	18,201100	0,000	-2624,82227	-2516,74773
	Conventional-Laboratory	-4338,30500*	18,201100	0,000	-4392,34227	-4284,26773
	Conventional-Industrial	-23,700000	18,201100	0,579	-77,73727	30,33727
Conventional-Industrial	SCF-Laboratory	-2547,08500*	18,201100	0,000	-2601,12227	-2493,04773
	Conventional-Laboratory	-4314,60500*	18,201100	0,000	-4368,64227	-4260,56773
	SCF-Industrial	23,700000	18,201100	0,579	-30,33727	77,73727

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

Subconjuntos homogéneos

Costo de manufactura

HSD Tukey^a

Proceso	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
SCF-Industrial	4	59,4725		
Conventional-Industrial	4	83,1725		
SCF-Laboratory	4		2630,26	
Conventional-Laboratory	4			4397,78
Sig.		0,579	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 4.000.

ANEXO 15: Pruebas de normalidad y homogeneidad de varianzas del Valor presente Neto

Pruebas de normalidad

Proceso	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
VPN SCF-Laboratory	0,295	4	.	0,770	4	0,058
Conventional-Laboratory	0,307	4	.	0,729	4	0,024
SCF-Industrial	0,296	4	.	0,768	4	0,056
Conventional-Industrial	0,294	4	.	0,772	4	0,061

a. Corrección de significación de Lilliefors

VPN

Fuente: Elaboración propia

Prueba de homogeneidad de varianzas

VPN

Estadístico de Levene	df1	df2	Sig.
1238,101	3	12	,000

ANEXO 16: Análisis de Kruskal-Wallis para el valor presente neto

Prueba de Kruskal-Wallis

Rangos

	Proceso	N	Rango promedio
VPN	SCF-Laboratory	4	2,50
	Conventional-Laboratory	4	6,50
	SCF-Industrial	4	14,50
	Conventional-Industrial	4	10,50
	Total	16	

Estadísticos de prueba^{a,b}

	VPN
H de Kruskal-Wallis	14,159
gl	3
Sig. asintótica	0,003

a. Prueba de Kruskal-Wallis

b. Variable de agrupación:
Proceso

Pruebas no paramétricas

Resumen de contrastes de hipótesis

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	Las medianas de VPN son las mismas entre categorías de Proceso.	Prueba de la mediana para muestras independientes	0,001	Rechace la hipótesis nula.
2	La distribución de VPN es la misma entre categorías de Proceso.	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	0,003	Rechace la hipótesis nula.

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de .050.

Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes

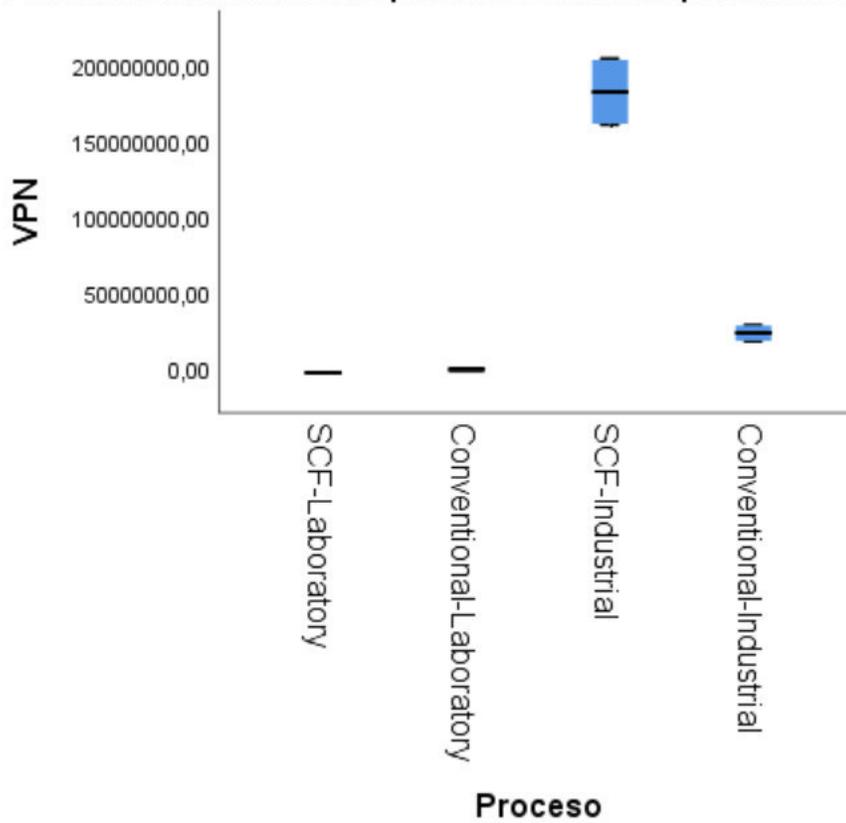
VPN entre Proceso

Resumen de prueba Kruskal-Wallis de muestras independientes

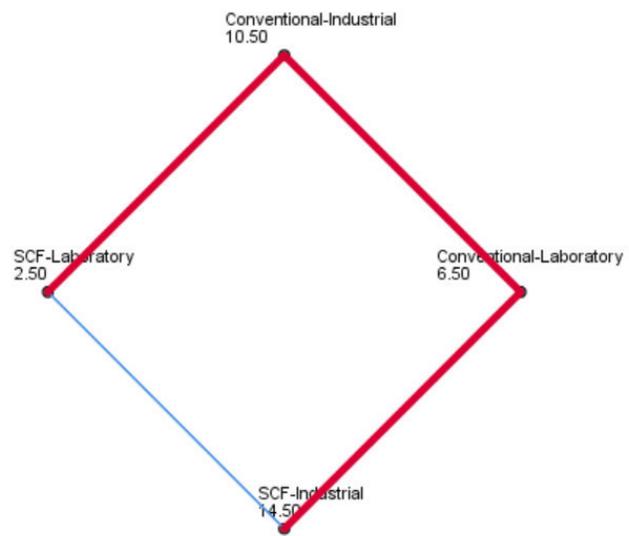
N total	16
Estadístico de prueba	14,159 ^a
Grado de libertad	3
Sig. asintótica (prueba bilateral)	0,003

a. Las estadísticas de prueba se ajustan para empates.

Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes



Comparaciones por parejas de Proceso



Cada nodo muestra el rango promedio de la muestra de Proceso.

Resumen de procesamiento de casos

	Casos					
	Incluido		Excluido		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
VPN * Proceso	16	100,0%	0	0,0%	16	100,0%

Informe

Mediana	
Proceso	VPN
SCF-Laboratory	-3,5E+6
Conventional-Laboratory	-1,3E+6
SCF-Industrial	1,8E+8
Conventional-Industrial	2,3E+7
Total	8,2E+6

ANEXO 17: Catálogo de la maquinaria seleccionada y cotizada para el escalamiento industrial

12.1 Clasificadora de quinua

Buen servicio post-venta Iso 9001 confirmado Quinoa clasificador de Color

OPTIC SORTING SYSTEM
Multifunctional full-color Sorter Series

Features



OPTIC SORTING SYSTEM
Multifunctional Full-color Sorter Series

Features

- > • Feed System
- > • Inspection System
- > • Signal Processing
- > • Separation System
- > • User Interface (GUI)



Las especificaciones

Specifications 				
Modelo	TCS-3T	TCS-5T	TCS-7T	TCS-8T
Número de canal	192	320	448	512
Rendimiento (t/h)	2-3	3-8	5-10	6-11
Tensión de	180-240 (50 HZ)			
Consumo de energía (kw)	2,0	3,0	3,6	4,2
Presión de aire (MPa)	0,6-0,8	0,6-0,8	0,6-0,8	0,6-0,8
Consumo de aire (M ³ /Min)	<= 3,0	<= 4,5	<= 6,0	<= 8,0
Peso (kg)	650	1080	1500	1720
Dimensión (L * D * H) (mm)	1450*1600*2100	1765*1600*2100	2700*1600*2100	3015*1600*2100

12.2 Tanque enchaquetado con agitación



Descripción general

Detalles rápidos

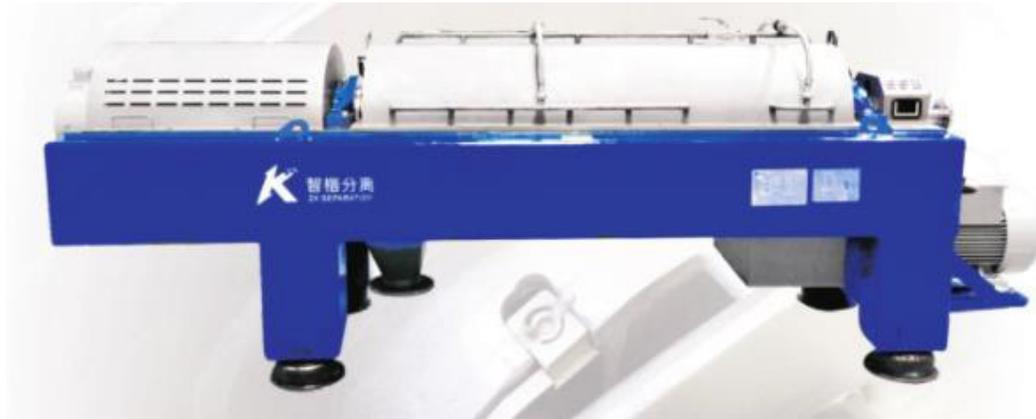
Tipo de mezclador:	Agitador	Barril de volumen (...)	100 L
Max de carga volu...	20000 L	Rango de velocidad...	36 - 3400
Capacidad de carg...	50-10000L	Peso (KG):	200 KG, 200 KG
Aplicación:	La medicina de procesamiento, Productos químicos de trata...	Condición:	Nuevo
Tipo de producto:	Cosmético	Uso:	Líquido
Capacidades adici...	Mezcla	Lugar del origen:	China
Marca:	RAYEN	Volteje:	110V-480V
Dimensión (L*W*H):	Personalizado	Certificación:	ISO
De la potencia (kW):	1,5 kW, 1,5 kW	Garantía:	1 año
Servicio postventa ...	Apoyo en línea, Video de apoyo técnico, Libre de españa a, La i...	Clave de puntos de ...	Mezclador
Después de servi...	Video de apoyo técnico, Apoyo en línea, Campo de mantenimi...	Servicio Local ubic...	Los Estados Unidos
Industrias aplicable...	Hoteles en, Alimentos y Bebidas de la fábrica, Las granjas, Re...	Exposición de ubic...	Los Estados Unidos
Marketing tipo:	Producto ordinario	: Informe de prueba:	Siempre
Video saliente de in...	Siempre	Garantía de los co...	1 año
Los componentes ...	Motor, De la bomba	Nombre del produc...	Tanque de mezcla
Material:	DE ACERO INOXIDABLE	Nombre:	Emulsionar tanque Mezclador
Función:	Mezcla de mezcla	La capacidad de:	200-10000L
El uso de:	Mezcla de productos	Tipo de:	Máquina de fabricación de homogeneizador
Método de calefac...	Vapor de calefacción de gas	Ámbito de aplicaci...	Alimentos, bebidas, Lechería, cosméticos, farmacia
De origen:	Wenzhou RAYEN tanque	Tensión de:	110V-480V
Max. Capacidad de...	50-10000L	Rango de velocidad...	36 - 3400
Dimensión (L * W * ...)	Personalizado	Volumen máximo d...	20000 L
La certificación:	ISO		

Main Parameters

型号 Model	设备容量 (L) Equipment volume	筒体直径 (MM) Dimension of Tank	电机功率 (KW) Motor power	搅拌速度 (R/Min) Agitator speed	外形尺寸 (mm) Outline dimension		
					长 (Length)	宽 (Width)	高 (Height)
RST500	500	Φ800x900	0.55	63r/min (According to customer requirements)	800	800	1700
RST1000	1000	Φ1000x1220	0.75		1000	1000	2100
RST2000	2000	Φ1200x1500	1.5		1200	1200	2500
RST3000	3000	Φ1600x1500	2.2		1600	1600	2600
RST4000	4000	Φ1600x1830	2.2		1600	1600	2900
RST5000	5000	Φ1800x2000	3.0		1800	1800	3150
RST6000	6000	Φ1800x2400	3.0		1800	1800	3600
RST8000	8000	Φ2000x2400	4.0		2000	2000	3700
RST10000	10000	Φ2100x3000	5.5		2100	2100	4300

we can design drawing according to your requirement.

12.3 Centrifuga. decanter industrial



Descripción general

Detalles rápidos

Condición:	Nuevo	Lugar del origen:	Sichuan, China
Tipo:	Centrifugo	Tipo de producto:	El equipo de la S
Video saliente de in...	Siempre	: Informe de prueba:	Siempre
Marketing tipo:	Nuevo Producto 2020	Garantía de los co...	1 año
Los componentes ...	PLC, Rodamiento, Caja de cambios, Motor	Marca:	ZK
Voltaje:	220V/380V/460V/480V	Energía (W):	50Hz/60Hz
Garantía:	1 año	Servicio postventa ...	La instalación de
Clave de puntos de ...	Larga vida de servicio	Industrias aplicable...	Proteína de soja
Después de servici...	Video de apoyo técnico, Apoyo en línea, España, Campo de ...	Servicio Local ubic...	None
Exposición de ubic...	None	Tipo de unidad:	Control de PLC
Material:	Acero inoxidable 304/316L	Palabra clave:	Decanter centrif
Aplicación:	Proteína de soja de separación	Rendimiento (m3/h):	1-45
Tambor de diámetr...	250-650	Longitud-diámetro ...	4-4,1
Velocidad (rpm):	3000-5000	Velocidad diferenci...	1-50
Potencia del motor ...	7,5-110	Tensión de:	220V/380V/460V
Potencia (W):	50Hz/60Hz		

III Tabla de parámetros de centrifuga de alta velocidad para la separación de proteínas

Centrifuga modelo	Tambor de diámetro mm	Relación longitud-diámetro mm	Velocidad rpm	Factor de separación	Velocidad diferencial rpm	Principal motor de potencia kW	Auxiliares de potencia de motor de kW	Rendimiento m3/h	Peso kg	Dimensiones del límite: (largo x ancho x Alto)
LW250 × L025E	250	4,1	5000	3500	1-50	7,5-11	3-4	1-5	1250	2500x800x1150
LW350 × L435E	350	4,1	4000	3136	1-35	15-22	4-5,5	5-8	2500	3700x1050x1200
LW450 × L845E	450	4,1	3500	3087	1-34	30-37	7,5-11	10-15	4200	4300x1150x1450
LW520 × 2150E	520	4,1	3500	3567	1-34	45-55	11-15	15-25	5200	5100x1250x1600
LW580 × 2400E	580	4,1	3000	2923	1-30	75-90	15-18,5	20-30	6500	5520x1450x1700
LW650 × 2600E	650	4	3000	3267	1-28	90-110	18,5-22	30-45	7800	6250x2000x1550

12.4 Secador de bandejas



Descripción general

Detalles rápidos

Industrias aplicable... Alimentos y Bebidas de la fábrica, Las granjas, Restaurante, A...
 Servicio Local ubic... Los Estados Unidos
 Condición: Nuevo
 Marca: JIMU/OEM
 Tipo: Bomba de calor de alimentación secadora
 Energía (W): 10600 w
 Certificación: CCC/CE/ISO9000
 Garantía: 1 año
 Material: De acero inoxidable SUS304
 Trabajo ambiente: 35 ~ 65C
 Material seco: Fruta, carne, mariscos, vegetales...
 Capacidad de calef. 22kw
 Se aplica a: Comida secado

Después de servici... Apoyo en línea
 Exposición de ubic... Los Estados Unidos
 Lugar del origen: Guangdong, China
 Número de Modelo: JMHPK-22XC
 Voltaje: 380 V/50 HZ
 Dimensión (L*W*H): 3790x1310x2180mm
 Año: De acuerdo a la orden
 Servicio postventa ... Campo de mantenimiento y servicio de rep...
 Ambiente de Trabaj... -15 ~ 43C
 Tipo de: Deshidratador, bomba de calor de alta tem...
 La temperatura de ... 35 ~ 65C
 Deshumidificar can... 20L/h
 Ruido (dB): <= 75

Las especificaciones del producto

Modelo	JMHPK-8XC	JMHPK-10XC	JMHPK-16XC	JMHPK-22XC	JMHPK-36XC	JMHPK-50XC	JMHPK-72XC		
Capacidad de calentamiento (kW)	8	10	16	22	36	50	72		
Capacidad de deshumidificación (L/H)	9	7	15	20	30	45	60		
Potencia nominal (kW)	2,6	3,86	8,3	10,6	16,8	17,86	28,6		
Potencia máxima (kW)	5,6	6,86	11,3	13,6	22,6	23,86	34,6		
Fuente de alimentación (V/Hz)	220 V/380 V/50 HZ		380 V/50 HZ						
Corriente nominal (A)	12	6	18	8	17	22	34	36	58
Corriente máxima (A)	26	11	32	14	23	28	46	48	70
Volumen de aire Total del ventilador interno (m & sup3/h)	3000 ~ 6000	3000 ~ 8000	5000 ~ 10000	7000 ~ 12000	10000 ~ 16000	12000 ~ 18000	20000 ~ 36000		
Compresor	Rotor			Vortex					
El refrigerante	R134A								
Ruido db (A)	Menos de 75								
Ambiente de Trabajo	-15 ~ 43°C								
Sala de secado de temperatura	35 ~ 90°C								
Dimensiones (cm)	133*96*190	186*131*190	379*131*218	502*131*218	595*195*250	595*195*250	754*195*290		
Peso (kg)	380	550	1050	1350	1760	2145	2460		

12.5 Secador de lecho fluidizado



ZLG secador de lecho fluidizado La instrucción técnica de los parámetros

Modelo	Área de lecho fluidizado (M ²)	Temperatura de aire de entrada (°C)	Temperatura de salida (°C)	La evaporación del agua (Kg)	Motor de vibración	
					Modelo	Potencia Kw
ZLG3 x 0,30	0,9	70-140	40-70	20-35	ZDS31-6	0,8 x 2
ZLG4.5 x 0,60	2,7	70-140	40-70	70-90	ZDS32-6	1,1 x 2
ZLG6 x 0,60	3,6	70-140	40-70	100-130	ZDS41-6	1,5 x 2
ZLG6 x 0,75	4,5	70-140	40-70	120-140	ZDS42-6	2,2 x 2
ZLG6 x 0,9	5,4	70-140	40-70	140-170	ZDS42-6	2,2 x 2
ZLG7.5 x 0,75	5.625	70-140	40-70	150-180	ZDS51-6	3.0 x 2
ZLG7.5 x 0,9	6,75	70-140	40-70	160-210	ZDS51-6	3.0 x 2
ZLG7.5 x 1,2	9	70-140	40-70	200-260	ZDS51-6	3,0 x 2

Descripción general

Detalles rápidos

Tipo: Equipo de secado de lecho fluidizado

Condición: Nuevo

Marca: KODI

Energía (W): 1.6kw-7.4kw

Certificación: CE ISO

Garantía: 1 año

Después de servi... Video de apoyo técnico, Apoyo en línea, España, Campo de ...

Servicio Local ubic... Egipto, Canadá, Turquía, Reino Unido, Los Estados Unidos, Ital...

Servicio posventa p... Ingenieros disponibles para el servicio de maquinaria en el ex...

Material: Acero inoxidable, acero al carbono

Longitud de la cama: 3m-7,5 m

Secado tipo: Continua secado

Fuente de calefacci... Vapor, gas Natural, GLP, carbón, electricidad

Aplicación: La medicina de procesamiento, Productos químicos de trata...

Lugar del origen: Jiangsu, China

Voltaje: 220v-450v

Dimensión (L*W*H): Depende de el modelo

Clave de puntos de ...Alta productividad

Servicio postventa ... Apoyo en línea, Video de apoyo técnico, Libre de españa, La i...

Industrias aplicable... Hoteles en, De las tiendas, Material de construcción de tienda...

Exposición de ubic... Egipto, Canadá, Turquía, Reino Unido, Los Estados Unidos, Ital...

Nombre del produc... Secador de cama fluido continuo de acero inoxidable KODI pr...

Ancho de la cama: 0,3 m-1,2 m

Temperatura de fun... 40 °C-140 °C

Estándar: GMP

España: De toda la vida

12.6 Molino de martillos



Diagrama detallado de pulverizador molino de martillo

Características y ventajas

- * Disponible D50:10 ~ 850µm!
- * Tamiz Tamaño del agujero 0,2mm-3mm
- * Estructura compacta y ocupación Fácil de desmontar y limpiar
- * Inferior Instalación de amplia aplicación de alto costo-rendimiento
- * Instalación diferente combinaciones aplicables a diferentes requisitos del proceso
- ¿* Molienda es en sistema cerrado bajo el polvo y el ruido y de producción respetuosos con el medio ambiente?

Descripción general

Detalles rápidos

Salida (kg/h):	5 - 10000 kg/h, kg/h, 5 - 10000 kg/h	Tamaño de salida (... 4 - 120 de malla de, 4 - 120 de malla	
De la potencia (kW):	7,5, 7,5	Aplicación:	La medicina de procesamiento, Productos químicos de trata...
Condición:	Nuevo	Tipo:	Amoladora
Tipo de producto:	Amoladora	Lugar del origen:	Shandong, China
Marca:	ALPA	Voltaje:	1-1000V
Dimensión (L*W*H):	1M x 2M x 1,5 M	Certificación:	ISO9001 CE
Peso (KG):	1000 KG, 1000 KG	Garantía:	1 año
Servicio postventa ...	Libre de españa a, La instalación de campo y puesta en march...	Clave de puntos de ...	Precio competitivo
Después de servici...	Video de apoyo técnico, Apoyo en línea, España a, Campo de ...	Servicio Local ubic...	Egipto, Canadá, Turquía, Reino Unido, Los Estados Unidos, Ita...
Industrias aplicable...	Planta de fabricación, Alimentos y Bebidas de la fábrica, Ener...	Exposición de ubic...	Egipto, Turquía, Alemania, Brasil, Pakistán, La India, Tailandia
Marketing tipo:	Nuevo Producto 2020	: Informe de prueba:	Siempre
Video saliente de in...	Siempre	Garantía de los co...	1 año
Los componentes ...	Rodamiento, De la bomba, Equipo, Motor, Caja de cambios, PL...	Prueba de laborato...	Sí
Estructura:	Universal de	Tamaño del produc...	4-120 de malla (325μm-20μm)
Capacidad de prod...	5-10000 kg/h	Control:	Programación de PLC control
Max. Velocidad de ...	2800-12000 r/min	Disco de:	150-730mm
Potencia (W):	1-1000KW	Tensión de:	1-1000V
Dimensión (L * W * ...	1M x 2M x 1,5 M	La certificación:	ISO9001 CE
...	...		

12.7 Tanque reactor con agitación



Principales características

Nombre: mezcla del eje

Tipo: eje mezclador, remo, paleta y otros tipos de eje mezclador

Material: SS304

Fuccion: Mezcla y emulsión de materias primas



Descripción general

Detalles rápidos

Condición: Nuevo

Grado automático: Semiautomática

Lugar del origen: Shandong, China

Voltaje: 220 V 360 V

Dimensión (L*W*H): 1300*1300*3000

Certificación: ISO CE

Servicio postventa ... La instalación de campo y puesta en marcha de la formación, ...

Industrias aplicable... Planta de fabricación, Reparación de maquinaria tiendas, Tien...

Servicio Local ubic... None

Método de calefac... Calefacción eléctrica

Motor: Interno/ABB/Siemens

Material: SS304

Presión de trabajo: Común de presión

Capacidad: 1-10000L

Tipo: Caldera de reacción

Marca: JJ

Energía (W): 7.5KW

Peso: 2600 kg

Garantía: 1 año

Clave de puntos de ...Larga vida de servicio

Después de servici... Video de apoyo técnico, No hay servicio, Apoyo en línea, Espa...

Exposición de ubic... None

La capacidad de: 50-10000L

Velocidad de rotaci... 65 RPM/85 RPM

La mezcla del eje: Tipo de marco

12.8 Sistema de extracción con fluidos supercriticos



Technical parameters No.	Type	Specification	Pressure	Flow	Area	Height	Capacity of raw
1	5L+1L	two extractors two	500bar	60L/H	10 m2	2.5 m	testing
2	10L	three extractors two	500bar	100L/H	10 m2	3 m	10 to 20 kg
3	25LX3	three extractors two	400bar ~ 500bar	300L/H	20 m2	4.5 m	50 to 150 kg
4	50LX3	three extractors two	400bar ~ 500bar	600L/H	80 m2	5.5 m	0.1 to 0.3 ton
5	100LX3	three extractors two	400bar ~ 500bar	1000L/H	130 m2	7 m	0.2 to 0.6 ton
6	200LX3	three extractors two	400bar ~ 500bar	1500L/H	200 m2	8.5 m	0.5 to 1.2 ton
7	300LX3	three extractors two	400bar ~ 500bar	2500L/H	300 m2	9 m	0.7 to 2 ton
8	400LX3	three extractors two	400bar ~ 500bar	3500L/H	400 m2	9.5 m	1 to 2.5 ton
9	500LX3	three extractors two	400bar ~ 500bar	4000L/H	450 m2	10 m	1 to 3 ton
10	600LX3	three extractors two	400bar ~ 500bar	4000L/H	500 m2	10 m	1.5 to 3.5 ton
11	800LX3	three extractors two	400bar ~ 500bar	6000L/H	540 m2	12 m	2.5 to 4.5 ton
12	1000LX3	three extractors two	400bar ~ 500bar	8000L/H	540 m2	14 m	3 to 6 ton
13	1500LX3	three extractors two	400bar ~ 500bar	8000L/H	600 m2	14 m	3.5 to 8 ton
14	2000LX3	three extractors two	400bar ~ 500bar	10000L/H	600 m2	16 m	5 to 12 ton
15	3500LX3	three extractors two	400bar ~ 500bar	16000L/H	700 m2	16 m	

Descripción general

Detalles rápidos

Lugar del origen: Henan, China
 Condición: Nuevo
 Video saliente de in... Siempre
 Marketing tipo: Producto ordinario
 Los componentes ... PLC, Motor, Rodamiento, Equipo
 Peso (KG): 7654 KG, 7654 KG
 Servicio postventa ... Campo de mantenimiento y servicio de reparación
 Después de servici... Apoyo en línea
 Servicio Local ubic... None
 Servicio posventa p... Ingenieros disponibles para el servicio de maquinaria en el ex...
 Material: DE ACERO INOXIDABLE
 Proceso de: Co2
 La certificación: ISO CE
 Nombre: Supercrítico Co2 máquina de extracción

Marca: Tradematt
 Tipo: Extractor
 : Informe de prueba: Siempre
 Garantía de los co... 1 año
 Uso: Líquido
 Garantía: 1 año
 Clave de puntos de ... De ahorro de energía
 Industrias aplicable... Las granjas
 Exposición de ubic... None
 Función: Extracción de concentración
 El uso de: La hierba china
 Extracción de varie... Ingrediente alimentario aplicación de extracción
 Modelo: JHX50/100/200/400/600/600Z/800/1000
 Nombre del produc... Equipos de extracción de

12.9 Filtro de placas



Advantages of Dazhang Filter Press:

1. Low cake moisture
2. Unmanned operation and cost saving
3. Resist high temperature and corrosion
4. Good sealing effect can perfectly avoid leakage

Application of Dazhang filter press

Dazhang filter press widely applicable to coal washing, inorganic salt, mining, alcohol, petroleum, chemical, dyestuff, metallurgy, medicine, foodstuff, paper making and sewage treatment industries.

Technical Data

Model	Filter Plate(m ²)	Plate size(mm)	Cake thickness(mm)	chamber volume(L)	Plate NO. (pcs)	Filtration pressure(MPa)	Motor power(Kw)
XMZ200/1500-35UK	200	1500X1500	35	2998	49	>0.6	7.5
XMZ250/1500-35UK	250			3594	61		
XMZ300/1500-35UK	300			4347	74		
XMZ350/1500-35UK	350			5043	86		
XMZ400/1500-35UK	400			5796	99		
XMZ450/1500-35UK	450			6492	111		

12.10 Atomizador industrial



Detalles rápidos

Tipo:	Equipo de secado por pulverización	Aplicación:	La medicina de procesamiento, Productos químicos de trata...
Condición:	Nuevo	Lugar del origen:	Liaoning, China
Marca:	WANDA	Voltaje:	Diseño para diferentes países
Energía (W):	Personalizado	Dimensión (L*W*H):	Personalizado
Certificación:	ISO9001 CE	Clave de puntos de ...Automática	
Peso (KG):	3000kg, 3000kg	Después de servici...	Vídeo de apoyo técnico, Apoyo en línea, España a, Campo de ...
Industrias aplicable...	Alimentos y Bebidas de la fábrica, Bioquímica fábrica médica ...	Servicio Local ubic...	None
Exposición de ubic...	None	Marketing tipo:	Nuevo Producto 2020
: Informe de prueba:	Siempre	Vídeo saliente de in...	Siempre
Garantía de los co...	1 año	Los componentes ...	De la bomba, Motor, Recipiente de presión, Polipasto eléctrico...
Servicio posventa p...	Ingenieros disponibles para el servicio de maquinaria en el ex...	Fuente de calefacti...	Vapor de aire caliente
Material:	DE ACERO INOXIDABLE	La capacidad de:	25 kg/h de evaporación de agua
El uso de:	Reducir el producto de la humedad	Nombre:	Secador de pulverización de
Instalación:	Ingeniero de guía	Materias primas:	Forma líquida Material
Ventaja:	Bajo consumo de alta eficiencia	Dryig proceso:	Automático continuo de secado
Tensión de:	Diseño para diferentes países	Potencia (W):	Personalizado
Dimensión (L * W * ...)	Personalizado	La certificación:	ISO9001 CE
Garantía:	1 año, 1 año		

Model	LPG05	LPG25	LPG50	LPG100	LPG150	LPG200-2000
Inlet temperature (°C)	140~350 automatically control					
Outlet temperature (°C)	80~90					
Max. water evaporation capacity (kg/h)	5	25	50	100	150	200-2000
Centrifugal spray nozzle rotation mode	Compressed air transmission	Mechanical transmission				
Rotation speed (rpm)	35000	20500	17600	17600	15500	11570
Spray disc diameter mm	50	108	120	130	150	180-340
Heating source	Electric	Electric+ steam, hot air	Electric + steam, hot air			
Max power of electric heating (KW)	9	36	63	81	99	
Dried powder collection rate	≥95	≥95	≥95	≥95	≥95	≥95
Dimension (m)	1.8*0.93*2.2	3*2.7*4.26	3.7*3.2*5.1	4.6*4.2*6	5.5*4.5*7	Depends on real conditions

12.11 Elevador de cangilones



Volumen del cubo: 1,8 Ltr
 Tipo de cubo: cubo ondulado
 Cubo material: PP/PE
 Capacidad: 2-6,5 m³/h
 Tamaño del cubo: 420*136*65mm



Volumen del cubo: 1,8 Ltr
 Tipo de cubo: cubo deslizante
 Cubo material: PP/PE
 Capacidad: 2-6,5 m³/h
 Tamaño del cubo: 420*136*65mm



Volumen del cubo: 4,0 Ltr
 Tipo de cubo: cubo ondulado
 Cubo material: PP/PE
 Capacidad: 6,5-12 m³/h
 Tamaño del cubo: 420*200*100mm



Volumen del cubo: 4,0 Ltr
 Tipo de cubo: cubo deslizante
 Cubo material: PP/PE
 Capacidad: 6,5-12 m³/h
 Tamaño del cubo: 420*200*100mm

Descripción general

Detalles rápidos

Industrias aplicable... Transporte
 Servicio Local ubic... None
 Condición: Nuevo
 Característica del ... Resistente al calor
 Lugar del origen: Zhejiang, China
 Voltaje: 0
 Certificación: La FDA
 Servicio postventa ... Video de apoyo técnico
 Cubo de volumen: 0 8Ltr/1 8Ltr/4.0Ltr
 Términos de envío: El precio de la EXW
 Energía (W): 0

Después de servici... Video de apoyo técnico
 Exposición de ubic... None
 Material: Poliéster
 Estructura: Sistema de transporte
 Marca: CHICHANG paquete
 Dimensión (L*W*H): 420mm
 Garantía: 6 meses, 6 meses
 Cubo de Color: Blanco
 La capacidad de: 2-6m3/h
 Cubo material: PP/PE

12.12 Bomba para alcalinizado o desgrasado

Imágenes detalladas



Entrada Dia (mm)	80-800
Salida Dia (mm)	50-750
La cabeza	7-200m
Velocidad (rpm)	980-3600
Temperatura (°C)	120
La eficiencia	86%
Eje	De acero inoxidable/SS420
Sello del eje	Embalaje de sello/sello mecánico

Detalles rápidos

Marca:	Hito	Número de Modelo:	350MS-16
Lugar del origen:	Hebei, China	Uso:	Riego y agricultura, Marino, Tratamiento de aguas residuales, ...
Fuente de alimenta...	Eléctrico, Diesel	Presión:	De alta presión, De alta presión
Estructura:	Bomba manual de una sola etapa, Bomba de carcasa dividida	Tamaño de la salida:	8 pulgadas
Tensión:	380-415v	Potencia:	75kw
Certificación:	Rohs, CE, Coc, ISO9001:2008	Poder:	Eléctrico
Flujo (m3/h):	150-2000	(M):	8-100
Velocidad (rpm):	1480	De entrada (mm):	350
Salida (mm):	350	La eficiencia:	86%
Sello del eje:	Sello de embalaje/sello mecánico	Artículo:	Doble de bomba de agua de succión