



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA  
FACULTAD DE INGENIERÍA EN PROCESOS  
INDUSTRIALES  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN  
INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**



**“OPTIMIZACIÓN DEL SECADO DE LA HOJA DE QUINUA  
(*Chenopodium quinoa* Willd.) POR ULTRASONIDO-INFRARROJO-  
VACÍO, Y EVALUACIÓN DE CAPACIDAD  
ANTIOXIDANTE, FENOLES TOTALES Y  
FLAVONOIDES TOTALES”**

**Claudia Paola Molina Ticona**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

**Asesor (a): D. Sc. Elizabeth Huanatico Suarez**

**Co-asesor: M. Sc. Adalibt Jhony Arisaca Parillo**



**Juliaca , 2022**





**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA  
FACULTAD DE INGENIERÍA EN PROCESOS  
INDUSTRIALES  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN  
INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**



**“OPTIMIZACIÓN DEL SECADO DE LA HOJA DE QUINUA  
(*Chenopodium quinoa* Willd.) POR ULTRASONIDO-INFRARROJO-  
VACÍO, Y EVALUACIÓN DE CAPACIDAD  
ANTIOXIDANTE, FENOLES TOTALES Y  
FLAVONOIDES TOTALES”**

**Claudia Paola Molina Ticona**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

**Asesor (a): D. Sc. Elizabeth Huanatico Suarez**

**Co-asesor: M. Sc. Adaliht Jhony Arisaca Parillo**



**Juliaca . 2022**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS  
INDUSTRIALES**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN  
INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**



**“OPTIMIZACIÓN DEL SECADO DE LA HOJA DE QUINUA  
(*Chenopodium quinoa* Willd.) POR ULTRASONIDO-INFRARROJO-  
VACÍO, Y EVALUACIÓN DE CAPACIDAD  
ANTIOXIDANTE, FENOLES TOTALES Y  
FLAVONOIDES TOTALES”**

Claudia Paola Molina Ticona

**TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE  
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

Asesora: D.Sc. Elizabeth Huanatico Suarez

Co-asesor: M.Sc. Adaliht Jhony Arisaca Parillo

Juliaca, 2022

## FICHA CATALOGRÁFICA

Molina, C. (2022). *Optimización del secado de la hoja de quinua (Chenopodium quinoa willd.) por ultrasonido-infrarrojo-vacío, y evaluación de capacidad antioxidante, fenoles totales y flavonoides totales* (Tesis de Ingeniería). Universidad Nacional de Juliaca. Juliaca

**AUTOR:** Claudia Paola Molina Ticona

**TÍTULO:** Optimización del secado de la hoja de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) por ultrasonido-infrarrojo-vacío, y evaluación de capacidad antioxidante, fenoles totales y flavonoides totales.

**PUBLICACIÓN:** Juliaca, 2022

**DESCRIPCIÓN:** Cantidad de páginas (148 pp)

**NOTA:** Tesis de la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias

Universidad Nacional de Juliaca.

**CÓDIGO:** 03\_000016-03/M81

**NOTA:** Incluye bibliografía

**ASESOR:** Dr.Sc. Elizabeth Huanatico Suarez

**Co-Asesor:** M.Sc. Adaliht Jhony Arisaca Parrillo

**PALABRAS CLAVES:**

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA  
FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS INDUSTRIALES  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS  
ALIMENTARIAS

“OPTIMIZACIÓN DEL SECADO DE LA HOJA DE QUINUA  
(*Chenopodium quinoa* Willd.) POR ULTRASONIDO-INFRARROJO-  
VACÍO, Y EVALUACIÓN DE CAPACIDAD ANTIOXIDANTE,  
FENOLES TOTALES Y FLAVONOIDES TOTALES”

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Presentado por:

Claudia Paola Molina Ticona

Sustentado y aprobado ante el siguiente jurado

D. Sc. Olivia Magaly Luque Vilca

PRESIDENTE DE JURADO

Dr. Julio Machaca Yana

JURADO (secretario)

M. Sc. José Manuel Prieto

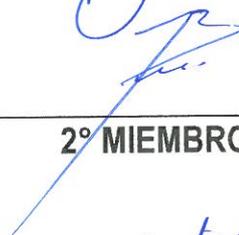
JURADO (Vocal)

D. Sc. Elizabeth Huanatico Suarez

ASESORA DE TESIS



---



---

2° MIEMBRO



---

3° MIEMBRO



---

CO-ASESOR DE TESIS

## **DEDICATORIA**

A Dios, por concederme vida y salud.

A mi madre Guillermina, mi motor y motivo de vida, quien me ha encaminado con sus sabios consejos y amor.

A mi Tía Sonia y Tío Moisés por su apoyo incondicional, amor, comprensión y por enseñarme a nunca rendirme.

A mis hermanas Sandra e Indira, quienes me han acompañado en este trayecto, alentándome a emprender una investigación que abre paso al conocimiento.

A mi madrina María y Tío placido, por ser un ejemplo de personas y brindarme su comprensión y cariño

## **AGRADECIMIENTO**

A la Universidad Nacional de Juliaca; la Escuela Profesional Ingeniería de Industrias Alimentarias, que me ha proporcionado de herramientas técnicas para contribuir al conocimiento de cara a la nutrición e industrialización.

A la Doctora Elizabeth Huanatico Suarez, asesora de tesis, por brindarme tiempo, orientación, comprensión y por aportar en la materialización de esta tesis.

A Magister Adaliht Jhony Arisaca Parrillo, por ser un docente íntegro, que inculca valores y por ser una guía importante durante este proceso.

Al Doctor Julio Machaca Yana de la Universidad Nacional de Juliaca, por ser un docente comprometido con la escuela y por brindarme sus palabras de aliento y motivación durante el proceso de formación universitaria.

A la Ingeniera Denisse Patricia Deza Montoya de la Universidad Agraria la Molina por sus orientaciones y enseñanzas en el análisis estadístico.

A la Ingeniera Martha Ibáñez Tremolada, docente de la Universidad Nacional Agraria la Molina.

Al Doctor Augusto Pumacahua Ramos, de la Universidad Nacional Intercultural de Quillabamba, por su orientación y guía en el desarrollo del modelamiento de secado.

Al Ingeniero Francisco Curro Pérez, por su asesoría y ayuda.

A todas mis amigas y amigos, que contribuyeron y fueron partícipes de esta investigación.

## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE GENERAL.....	vi
ÍNDICE DE TABLA.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	xvi

### CAPÍTULO I

#### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.2.1. Objetivo general.....	3
1.2.2. Objetivos específicos.....	3
1.2. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	4

### CAPÍTULO II

#### REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. LA QUINUA.....	5
2.1.1. Aspectos generales.....	5
2.1.2. Características botánicas y taxonomía de la quinua.....	6
2.1.3. Variedades de quinua en el Perú.....	8
2.2. HOJA DE QUINUA.....	10
2.2.1. Forma de hoja de quinua.....	13
2.2.2. Contenido nutricional de la hoja de quinua.....	13
2.2.3. Propiedades antioxidantes.....	18
2.2.4. Época oportuna para la recolección de la hoja de quinua.....	19
2.2.5. Aplicación de la hoja de quinua en la industria alimentaria.....	20

2.3. PROPIEDADES FUNCIONALES DE LOS ALIMENTOS.....	21
2.3.1.Capacidad antioxidante .....	21
2.3.2.Compuestos fenólicos .....	24
2.3.3.Flavonoides .....	26
2.4. TECNOLOGÍAS EMERGENTES EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA .....	27
2.5. CINÉTICA DEL SECADO. ....	38

**CAPÍTULO III**  
**MATERIALES Y MÉTODOS**

3.1. HIPÓTESIS.....	44
3.1.1.Hipótesis general.....	44
3.1.2.Hipótesis Especificas .....	44
3.2. LUGAR DE ESTUDIO .....	44
3.3. MATERIALES Y EQUIPOS.....	45
3.4. METODOLOGÍA .....	46
3.5. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL .....	50
3.6. DISEÑO EXPERIMENTAL .....	55

**CAPÍTULO IV**  
**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

4.1. EFECTO DE LOS MÉTODOS DE SECADO EN LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTES, FENOLES TOTALES Y FLAVONOIDES TOTALES DE LA HOJA DE QUINUA. ....	56
4.1.1.Capacidad antioxidante de la hoja de quinua.....	56
4.1.2.Hojas de quinua secada por el método combinado (ultrasonido-infrarrojo-vacío)...	57
4.1.3.Hoja de quinua secada por el método aire caliente infrarrojo.....	58
4.1.4.Hojas de quinua secado por el método horno convencional .....	60
4.1.5.Comparación del contenido de la capacidad antioxidante en la hoja de quinua.....	61
4.1.6.Fenoles totales en las hojas de quinua .....	63
4.1.7.Hoja de quinua secada por el método combinado (Ultrasonido Infrarrojo y Vacío). 64	

4.1.8. Hoja de quinua secada por método de secado aire caliente Infrarrojo.....	65
4.1.9. Hoja de quinua secada por método de secado horno convencional.....	66
4.1.10. Comparación del contenido de fenoles totales en la hoja de quinua secada.....	67
4.1.11. Flavonoides en las hojas de quinua fresca.....	69
4.1.12. Hoja de quinua secada por el método combinado (US-IR-Vac).....	70
4.1.13. Hoja de quinua secada por método aire caliente Infrarrojo.....	71
4.1.14. Hoja de quinua secada por método de secado por horno convencional.....	72
4.1.15. Comparación del contenido de flavonoides totales presentes en la hoja de quinua secada.....	73
4.1.16. Optimización de la temperatura en el proceso de secado por los tres métodos.....	75
4.2. EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA TEMPERATURA Y TIEMPO DE SECADO EN LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE, FENOLES TOTALES Y FLAVONOIDES TOTALES.....	76
4.2.1. Efecto de la temperatura sobre el tiempo de secado en la capacidad antioxidante de la hoja de quinua.....	76
4.2.2. Efecto de la temperatura sobre el tiempo de secado en función a los fenoles totales de la hoja de quinua.....	78
4.2.3. Efecto de la temperatura sobre el tiempo de secado en los flavonoides totales de la hoja de quinua.....	79
4.3. PROPIEDADES FUNCIONALES DE LA HOJA DE QUINUA.....	81
4.4. CINÉTICA DE SECADO Y MODELADO DEL METODO US-IR-VAC.....	84
4.4.1. Determinación del tiempo de secado de la hoja de quinua.....	84
4.4.2. Curva de humedad vs tiempo.....	85

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1. CONCLUSIONES.....	92
5.2. RECOMENDACIONES.....	93
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	94
ANEXOS.....	107

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Características de la semilla de algunas variedades de quinua en el Perú .....	9
Tabla 2: Contenido de saponinas en variedades de quinua del Perú .....	10
Tabla 3: Características de la hoja de quinua de variedad Blanca de Juli. ....	11
Tabla 4: características de la hoja de espinaca .....	12
Tabla 5: Perfil nutricional de la hoja de quinua y del grano de quinua.....	14
Tabla 6: Análisis proximal de las hojas de quinua .....	15
Tabla 7: Comparación en contenido de proteína y lípidos de la hoja de quinua fresca con otras hortalizas. ....	15
Tabla 8: Concentración de carotenoides totales en hojas y grano de quinua de diferentes procesos.....	16
Tabla 9. Los aminoácidos de las hojas, con relación de quinua (g/100 g proteína).....	17
Tabla 10: Compuestos y capacidad antioxidante del grano y hojas de quinua. ....	18
Tabla 11: Análisis química de hoja tierna de seis variedades de quinua.....	19
Tabla 12: Condiciones y metodologías de extracción de compuestos por ultrasonido .....	32
Tabla 13. Capacidad antioxidante de la hoja de quinua fresca.....	56
Tabla 14. Efecto del método de secado US-IR-Vac sobre capacidad antioxidante de la hoja de quinua. ....	57
Tabla 15. Capacidad antioxidante de la hoja de quinua secada por el método de infrarrojo .....	59
Tabla 16. Capacidad antioxidante del secado de la hoja de quinua secada mediante el método convencional (estufa de laboratorio).....	60
Tabla 17. Fenoles totales presentes en la hoja de quinua fresca.....	63
Tabla 18. Contenido de fenoles totales en la hoja de quinua secada por el método combinado (US-IR-Vac).....	64
Tabla 19. Contenido fenólico total en la hoja de quinua secada por método aire caliente Infrarrojo .....	65
Tabla 20. Determinación de fenoles total en la hoja de quinua secada por método de horno convencional .....	66
Tabla 21. Contenido de flavonoides totales en la hoja de quinua fresca.....	69
Tabla 22. Contenido de flavonoides totales en la hoja de quinua secada por método combinado.....	70

Tabla 23. Contenido de flavonoides totales en la hoja de quinua secada por aire caliente infrarrojo .....	71
Tabla 24. Contenido de flavonoides en la hoja de quinua secada por horno convencional	72
Tabla 26: Ecuaciones de regresión cuadrática para predecir las variables antioxidantes, fenoles totales y flavonoides totales.....	75
Tabla 26. Resultados del secado de la hoja de quinua por el método combinado.....	84
Tabla 27: Datos del proceso de secado a 40°C, 60°C y 80°C de temperatura por el método US-IR-Vac .....	85
Tabla 28: Valores de la difusividad efectiva $D_{eff}$ obtenidos para las hojas de quinua en diferentes temperaturas de secado por US-IR-Vac.....	87
Tabla 29: Datos obtenidos después del secado por los métodos de US-IR-Vac, Aire Caliente IR y Horno Convencional para la corrida estadística .....	122
Tabla 30: Análisis de Varianza de la capacidad antioxidante .....	123
Tabla 31: Análisis de varianza- compuestos fenólicos totales .....	124
Tabla 32: Analisis de varianza - flavonoides totales .....	125

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Proceso de cultivo de la quinua.....	8
Figura 2: Vistas de la hoja de quinua. ....	11
Figura 3: Estructura química de tipos de fenoles, polifenoles y flavonoides .....	22
Figura 4: Estructura de seis fenoles simples.....	25
Figura 5: Núcleo principal de la estructura de los flavonoides .....	27
Figura 6: Ubicación de elementos en el Ultrasonido Clean .....	30
Figura 7: Proceso de convección.....	34
Figura 8: Esquema de secador por Infrarrojo .....	35
Figura 9: Curva de velocidad de secado.....	40
Figura 10: Velocidad del secado. ....	40
Figura 11: Metodología experimental para el secado de las hojas de quinua. ....	50
Figura 12: Esquema del secador por Ultrasonido–Infrarrojo-Vacío. ....	52
Figura 13: Esquema de secado por aire caliente.....	53
Figura 14: Esquema de secado por horno convencional (estufa) .....	53
Figura 15: Balance de materia del método Ultrasonido-Infrarrojo-Vacío .....	54
Figura 16: Diagrama de cajas métodos de secado en función a la capacidad antioxidante. 61	
Figura 17: Diagrama de cajas de el efecto de la temperatura en la determinación de la capacidad antioxidante .....	62
Figura 18: Diagrama de cajas del efecto del método de secado sobre los fenoles totales... 67	
Figura 19: Diagrama de cajas del efecto de la temperatura sobre los fenoles totales en la hoja de quinua.....	68
Figura 20: Diagrama de cajas de método en función a los flavonoides .....	73
Figura 21: Diagrama de cajas de efecto de la temperatura sobre los flavonoides.....	74
Figura 22: Comparación de métodos por medias Newman – Keuls de la capacidad Antioxidante. ....	76
Figura 23: Comparación de métodos por medias Newman – Keuls de los fenoles totales en las hojas de quinua.....	78
Figura 24: Comparación de métodos por medias Newman – Keuls de contenido de flavonoides totales en la hoja de quinua. ....	79
Figura 25: Análisis de compuestos principales .....	81
Figura 26: Análisis de componentes principales .....	82
Figura 27: Dendograma de los métodos de secado .....	83

Figura 28: Humedad en base seca (Xbs) vs tiempo (s) .....	85
Figura 29: Curva de modelo de secado a 40°C por el método US-IR-Vac. ....	88
Figura 30: Curva de modelos de secado a 60°C por el método de US-IR-Vac.....	88
Figura 31: Modelo de secado a 80°C por el método US-IR-Vac. ....	88
Figura 32: Curva de velocidad de secado de las hojas de quinua a 40°C, 60°C y 80°C.....	89
Figura 33: La imagen muestra la planta en pleno desarrollo a los 30 días del sembrío ....	107
Figura 34. La hoja de quinua en condiciones óptimas para ejecutar el proyecto. ....	107
Figura 35: Perfil de las hojas de quinua para ejecutar el proyecto. ....	108
Figura 36: Selección de las hojas de quinua para realizar ejecutar el proyecto. ....	108
Figura 37: Peso del volt para pesar las muestras .....	109
Figura 38: Selección de las hojas de quinua.....	109
Figura 39: Limpieza y desinfección de las hojas de quinua .....	109
Figura 40: Pesado muestras de hoja de quinua para el secado por Infrarrojo .....	110
Figura 41: Equipo de secado de Infrarrojo .....	110
Figura 42: Equipamiento del sistema de secado de Infrarrojo .....	111
Figura 43: Envasado de las hojas de quinua después del secado .....	111
Figura 44: Selección y Desinfección de la muestra de hoja de quinua .....	112
Figura 45: Pesado de la muestra para la aplicación de secado por horno convencional ...	112
Figura 46: Equipamiento del sistema de secado por Horno Convencional de la hoja de quinua .....	113
Figura 47: Selección y desinfección de hoja de quinua para el método de secado de US-IR- V .....	113
Figura 48: Pesado de la muestra de hoja de quinua.....	114
Figura 49: Equipamiento de sistema de secado por US-IR-V .....	115
Figura 50: Muestras de hoja de quinua fresca y deshidratada.....	115
Figura 51: Envasado de las hojas de quinua después del proceso de secado. ....	116
Figura 52: Imágenes de las determinaciones de propiedades funcionales .....	116
Figura 53: Resultados de la capacidad antioxidante en l ahoja de quinua deshidratada por tres métodos de secado.....	119
Figura 54: Resultados de los fenoles totales en la hoja de quinua deshidratada .....	120
Figura 55: Resultados de contenido de flavonoides totales en la hoja de quinua .....	121

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Imagenes obtenidas durante la ejecucion de la investigacion.....	107
Anexo 2. Método de secado por infrarrojo.....	110
Anexo 3. Resultados del secado de hojas de quinua por horno convencional.....	112
Anexo 4. Método de secado por Ultrasonido-Infrarrojo-Vacío.....	113
Anexo 5. Ecuaciones aplicadas para adecuación a la segunda ley de Fick.....	117
Anexo 6. Resultados de los análisis de laboratorio.....	119
Anexo 7. ANOVA.....	122
Anexo 8. Tabla de datos de cinética de secado 40°C.....	126
Anexo 9. Tabla de datos de cinética de secado 60°C.....	128
Anexo 10. Tabla de datos de cinética de secado 80°C.....	129
Anexo 11. Balance de energía durante el secado.....	130

## RESUMEN

Las hojas de quinua son una fuente importante de vitaminas, minerales y compuestos funcionales, sin embargo, es necesario conocer métodos de secado como alternativa para la industrialización. El objetivo del estudio, fue optimizar el secado de la hoja de quinua (variedad Blanca de Juli) por el método de secado Ultrasonido-Infrarrojo-Vacío y evaluar la capacidad antioxidante (CA), fenoles totales (FT) y flavonoides totales (FlaT), se sometió a secado por los métodos de (ultrasónico-infrarrojo-vacío, aire caliente IR y horno convencional), con el fin, de comparar y evaluar el método más efectivo en cuanto a tiempo y propiedades funcionales se refiere, sometiendo a temperaturas de secado (40°C, 60°C y 80°C). Para la determinación de la CA, FT, FlaT aplicó las metodologías de; DPPH espectrofotómetro, Folin Ciocalteu y Tricloruro de aluminio respectivamente. El método de secado por Ultrasonido-Infrarrojo-vacío se adecuó en una estructura diseñado para este proceso, el secado por aire caliente IR utilizando una lámpara infrarroja de 250 Watts y para el secado por horno convencional, se realizó en la estufa de laboratorio. El resultado de ANOVA mostró que los efectos de los métodos de secado, la temperatura de secado y su efecto de interacción sobre la CA, FT y FlaT fueron altamente significativos a un nivel  $P > 5\%$ . Sin embargo, la capacidad antioxidante se expresa mejor a 40°C por el método IR con un valor de 6.95 Trolox CI50 mg/100g, los fenoles totales y flavonoides totales se expresan mejor a 60°C por horno convencional con valores de 779.93 EQ-Ac gálico mg/100g y 530.95 EQ-Quercetina mg/100g respectivamente. La Difusividad Efectiva de secado a 40°C fue con  $5.6 \cdot 10^{-12} \text{ m/s}^2$ , 60°C fue de  $2.3838 \cdot 10^{-11}$  y a 80°C con  $5.1457 \cdot 10^{-11} \text{ m/s}^2$ . Concluyendo así, que los métodos de secado aplicados en la presente investigación afectan significativamente en sus componentes funcionales de las hojas de quinua.

**Palabras clave:** Antioxidante, Fenoles, Flavonoides, Hoja de quinua, Infrarrojo, Secado y Ultrasonido.

## ABSTRACT

Quinoa leaves are an important source of vitamins, minerals and functional compounds; however, it is necessary to know drying methods as an alternative for industrialization. The objective of the study was to optimize the drying of the quinoa leaf (Blanca de Juli variety) by the Ultrasound-Infrared-Vacuum drying method and to evaluate the antioxidant capacity (AC), total phenols (TF) and total flavonoids (FlaT), was subjected to drying by the methods of (ultrasonic-infrared-vacuum, IR hot air and conventional oven), in order to compare and evaluate the most effective method in terms of time and functional properties, subjecting to temperatures of drying (40°C, 60°C and 80°C). For the determination of the CA, FT, FlaT applied the methodologies of; DPPH spectrophotometer, Folin Ciocalteu and Aluminum Trichloride respectively. The Ultrasound-Infrared-vacuum drying method was adapted in a structure designed for this process, IR hot air drying using an infrared lamp of 250 Watts and for conventional oven drying, it was carried out in the laboratory oven. The ANOVA result showed that the effects of drying methods, drying temperature and their interaction effect on CA, FT and FlaT were highly significant at  $P > 5\%$  level. However, the antioxidant capacity is better expressed at 40°C by the IR method with a value of 6.95 Trolox CI50 mg/100g, total phenols and total flavonoids are better expressed at 60°C by conventional oven with values of 779.93 EQ- Ac gallic mg/100g and 530.95 EQ-Quercetin mg/100g respectively. The Effective Diffusivity of drying at 40°C was  $5.6 \times 10^{-12}$  m/s<sup>2</sup>, 60°C was  $2.3838 \times 10^{-11}$  and at 80°C it was  $5.1457 \times 10^{-11}$  m/s<sup>2</sup>. This concluding that the methods of drying applied in the present investigation significantly affect the functional components of quinoa leaves.

**Key words:** Antioxidant, Phenols, Flavonoids, Quinoa Leaf, Infrared, Drying and Ultrasound.

## INTRODUCCIÓN

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) es una planta herbácea de amplia difusión geográfica, cultivada por más de 700 años, existe una gran cantidad de variedades, una de las variedades más resaltantes y comercializadas en el Perú es la Blanca de Juli (Veloza *et al.*, 2016). Es un grano andino considerado como alimento básico por culturas indígenas de la región andina (Mujica *et al.*, 2001). Sobre su valor nutricional, Repo-Carrasco *et al.* (2012) indica que los granos tienen una importante proporción de aminoácidos azufrados, propiedades restauradoras del sistema inmunológico y un elevado contenido de proteína 14% – 19%.

Por otro lado, se sabe que el avance en el desarrollo de la biotecnología vegetal es una realidad que se ha ido desarrollando desde más de 50 años, principalmente en la propagación de especies vegetales (Diaz, 2021). Dicho mecanismo de desarrollo tiene como función estudiar los vegetales como; la hoja de quinua, es una fuente de nutrientes y contiene propiedades funcionales poco conocida por la población, considerada como una súper verdura (Ramirez, 2015). Las propiedades funcionales se consideran como; vitaminas o minerales propias de un vegetal, tubérculo o grano andino que ayudan a prevenir o curar algún tipo de enfermedad y según estudios realizados; la hoja de quinua tiene una gran cantidad de antioxidantes como el “ácido gálico”, “kaempferol”, “ferulico”, “sapínico”, “eidorhamntin” que se encuentran asociadas con su efecto inhibitorio sobre la proliferación de células de cáncer, los compuestos fenólicos presentes en la hoja pueden ejercer un efecto quimiopreventivo y anticancerígeno, por su alta bioaccesibilidad y biodisponibilidad de los compuestos probablemente responsables de estos efectos (Złotek *et al.*, 2019).

Entre los retos importantes de la industria alimentaria se encuentra la conservación de alimentos, por ende, constantemente se impulsa a desarrollar de nuevas técnicas de secado aplicando métodos poco comunes, pero más eficaces. Conforme va pasando el tiempo se van integrando nuevas metodologías de secado como; el ultrasonido, infrarrojo, etc. entre otros con el objetivo de reducir el 15% del nivel de agua en los vegetales e inhibir el crecimiento microbiano y minimizar los cambios bioquímicos (Hosseinzadeh *et al.*, 2018). Estudios indican que el ultrasonido en el proceso de secado, disminuye el tiempo de secado por el sonido acústico que presenta y conserva su calidad de la muestra (Ozuna y Ochoa, 2012).

Este estudio, con el objetivo de optimizar el método de secado por Ultrasonido-Infrarrojo-vacío, y evaluar la capacidad antioxidante, fenoles totales y flavonoides totales en la hoja de

quinua de variedad Blanca de Juli, se pretende realzar los componentes bioactivos informando a la sociedad sobre el contenido nutricional y la importancia del consumo de este vegetal que muchas veces es ignorado y desechado por los agricultores; por eso es necesario difundir más investigaciones para promoverlas y motivar el consumo e inclusión en la dieta alimentaria.

## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La hoja de quinua, es una fuente de micronutrientes por su alto contenido vitaminas, minerales y compuestos funcionales como; la actividad antioxidante, fenoles y flavonoides (Villacrés *et al.*, 2022). El contenido de proteínas en la hoja de quinua es de 27.84%, presentan hidratos de carbono 40.78% y grasa 3.5%, mientras que el grano de quinua presenta del 12% a 18% de proteína (Ramirez, 2015).

Por otro lado, los estudios realizados establecen que el consumo de 400-600g de hortalizas y frutas reducen el riesgo de padecer enfermedades como el cáncer, debido al contenido de sustancias fitoquímicas que pueden modular la expresión génica e inhibir la carcinogénesis (Villacres *et al.*, 2014). Las hojas de quinua son caracterizadas por un alto contenido de compuestos fenólicos, de los cuales alrededor del 80% están biodisponibles en condiciones *in vitro* (Złotek *et al.*, 2021). Así mismo, se ha demostrado que las hojas de quinua poseen actividad antioxidante debido a su contenido de fenoles que inhiben el estrés oxidativo causado por las especies reactivas de oxígeno (Chen *et al.*, 2017).

En la actualidad, existe un creciente interés por la alimentación funcional, debido al incremento de la desnutrición y de diversas enfermedades en la región de Puno y a nivel mundial, hechos que motivan a investigar en nuevos productos cuyo consumo reduzca el riesgo de padecer enfermedades y que ejerza efectos promotores de la salud. Sin embargo, existen problemas de desconocimiento de los compuestos bioactivos y su aplicación en la industria alimentaria es reducida, ya que aún está en la fase de investigación.

En el Perú y en la región Puno (zona productora de granos andinos) no se valora industrialmente los múltiples beneficios de la hoja de quinua; por eso es necesario difundir más investigaciones y promover la aplicación en la industria alimentaria.

Encontrar fuentes naturales con alto contenido de antioxidantes, fenoles y flavonoides totales es un reto y la importancia radica en usarlos como agentes de prevención de ciertas enfermedades y mejorar calidad de vida es importante. Los métodos de secados son técnicas empleadas desde tiempos remotos con la única finalidad de disminuir su peso, volumen y prolongar su vida útil, el secado consta de dos etapas; introducción de calor al producto y eliminar una gran cantidad de agua (López y Garcia, 2016).

La introducción de nuevas tecnologías emergentes de secado puede conducir a una reducción del tiempo de proceso, mejorando la eficiencia energética en las operaciones de secado y calidad de los productos secos (Ozuna y Ochoa, 2012). En los últimos años la tecnología de los ultrasonidos se ha considerado como una herramienta valiosa en los procesos de ingeniería de alimentos basándose en dos enfoques muy diferentes: ultrasonido de baja intensidad y ultrasonido de alta intensidad (Singla y Sit, 2021).

El secado por infrarrojo es un método escasamente explorado en la industria alimentaria, durante el secado por infrarrojo, el producto se calienta directamente por absorción de infrarrojos; energía en forma de ondas electromagnéticas, por transferencia de calor desde el aire caliente, una de sus ventajas principales es que se trata de un procedimiento no destructivo (Ramos, 2016). Sin embargo, hay un creciente interés por otras tecnologías centradas en la reducción del consumo de energía y tiempo en el secado.

El método de secado por ultrasonido-infrarrojo-vacío (método combinado) es una de las tecnologías que aún está en la fase de investigación, y evaluar las propiedades funcionales de la hoja de quinua secada permitirá comparar con los métodos convencionales, es por estas razones que se planteó las siguientes interrogantes:

#### **1.1.1. Pregunta general**

- ¿Cómo optimizar el secado de la hoja de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) por ultrasonido-infrarrojo-vacío y evaluar la capacidad antioxidante, fenoles totales y flavonoides totales?

#### **1.1.2. Preguntas específicas**

- ¿En qué medida afecta el método de secado en las propiedades funcionales de las hojas de quinua?

- ¿Cómo afecta la temperatura y los métodos de secado en el tiempo de secado y las propiedades funcionales de las hojas de quinua?
- ¿Cuál temperatura es óptima para la velocidad de secado en las hojas de Quinua por el método Ultrasonido-Infrarrojo y Vacío?

## **1.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.2.1. Objetivo general**

- Optimizar el secado de la hoja de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) por ultrasonido-infrarrojo-vacío y evaluar la capacidad antioxidante, fenoles totales y flavonoides totales

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Determinar el efecto del método de secado en la capacidad antioxidante, fenoles totales y flavonoides totales de la hoja de quinua
- Evaluar el efecto de la temperatura de secado sobre el tiempo de secado y la actividad antioxidante, fenoles totales y flavonoides totales de la hoja de quinua
- Modelar la velocidad de secado del método de secado ultrasonido-infrarrojo-vacío de las hojas de quinua.

## 1.2. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) es cultivado principalmente en Perú, Ecuador y Bolivia. En el Perú una de las regiones que predominan en la producción de la quinua es Puno, con un 45.2% equivalente a 39.6 mil toneladas de producción y dentro de las variedades más comercializadas se encuentra la quinua de variedad Blanca de Juli (MINAGRI, 2021). Según Tanacca *et al.* (2018), indica que el 30% de los vegetales durante el proceso de siembra y cosecha son desechadas por el agricultor, dentro de ellas la hoja de quinua. La hoja de quinua ha demostrado su alto valor nutricional, con una fuente importante de vitaminas, minerales y compuestos funcionales como; capacidad antioxidante, fenoles totales y flavonoides totales. Hoy en día el interés por consumir alimentos funcionales provenientes de productos naturales, que se usan como agentes para la prevención de ciertas enfermedades es necesario, ante ello, la hoja de quinua puede ser una alternativa efectiva.

Sin embargo, la hoja de quinua no se aprovecha de manera eficiente para su consumo, en el ámbito de la industria alimentaria aún no se valora los beneficios de la hoja de quinua. Es por esa razón, que resulta imprescindible la intervención bajo un proceso industrial, que aporte con la conservación de los alimentos y sea más efectivo con el tiempo. En las últimas décadas el avance tecnológico ha sido uno de los pilares para facilitar evidencias científicas generando aportes en la cadena alimentaria y descubriendo valores nutricionales. Por ello impulsar a la industria alimentaria a aplicar nuevas metodologías de conservación resulta importante, a fin de prolongar la vida útil conservando sus propiedades funcionales y características organolépticas, en el interés de plantear nuevas tecnologías de conservación es que se plantea el método de secado por ultrasonido-infrarrojo-vacío, aire caliente infrarrojo y horno caliente, aportando así con la industria alimentaria.

Las metodologías de secado aplicadas en la presente investigación, para evaluar las propiedades funcionales de la hoja de quinua y sometiendo a los métodos de secado por: ultrasonido-infrarrojo-vacío, aire caliente por infrarrojo y horno convencional se realizó con el fin de optar por el método más eficaz para la aplicación futura de secado de la hoja de quinua y de esa manera generar nuevos productos a partir de la hoja de quinua y promover el consumo de la misma en diferentes presentaciones.

## **CAPÍTULO II**

### **REVISIÓN DE LITERATURA**

#### **2.1. LA QUINUA**

##### **2.1.1. Aspectos generales**

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) según Velasco *et al.* (2015) es un grano andino que ha sido cultivada por más de 7000 años, considerada un alimento básico por las culturas indígenas de la región andina, reconocida por la ONU (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la agricultura) y la OMS (Organización Mundial de la Salud) como uno de los alimentos del presente y futuro a nivel mundial (Valencia *et al.*, 2017).

En la actualidad se encuentra en un proceso de expansión, porque, la quinua representa un alimento potencial para mejorar las condiciones de vida de la población y del mundo moderno (Pando y Castellanos, 2016). La quinua fue descrita por botánicos Willdenow en 1778, como especie nativa de Sudamérica y el centro de origen se encuentra en los Andes de Bolivia y Perú, quien indica que su área de dispersión geográfica es bastante amplia, no sólo por su importancia social y económica, sino porque se encuentra la mayor diversidad de ecotipo (Ramirez, 2015).

La producción de quinua en Perú, según las estadísticas del Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI) pasó; de 30 mil toneladas el 2008 a 86 mil toneladas en 2018, con una tasa de crecimiento anual de 14.2%. El año 2019, el primer productor de quinua fue el departamento de Puno, su participación se incrementó respecto al año 2014 (Rosales y Mercado, 2020). Sin embargo según datos recientes indican que dentro de las regiones más productoras de granos andinos esta la región de Cusco, Ayacucho y Apurímac aportando el 75.5% de la producción Nacional (MINAGRI, 2021a).

La quinua debido a su alto valor nutricional, adaptabilidad a diferentes condiciones agroecológicas, tolerancia a suelos salinos, resistencia a altas temperaturas y la poca absorción de agua, es un grano andino importante y según la Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos, es considerado uno de los mejores alimentos vegetales por su aporte nutritivo, ya que presenta un alto contenido proteico de 13.81% a 21.9% (Valeiro, 2013). Según la variedad, con una composición balanceada de aminoácidos similar a la caseína, vitaminas y minerales esenciales (calcio, magnesio, zinc y hierro), así como, polifenoles y fibra dietética (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 2015).

### **2.1.2. Características botánicas y taxonomía de la quinua**

Según Mujica *et al.* (2001), la quinua está ubicada dentro de la sección Chenopodia y se muestra en la siguiente posición taxonómica de la quinua:

Reino: *Vegetal*

División: *Fanerógama*

Clase: *Dicotiledóneae*

Orden: *Centrospermales*

Familia: *Chenopodiaceae*

Género: *Chenopodium*

Especie: *Chenopodium quinoa*

Nombre científico: *Chenopodium quinoa* Willd.

La quinua es una planta herbácea, de amplia dispersión geográfica, presenta características particulares en su morfología, coloración y comportamiento en diferentes zonas agroecológicas donde se cultiva según su ecotipo, presenta una variación para adaptarse desde zonas áridas, hasta zonas húmedas y tropicales, desde zonas frías hasta templadas y cálidas, tolerante a los factores abióticos adversos como la sequía, helada, salinidad de suelos y otros que afectan a las plantas cultivada (Valencia *et al.*, 2017). Su período vegetativo varía desde los 90 hasta los 240 días, crece con precipitaciones desde 200 a 2600 mm anuales, se adapta a suelos ácidos de pH 4.5 hasta alcalinos con pH de 9.0, sus semillas germinan hasta con 56 mmhos/cm de concentración salina (Iturrizaga, 2013).

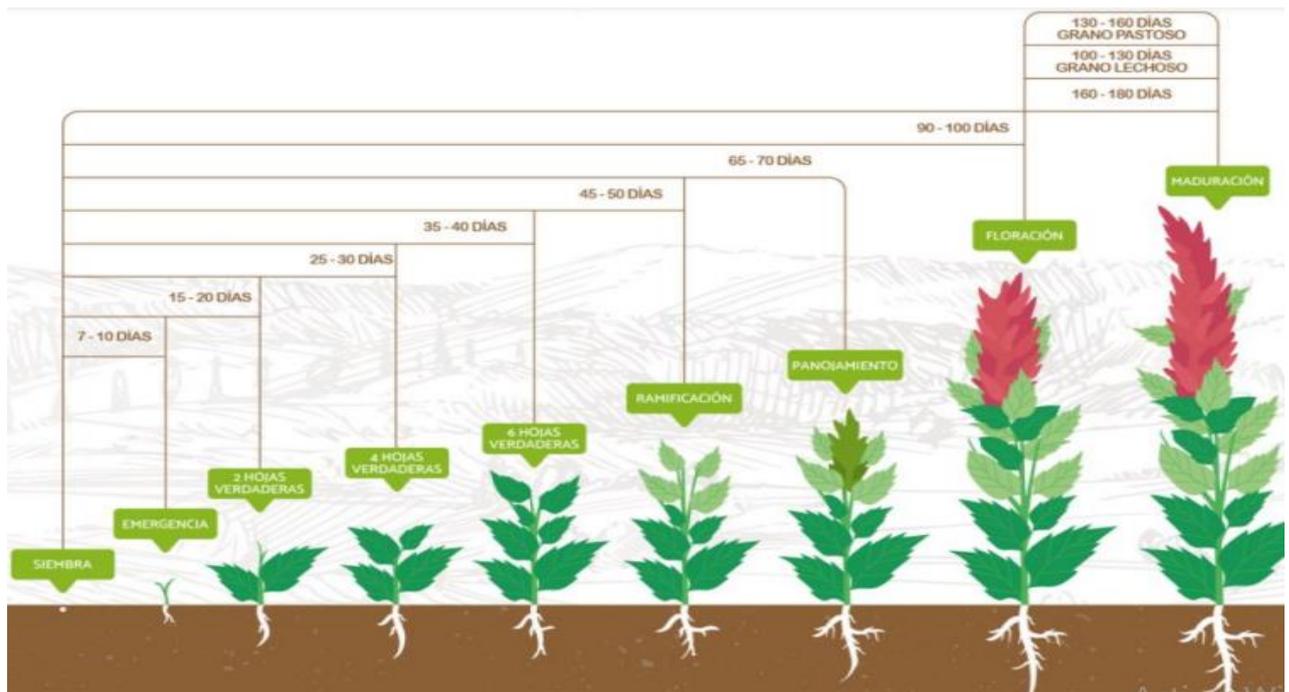
La planta es empinado, alcanza alturas desde 0.30 a 3 m, dependiendo del tipo de quinua, de los genotipos, los ecotipos, el medio ecológico donde se cultiven, de las condiciones ambientales y de la fertilidad de los suelos (Mujica *et al.*, 2001). La raíz pivotante vigorosa y profunda que puede alcanzar hasta 1.80 cm de profundidad, bastante ramificada y fibrosa, lo cual le confiere tolerancia a la sequía y buena estabilidad (Iturrizaga, 2013).

El tallo tiene forma cilíndrica en la base tornándose anguloso a partir de la zona donde emergen las hojas y ramas, en forma alternada. El color del tallo puede ser verde, amarillo, rojo, púrpura, naranja o verde dependiendo del ecotipo, raza o densidad de siembra (Corrales, 2016).

Las hojas son alternas y están formadas por peciolo y lámina, los peciolos son largos, finos y acanalados en su parte superior, de longitud variable dentro de la misma planta (Vazquez-Luna *et al.*, 2019). La lámina es polimorfa en la misma planta, de forma romboidal, triangular o lanceolada, plana u ondulada, algo gruesa, carnosa y tierna, cubierta por cristales de oxalato de calcio, de colores rojo, púrpura o cristalino, tanto en el haz como en el envés, las cuales son bastante higroscópicas, captando la humedad atmosférica nocturna (Iturrizaga, 2013).

La inflorescencia es una panoja con una longitud que varía de 15 a 70 cm, las panojas pueden ser claramente diferenciadas y terminales o no diferenciadas debido al tipo de ramificación del eje principal. En función a los glomérulos en las ramas son clasificadas por su forma en glomeruladas, amarantiformes e intermedias y presenta diversos colores: verdes, amarillas, naranjas, rosadas, rojas, granates, púrpuras, violetas, marrón, gris y negras (Equivel, 2019).

La quinua es una planta ginomonoica. es decir, tiene flores hermafroditas y pistiladas (femeninas) en la misma inflorescencia, está constituida por un perigonio. Las flores están agrupadas en glomérulos en el ápice del glomérulo se localizan las flores hermafroditas y alrededor de ellas las flores pistiladas o femeninas (Jimenez, 2013). Las flores son pequeñas que alcanzan un tamaño máximo de 3 mm en caso de las hermafroditas y las pistiladas son más pequeñas (Mujica *et al.*, 2001). En la Figura 1, se muestra las etapas fenológicas de la planta de quinua.



**Figura 1: Proceso de cultivo de la quinua**

FUENTE: MINAGRI (2021).

### 2.1.3. Variedades de quinua en el Perú

La quinua, se ha difundido especialmente en Bolivia, Perú y Ecuador. Esta planta presenta una gran variabilidad y diversidad (Złotek *et al.*, 2021). Se pueden clasificar sus variedades o ecotipos en 5 categorías básicas según su adaptación a las características geográficas: quinua del valle, quinua del altiplano, quinua de terrenos salinos, quinua del nivel del mar y quinua subtropicales con diferentes condiciones de humedad relativa, altitud y es capaz de hacer frente a cambios de temperatura que oscilan entre  $-8^{\circ}\text{C}$  hasta  $38^{\circ}\text{C}$  (Reyes *et al.*, 2006).

Según información del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) existen alrededor de 100 cultivares de quinua, cuyos granos son preparados de diversas maneras para su consumo directo y transformados en múltiples derivados (Apaza *et al.*, 2013). En el Perú hay 3 mil eco tipos de las cuales el INIA conserva el material genético de alrededor 2 mil eco tipos (Santilla, 2015). Y se han descrito cultivos de variedades de quinua desde el nivel del mar hasta más de 4000msnm; sin embargo, el rango óptimo de desarrollo está entre los 2500 y 4000 msnm. (Reyes *et al.*, 2006). La Tabla 1, presenta las variedades de quinua, color del grano, forma y tamaño aproximado (Ramírez, 2015).

**Tabla 1: Características de la semilla de algunas variedades de quinua en el Perú**

<b>Variedades</b>	<b>Color grano</b>	<b>Forma</b>	<b>Tamaño (mm)</b>
Sajama	Blanco	Cónica	2.0 - 2.5
Real	Blanco	Cónica	2.2 – 2.8
Kencolla	Blanco	Cónica	1.2 – 1.9
Blanca de July	Blanco	Cónica	1.2 – 1.6
Koitu	Marrón ceniciento	Esferoidal	1.8 – 2.0
Misa Jupa	Blanco-Rojo	Cónica	1.4 – 1.8
Amarilla Marangani	Amarillo anaranjado	Cónica	2.0 – 2.8
Tunkahuan	Blanco	Redondo aplanado	1.7 – 2.1
Ingapirca	Blanco opaco	Esférico	1.7 – 1.9
Imbaya	Blanco opaco	Esférico	1.8 - 2.0
Cochasqui	Blanco opaco	Esférico	1.8 – 1.9
Witulla	Morado	Lenticular	1.7 – 1.9
Negra de Orura	Negro	Redonda	2.1 – 2.8
Katamari	Plomo	Esferoidal	1.8 – 2.0
Roja Coporaque	Purpura	Cónica	1.9 – 2.1
Oledo	Blanco	Cónica	2.2 – 2.8
Pandela	Blanco	Cónica	2.2 – 2.8
Chullpi	Cristalino	Esférica aplanado	1.2 – 1.8
Blanca de Junin	Blanco	Esférica aplanado	1.2 – 2.5

FUENTE: Mujica *et al.* (2001).

La saponina es un componente tensoactivo de la quinua y se define como un metabolito secundario, abundante en las plantas del género *Chenopodiaceaea*, siendo uno de los principales anti-nutrientes que tiene las plantas de *Chenopodium quinoa* y que le concede característica amarga a sus granos, hojas, tallos y panojas (García-Parra *et al.*, 2018). Sin embargo, Fiallos-Jurado *et al.* (2016) define la saponina como un gran grupo de bioactivos especializados estructuralmente, metabolitos producidos por muchas especies vegetales, anfipáticos compuesto por un esqueleto triterpenoi de hidrófobo y restos de azúcar hidrófilos. El contenido de saponina en la quinua, su contenido y adherencia en los granos es gradual y dependiendo de la variedad. Sin embargo, la presencia de una escala gradual de contenido de saponina indicaría más bien su carácter poligénico (Ahumada *et al.*, 2016).

A continuación, se presenta la Tabla 2, donde muestra las variedades de quinua y el nivel de contenido de saponina.

**Tabla 2: Contenido de saponinas en variedades de quinua del Perú**

<b>VARIEDAD</b>	<b>CONTENIDO%</b>
Hualhuas	Bajo
Amarilla de Marangani	Alto
Witulla	Medio/Alto
Tahuaco	Alto
Blanca de Juli	Medio
Blanca y rosada de Junín	Bajo
Chaweka	Bajo
Kancolla	Alto
Kancolla	5.6-7.5

FUENTE: Ahumada *et al.* (2016).

## 2.2. HOJA DE QUINUA

Las hojas de quinua se consideran vegetales nutritivos, y en peso seco presentan un mejor perfil que los granos. Es diferente de los cereales porque tiene todos los aminoácidos requeridos; es también el único alimento de origen vegetal que puede reemplazar la proteína animal (Vazquez-Luna *et al.*, 2019). Según, la Real Academia Española (RAE) actualización 2020, define a la verdura como hortaliza especialmente de hojas verdes, comestibles que se cultivan y sirven para la alimentación humana. Las verduras se clasifican en hortaliza de hojas (lechuga, acelga y espinaca) tallo (apio), raíz (zanahoria), tubérculo (papa), bulbo (cebolla) y flor (brócoli). Bajo el concepto de verdura, las hojas de la planta de quinua son consideradas como verdura; nutricional y funcional, según estudios realizados las hojas de quinua aportan con 322,02 Kcal por 100 gramos, presentan un mejor perfil nutricional que el grano.

Su valor nutricional de las hojas de quinua es superior con 27.84%, presentan también carbohidratos 40.78%, grasa 35%, y constituyen una fuente económica de vitaminas, minerales y un 28% de proteína como la leucina, mientras que el grano posee entre el 12% a 18% de proteína y propiedades funcionales como polifenoles, antioxidantes y flavonoides. (Castel, 2017).

La hoja de quinua de variedad Blanca de Juli se caracteriza por tener unos bordes inferiores dentados, con 12 a 25 dientes en la hoja, una longitud máxima de 3.6 a 4.8 cm del peciolo, longitud máxima de las hojas de 7.8 a 8.8 cm, con una anchura máxima de 6 a 7.40 cm de color verde. Por otro lado, Ninaraqui (2015), determinó el espesor de la hoja de quinua en la variedad salcedo INIA, mediante un vernier digital, en donde el resultado estimado es de  $0.5167\pm 0.093\text{mm}$ , tal como se presenta en la Tabla 3 y en la Figura 2.

**Tabla 3: Características de la hoja de quinua de variedad Blanca de Juli.**

<b>Características de la hoja de quinua</b>	
<b>Bordes de las hojas inferiores</b>	<b>Dentado</b>
Dientes de las hojas	12 a 25 dientes
Longitud máxima del peciolo	3.60 a 4.80 cm
Longitud máxima de las hojas	7.80 a 8.80 cm
Anchura máxima de las hojas	6.00 a 7.40 cm
Color de las hojas	Verde
Espesor de las hojas	$0.5167\pm 0.093\text{mm}$ .

FUENTE: Apaza *et al.* (2013); Ninaraqui (2015).



**Figura 2: Vistas de la hoja de quinua.**

En la Figura 2 se muestra la estructura física de la hoja de quinua y en contraste en estructura física y contenido nutricional, se asemeja es la hoja de espinaca. En la Tabla 4, se describe la estructura física de la hoja de espinaca; como el tamaño en largo, ancho, diámetro, espesor y contenidos de humedad.

El nombre completo *Chenopodium quinoa* Willd., incluye la abreviación del autor correspondiente a Carl Ludwig Willdenow. Las especies *Chenopodium quinoa* Willd. Incluyen las formas de maleza domesticadas y silvestres (Fiallos-Jurado *et al.*, 2016).

La clasificación taxonómica según Takhtajan (2009) es la siguiente:

División : Magnoliophyta  
 Clase : Magnoliopsida  
 Subclase : Caryophyllidae  
 Orden : Caryophyllales  
 Familia : Chenopodiaceae  
 Subfamilia : Chenopodioideae  
 Tribu : Chenopodieae  
 Género : *Chenopodium*  
 Especie : *Chenopodium quinoa*

**Tabla 4: Características de la hoja de espinaca**

<b>Característica de la hoja de espinaca</b>	
Largo	2 - 30cm
Ancho	15 cm
Diámetro	3 a 4 mm
Espesor	0.42 a 0.28 mm
Contenido de humedad	12.01

FUENTE: Herrera (2009).

### **2.2.1. Forma de hoja de quinua**

La hoja como la de todas las dicotiledóneas, está formada por el peciolo y lámina, los peciolos son largos, finos y acanalados en su lado superior y de un largo variable dentro de la misma planta. Las que nacen directamente del tallo son más largos y los de las ramas primarias más cortos, la lámina es poliforme en la misma planta, siendo las láminas de las hojas inferiores de forma romboidal o triangular y de las superiores lanceoladas o triangulares, las hojas de los diferentes ecotipos son características de gran valor para propósitos taxonómicos (Morales y Montesdeoca, 1986). Sin embargo, Tapia (1979) nos dice que por lo general la lámina es plana, pero en ciertas razas de valles puede ser ondulada, dando a la planta un aspecto peculiar. La lámina de las hojas jóvenes normalmente está cubierta de papilas, que cubren también los tallos y las inflorescencias. Las papilas son esferoidales o globosas de 4 mm de diámetro, blancas, purpuras o rojas, tanto en la cara como en el anverso, algunas veces las hojas son brillantes y carentes de papilas.

Por otra parte, Diaz (2021) en su investigación a la aclimatación de plántulas de cañahua, variedad Cupi, hace referencia a la hoja de la planta e indica que se tienen que caer si o si y en el proceso se tienen que desarrollar otras hojas. Las plantas que son propagadas en condiciones normales poseen impermeabilidad; las hojas se ponen amarillentas se caen. La coloración de las hojas de quinua varía de verde claro a verde oscuro, las que a su vez van transformando en amarillas, rojas o púrpuras según su estado de maduración (ITP, 2014).

### **2.2.2. Contenido nutricional de la hoja de quinua**

Las hojas de quinua en peso aportan con 322.02 Kcal por 100 gr, presentan un mejor perfil nutricional en comparación al grano de quinua como se muestra en la Tabla 5. Los nutrientes concentrados en las hojas de quinua tienen un bajo índice de nitrato y oxalato, componentes considerados elementos perjudiciales en la nutrición (Silva, 2017). El poder nutritivo de las hojas de quinua radica en su gran riqueza de minerales y vitaminas; ya que de 100 gr poseen; 3.7 mg de zinc, 8.87 mg de hierro y 410 mg de magnesio, este contenido se enmarca en la cantidad recomendada para hombres adultos (400-420 mg) y supera la porción recomendada para mujeres adultas (310-320 mg), y vitaminas que de 100 gr poseen 19.49 mg vitamina C, 311.22 µg de vitamina A y 0.03 mg de ácido fólico (Vazquez-Luna *et al.*, 2019). Razón por la cual la hoja de quinua debería ocupar un lugar predominante en la dieta alimentaria (Villacres *et al.*, 2014). En el Tabla 5, se observa la comparación en contenido de proteína y lípidos de la hoja de quinua fresca con otras hortalizas, mientras que en el Tabla 6, se

encuentra el análisis químico de algunas hojas tiernas en algunas variedades de quinua (Ramirez, 2015).

**Tabla 5: Perfil nutricional de la hoja de quinua y del grano de quinua**

Parámetro	Hojas		Grano	Unidad de medida
	Peso fresco	Peso seco	Peso seco	
Humedad	81.84	5.23	12	%
Cenizas	3.65	19.86	1.96	%
Extracto etéreo	0.64	3.50	6.00	%
Proteína	5.11	27.84	16.7	%
Fibra	1.47	8.02	8.81	%
Carbohidrato	7.49	40.78	66.73	%
Calorías	69.10	322.02	404.94	Kcal/100 gr
Calcio	0.51	2.79	0.18	%
Fosforo	0.12	0.63	0.32	%
Magnesio	0.41	2.28	0.16	%
Potasio	0.87	4.74	0.33	%
Sodio	0.01	0.05	0.02	%
Cobre	1.47	8.00	0.6	Ppm
Hierro	88.68	483.00	7.8	Ppm
Manganeso	6.96	38.00	1	Ppm
Zinc	37.45	204.00	3.3	Ppm
Ácido ascórbico	19.49	358.00	---	Mg/100g
Ácido fólico	0.003	0.18	1.68	Mg/100gr

FUENTE: Villacres *et al.* (2014).

Las propiedades funcionales de la hoja de quinua se basa en que reduce el riesgo de padecer diabetes tipo 2, mejora la sensibilidad a la insulina, favorece al sistema inmunitario, reduce el riesgo a la hipertensión arterial, evita procesos degenerativos (ciertos tipos de cáncer, enfermedades cardiovasculares del sistema inmune) y por la presencia de ácido fólico previene ciertas mal formaciones nerviosas y problemas congénitos del cerebro y de la medula espinal (Poveda *et al.*, 2014).

**Tabla 6: Análisis proximal de las hojas de quinua**

<b>Quinua</b>	<b>Componentes</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Base Húmeda	Humedad	91.25
	Grasa	0.35
	Proteína	2.3
	Fibra cruda	0.86
	Ceniza	2.14
	Carbohidratos	3.96
Base Seca	Grasa (bs)	4.03
	Proteína (bs)	26.24
	Fibra cruda (bs)	9.82
	Ceniza (bs)	24.44
	Carbohidratos (bs)	45.26

FUENTE: Ramirez (2015).

El contenido de proteínas de la hoja de quinua supera al de la alcachofa, cebolla, berro, espinaca, acelga y brócoli tal como se muestra en la Tabla 7. En donde se hace una comparación del contenido de proteínas y lípidos de la hoja de quinua fresca con otras variedades de hortalizas.

**Tabla 7: Comparación en contenido de proteína y lípidos de la hoja de quinua fresca con otras hortalizas.**

<b>Especie</b>	<b>Proteína%</b>	<b>Lípidos%</b>
Hoja de Quinua	3.3	2.1
Alcachofa	3.0	0.2
Cebolla	1.4	0.2
Berro	1.7	0.5
Espinaca	2.86	0.3
Acelga	1.82	NR
Brócoli	2.98	NR

NR = No reporta

FUENTE: Tapia (1997); Vazquez-Luna *et al.* (2019).

Los carotenoides en su acción de antioxidante son capaces de inhibir el proceso de autooxidación lipídica de las células y por consiguiente evitar procesos degenerativos. Los carotenoides tienen la característica de ser anticancerígenos e inmune activadores, motivo por el cual son de vital importancia para la salud humana (Cayra, 2019). En la Tabla 8 se presenta la concentración de carotenoides totales en las hojas de quinua y grano de quinua de diferentes procesos.

**Tabla 8: Concentración de carotenoides totales en hojas y grano de quinua de diferentes procesos.**

Fracción de la planta	Ug/100 g	Ug ER/100g	Ug/100g	Ug ER/100g
	Peso seco		Peso fresco	
Hoja cruda	20341.4	1695.12	3734.68	311.22
Hoja cocida	11137.5	928.12	2044.85	170.40
Grano crudo	166.68	13.89	146.68	12.22
Grano lavado	137.70	11.47	121.18	10.09
Grano cocido	134.00	11.16	24.60	2.05

FUENTE: Villacres *et al.* (2014).

El magnesio regula los flujos de potasio en el sistema muscular al igual que el metabolismo de calcio, la vitamina A es un esencial nutriente para el normal funcionamiento del sistema visual, mantenimiento de la integridad celular epitelial y función del sistema inmunológico (Vazquez-Luna *et al.*, 2019). La vitamina C es un excelente antioxidante de las especies reactivas de oxígeno y nitrógeno. Actualmente, algunos estudios reportan desnutrición crónica en la población menor de cinco años y en el Perú y la Organización Mundial de la Salud informa que el consumo diario de calcio y magnesio, para los niños de 4-6 años, es de 600 mg y 76 mg, respectivamente, por lo que induce a que la población infantil debería consumir aproximadamente 100g de hoja de quinua, para cubrir la demanda de magnesio y 200 g de hoja de quinua para cubrir el calcio (Silva, 2017).

- Aminoácidos en la hoja de quinua.

La hoja de quinua posee cuatro de los ocho aminoácidos esenciales para un adulto, como son la fenilalanina, lisina, isoleucina y la treonina; estos elementos intervienen en cierto número de funciones metabólicas y nutricionales. La fenilalanina ayuda a la formación de neurotransmisores (Villacrés *et al.*, 2022). La lisina facilita la construcción de los tejidos, la isoleucina interviene en el mantenimiento y restauración del tejido muscular, mientras que la treonina facilita al buen funcionamiento de hígado (Poveda *et al.*, 2014).

Los ácidos no esenciales como los ácidos glutámico y aspártico, se encuentran en mayor cantidad en el grano como en las hojas, cuya principal característica es resaltar el sabor de los alimentos, actúan estimulando las papilas gustativas, considerados como potenciadores del sabor (Poveda *et al.*, 2014). En la Tabla 9 se presentan los componentes de la hoja de quinua y el grano.

**Tabla 9: Aminoácidos de las hojas, con relación de quinua (g/100 g proteína)**

<b>Aminoácido</b>	<b>Hoja</b>	<b>Grano</b>
Acido glutaminico	16.12	13.44
Acido Aspartico	10.69	7.68
Alanina	10.41	2.87
Glicina	8.90	11.00
Fenilalanina	5.42	3.31
Arginina	5.06	6.5
Prolina	4.49	2.87
Lisina	4.24	3.81
Isoleucina	4.13	2.87
Serina	4.05	8.19
Treonina	3.88	2.62
Tirosina	2.91	2.19
Valina	2.84	3.81
Histidina	1.90	2.31
Cistina	0.68	0.31

FUENTE: Mina (2018).

### 2.2.3. Propiedades antioxidantes

Las propiedades antioxidantes poseen la facultad de proteger a las células contra el daño oxidativo, el cual provoca envejecimiento y enfermedades degenerativas. Esta actividad protectora de los polifenoles no solo se asocia a sus propiedades anti carcinogénica y anti mutagénica, sino también a sus actividades antioxidantes y antiinflamatorias (Ruiz *et al.*, 2018). Dentro del grupo de polifenoles se encuentra los flavonoides, que además de sus efectos antioxidantes, presentan un amplio abanico de actividades farmacológicas. Los principales subgrupos de compuestos flavonoides son: flavonoles, flavonas, flavononas, isoflavonas, antocianidinas y flavanoles (Paladino, 2008).

Según, Mina (2018) los compuestos con propiedades antioxidantes, se registran en mayor proporción en las hojas con relación al grano. Los flavonoides en el grano crudo registran valores de 1.74 mg de quercitina/100 g. mientras que la hoja en estado crudo presenta 113.09mg/100 g. igualmente las antocianinas se presentaron en mayor proporción en la hoja (9.06 mg/100 g. en peso fresco), con relación al grano (0.68 mg/100g). En general, estos compuestos se presentan en mayor cantidad tanto en el grano como en las hojas crudas, registrándose una pérdida en cada proceso de preparación, especialmente en la cocción del grano.

**Tabla 10: Compuestos y capacidad antioxidante del grano y hojas de quinua.**

Fracción de la planta	Antocianinas totales (mg/100 g)		Flavonoides (mg quercetina /100 g)		Polifenoles (mg AGE/100 g)		Capacidad antioxidante hidrofílica (µMoles trolox Equivalente/g)	
	Peso fresco	peso seco	Peso fresco	peso seco	Peso fresco	peso seco	Peso fresco	peso seco
Grano crudo	0.8	0.77	1.74	9.48	203.87	1110.39	28.15	31.99
Grano lavado	0.32	0.36	1.26	6.29	183.34	998.34	25.08	28.5
Grano cocido	0.26	0.30	1.05	5.75	56.83	309.58	18.94	21.52
Hoja cruda	9.06	49.36	113.09	616.00	900.10	4902.53	8.11	44.16
Hoja cocida	8.80	48.18	72.88	397.00	833.06	4537.36	7.99	43.50

AGE: Equivalente de ácido gálico

FUENTE: Villacres *et al.* (2014).

#### 2.2.4. Época oportuna para la recolección de la hoja de quinua.

La época oportuna para emplear las hojas de quinua en la alimentación humana es poco antes del inicio de la floración, que puede ocurrir entre los 60 y 80 días después de la germinación, es decir, antes de la floración, en este período o después de la hoja se vuelve muy dura y lignificada (Tapia, 1979).

Por otro lado, en un reciente estudio de Sanchez (2019) a las fases fenológicas de la hoja de quinua de variedades; Blanca de Junín, Pasankalla, Salcedo y Blanca Criolla, se determinó que el periodo de recolección óptimo es en la fase de ramificación e inicio de panojamiento entre (52 a 60 días después de la siembra) para las variedades Pasankalla y Blanca Criolla, mientras que para las variedades Blanca de Junín y Salcedo su periodo de recolección óptimo es en la fase de panojamiento (entre los 44 y 52 días después de la siembra) de biso a su aporte proteico, contenido de compuestos fenólicos, capacidad antioxidante y fibra. Por su parte Thoufeek *et al.* (1998), indica que la correlación entre el contenido de nutrientes de la hoja y su edad (dependiendo de la posición en la planta) es un factor de relevancia en la elección de hojas de quinua. En la Tabla 11, se presenta un análisis químico de la hoja tierna en seis variedades de quinua

**Tabla 11: Análisis químico de la hoja tierna de seis variedades de quinua**

<b>Variedad</b>	<b>Materia Seca%</b>	<b>Cenizas totales%</b>	<b>Proteína%</b>
Sajama	12.7	27.1	21.9
Real de Bolivia	16.4	21.9	17.3
Blanca real	15.1	24.2	23.7
Blanca amarga	18.2	19.7	22.9
Cheweca	15.1	20.7	20.2
Tupiza	16.3	21.7	20.3

FUENTE: Tapia (1997).

### **2.2.5. Aplicación de la hoja de quinua en la industria alimentaria**

La hoja de quinua es un alimento con múltiples beneficios y consumida en localidades como Ecuador, Bolivia y Perú (Estirada Valverde, 2021). Generalmente las hojas de quinua tiernas se emplean como reemplazo de la acelga, espinaca, col, etc.; en las ensaladas mixtas, ensalada de papas con hojas de quinua, ensalada jardinera de quinua, ají de hojas tiernas de quinua, sopa de hojas de quinua, sopa de llipcha de quinua, torreja de hojas de quinua y otros (Sanchez, 2019).

Por su parte, Rodas (2020) estudió la caracterización de las propiedades fisicoquímicas y funcionales de un producto a partir de la hoja de quinua, obteniendo como producto el polvo de hoja de quinua y sugiere que el polvo de la hoja de quinua se considere en la industria de panificación hasta en un 40% de sustitución, en Bizcochuelos y galletas en un 75% de sustitución. Así mismo, Swieca *et al.* (2015) en su estudio elaboró pan enriquecido con hojas de quinua potenciando así el pan con propiedades funcionales.

Las hojas de quinua deshidratadas es un método de conservación y de consumo para la humanidad y consta de un proceso simple: el lavado, desinfección, escurrido y secado, y se puede aplicar en la formulación de una sopa instantánea. La sopa instantánea a base de harina de germinado de quinua, harina de hojas de quinua y harina de arveja. (Ramirez, 2015).

Por otro lado, Tanacca *et al.* (2018) usó la harina de la hoja de quinua como ingrediente innovador, para la elaboración de galletas con una sustitución hasta de 20% de harina de hoja de quinua y avena.

El consumo de las hojas de quinua es conocido en la región andina del Perú y Bolivia, y su consumo reemplazaría el de las hojas de espinaca, especie a la cual es muy afín botánicamente y nutricionalmente (Meyhuay, 1997).

Según, Ahumada *et al.* (2016) las saponinas en las hojas de quinua se encuentran en moderada cantidad y desempeñan funciones importantes en la industria alimentaria. En la industria estos compuestos presentan propiedades tensoactivas característica ideal para la elaboración de detergentes y jabones, mientras que medicinalmente posee un efecto protector contra el cáncer de estómago e intestino, reduce los niveles de colesterol en la sangre (Troisi *et al.*, 2014).

También se evidenció la presencia moderada de curaminas y catequinas en el extracto alcohólico, las primeras pertenecen a una amplia familia de lactonas, que actúan como agentes antimicrobianos y como inhibidores de la germinación, mientras que las catequinas poseen actividad antioxidante frente a los radicales libres. En las hojas de quinua también se determinó abundante presencia de fenoles (Flavonoides, lignina y taninos). Los taninos tienen efecto beneficioso en la salud humana al bloquear la información de endotelina-1, mientras que los flavonoides tienen utilidad potencial en la industria cosmética y alimentaria como saborizantes y colorantes, por sus propiedades antioxidantes los flavonoides pueden tener efectos beneficiosos para la salud (Paladino, 2008).

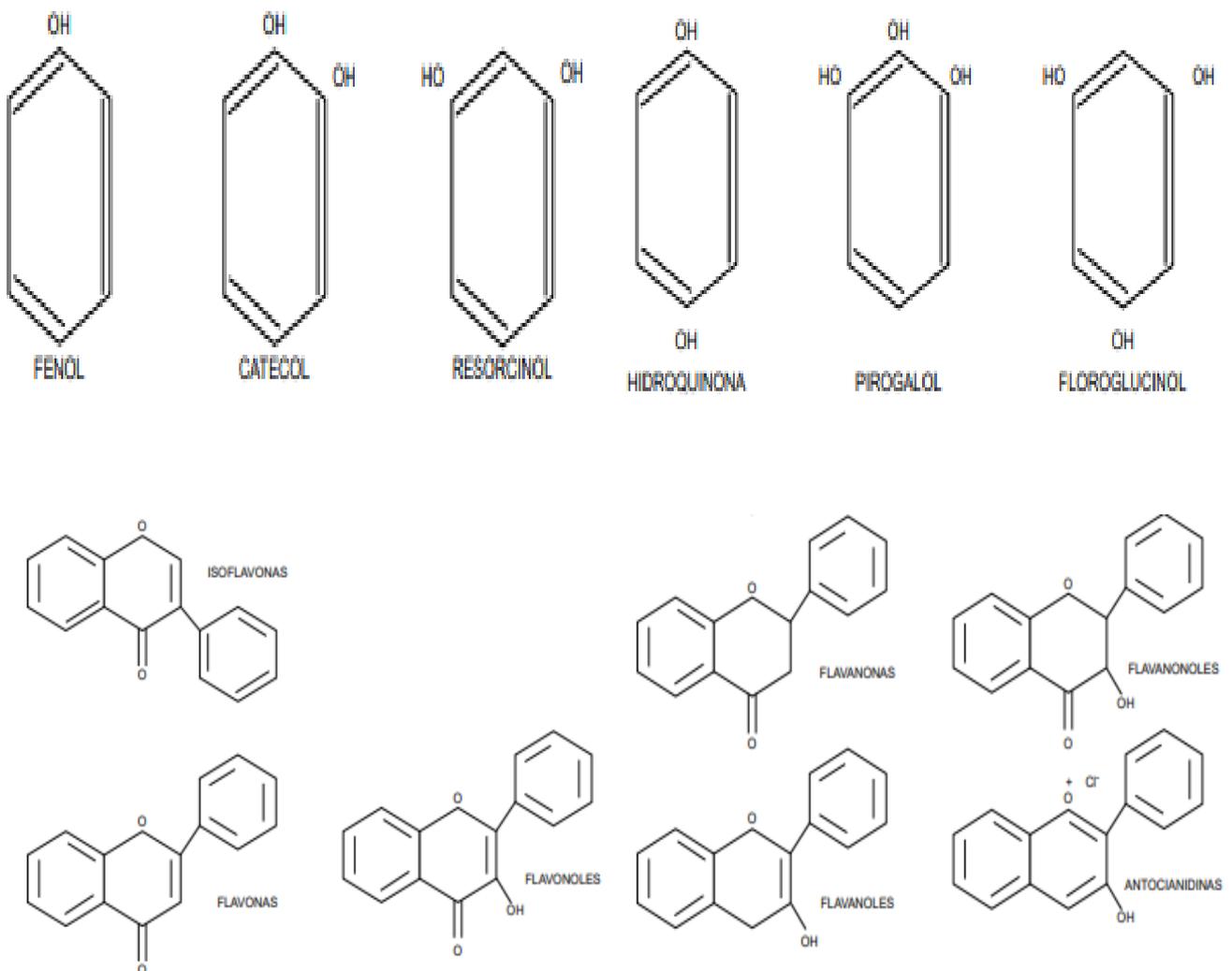
## **2.3. PROPIEDADES FUNCIONALES DE LOS ALIMENTOS**

### **2.3.1. Capacidad antioxidante**

Los antioxidantes son moléculas capaces de prevenir o retardar la oxidación de moléculas biológicas como proteína, lípidos y ácidos nucleicos; cuyas reacciones se producen en los alimentos y en el organismo (Book *et al.*, 2018). La oxidación es una reacción química donde un elemento se oxida por la presencia del oxígeno; entrega electrones e hidrógenos a un elemento reductor, estas reacciones de oxidación son promovidas en cadena por los llamados radicales libres (Dumitrescu *et al.*, 2018). Los radicales libres son cualquier especie de moléculas o iones que contiene un electrón desaparecido en su último orbital de energía y que puede subsistir de forma independiente siendo hábiles para reaccionar con proteínas, ácidos nucleicos y lípidos. Los antioxidantes también inhiben algunas reacciones de oxidación y se pueden definir como agentes reductores (Cofré, 2015).

Un gran número de evidencia científica sugiere que el estrés oxidativo está implicado en la patogenia de numerosas enfermedades humanas. Los antioxidantes naturales de extractos de plantas son temas de creciente interés científico debido a su función en la prevención de enfermedades (Dumitrescu *et al.*, 2018). La mayor parte de la investigación sobre los efectos potenciales se ha centrado en la captación de radicales libres, la quelación de metales, actividades antiinflamatorias y anticancerígenas. Todas las partes de plantas, incluidas sus hojas, corteza, raíces, flores, frutos y las semillas se han estudiado extensamente por su actividad antioxidante (Chen *et al.*, 2017).

Los antioxidantes se dividen en dos categorías: sintéticos y naturales. En general, los antioxidantes sintéticos son compuestos de estructuras fenólicas con varios grados de sustitución alquílica; mientras que los antioxidantes naturales pueden ser: compuestos fenólicos, compuestos nitrogenados o carotenoides, así como el ácido ascórbico. Estos tipos de antioxidantes podemos encontrarlos en los alimentos procesados y alimentos naturales (Cofré, 2015). Sin embargo, en otro estudio realizado nos dicen que los compuestos antioxidantes presentes en alimentos pueden ser clasificados como vitaminas, carotenoides, compuestos fenólicos. Junto a las vitaminas, los compuestos fenólicos son considerados importantes componentes antioxidantes, en alimentos como frutas, vegetales, tubérculos y cereales (Book *et al.*, 2018).



**Figura 3: Estructura química de tipos de fenoles, polifenoles y flavonoides**

FUENTE: Silva (2017).

La voltamperometría cíclica, es una técnica electroquímica y ampliamente utilizada para la evaluación de la capacidad antioxidante total; su principal bondad es la capacidad de determinar en menor tiempo el comportamiento redox total de mezclas complejas sin la necesidad de medir la capacidad antioxidante de cada componente (Pérez-Cabeza *et al.*, 2018).

ABTS, Este método se sustenta en la cuantificación de la decoloración del radical ABTS, debido a su reducción a ABTS por la acción de antioxidantes. El radical catiónico ABTS<sup>+</sup> es un cromóforo verde azulado que absorbe a una longitud de onda de 734 nm y se genera por una reacción de oxidación del ABTS (2,2'-azino-bis- (3-etil benzotiazolin-6- sulfonato de amonio) con persulfato de potasio. De esta manera el grado de decoloración como porcentaje de inhibición del radical ABTS<sup>+</sup> está determinado en función a la concentración (Book *et al.*, 2018).

La reacción de Maillard, es un pardeamiento no enzimático, es una red compleja de reacciones que implican compuestos de carbonilo y amino, como azúcares reductores y aminoácidos; es el responsable de la transformación de precursores en colorantes y compuestos aromatizantes durante la elaboración de alimentos (Singh *et al.*, 2021). Las melanoidinas son macromoléculas poliméricas y coloreadas originadas por la reacción de Maillard y formadas principalmente por interacciones entre carbohidratos (azúcares reductores) y compuesto caracterizado por un grupo amino libre, como los aminoácidos (Echavarría *et al.*, 2012).

Los estudios sobre melanoidinas se centran principalmente en su caracterización química de reacción e identificación de varias vías evaluación del impacto de diferentes parámetros de reacción (pH, temperatura, tiempo, reactividad del azúcar, concentración de reactivo y actividad del agua) (Manayay y Ibarz, 2010). Las funciones más importantes de las melanoidinas, como para la mayoría de los biopolímeros, relacionados con el sabor y la textura, son fuertemente afectados por cambios físicos y transiciones de estructura. Sin embargo, se encuentran pocas referencias en la literatura con respecto a la estructura física de las melanoidinas, posiblemente debido a su complejidad y heterogeneidad. La importancia de las melanoidinas se debe a su amplia presencia en los alimentos y a los efectos que estos compuestos podrían tener sobre la calidad de los alimentos (Echavarría *et al.*, 2012).

Mecanismo de la reacción de Maillard en esencia, afirma que un azúcar reductor, como la glucosa, se condensa con un compuesto que posee un grupo amino libre, como un aminoácido, para dar un producto de condensación (Singh *et al.*, 2021). Posteriormente, tiene lugar una serie de reacciones, incluyendo ciclizaciones, deshidrataciones, retroaldolizaciones, reordenamientos, isomerizaciones y condensaciones adicionales, que en última instancia conducen a la formación de polímeros y copolímeros nitrogenados marrones, conocidos como melanoidinas (Echavarría *et al.*, 2012). Cuando no se controla, puede producir algunos derivados dañinos como acrilamida, amina heterocíclica, productos finales de glicación avanzada y otras sustancias que pueden ser perjudiciales para la salud humana y provocar cáncer o enfermedades crónicas (Liu *et al.*, 2020).

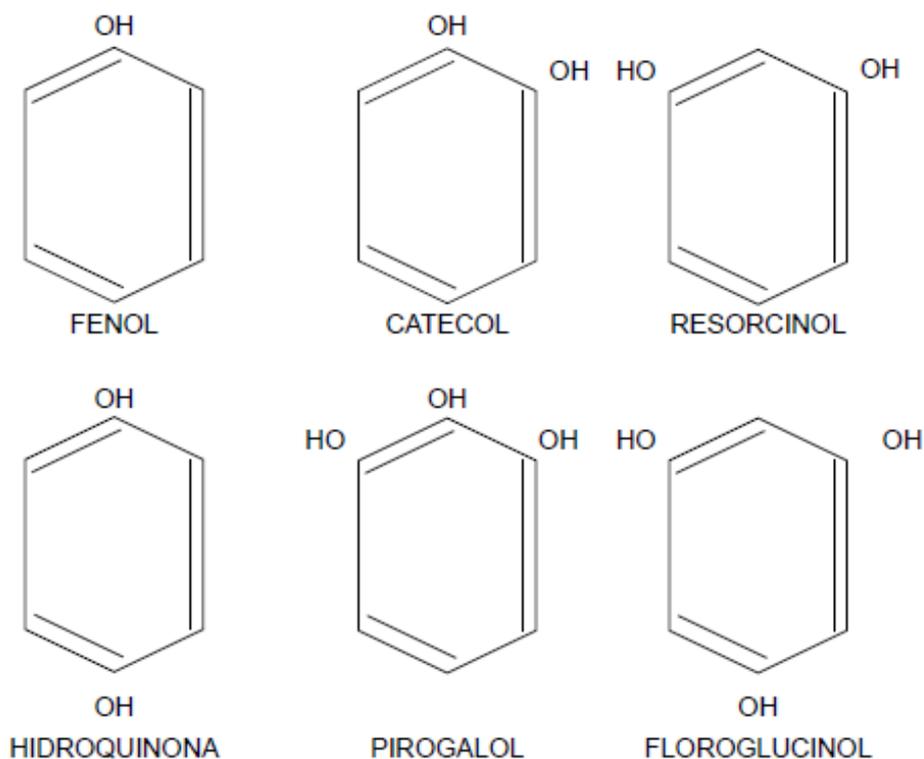
### **2.3.2. Compuestos fenólicos**

Los compuestos fenólicos son moléculas que contienen uno o varios anillos aromáticos o bencénicos, en los cuales se encuentran unidos por uno o varios grupos hidroxilo y se destacan por poseer actividad antioxidante. Están ampliamente distribuidos en la naturaleza, en las plantas como cereales, fruta y verduras, ya sea en los tallos, rices, flores, frutos y semillas (Abarca-Vargas y Petricevich, 2018).

Las frutas y vegetales contienen una gran variedad de derivados fenólicos incluyendo fenoles simples, fenil propanoides, derivados de ácido benzoico, flavonoides, estilbenos, taninos, lignanos y ligninas junto con los ácidos carboxílicos de cadena larga. Los compuestos fenólicos son también componentes de suberina y cutina. Estas sustancias variadas son, primordialmente, para el desarrollo y reproducción de las plantas y también actúan como anti alimentarios y anti patógenos. El aporte de los compuestos fenólicos a la pigmentación de los alimentos vegetales es reconocida (Silva, 2017).

Por otro lado, Surjadinata *et al.* (2017), establece que, el principal compuesto fenólico inducido tanto por heridas como por radiación UVA, UVB y UVC. es el ácido clorogénico, ya que es un nutraceutico que puede prevenir y tratar enfermedades asociadas con síndrome metabólico. Por lo tanto, la aplicación de heridas en combinación con radiación UV podría ser utilizado por las industrias de procesamiento de alimentos, farmacéutica y productos como una herramienta simple para aumentar las propiedades que promueven la salud.

Químicamente los compuestos fenólicos son sustancias que tienen un anillo aromático, con uno o más grupos hidroxilo e incluyen sus derivados funcionales, así como se muestra en la Figura 4. La naturaleza de los polifenoles va desde moléculas simples como ácidos fenólicos hasta compuestos altamente polimerizados, como los taninos. Generalmente, se encuentra en la naturaleza en forma de glicósidos siendo solubles en agua y en solventes orgánicos (Fernandez y Puma, 2021).



**Figura 4: Estructura de seis fenoles simples**

FUENTE: (Silva, 2017)

La importancia de los compuestos fenólicos radica en que intervienen en diferentes mecanismos, tales como: el secuestro de radicales libres, donación de hidrogeno, captura del oxígeno singulete, quelación de iones metálicos y el actuar como sustrato para los radicales superóxido e hidroxilo (Paladino, 2008). Por otro lado, se ha encontrado una relación directa entre el contenido de fenólicos y la capacidad antioxidante de las plantas (Abarca-Vargas y Petricevich, 2018). Los polifenoles son los responsables del buen funcionamiento de las plantas y en su relación con el hombre, son utilizados para tratar desordenes cardiovasculares y prevenir algún tipo de cáncer (Ruiz *et al.*, 2018a).

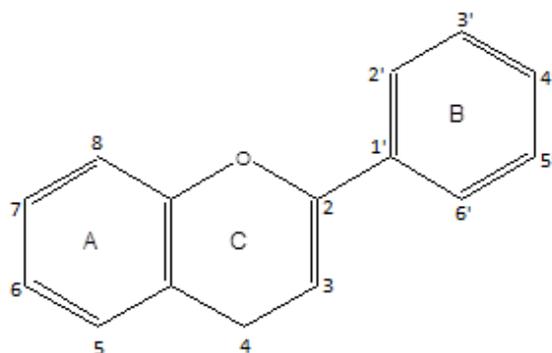
Los estudios realizados establecen que el consumo de 400-600g de hortalizas y frutas, reducen el riesgo de padecer enfermedades como el cáncer, debido al contenido de sustancias fitoquímicas como los polifenoles que pueden modular la expresión génica e inhibir la carcinogénesis (Tomás-Barberan, 2015). La actividad protectora de los polifenoles no solo se incorpora a sus propiedades anticarcinogénica y antimutagénica, sino también a su actividad antiinflamatoria (Złotek *et al.*, 2019).

Muchas de las plantas contienen una amplia variedad de fenólicos, incluido el ácido cinámico, ácidos clorogénicos, flavonoides glicosilados y taninos. Están presentes en todos los tejidos incluyendo hojas, tallos, brotes, flores e incluso raíces. La existencia de estos metabolitos secundarios es bastante específica de la especie y de la planta. Además, la composición relativa puede cambiar drásticamente durante el período de desarrollo de la planta, desde las plántulas hasta la madurez (Surjadinata *et al.*, 2017).

### **2.3.3. Flavonoides**

Los flavonoides es el nombre genérico de un agrupo de moléculas generadas por el metabolismo secundario de vegetales, los flavonoides más representativos son el kempferol, la quercetina y la miricetina. Los flavonoides constituyen un amplio y diverso grupo de metabolitos secundarios de plantas, se encuentran en abundancia en las uvas, manzanas, cebollas, cerezas, repollos; además del té verde. Tienen propiedades antiinflamatorias, antimicrobianas, antitrombóticas, antialérgicas, antitumorales, anticancerígenas y antioxidantes, de esta última su función radica en el sistema nervioso, pues se ha visto relación de protección en enfermedades neurodegenerativas. Así mismo son utilizadas para el tratamiento de la fragilidad capilar, en diabetes, en afecciones cardiacas, por lo que merecen ser incorporados al grupo de nutrientes esenciales (Venegas, 2012).

Los flavonoides son sustancias consistentes cristalizadas de color blanco amarillento, sus heterósidos son solubles en agua caliente, alcohol y disolventes orgánicos polares, siendo insolubles en apolares. Por otra parte, son sustancias fácilmente oxidables y por tanto tienen efecto antioxidante. En la Figura 5, se observa la clasificación de los flavonoides (Rochín *et al.*, 2012).



**Figura 5: Núcleo principal de la estructura de los flavonoides**

FUENTE: Fernandez y Puma (2021).

Los flavonoides que poseen un buen número de grupos hidroxilo formando glicósidos, son polares por lo que son ligeramente solubles en disolventes polares, como el metanol, etanol, acetato de etilo o agua (Csepregi *et al.*, 2013). La cuantificación de los flavonoides en productos naturales regularmente se realiza mediante la cromatografía de capa fina, cromatografía de gases, cromatografía de líquida de alta eficiencia y espectrofotometría (Venegas, 2012).

Los métodos por cromatografía de gases y de alta eficiencia aportan información definitiva en la caracterización de las muestras, pero presentan limitaciones importantes debido a los costos del equipamiento. Sin embargo, los métodos por espectrofotometría permiten cuantificar flavonoides con estructuras similares y son apropiadas en las determinaciones tradicionales (Venegas, 2012).

## **2.4. TECNOLOGÍAS EMERGENTES EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA**

La industria alimentaria abarca a todas las empresas que desarrollan actividades relacionadas con la transformación, la conservación o la manipulación de productos, principalmente destinados a la alimentación. Entre los retos más importantes de la industria alimentaria se encuentra la conservación de alimentos, por lo que constantemente se impulsa a desarrollar de nuevas técnicas de producción aplicando métodos poco comunes, pero más eficaces (Santamaria, 2010).

### **2.4.1. EL ULTRASONIDO**

El ultrasonido son ondas acústicas, es decir, perturbaciones de tipo elástico o mecánico, que se propagan por todos los medios materiales mediante el movimiento armónico de sus moléculas, se llama así, porque su frecuencia de oscilación está por encima de la frecuencia de las ondas audibles, esto es, frecuencias superiores a 20kHz (Singla y Sit, 2021). El límite superior no puede determinarse pues depende de la tecnología. En este contexto, actualmente se está trabajando a frecuencias superiores a los 100MHz, (microscopía ultrasónica). Existen varias aplicaciones que utilizan las vibraciones ultrasónicas en medios sólidos, líquidos o gaseosos (Veca *et al.*, 2019).

#### **a. Ultrasonido de potencia**

Las aplicaciones del ultrasonido se clasifican en dos grupos; bajas y altas intensidades. La mayoría de las aplicaciones del ultrasonido de potencia se llevan a cabo en el campo de frecuencia entre 18 y 200 KHZ con intensidades acústicas que varían aproximadamente  $0,1W/cm^2$  permitiendo alcanzar altas aceleraciones y concentraciones de energía.

Independientemente de la aplicación, estos procesos dependen fundamentalmente de la tecnología de generación del ultrasonido de alta intensidad. Los puntos principales de los transductores que se deben considerar son: la capacidad de potencia, el rendimiento, la amplitud, la distribución de la vibración y la dirección emitida. El ultrasonido es generado por una corriente eléctrica que se transforma mediante transductores, los más considerados son: transductores conducidos por líquidos, de magneto rígido y piezoeléctricos, estos últimos transductores son los más empleados para la generación de sonido y tienen cerca del 95% de eficiencia, y pueden operar en todo el intervalo ultrasónico (Ozuna y Ochoa, 2012).

#### **b. Ultrasonido en procesamiento de alimentos**

El ultrasonido representa una ventaja sobre los procesos tradicionales, al reducir tiempos de proceso, mejorar atributos de calidad, no alterar las principales características de los productos, reduce riesgos químicos, físicos y se considera tecnología apta al ser sustentable, debido a que emplea menos tiempo, agua y energía (Campo *et al.*, 2018).

#### **c. Aplicaciones del ultrasonido en la industria alimentaria**

La tecnología de ultrasonido ha sido empleada en diferentes investigaciones de la industria de alimentos y en otras industrias, debido a que se puede aplicar de forma práctica,

con un equipo seguro y sobre todo puede considerarse sustentable para el ambiente, aplicadas en procesos como: (Gelvez *et al.*, 2015).

- Ultrasonido como método de emulsificación/homogenización
- Filtración asistida ultrasónicamente
- Ultrasonido como método antiespumante
- Ultrasonido en el proceso de desgasificación de aireación
- Despolimerización por ultrasonido
- Ultrasonido y cocción
- Ultrasonido y corte
- Ultrasonido para mejorar viscosidad y textura
- Ultrasonido en el proceso de congelación y cristalización
- Ultrasonido en el proceso de secado
- Inactivación microbiana y de enzimas

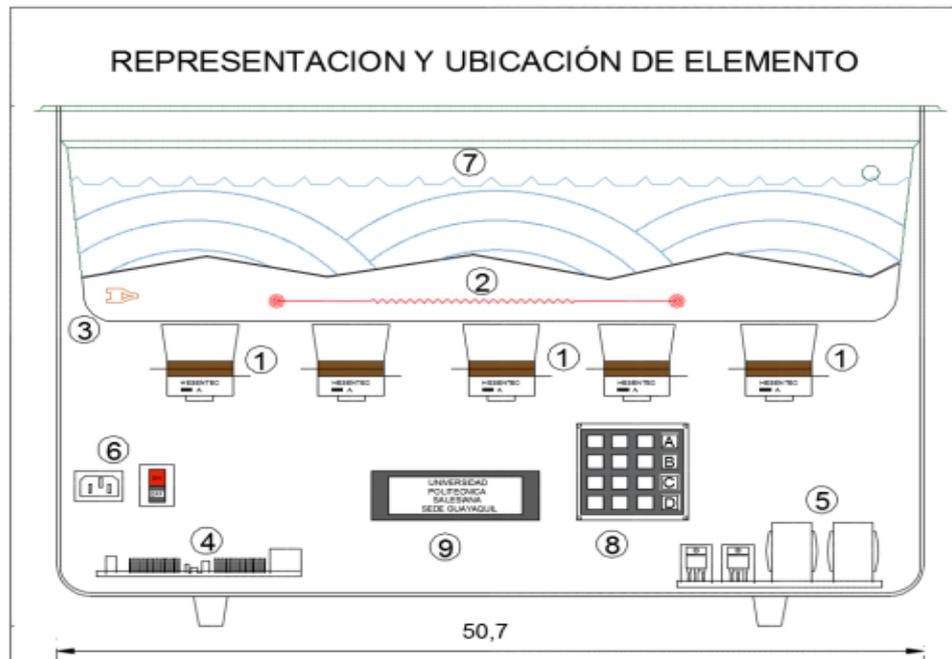
#### **d. Equipos de ultrasonido**

La aplicación de ultrasonido se puede dar de tres maneras: Aplicación directa al producto, acoplada a un dispositivo y sumergido en un baño ultrasónico (Campo *et al.*, 2018). Considerando los dos niveles de energía: baja potencia e intensidad y alta potencia e intensidad; frecuencia superior a los 100kHz e intensidad por debajo de 1 W.cm<sup>-2</sup> (Montilla *et al.*, 2010); intensidades superior a 1 W.cm<sup>-2</sup> a frecuencias entre 20 y 500 kHz respectivamente son consideradas como ultrasonidos de potencia (Gelvez *et al.*, 2015).

- Baños ultrasónicos
- Sistemas tipo sonda
- Equipos diseñados para la aplicación de ultrasonido de potencia

#### **e. Baños ultrasónicos**

Los baños ultrasónicos es una aplicación popular de los ultrasonidos de potencia. habitualmente se utiliza en limpieza de materiales de laboratorio, sin embargo, un buen número de estudios reportan la aplicación para acelerar procesos de transferencia de materia en medios líquidos. Se clasifican como equipos ultrasónicos simples y compactos, sus principales limitaciones son la baja potencia que suministran al medio (Delgado, 2011).



**Figura 6: Ubicación de elementos en el Ultrasonido Clean**

FUENTE: Nuñez y Enrique (2017).

#### **f. Ultrasonido en proceso de secado de alimentos**

Los ultrasonidos de potencia se han considerado para mejorar mecanismos de transferencia de calor tanto por conducción como por convección. El efecto de los ultrasonidos se ha mostrado más intenso en medios líquidos que en gases. Dentro de este contexto, resulta interesante la aplicación en el proceso de secado (Delgado, 2011).

Se ha aplicado el ultrasonido de potencia como secadores de convección directa, para el secado de frutas y verduras, en donde el aire caliente se empuja para realizar el secado y el transductor produce vibraciones a la estructura, mejorando la extracción de agua en la muestra (Khaing *et al.*, 2019a). El ultrasonido de baja intensidad ( $< 1 \text{ W/cm}^2$ ), en esta área se usan intensidades  $> 5 \text{ W/cm}^2$ , causa alteración de material y puede ser utilizado para la mejora de procesos en la industria alimentaria, como las ondas ultrasónicas interactúan con el producto bajo sonicación mecánica, la desintegración de las partículas puede conducir a una mayor liberación de componentes de sabor, pigmentos del color y componentes celulares tales como azúcar o compuestos volátiles del aroma. El ultrasonido tiene un efecto sinérgico en la inactivación de microorganismos y enzimas cuando se aplica en combinación con la

temperatura, llamado “thermosonication” o la presión elevada, llamado “nanosonication” (Veca *et al.*, 2019).

Para la polarización de las moléculas se debe transmitir una frecuencia alta mediante dos electrodos hasta el material ferroeléctrico, por consiguiente, se obtiene la conversión a oscilación mecánica y el sonido se puede transmitir a un amplificador para finalmente transmitirse al medio (Ozuna y Ochoa, 2012).

El ultrasonido de baja frecuencia puede ser ampliamente aplicado en el procesamiento de alimentos, como congelación, secado, desespumante, activación de enzima e inactivación, etc. en sistemas sólido-líquido de pretratamiento ultrasónico antes del secado, la onda de ultrasonido puede inducir una serie de efectos integrales, incluyendo cavitación acústica, efecto esponja, transmisión acústica y microscópicos, canales que afectan considerablemente en la transferencia de masa y la permeabilidad de la pared celular (Rojas y Augusto, 2018).

#### **g. Cavitación**

La cavitación ultrasónica es un fenómeno mecánico producido por ondas de alta frecuencia y de baja intensidad energética, por lo tanto no todos los ultrasonidos son capaces de provocar la cavitación (Nuñez y Enrique, 2017).

El efecto que provoca la inactivación y ruptura celular es atribuido por la cavitación acústica que puede ser de dos tipos transiente y estable (Akdeniz y Akalın, 2022). En la primera de ellas cuando las burbujas generadas por la cavitación se llenan con gas o vapor y debido las oscilaciones irregulares las burbujas implosionan, provocando elevaciones de presión y temperatura, en consecuencia, la desintegración de las células y desnaturalización de enzimas (Fitriyanti, 2019). La cavitación estable está referida a la oscilación de las burbujas en un comportamiento regular durante los ciclos acústicos; su efecto es debido a la microcorriente que induce en el líquido circundante lo que pueden estresar las especies biológicas. Se considera que las esporas son más resistentes que las células vegetativas y en el caso de las enzimas su desnaturalización por ultrasonido se debe al efecto de despolimerización (Ozuna y Ochoa, 2012).

Recientemente, se ha aplicado el ultrasonido en el secado por aire caliente reduciendo así el tiempo de proceso y el consumo energético de la operación, al conseguir temperaturas inferiores adecuadas para el secado. Además, ha demostrado que aumenta la tasa de

transferencia de calor y masa en un medio líquido, la transmisión acústica y las vibraciones son las principales razones en un ambiente gaseoso durante el secado, inactivando las enzimas hasta en un 90%, como; polifenoloxidasas evitando el pardeamiento enzimático (Delgado, 2011). Generalmente para la extracción de compuestos por ultrasonido se aplican las siguientes se muestra en la Tabla 12, condiciones y metodologías.

**Tabla 12: Condiciones y metodologías de extracción de compuestos por ultrasonido**

MATRIZ	EXTRACTO	DISPOSITIVO DE PROCESAMIENTO	CONDICIONES EXPERIMENTALES
Frutas y verduras Orujo de uva	Compuestos fenólicos	US sonda (20kHz, 130W, 13mm)	T=60-85°C/ t=10-60min/ V=200mL/ Solvente: etanol, agua, etanol acuoso al 50%, etanol acuoso al 70%, y 70% metano acuoso.
MORERA ( <i>Morus nigra</i> ) de pulpa	compuestos fenólicos – Antocianinas	US baño (200W, 24 kHz)	T=48°C/ t=10min/ V=600 mL Solvente: 76% Metano en agua
Alfalfa	Flavonoides	US baño (40kHz, 110W)	T=60°C/ t=50min/ Solvente_ etanol 52,14%
Arándanos	Antocianinas Compuestos fenólicos	US sonda (50kHz, 1500W)	T=25°C/t=40min/Solvente: etanol 70%
Mora	Antocianinas	US sonda (24 kHz, 400W, 14 mm)	T=50°C/t=60 min/ Solución acuosa 30% de etanol
Hierbas, especias flores de <i>Limonium sinuatum</i>	antioxidantes	US baño (40kHz, 400W)	T=40°C/ t=9,8 min/ Solvente: etanol 60%
Flores de <i>Hermerocallis citrina</i> .	flavonoides	US baño (40kHz, 500W)	T=55°C/t=20min/ Solvente: etanol 70%
Microorganismos Cichorium intybus L. var. Sativum	polifenoles	US baño (30.8 kHz, 0-100W)	T= 20-60°C/ t=120 min/ V=600mL/ Solvente: etanol 0-60%
cáscaras de cítricos (naranja, limón y mandarina)	flavonoides	US baño (45 kHz, 130 W)	T=60°C/ t=60min Solvente: etanol 96%
filamentos de maíz	polifenoles	US sonda (25 kHz, 520 W)	t=15 min Solvente: etanol 61.08%
cascara de la fruta del árbol de jaca	Pectina	US sonda (2 cm)	T=60°C/ t= 24min Solvente: etanol 95%
cascara de maracuyá	Pectina	US baño (40 kHz, 110W)	T=45°C/ t= 20min Solvente: etanol al 96%

FUENTE: Ozuna y Ochoa (2012).

### 2.4.2. El Infrarrojo

La radiación infrarroja es una buena alternativa para el progreso del sector productivo, no sólo por brindar mejores eficiencias en el sistema y calidad en los productos, sino también por ampliar las posibilidades para el uso de diferentes recursos, utilizando tecnologías más eficientes que permiten reducir los costos de producción (Castañeda *et al.*, 2012). En general, dentro de los sectores en los cuales el uso de este tipo de tecnologías es relevante se encuentra la industria alimentaria

La transferencia de calor puede darse por convección, conducción o radiación o en algunos casos por combinación de ellos. En seguida se explica cada mecanismo:

#### a. Conducción de calor

La conducción es el mecanismo de transferencia de calor en escala atómica a través de la materia por actividad molecular, por el choque de unas moléculas con otras, donde las partículas más energéticas le entregan energía a las menos energéticas, produciéndose un flujo de calor desde las temperaturas más altas a las más bajas (Bernal, 2012). Los mejores conductores de calor son los metales y como perjudicial el aire o plásticos, llamados también aislantes. La conducción de calor solo ocurre si hay diferencias de temperatura entre dos partes del medio conductor. Para un volumen de espesor  $x$ , con área transversal  $A$  y cuyas caras opuestas de encuentran a diferentes  $T_1$  y  $T_2$ , con  $T_2 > T_1$ , se encuentra que el calor  $\Delta Q$  transferido en un tiempo  $\Delta t$  fluye del extremo caliente al frío. Si se llama  $H$  en watts al calor transferido por unidad de tiempo, la rapidez de transferencia de calor  $H = \Delta Q / \Delta t$ , está dada por la ley de la conducción de calor (Quispe, 2013).

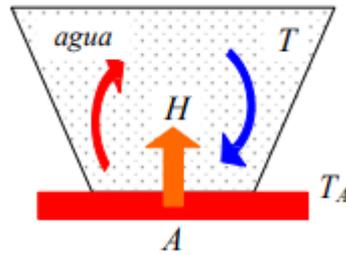
#### b. Convección de calor

El calor se transfiere al sólido que se está secando mediante una corriente de aire caliente, que además de transmitir el calor necesario para la evaporación del agua es también el agente transportador del vapor de agua que se elimina del sólido, solo se produce en líquidos y gases donde los átomos y moléculas son libres de moverse por el medio (Espinoza, 2011).

En la naturaleza, la mayor parte del calor ganado por la atmósfera por conducción y radiación cerca de la superficie, es transportado a otras capas o niveles de la atmósfera por convección (Quispe, 2013).

Un modelo de transferencia de calor  $H$  por convección, llamado ley de enfriamiento de Newton, es el siguiente:  $H = h A (T_A - T)$ . Donde  $h$  se llama coeficiente de convección, en

$W/(m^2K)$ ,  $A$  es la superficie que entrega calor con una temperatura  $T_A$  al fluido adyacente, que se encuentra a una temperatura  $T$ .



**Figura 7: Proceso de convección**

FUENTE: Quispe (2013).

El flujo de calor por convección es positivo ( $H>0$ ) si el calor se transfiere desde la superficie de área  $A$  al fluido ( $T_A>T$ ) y negativo si el calor se transfiere desde el fluido hacia la superficie ( $T_A<T$ )

### **c. Radiación de calor**

La radiación es un método de transferencia de calor que permite el secado de alimentos, producida por la interacción entre las ondas electromagnéticas generadas por la luz de infrarrojo, y el agua presente en el alimento, originando vibraciones mecánicas de las moléculas o de un conjunto molecular particular en un fenómeno muy complejo, generando un calentamiento volumétrico (Puente-Díaz *et al.*, 2015).

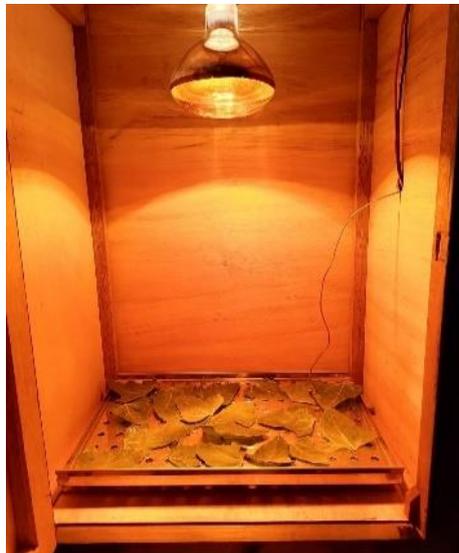
A diferencia de la conducción y la convección, o de otros tipos de onda, como el sonido, que necesitan un medio material para propagarse, la radiación electromagnética es independiente para su propagación, de hecho, la transferencia de energía por radiación es más efectiva en el vacío. Sin embargo, la velocidad, intensidad y dirección de su flujo de energía se ven influidos por la presencia de materia (Quispe, 2013).

La radiación infrarroja es una radiación electromagnética cuya longitud de onda comprende desde los 760-780 nm. (Espinoza, 2011). Los infrarrojos se producen por los cuerpos calientes ya que se deben a cambios en los estados de energía de electrones orbitales en los átomos o en los estados vibracionales y rotacionales de los enlaces moleculares. Todos los objetos a temperatura superior al cero absoluto ( $-273^{\circ}C$ ) emiten radiación infrarroja. La cantidad y la longitud de onda de la radiación emitida dependen de la temperatura y la composición del objeto considerado (Portelo y Martínez, 2006).

#### **d. Secador por radiación**

En los secadores el principal agente que influye es la energía infrarroja así como se observa en la Figura 8, la energía formada por ondas electromagnéticas que se trasladan de un cuerpo con temperatura alta a uno de menor temperatura, la transferencia de energía radiante a un material o cualquier cuerpo húmedo nos ayuda con la evaporización del mismo ya que se produce eléctricamente (Khaing *et al.*, 2019a).

Los secadores infrarrojos, utilizan lámparas infrarrojas, resistentes eléctricas o materiales refractarios ya mencionados, suministrando eléctricamente la energía radiante, su principal acción es en el cocido o horneado. En la tecnología de secado por capas de pintura y también son utilizados para calentar materiales con capas delgadas de masa (Criollo, 2015).



**Figura 8: Esquema de secador por Infrarrojo**

Esta radiación es producida por el filamento caliente, ya que este cambia los estados de energía de los electrones orbitales en los átomos o en los estados vibracionales y rotacionales de los enlaces moleculares, es decir, generando vibración en los átomos por la energía y por ende se expresa en forma de calor (Román, 2020).

Los emisores luminosos son lámparas especiales, constituidas por filamentos de tungsteno (en ocasiones, de carbono) dispuestos en una ampolla de cristal, que contiene un gas inerte a baja presión, con su reflector correspondiente para mejorar la direccionalidad del haz (Portelo y Martínez, 2006). Este filamento se calienta hasta temperaturas de 1.900°C y emite gran cantidad de IR proximal (entre 760 y 1500 nm), además de abundante luz visible. Su radiación alcanza unos niveles de profundidad entre 5 y 10 mm bajo la piel (Ramos, 2016).

#### **e. Secado por infrarrojo en la industria alimentaria.**

El secado por infrarrojos propone un proceso eficaz y económico frente al secado convencional en condiciones de secado similar, en la comparación del secado por infrarrojo y métodos convencional, indica que reduce; el tiempo de procesamiento en un 50%, el agua hasta en un 80%, la degradación de compuestos bioactivos, secando la muestra de manera uniforme y buena con apariencia general (Ertekin y Heybeli, 2014).

El espectro de longitud de onda de la radiación depende de la naturaleza y la capacidad de absorber energía, cada cuerpo emite radiación debido a su nivel de temperatura; llamado radiación térmica, porque genera calor que está localizado en el rango de longitud de onda de 0.1-100  $\mu\text{m}$  dentro del espectro (Khaing *et al.*, 2019a). El agua es importante cuando una muestra húmeda es expuesta a la radiación. Una alta porción de la radiación puede ser absorbida por las películas finas de agua, hielo, vapores o solución de agua contenidos en capilares, o mediante el vapor emanado en los alrededores de la muestra. La región de longitud de onda para los alimentos puede restringirse al rango infrarrojo de 0.75 a 15  $\mu\text{m}$  (Ortiz, 2014).

La radiación infrarroja impacta directamente en los productos a secar con una transferencia directa de energía térmica, donde la profundidad de penetración depende generalmente de la absorbancia del producto, siendo el agua el componente que más absorbe la radiación infrarroja, cumpliendo la Ley de Lambert-Beer en relación a la absorción de energía de un cuerpo con respecto a una determinada emisión de luz (Puente-Días *et al.*, 2015).

El material o muestra a ser secado por IR requiere una baja reflectividad para minimizar la potencia requerida para calentarlo y dependiendo del proceso de secado específico. Al secar alimentos húmedos es necesario incrementar la transmisividad para evitar un calentamiento intensivo y el daño térmico de la superficie de la muestra. Es importante señalar que, si la absorptividad de una muestra es baja, su transmisividad es alta, y viceversa. Estas propiedades dependen de la longitud de onda, el espesor de la muestra y el contenido de agua (Ertekin y Heybeli, 2014).

El buen control de la operación infrarroja importante para lograr los resultados deseados en términos de la cinética de secado y la calidad del producto, así como también, para garantizar una operación segura y de esa manera genere un control de retroalimentación que permite que la fuente de potencia infrarroja sea interrumpida si se alcanzan temperaturas excesivamente altas en la cámara, por lo que, puede llevar al sobrecalentamiento de la

muestra (Ortiz, 2014). Por otro lado, Rojas y Augusto (2018) establecen que, se disuelven los compuestos de la pared celular, aumentando la permeabilidad a través de esta estructura durante la deshidratación y rehidratación.

### **2.4.3. El secado por estufa de laboratorio**

El secado es una de las operaciones unitarias más conocidas en la preservación de fuentes nutricionales lo que implica al mismo tiempo una transferencia de calor y masa acompañada por un cambio de fase (López y García, 2016). A nivel experimental, el secado de las hojas se realiza con aire caliente que concede calor al producto por convección, sugiriendo temperaturas que oscilan entre 60 y 90°C. Durante este proceso se disminuye la actividad de agua y, con ella, la degradación bioquímica y microbiológica durante el almacenamiento. La velocidad de deshidratación depende de factores determinantes en la cinética de secado como la fisicoquímica y la forma del producto, así como de la temperatura, velocidad y humedad del aire de secado (Pineda *et al.*, 2009).

Es una técnica que utiliza energía limpia y renovable. Sin embargo, el secado de vegetales con altas temperaturas afecta a las propiedades sensoriales del producto y su valor nutricional, por lo que la temperatura de secado es una variable a tener en cuenta en los estudios cinéticos, pues, aunque temperaturas elevadas pudieran acelerar el proceso, la pérdida de calidad del producto no compensaría la reducción de tiempo de proceso. Por otra parte, la cinética del proceso de secado depende tanto de la geometría y espesor del producto como de las propiedades del aire de secado, como son la humedad relativa ambiental, temperatura y velocidad del aire (Vega y Lemus, 2006).

### **2.4.4. Método de secado por Ultrasonido-Infrarrojo-Vacío.**

Se han publicado muchos artículos sobre el uso de infrarrojos con métodos de secado convencionales, y de la misma manera la aplicación del ultrasonido en diversos campos de la industria, pero es escaso el estudio sobre el uso de infrarrojos en combinación con ultrasonido y bomba de vacío para el proceso de secado de la hoja de quinua. Hasta hoy en día, el mantenimiento de la calidad de los productos alimenticios, el uso rentable y de bajo consumo de energía son de especial prioridad en las industrias alimentarias motivo por el cual muchos investigadores innovan técnicas de procesos de secado combinando equipos. (Alizehi *et al.*, 2020).

## 2.5. CINÉTICA DEL SECADO.

El secado es una operación unitaria de separación mediante el cual remueve agua o algún otro compuesto volátil por evaporación, de la que se obtiene un producto sólido. La cinética del secado consiste en ajustar la variación de la humedad de un producto durante el tiempo de proceso a una ecuación matemática. Las curvas de secado se representan de diferentes maneras como por ejemplo el contenido de humedad en función del tiempo, la velocidad del secado en función del tiempo o la velocidad de secado en función del contenido de humedad. La relación de humedad durante el secado se calcula aplicando la ecuación:

$$MR = \frac{X - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}}$$

Donde:

MR : Relación de humedad

X : Contenido de humedad en un tiempo específico (%bs)

X<sub>eq</sub> : Contenido de humedad de equilibrio (%bs)

X<sub>0</sub> : Contenido de humedad inicial (%bs)

El contenido de humedad en base seca, definida como la relación entre la masa de agua y la masa de materia seca, la materia seca permanece constante en todo proceso de secado facilitando así el cálculo a diferencia de la masa total que varía durante el proceso:

$$\%H = \frac{W_0}{W_{ms}}$$

Donde:

%H : Contenido de humedad en base seca (%)

W<sub>0</sub> : Peso del agua (g)

W<sub>ms</sub> : Peso de la materia seca (g)

El contenido de base húmeda puede ser calculado como:

$$\%Hbh = \left( \frac{W_a}{W_a + W_{ms}} \right) * 100$$

La mayoría de los modelos matemáticos utilizados derivan del modelo difusional de la segunda ley de Fick para diferentes geometrías. Esta ecuación es preciso conocer la humedad

de equilibrio, la cual puede ser determinada mediante la constancia del peso de la muestra de secado.

### **2.5.1. Generalidades de curvas de secado**

#### **a. Periodo de velocidad constante.**

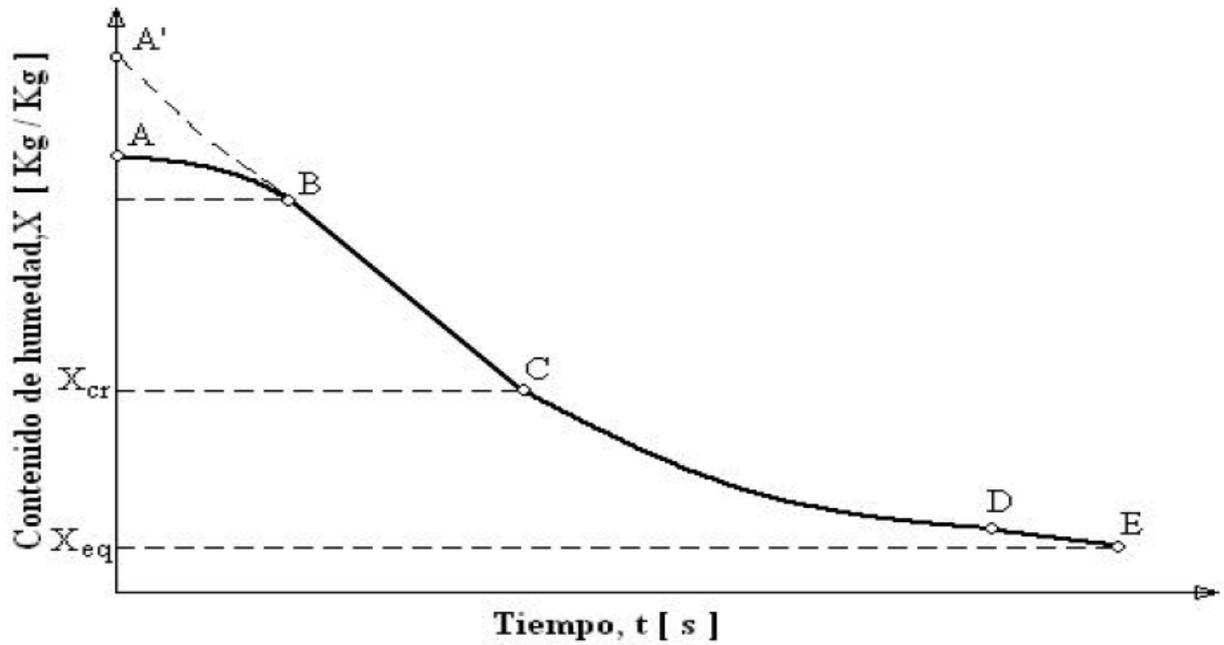
La velocidad constante, transcurre desde el periodo inicial de estabilización al final de la cual la superficie del alimento alcanza la temperatura de bulbo húmedo A-B. Al terminar el primer periodo el secado comienza la desecación y el agua migra a la superficie del alimento a la misma velocidad que se produce la evaporación (López y García, 2016).

Este periodo se denomina periodo de velocidad de secado constante se mantiene hasta que se alcanza la humedad crítica B-C (López y Garcia, 2016). Sin embargo, en la práctica, las muestra no siempre, se deshidratan con la misma velocidad, por lo que, la velocidad se reduce gradualmente.

La recta B-C, es llamado el periodo de velocidad de secado constante, y al siguiente periodo de secado se conoce como el periodo de caída de velocidad del secado.

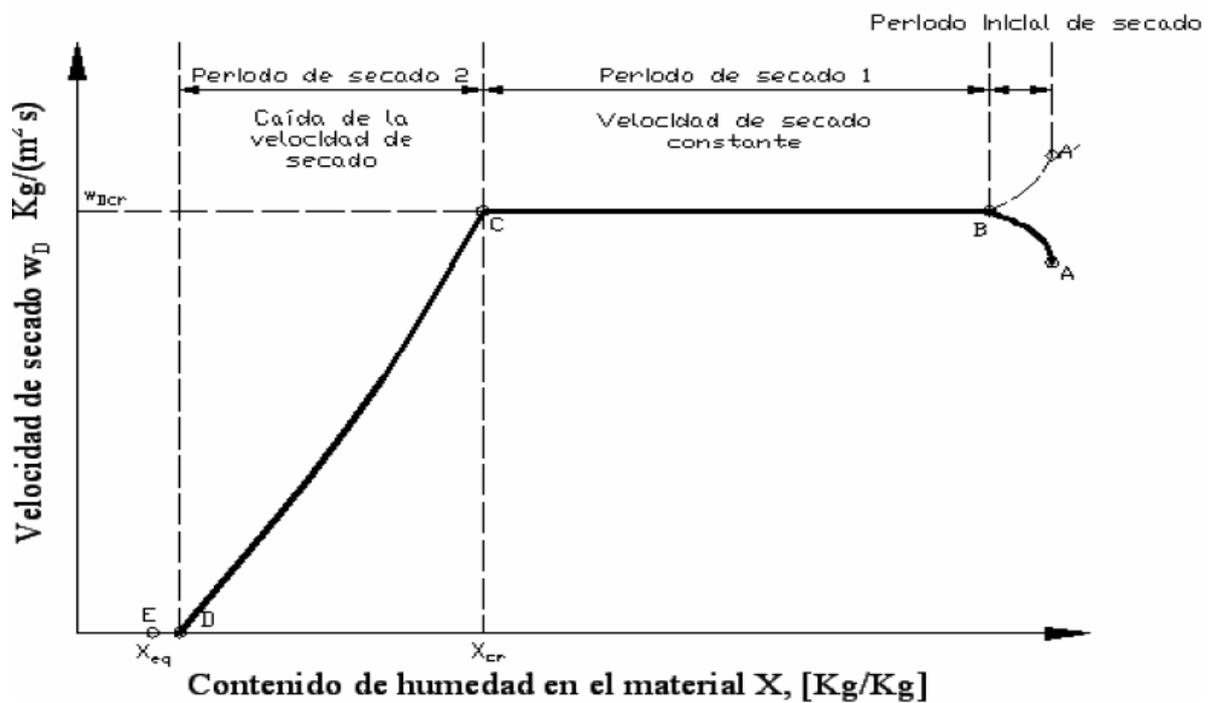
#### **b. Periodo de velocidad decreciente.**

La velocidad decreciente se da, cuando el contenido de agua del alimento desciende por debajo de la humedad crítica, velocidad en el secado es más lenta, acercando se a cero al alcanzarse el contenido de agua en equilibrio. Es decir, el alimento se equilibra con el aire. Los alimentos no higroscópicos poseen un solo periodo de velocidad decreciente etapa C-D, mientras que, en los higroscópico posee la etapa D-E. El primer periodo el frente de la deshidratación se desplaza hacia el interior del alimento desecado. Este periodo, finaliza cuando, el frente de evaporación alcanza el centro del alimento y la presión parcial de vapor desciende por debajo de la presión de vapor de saturación (Casp y Abril, 2003).



**Figura 9: Curva de velocidade de secado**

FUENTE: Paquita (2015).



**Figura 10: Velocidad del secado.**

FUENTE: Paquita (2015).

## **2.5.2. HUMEDAD**

### **a. Humedad inicial.**

El contenido de humedad inicial, se expresa en relación a la masa total de la muestra a evaluar. El conocimiento de la estructura física, la fisiología y la composición química es fundamental para comprender los cambios que presentan en las diferentes fases del manejo. El contenido de agua es importante en la calidad del producto, las interacciones entre el material, vapor de agua, y el agua líquida son bastante complejos. La variación en los cambios de temperatura, presión de vapor, número y tamaño de los capilares (Adbeel, 2019).

### **b. Humedad de equilibrio.**

Un sólido húmedo expuesto a un suministro de gas fresco sigue perdiendo la humedad hasta que la presión de vapor de agua en el sólido es igual a la presión parcial del vapor en el gas. El sólido y el gas entonces están en equilibrio y el contenido de agua del sólido se denomina la humedad de equilibrio. Además, la exposición a este aire indefinidamente por periodos largos no dará lugar a ninguna pérdida adicional de humedad. Un intercambio de material higroscópico y energía con que alcanza su entorno, hasta un estado de equilibrio. La presencia de agua es una causa de una cierta presión de vapor de agua en la superficie del material (Cortez, 2015).

### **c. Humedad libre.**

La humedad libre es la humedad del sólido; que es la humedad que está en exceso con relación a la humedad de equilibrio, se puede evaporar y depende de la concentración de vapor en la corriente gaseosa

Existen otras definiciones como humedad límite; que es la humedad del sólido que ejerce una presión de vapor de equilibrio menos que aquella que ejerce el líquido puro a la misma temperatura y la humedad no tiene límite que es la humedad del sólido que ejerce una presión de vapor igual a la del líquido puro a la misma temperatura (Santamaria, 2010).

### **d. Humedad ligada o agua ligada.**

Un producto alimenticio contiene en general simultáneamente varias formas de agua: agua libre, agua débilmente ligada y agua fuertemente ligada, estas últimas están retenidas a la molécula de materia seca por fuerzas relativamente importantes. La humedad ligada es la diferencia entre la humedad del sólido y la humedad ligada o bien la humedad libre de la

muestra en contacto con aire saturado. Si el sólido tiene humedad desligada se comportará como húmedo (Casp y Abril, 2003).

#### **e. Humedad crítica.**

La humedad crítica es una propiedad del alimento, que depende del tamaño de partícula y de las condiciones del aire de secado. En el periodo de velocidad constante, el principal mecanismo de transporte de masa es el flujo capilar de agua líquida, aunque puede existir alguna difusión de líquido. Lo mismo ocurre con la velocidad del aire desecado, cuando mayor es esta, mayor es la velocidad de secado (Casp y Abril, 2003). Es el punto que separa los dos periodos de secado el anticrítico y pos-crítico (Catalunya, 2017).

### **2.5.3. Ley de Fick**

Las leyes de Fick sobre la difusión, son leyes cuantitativas, escritas en forma de ecuación diferencial y describen matemáticamente al proceso de difusión de materia o energía en un medio en el que inicialmente no existe equilibrio químico o término. Las leyes de Fick son utilizadas para resolver el coeficiente de difusión (Adbeel, 2019).

#### **a. Segunda ley de Fick**

El principal mecanismo en el secado de sólido es la difusión del agua en los sólidos de estructura fina y en capilares, poros, y los pequeños agujeros llenos de vapor de agua. El vapor de agua se difunde hasta que alcanza la superficie, en el que pasa a la corriente de aire global. A partir de la segunda ley de Fick, es posible obtener modelos semi-empíricos para determinar el coeficiente de difusión efectiva  $D_{eff}$  en geometría de placa infinita y con diferentes condiciones de contorno y de operación (Melchor, 2002).

$$\frac{dX}{dt} = D_{eff} \frac{\delta^2 X}{\delta x^2}$$

Donde:

X : contenido de humedad del producto (Kg H<sub>2</sub>O/kg.s.)

t : tiempo (h)

x : es la distancia de la transferencia de masa (m)

$D_{eff}$  : es el coeficiente de difusión efectiva (m<sup>2</sup>/s)

## b. Coeficiente de Difusión

Es el fenómeno de secado de productos naturales, durante el proceso es controlado por el mecanismo de difusión de líquido o vapor. Suponiendo que el coeficiente de difusión es constante, es decir, independiente de contenido de humedad en el interior, y que la contracción del material es insignificante, segunda ley de Fick, que establece una relación entre el coeficiente de difusión y la gradiente de concentración en un entorno determinado, se puede utilizar. La difusión se da en sólidos de la estructura fina y en los poros capilares y pequeños espacios vacíos llenos de vapor, el vapor se difunde hacia afuera hasta que alcanza a la corriente global del aire (Cayra, 2019).

## c. Lamina

La difusividad de humedad en sólidos y alimentos de forma definitiva puede ser estimado a partir de los datos sobre la tasa de secado bajo condiciones especificadas. Se supone que, durante el período de la disminución de la tasa de secado, la humedad se transfiere principalmente molecular (Rao, 2014).

Difusión de la ecuación de difusión no estacionario por una lámina infinita de espesor medio  $L$ , el secado de ambas superficies planas y la solución simplificada es:

$$RM = \frac{X_t - X_\infty}{X_0 - X_\infty} = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\frac{\pi^2 D_e t}{4L^2}\right)$$

Donde:

$X_0$  : Humedad inicial ( $\text{kgH}_2\text{O}/\text{kgs.s.}$ )

$X_\infty$ : humedad de equilibrio ( $\text{kgH}_2\text{O}/\text{kgs.s.}$ ).

La difusión molecular o transporte se puede definir como la transferencia de moléculas individuales a través de un fluido por medio de los desplazamientos individuales y desordenados de las moléculas. Las moléculas se mueven de forma aleatoria, la difusión molecular es también conocida como proceso con trayectoria aleatoria (Melchor, 2002).

## **CAPÍTULO III**

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. HIPÓTESIS**

##### **3.1.1. Hipótesis general**

- La optimización y evaluación del secado por ultrasonido-infrarrojo y vacío conservará las propiedades funcionales de las hojas de quinua.

##### **3.1.2. Hipótesis Especificas**

- La aplicación del método combinado infrarrojo y horneado alteran considerablemente las propiedades funcionales de las hojas de quinua.
- Al incrementar la temperatura en los métodos ultrasonido-infrarrojo-vacío, menor es el tiempo de secado y varia significativamente las propiedades funcionales de las hojas de quinua.
- El mejor ajuste de la curva de secado de las hojas de quinua difiere en relación a los métodos empleados.

#### **3.2. LUGAR DE ESTUDIO**

El presente trabajo de investigación se realizó en el distrito de Puno, provincia de Puno departamento de Puno

La parte experimental se realizó en las siguientes instalaciones

- El lavado y proceso de secado por ultrasonidos-infrarrojo y vacío, infrarrojo y horno común se realizó en la Universidad Nacional del Altiplano-Laboratorio de microbiología.

- Los análisis para la determinación de contenido fenólico total, capacidad antioxidante y flavonoides totales se realizaron en la Universidad San Antonio Abad del Cusco.

### **3.3. MATERIALES Y EQUIPOS**

#### Materia prima

- La hoja de Quinoa de la variedad Blanca de Juli, fue extraída del centro experimental Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), distrito de Salcedo – Puno del 2021.

#### Materiales de laboratorio

- Bol de acero inoxidable
- Envases de polipropileno
- Pipetas volumétricas, Pírex
- Probetas de 100 ml de marca DELTALAB
- Pinzas de laboratorio
- Matraz Erlenmeyer
- Vaso de precipitado de 500 ml, Pírex
- Regla metálica
- Campana de desecación

#### Reactivos

- Folin-Ciocalteu
- 2,2-difenil-1-picrilhidrazil (DPPH)
- Trolox
- Metanol
- $\text{AlCl}_3$  al 10%
- $\text{NaNO}_2$  al 5%
- $\text{NaOH}$  1 mol
- $\text{Na}_2\text{CO}_3$  al 75%
- Cloruro de aluminio
- Agua destilada

#### Equipos

- Vernier, LITZ
- Ultrasonido cleaner de marca Clean de potencia
- Lámpara Infrarrojo de marca Philips de 250 Watts
- Bomba al vacío de 15 bar marca roma
- Horno de laboratorio, Estufa de marca Memmert
- Balanza analítica ES-8000H
- Sensor de temperatura
- Espectrofotómetro Genesis 20 Thermo Electron
- Caja de madera de (60 + 40 + 30) cm.

### 3.4. METODOLOGÍA

#### Para el objetivo N°1.

Se determinó el efecto de los métodos de secado en las propiedades funcionales de las hojas de quinua para ello se trabajó con las variables de estudio a continuación:

#### a. Variables independientes:

##### Métodos de secado

- Secado con Ultrasonido-infrarrojo y vacío
- Secado con horno
- Secado con aire caliente IR.

#### b. Variables dependientes:

- Análisis de Fenoles totales
- Análisis de Flavonoides totales
- Análisis de Capacidad antioxidante

Se sometió a secado las muestras de hoja de quinua por los métodos de US-IR-Vac, Aire caliente IR y Estufa de laboratorio a 40°C, 60°C y 80°C, según la metodología descrita en la descripción del diseño experimental 3.5, para luego determinar el contenido las capacidad antioxidante, fenoles totales y flavonoides totales, en las hojas de quinua. El contenido de propiedades funcionales en las hojas de quinua se desarrolló de la siguiente manera:

- **Determinación de la capacidad antioxidante.**

Para la determinación de la capacidad antioxidante de las muestras, se utilizó la metodología descrita por Brand-Williams *et al.* (1995) y Matuszewska *et al.* (2018). Los compuestos con actividad antioxidante reaccionan con el radical estable 2,2-difenil-1-picrilhidrazila (DPPH) en una solución de metanol. De esta solución de dilución de metanol aproximadamente, se preparó la muestra 1g de muestra final, moliéndola hasta obtener partículas finas. En seguida se le adicionó 15 ml de metanol, posteriormente se agitó en el Sheaker por espacio de 20 minutos a 50°C; adicionalmente, se centrifugó a 1250 rpm por 5 minutos para obtener el líquido sobrenadante. Estos dos últimos procesos se volverán a realizar con el bagazo restante, para recuperar el líquido sobrenadante. El líquido obtenido es la muestra lista para ser evaluada. Éste puede ser analizado inmediatamente o puede almacenar a 20°C para su posterior análisis.

Para la lectura se llevó la muestra a un espectrofotómetro a cero con metanol, enseguida se aseguró una absorbancia inicial a 0.700 nm de la solución diluida de DPPH, alrededor de  $1.1 \pm 0.02$ , con una micro pipeta se añadió una alícuota de 150  $\mu\text{L}$  de la muestra con 2850  $\mu\text{L}$  de la solución diluida de DPPH dentro de un vial de plástico limpio. Se hizo correr con 150  $\mu\text{L}$  del solvente puro hasta obtener un factor de corrección. Se dejó que la muestra y el DPPH reaccionen en un agitador en la oscuridad y se cierran las viales, la temperatura ambiental fue de 20°C, durante 30 min y se transfirió la solución a una cubeta de vidrio limpia. Después se procedió a la lectura en el espectrofotómetro a 517 nm. En base a la diferencia de absorbancias se calculó el porcentaje de inhibición:

$$\%De\ Inhibición = \left( \frac{A_0 - A_1}{A_0} \right) * 100\%$$

Donde:

$A_1$  y  $A_0$  son valores de absorbancia de la muestra. Los valores de  $IC_{50}$  o las concentraciones de muestras necesarias para eliminar el 50 por ciento de los radicales libres DPPH, se calcularon utilizando un análisis de regresión lineal. Trolox se utilizó como compuesto de referencia para evaluar la actividad de barrido radical.

La ecuación para la cuantificación de la capacidad antioxidante es la siguiente:

$$Trolox\ Eq. = (a + bX)(0.25) \left( \frac{ml\ de\ extracto\ total}{gr.\ de\ muestra} \right) \left( \frac{150\mu L\ de\ muestra\ reactante}{\mu L\ extracto\ de\ muestra} \right)$$

Dónde el 0.25 es usado para expresar *Trolox* en unidades de  $\mu\text{g}$ .

Es obtenido a partir del peso molecular del Trolox.

- **Análisis del contenido fenólico total**

El contenido fenólico total en las hojas de quinua se determinó aplicando el método de Folin-Ciocalteu- Espectrofotometro. En seguida, 0,5 ml de extracto vegetal (100  $\mu\text{g}$  / ml) se vertió en un tubo de ensayo y se mezcló suficientemente con 2 ml de un reactivo de Folin-Ciocalteu desionizado diluido en agua 1:10 y 2 ml de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  al 7,5% p / v. La mezcla de reacción se incubó y se trazó una curva estándar del ensayo usando ácido gálico en metanol acuoso al 60%. Se usó una mezcla de agua y reactivos. Los datos sobre el contenido fenólico total se expresaron como mg / g de ácido gálico equivalente (GAE) de extracto seco. Para determinar el contenido fenólico total se utilizó la metodología de (Hosseinzadeh *et al.*, 2018).

$$\text{TPC (mg } \frac{\text{EAG}}{100\text{g}}) = \frac{(\text{D.O. muestra} - \text{Valor intercepto}) \times \text{Vmuestra} \times \text{F.D.}}{\text{Valor pendiente} \times \text{W muestra}} \times 100$$

- **Medición del contenido total de flavonoides**

El contenido total de flavonoides del extracto crudo se midió utilizando un método colorimétrico de cloruro de aluminio modificado. Brevemente, se prepararon 50  $\mu\text{L}$  de extracto crudo (1 mg / ml de etanol) hasta 1 ml de metanol, mezclado con 4 ml de agua destilada y luego 0.3 ml de solución de  $\text{NaNO}_2$  al 5%; después de una incubación de 5 minutos, se añadió 0.3 ml de solución de  $\text{AlCl}_3$  al 10% a la mezcla, y luego la solución resultante se dejó durante 6 minutos. Luego, se añadió 2 ml de solución de  $\text{NaOH}$  1 mol / l, Se dejó reposar la mezcla durante 15 minutos y se registró la absorbancia a una longitud de onda de 415 nm. El contenido total de Flavonoides se determinó de acuerdo con una curva de calibración, y los resultados se presentó en términos de mg de rutina equivalente / g de peso seco. Para la determinación del contenido total de flavonoides en la hoja de quinua se aplicó la metodología de (Hosseinzadeh *et al.*, 2018).

## **Para el objetivo N° 2.**

Se evaluó el efecto de la temperatura de secado sobre el tiempo de secado y el contenido de capacidad antioxidante, fenoles totales y flavonoides totales en las hojas de quinua, para ello se consideró las siguientes variables:

a. Variable independiente:

Temperatura

- 40°C, 60°C y 80°C.

Métodos de secado

- Secado con Ultrasonido-infrarrojo y vacío
- Secado con horno
- Secado con aire caliente IR.

La metodología para el desarrollo del presente objetivo se procedió determinando el tiempo, el tiempo en el proceso de secado a temperaturas de 40°C, 60°C y 80°C.

## **Para el objetivo N° 3.**

Por último, para el desarrollo del objetivo tres, se consideró las siguientes variables.

Modelar la velocidad de secado de las hojas de quinua

a. Variable independiente:

- Ultrasónico-infrarrojo y vacío

Temperatura:

- 40°C
- 60°C
- 80°C

b. Variable dependiente: Modelación de secado

- Cinética de secado

Los modelos de curva de secado de capa fina para hoja de quinua se seleccionaron en base a los modelos recomendados por Galo (2009) aplicando la segunda ley de Fick.



### **Descripción de operaciones:**

**RECOLECCIÓN:** Las hojas de quinua se recolectaron del ámbito de la Región Puno, del Centro Experimental; Instituto Nacional de Innovación Agraria (Salcedo Puno). Se extrajo las hojas de la quinua de variedad Blanca de Juli a los 80 – 90 días después de ser sembrada, de la parte media a superior de la planta en desarrollo, considerando que las hojas este en buen estado y con buena apariencia en base a lo descrito por, Silva (2017), donde describe que entre los 60 – 90 días de sembrada la hoja de quinua, antes de la fase de floración las hojas de quinua tienen una textura apta con sus componentes y durante el proceso de floración o después la hoja se lignifica.

**SELECCIÓN:** Las hojas de quinua recolectadas se clasificaron a fin de eliminar algunas hojas defectuosas (amarillentas, quebradas, atacadas por insectos) que puedan influir en el secado o en la determinación de fenoles totales, capacidad antioxidante y flavonoides totales y extrayendo los tallos presentes en la hoja. El proceso de selección se realizó a temperatura ambiente.

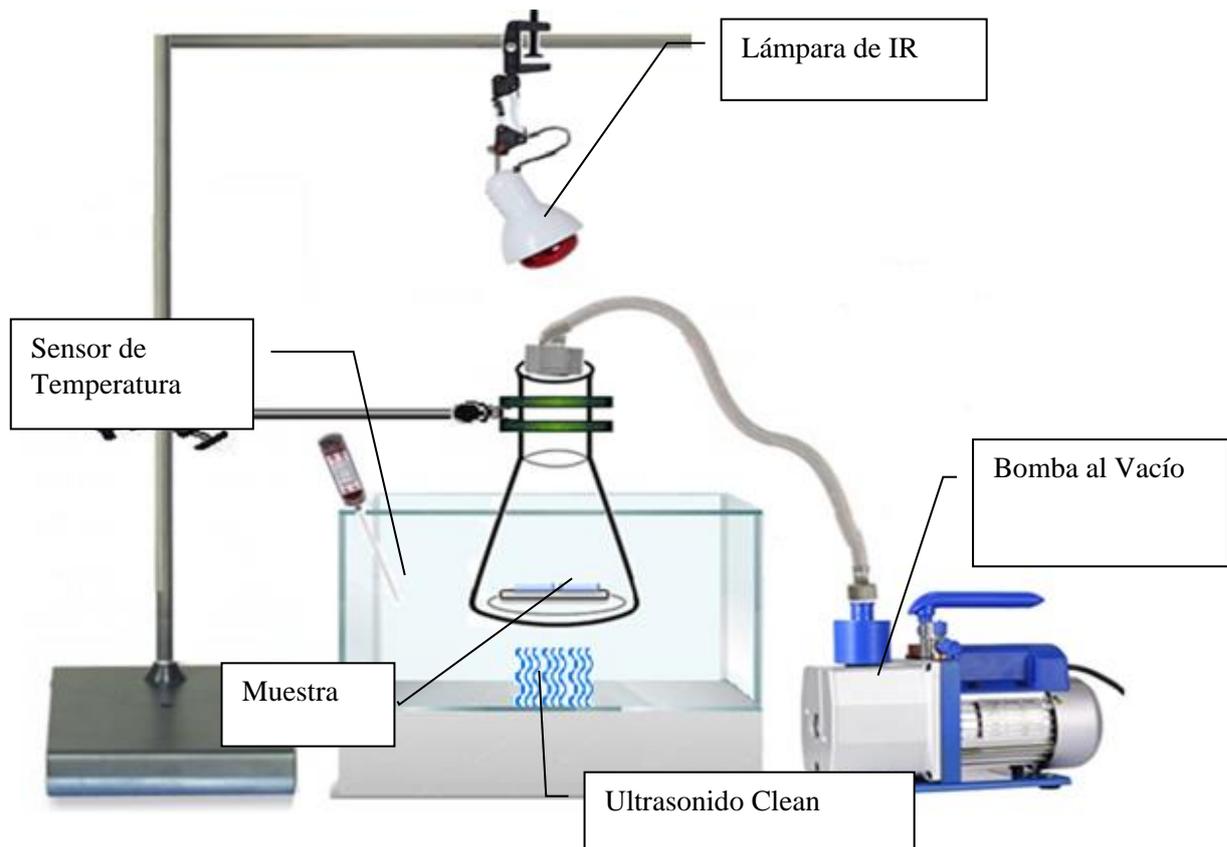
**DESINFECCIÓN** La desinfección se realizó una vez transportada al laboratorio en un recipiente, con una solución de hipoclorito de sodio a 75ppm por 5 minutos, esta operación se realizó con la finalidad de reducir los agentes microbianos de la materia prima, transcurrido el tiempo se escurrió y se procedió a enjuagar para eliminar los residuos de cloro y se extendió sobre un papel absorbente a fin de que las muestras se sequen. Para esta operación se tomó como referencia el estudio realizado por (Cayra, 2019).

**PESADO:** Se pesó aprox. 5 gr de las unidades experimentales (hojas de quinua) en balanza analítica de 500 gr de capacidad, con la finalidad de someter al proceso de secado por los métodos planteados en la investigación y considerando las temperaturas.

**SECADO:** El proceso de secado se realiza mediante los métodos de secado Ultrasonido-Infrarrojo-Vacío, Aire Caliente por Infrarrojo y Horno convencional a temperaturas de 40°C, 60°C y 80°C detalladas a continuación:

- Secado ultrasonido-infrarrojo-vacío: Para optimizar este método, en una estructura de madera con medidas de; 80 cm de altura, 45 cm de ancho y 40 cm de fondo, se adecuo, el ultrasonido Clean con una potencia de 150 W, frecuencia de 28KHz, con dimensiones de; 30 cm de altura, 35 de ancho y 20 de profundidad, el vacío fue creado

por una bomba de vacío con una presión máxima de 15 mbar. El aire caliente fue generado por una lámpara infrarroja (40°C, 60°C y 80°C) y se ajusta estableciendo una distancia de 10 cm entre la muestra y la lámpara infrarrojo, la temperatura se controló con un sensor de temperatura digital. Se sometió a secado 5 gr de hoja de quinua en un matraz de 500 ml sujetado por un soporte universal, posterior a ello se envasó en bolsa de polipropileno y se almacena en un ambiente oscuro.



**Figura 12:** Esquema del secador por Ultrasonido–Infrarrojo–Vacío adaptado de Hosseinzadeh *et al.* (2018).

- Secador de aire caliente infrarrojo. Para llevar a cabo el proceso de secado por el método propuesto, se estableció una caja de madera con dimensiones de 80 cm de altura, 45 cm de ancho y 40 cm de fondo, se adecuó el posicionamiento de la lámpara infrarrojo en un ángulo de 180° y se colocó una bandeja en la parte inferior, en donde, se esparce la muestra generando una distancia de 40 cm entre la lampara y la muestra. La temperatura se controló con un sensor de temperatura. El peso de la muestra sometida a secado es de 5 gramos a 40°C, 60°C y 80°C de temperatura, posteriormente se pesó, se envaso en bolsa de polipropileno y se almacenó en un ambiente oscuro.



**Figura 13: Esquema de secado por aire caliente**

- Secado al horno: El secado en horno es un método simple y tradicional para secar los alimentos ya que no se requiere de un equipamiento especial. Es además más rápido que el secado al sol o el uso de un secador de alimentos. Sin embargo, el secado en horno puede ser utilizado solo en pequeña escala. Para someter las hojas de quinua al proceso de secado por horno se utilizó una estufa de laboratorio con regulador de temperatura y tiempo, se encendió la estufa y se programó la temperatura establecida (40°C, 60°C y 80°C) una vez hallada la temperatura objetiva se sometió a secado la muestra de 5 gr. Se detuvo el secado al observar que la muestra presenta un peso constante, se envasa en bolsa de polipropileno y se almacena a 4°C en un ambiente oscuro.



**Figura 14: Esquema de secado por horno convencional (estufa)**

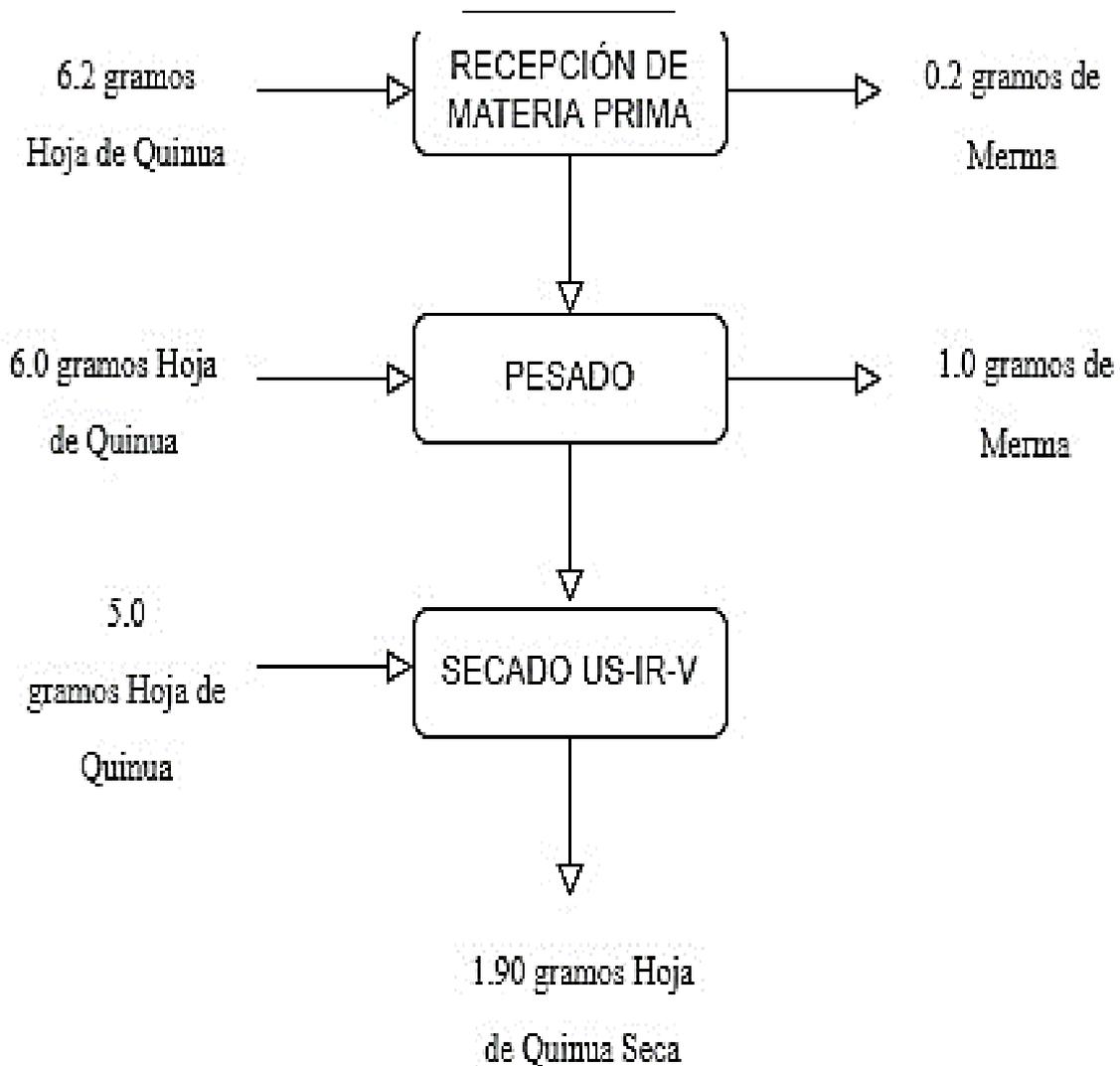
**PESADO:** En este proceso, obteniendo las muestras secadas por US-IR-V, IR y HC a 40°C, 60°C y 80°C de temperatura, se procedió a pesar, para evaluar el porcentaje de peso perdido durante el proceso de secado y analizar las muestras.

**ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS:**

Las muestras obtenidas se analizaron en el laboratorio de la Universidad San Antonio Abad del Cusco, a fin de, determinar el contenido total de fenoles, flavonoides y la capacidad antioxidante.

**BALANCE DE MATERIA.**

Se realizó un balance de materia en la hoja de quinua secada a 40°C por el método de Ultrasonido-Infrarrojo-Vació.



**Figura 15: Balance de materia del método Ultrasonido-Infrarrojo-Vació**

### **3.6. DISEÑO EXPERIMENTAL**

Los resultados obtenidos del primer objetivo surgieron del análisis de los datos mediante diseño completamente aleatorio con interacción. La base de datos consta de 9 tratamientos, con tres repeticiones, tres variables y tres temperaturas, con los datos obtenidos se realizó un análisis de varianza, a fin de determinar las diferencias significativas entre los tratamientos y temperaturas aplicadas, posteriormente se realizó la prueba Tukey, para precisar, las diferencias entre tratamientos y temperaturas, con un nivel de confianza de 5%.

Para el segundo objetivo; Los datos fueron analizados usando el diseño en bloques completos al azar (DBCA). La base de datos consta de 10 tratamientos con 3 repeticiones (bloques) y 3 variables: actividad antioxidante compuestos fenólicos totales y flavonoides totales, con los datos obtenidos se realizó un análisis de varianza (ANOVA) a fin de determinar las diferencias significativas entre los tratamientos usados, posteriormente se realizó la prueba de comparación Tukey, para precisar diferencias entre tratamientos y temperaturas, con un nivel de confianza del 5%, los datos fueron analizados en software estadístico R versión 4.1.2. Las variables fueron sometidas a un análisis de varianza y los tratamientos fueron comparados usando el test de comparación de medias Newman–Keuls ( $p < 0.05$ ). El análisis multivariado se realizó usando análisis de componentes principales (PCA) para las variables y los individuos.

Para el tercer objetivo; El modelo de secado se realizó ajustando a la segunda Ley de Fick, para dicho procedimiento se consideró los datos de la hoja de quinua secada por el método Ultrasonido-Infrarrojo-Vacío a temperaturas de 40°C, 60°C y 80°C.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. EFECTO DE LOS MÉTODOS DE SECADO EN LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTES, FENOLES TOTALES Y FLAVONOIDEOS TOTALES DE LA HOJA DE QUINUA.

##### 4.1.1. Capacidad antioxidante de la hoja de quinua

En la Tabla 13 se muestran los resultados de la capacidad antioxidante de la hoja de quinua variedad Blanca de Juli, el cual presenta un coeficiente de inhibición al 50% (CI50 o IC50) en miligramos equivalentes Trolox presente en 100 gramos de muestra, para ello se empleó el método DPPH.

**Tabla 13:** *Capacidad antioxidante de la hoja de quinua fresca*

Muestra	Contenido de capacidad antioxidante			
	Repeticiones			Promedio
	r1	r2	r3	Trolox CI50 mg/100 g
Hojas de quinua fresca	14.09	13.96	14.22	14.09 ± 0.13

r: repetición

La hoja de quinua en estado fresco, presenta un valor de 14.09 Trolox CI50 mg/100 g, este valor es menor a lo reportado por Silva (2017) en el estudio realizado a la hoja de quinua de variedad INIA, donde el valor de la capacidad antioxidante fue expresado en 6414.35  $\mu\text{mol T.E./100 g}$ . Sin embargo, estos valores confirmarían que las hojas de quinua poseen actividad antioxidante. Por otro lado, el estudio realizado por Sanchez (2019) reporta que durante la fase de ramificación, presenta mayor capacidad antioxidante en las hojas de quinua de variedades: Pasankalla (1492,02 ± 106,20  $\mu\text{mol TE/g bs}$ ), Blanca Junín (1126,69 ± 20,86  $\mu\text{mol TE/g bs}$ ) y Blanca Criolla (945,77 ± 36,90  $\mu\text{mol}$

TE/g bs). Por su parte, Mujica *et al.* (2001), indica que las hojas de quinua en su primera fase son tiernas, con mayor porcentaje de agua y color, pero ya pasando los 90 días de siembra las hojas de quinua se lignifican, motivo por el cual recomienda la recolección y selección dentro de los 60 y 90 días después de la siembra. Las propiedades reductoras se asocian, generalmente, con la presencia de reductores como el ácido ascórbico, que ha demostrado que ejerce una acción antioxidante al romper la cadena radical, también, informa que los reductores reaccionan directamente con peróxidos y también con ciertos precursores de peróxidos, evitando así la formación de peróxidos (Hamrouni-Sellami *et al.*, 2013). Las actividades antioxidantes y antirradicales de los flavonoides se correlacionan positivamente con el número de grupos hidroxilo en su anillo aromático, que pueden peróxido de barrido (Vazquez-Luna *et al.*, 2019).

#### 4.1.2. Hojas de quinua secada por el método combinado (ultrasonido-infrarrojo-vacío).

La capacidad antioxidante de la hoja de quinua secada por el método combinado, se midió mediante la prueba DPPH, el método utilizado se aplica ampliamente para estudiar la actividad de eliminación de radicales libres de varios compuestos antioxidantes. En el ensayo DPPH, los antioxidantes que pueden donar hidrógeno y pueden reducir el radical DPPH estable a la forma no radical de color amarillo (Hosseinzadeh *et al.*, 2018). En la Tabla 14, se muestra los resultados expresada en Trolox CI50 mg/100g respectivamente.

**Tabla 14: Efecto del método de secado US-IR-Vac sobre capacidad antioxidante de la hoja de quinua.**

Código	Muestra		Repeticiones			Capacidad Antioxidante
	Temperatura (°C)	Tiempo (min.)	r-1	r-2	r-3	Promedio Trolox CI50 mg/100 g
MUS-IR-V-1	40	120	24.93	24.32	24.08	24.44 ± 1.32
MUS-IR-V-2	60	40	317.02	318.34	315.69	317.02 ± 0.12
MUS-IR-V-3	80	30	38.27	38.15	38.03	38.15 ± 0.32

MUS-IR-Vac: Método de secado por ultrasonido-infrarrojo y vacío r: repetición

Según la Tabla 14, el tratamiento que presenta mayor capacidad antioxidante es a 40°C con una concentración de 24.44 ± 1.32 Trolox CI50 mg/100 g, en seguida a 80°C con

38.15 ± 0.32 Trolox CI50 mg/100g y por último a 60°C con menor concentración de capacidad antioxidante con un valor de 317.02 ± 0.12 Trolox CI50 mg/100 g. La diferencia de concentración de capacidad antioxidante de 60°C en relación a la de 40°C y 80°C es altamente significativa. Según, Echavarría *et al.* (2012), explican que esta diferencia puede ser debido a la generación y acumulación de melanoidinas derivadas de Maillard que ejercen varios niveles de actividad antioxidante dependiendo de la reacción inducida por el calor que podrían alterar o mejorar la calidad general de la muestra, las melanoidinas son responsables del color. Según, Matuszewska *et al.* (2018), Y Chen *et al.* (2017) establecen que un valor de coeficiente de inhibición al 50% bajo implica una mayor actividad antioxidante. La actividad puede evaluarse mediante la determinación del IC 50 valores que corresponden a la concentración de muestras de hongos que son capaces de eliminar el 50% de los radicales libres presentes en la mezcla de reacción y en IC alto 50 los valores indican una baja actividad antioxidante, muestra la mayor actividad de eliminación de radicales de DPPH y los investigadores Wong *et al.* (2012), explican que la reducción de la actividad antioxidante es debido a la lixiviación de compuestos fenólicos y disminución de la concentración del ácido ascórbico después de la cocción debido a las condiciones de temperatura. Sin embargo, Wanyo *et al.* (2017) explican que, el aumento de la actividad captadora de radicales, depende de la intensidad la radiación infrarroja y el tiempo de exposición. Por su parte Hosseinzadeh *et al.* (2018) en el secado de la hoja aromática kelussia odoratissima deshidratada, también por el método combinado, hallaron que, al aumentar la temperatura, la capacidad antioxidante aumenta durante la deshidratación de alimentos. En este contexto, el uso de ultrasonido y vacío parece ser común para reducir el tiempo mientras se ahorra una gran cantidad de energía para el secado debido a que el ultrasonido y el vacío aumentan la transferencia de masa en las regiones interfaciales y mejoran aspectos nutricionales en los productos finales (Alizehi *et al.*, 2020).

#### **4.1.3. Hoja de quinua secada por el método aire caliente infrarrojo**

El secado de alimentos por lámpara infrarroja ha ganado una mayor atención en los últimos años debido a la transferencia rápida y eficiente de calor, costos de procesamiento baratos y uniforme, lo que dio como resultado en productos con mejores propiedades organolépticas en comparación con los procesos de secado comunes (Alizehi *et al.*, 2020). La Tabla 15, reporta los resultados del método de secado por infrarrojo efectuados en esta investigación.

**Tabla 15: Capacidad antioxidante de la hoja de quinua secada por el método de infrarrojo**

Muestra		Repeticiones			Capacidad antioxidante	
Código	Temperatura (°C)	Tiempo (min.)	r-1	r-2	r-3	Promedio Trolox CI50 mg/100 g
MIR-1	40	420	7.11	7.05	6.69	6.95 ± 0.23
MIR-2	60	140	14.17	14.43	14.37	14.32 ± 0.14
MIR-3	80	30	9.12	9.72	9.96	9.60 ± 0.43

MIR: método de secado por infrarrojo r: repetición

La Tabla 15, expresa que a 40°C presenta un valor de 6.95 Trolox CI50 mg/100 g., pero a 80°C presenta 9.60 Trolox CI50 mg/100 g. de capacidad antioxidante frente al secado por 60°C presenta un valor de 14,37 Trolox CI50 mg/100 g., observando así la diferencia de concentración de capacidad antioxidante y demostrando que el tratamiento que presenta mejor actividad antioxidante es a una temperatura de 40°C., de tal manera, se deduce que conforme se incrementa la temperatura, la capacidad antioxidante disminuye. Por otra parte, en el estudio realizado por Zapata *et al.* (2015), explica que la pérdida de la actividad antioxidante puede suceder por la degradación térmica de los fenoles y otros metabolitos antioxidantes, que son compuestos termolábiles. Los compuestos químicos sufren cambios significativos en su estructura, pierden de uno o más átomos de la estructura fundamental, propiedades del compuesto. La radiación infrarroja resultó siendo un efecto sinérgico, que conduce a un secado más eficiente (Alizehi *et al.*, 2020). Por otra parte, en el estudio realizado a la hoja de *kelussia odoratissima* los investigadores Hosseinzadeh *et al.* (2018) muestran que a 60°C se obtuvo mejor concentración de capacidad antioxidante, sin embargo, Wanyo *et al.* (2017), en el estudio al secado por infrarrojo de la hoja de mulberry, determinó que la capacidad antioxidante aumentó hasta un 76% al someter a secado por infrarrojo, el aumento fue inducido por el tratamiento infrarrojo, ya que, puede tener la capacidad para escindir enlaces covalentes y liberar antioxidantes como flavonoides, caroteno, tanino, escorbato, flavoproteína o polifenoles de polímero repetidos, apoyando así al estudio realizado en la cáscara de arroz, donde indican que aumenta la actividad antioxidante.

#### 4.1.4. Hojas de quinua secado por el método horno convencional

Los valores del contenido de capacidad antioxidante de la hoja de quinua sometida al secado por horno convencional (estufa de laboratorio) a diferentes temperaturas, se muestran en la Tabla 16.

**Tabla 16:** *Capacidad antioxidante del secado de la hoja de quinua secada mediante el método convencional (estufa de laboratorio)*

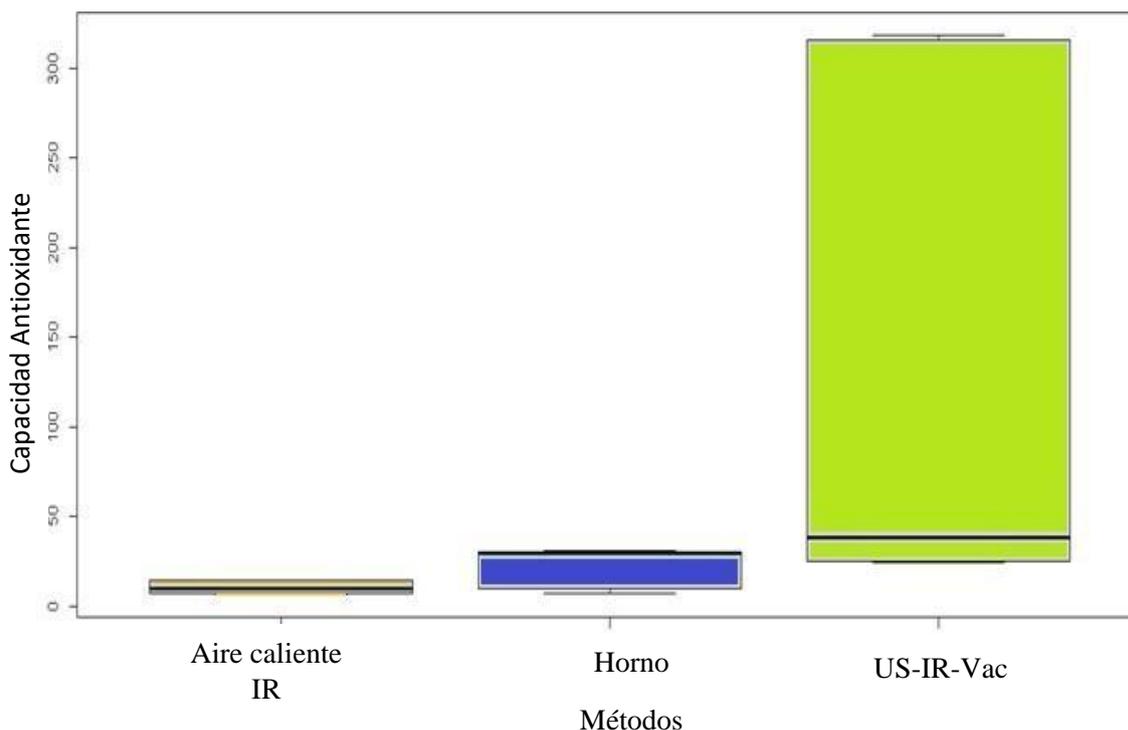
Muestra			Repeticiones			Capacidad antioxidante
Tratamiento	Temperatura (°C)	Tiempo (min.)	r-1	r-2	r-3	Promedio Trolox CI50 mg/100 g
MHC-1	40	960	30.09	29.55	29.42	29.69 ± 0.36
MHC-2	60	120	31.13	30.53	29.93	30.53 ± 0.6
MHC-3	80	60	8.43	7.28	9.69	8.47 ± 1.21

MHC: muestra secada por horno convencional r: repetición

La Tabla 16, expresa que el contenido de capacidad antioxidante a una temperatura de 80°C es el mejor tratamiento con un valor de 8.47 Trolox CI50 mg/100 g, frente a las temperaturas de 60°C y 40°C. Esta reacción puede suceder debido a que las melanoidinas se centran principalmente en su caracterización química de reacción e identificación de varias vías de evaluación de diferentes parámetros de reacción como; el pH, la temperatura, el tiempo, la reactividad del azúcar, la concentración de reactivo y la actividad del agua (Manayay y Ibarz, 2010). Las melanoidinas es el principal reactor responsable de la transformación de precursores en colorantes y compuestos aromatizantes durante el procesamiento de alimentos (Echavarría *et al.*, 2012). Por otra parte, Rababah *et al.* (2015), demostró que el secado en horno a 40°C inactiva rápidamente las polifenol oxidasa presentes en las hierbas como salvia, toronjil y menta. Sin embargo, Złotek *et al.* (2019) en la investigación a la influencia de la temperatura de secado en la composición de ácidos fenólicos y la actividad antioxidante de brotes y hojas de quinua blanca y roja, explica, que independientemente de la temperatura de secado, la hoja de quinua roja presenta mayor actividad antioxidante frente a las hojas de quinua blanca y la actividad antioxidante más baja se determinó en el secado a 60°C. Los brotes de quinua roja se caracterizaron por presentar dos veces de actividad antioxidante en contraste a la hoja de quinua blanca, independientemente del método. En el caso de hojas

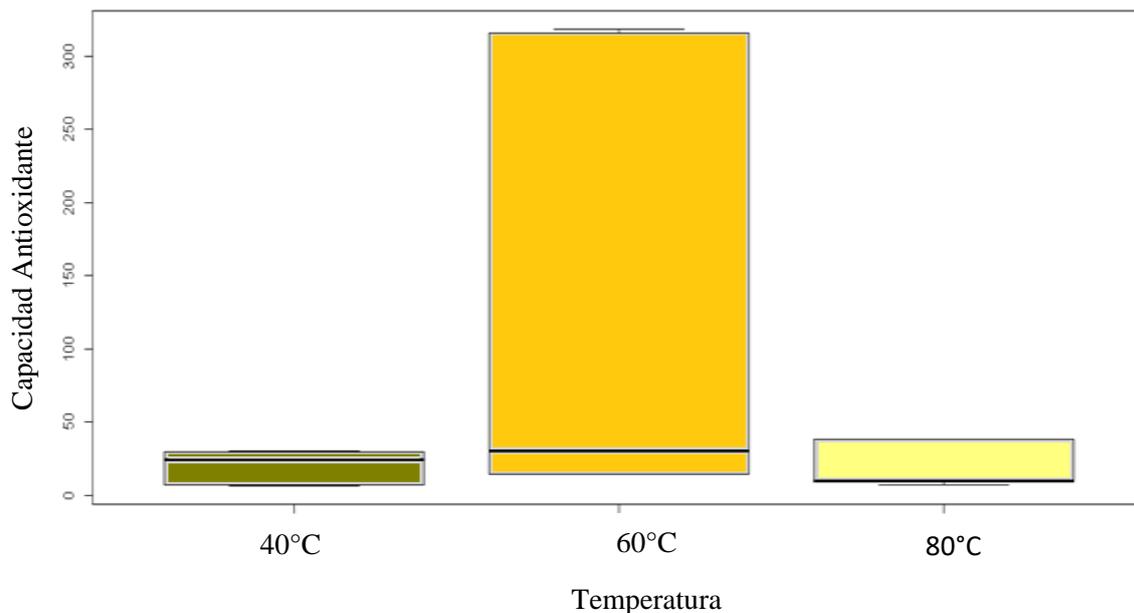
de quinua blanca, temperatura del secado no afectó el potencial antirradical; mientras que, en el caso de las hojas de quinua roja, la mayor actividad fue determinado para muestras secadas a 30°C deduciendo que los compuestos antirradicales no fueron termoestables.

#### 4.1.5. Comparación del contenido de la capacidad antioxidante en la hoja de quinua secada



**Figura 16: Diagrama de cajas métodos de secado en función a la capacidad antioxidante.**

En la Figura 16, se muestra el diagrama de cajas en función a los métodos de secado empleados para esta investigación, donde se observa que el método de secado por aire caliente Infrarrojo es el más óptimo. en seguida el método de secado por horno convencional (estufa) y por último el secado por ultrasonido-aire IR-vacío; considerando los valores de coeficiente de inhibición CI50 (concentración necesaria para eliminar el 50% de los radicales libre o para prevenir la peroxidación lipídica en un 50%). En contraste con el estudio realizado por, Wanyo *et al.* (2017), indica que las hojas de verdura de india al someter a secado por el método de infrarrojo la capacidad antioxidante aumento significativamente, confirmando así que el método de secado por infrarrojo influye en la muestra.



**Figura 17: Diagrama de cajas de el efecto de la temperatura en la determinación de la capacidad antioxidante**

De la Figura 17, podemos observar que a 40°C la capacidad antioxidante fue mayor en comparación con la temperatura de 80°C y 60°C donde muestra que la capacidad antioxidante varía significativamente; ya que, Zapata *et al.* (2015), explica la degradación térmica es el fenómeno más importante, la pérdida de la actividad antioxidante puede suceder por la degradación térmica de los fenoles y otros metabolitos antioxidantes, que son compuestos termolábiles. En la degradación térmica, los compuestos químicos sufren cambios significativos en su estructura pierden de uno o más átomos de la estructura fundamental debido a la acción de altas temperatura, resultando en una pérdida de las propiedades del compuesto

La Tabla 30 presentada en el capítulo de anexo 7, expresa los resultados del ANOVA y muestra que se encontró una diferencia significativa ( $p=0.000$ ) para el método, temperatura y la interacción entre ambos factores. La comparación se realizó para el método, por ser un factor cualitativo; en cambio para el factor temperatura, se realizó la optimización a través de los modelos de regresión cuadrática.

#### 4.1.6. Fenoles totales en las hojas de quinua

Los contenidos fenólicos se encuentran en todas las plantas, en concentraciones altas puede dar falsos positivos (Csepregi *et al.*, 2013). En la Tabla 17 se aprecia los resultados del contenido fenólico total en la hoja de quinua fresca de la variedad Blanca de Juli, determinada por el método de Folin Ciocalteu, espectrofotometría expresada en EQ-Ac gálico mg /100 g.

**Tabla 17: Fenoles totales presentes en la hoja de quinua fresca**

Muestra de hoja	Repeticiones			Fenoles Totales
	r-1	r-2	r-3	Promedio EQ-Ac gálico mg/100 g
hojas de quinua fresca	127.4	128.6	129.2	128.4 ± 0.92

r: repetición

Los resultados de la hoja de quinua fresca establecido en la Tabla 17, muestra el contenido fenólico total expresan  $128.4 \pm 0.92$  EQ-Ac gálico mg/100 g. por su parte, Vazquez-Luna *et al.* (2019) reporta que la hoja de quinua presenta 131.08 EQ-Ac gálico mg/100 g de polifenoles. Sin embargo, en los resultados del estudio realizado por Silva, (2017) demuestra que la hoja de quinua de variedad INIA 420 Negra Collana contiene más fenoles totales con un valor de  $4597 \pm 14.75$ , contrastándose con los datos obtenidos por Villacrés *et al.* (2022) donde establecen que las hojas de quinua tienen 4902.53 mg AGE/100g de fenoles totales. Esta variación puede darse debido la diferencia de variedades o al periodo de recolección de la muestra, ya que en un estudio realizado por Nicoletti, (2018) indica que, a los 44 días de siembra la hoja de quinua presenta mayor contenido fenólico total, en las variedades como: Pasankalla ( $81,21 \pm 1,67$  mg AGE/g bs), Blanca Junín ( $69,39 \pm 1,89$  mg AGE/g bs), Blanca Criolla ( $66,11 \pm 0,72$  mg AGE/g bs) y Salcedo ( $63,05 \pm 1,68$  mg AGE/g bs), pero presenta menor contenido de compuestos fenólicos la variedad Blanca Criolla a los 36 días de siembra con  $47,78 \pm 1,27$  mg AGE/g bs, Pasankalla a los 60 días de siembra con  $53,20 \pm 1,91$  mg AGE/g bs, Salcedo a los 68 días con  $53,72 \pm 1,52$  mg AGE/g bs y la Blanca Junín a los 76 días con  $52,54 \pm 1,77$  mg AGE/g bs.

En el estudio de composición química proximal y contenido de componente biológicos de hojas de quinua de la variedad (Salcedo y Altiplano), realizado por Chacaliza-rodríguez *et al.* (2021), argumenta que, la mayoría de las variedades de hoja de quinua

difieren comúnmente en la morfología, fenología y la composición química de los tejidos, además, debido a que hay intentos de adaptar diferentes tipos de quinua a otras condiciones climáticas.

#### 4.1.7. Hoja de quinua secada por el método combinado (Ultrasonido Infrarrojo y Vacío)

Según Valencia *et al.* (2017) el contenido de fenoles totales en las hojas de quinua destacan por poseer actividad antioxidante; cada polifenol tiene una cierta actividad antioxidante. A continuación, se presenta el contenido de fenoles totales en la hoja de quinua secada por el método combinado, en la Tabla 18,

**Tabla 18: Contenido de fenoles totales en la hoja de quinua secada por el método combinado (US-IR-Vac)**

Muestra		Repeticiones			Fenoles totales	
Tratamiento	Temperatura (°C)	Tiempo (min.)	r-1	r-2	r-3	Promedio EQ-Ac gálico mg/100 g
MUS-IR-Vac-1	40	120	620.8	638.6	617.8	625.73 ± 1.21
MUS-IR-Vac-2	60	40	615.3	627.2	630.1	624.20 ± 0.36
MUS-IR-Vac-3	80	30	603.3	594.3	606.2	601.27 ± 0.6

MUS-IR-Vac: Muestra secada por método ultrasonido-infrarrojo-vacío r: Repetición

En la Tabla 18, se aprecia que a 40°C la muestra contiene mejor el contenido fenólico total con un valor de 625.73 EQ-Ac gálico mg/100 g, Sin embargo, Hosseinzadeh *et al.*, (2018), informa, que en el método combinado, cuando la temperatura aumentó de 40°C a 80°C, el contenido fenólico total aumentó en un 35%. La comparación de los valores medios de los tratamientos en el método de combinación mostró que no había diferencia significativa entre 60°C y 80°C a un nivel del 5 por ciento. A este respecto, informó que, para el contenido fenólico total, la temperatura más baja muestra alta una cantidad de fenoles totales y no permite la interrupción de polímeros de la pared de células vegetales; sin embargo, a temperaturas más alta causa una óptima disminución de contenido fenólico total. Por otra parte Rababah *et al.* (2015) indica que el proceso de secado conduce a una pérdida del 30% de polifenoles en el contenido total de fenoles.

Por otro lado Surjadinata *et al.* (2017) indica que el estrés del vegetal por cocción incrementa sus compuestos fenólicos, los compuestos fenólicos son macro moléculas, es uno de los principales centros activación del metabolismo secundario de las plantas y ayuda a que se produzcan compuestos fenólicos.

#### 4.1.8. Hoja de quinua secada por método de secado aire caliente Infrarrojo

El método de secado por infrarrojo genera calor uniforme en la muestra mediante la fluctuación de moléculas en las capas superficiales y acelera el calentamiento de la muestra, reduciendo el tiempo de secado (Alizehi *et al.*, 2020). En la Tabla 19. se presenta el contenido fenólico total de la hoja de quinua secada por el método infrarrojo y determinada por el método de Folin Ciocalteu, espectrofotometría.

**Tabla 19: Contenido fenólico total en la hoja de quinua secada por método aire caliente Infrarrojo**

Muestra		Repeticiones			Fenoles totales	
Código	Temperatura (°C)	Tiempo (min.)	r-1	r-2	r-3	Promedio EQ-Ac gálico mg/100 g
MIR-1	40	420	650.2	638.3	629.4	639.30 ± 10.44
MIR-2	60	140	527.4	524.4	533.3	528.37 ± 4.53
MIR-3	80	30	590.1	584.3	566.7	580.37 ± 12.19

MIR: método de secado por infrarrojo r: repetición

En la Tabla 19, se aprecia que el contenido fenólico total a 40°C presenta un valor de 639.30 EQ-Ac gálico mg/100 g; sin embargo, a 80°C el contenido fenólico total disminuye, notando así que el contenido fenólico total varía a diferentes temperaturas. Por otra parte Criollo (2021) explica que el contenido fenólico total aumenta debido a la aparición de azúcares simples, ya que los componentes de la muestra están sometidos a altas temperaturas, esto genera la escisión homolítica de enlaces y, en consecuencia, la conversión de los polisacáridos a sus respectivas unidades monoméricas. Además, la mayoría de compuestos fenólicos se encuentran de forma glucosilada, pero estos azúcares se liberan fácilmente y aumentan su concentración en el producto final. Sin embargo, comparando con el estudio que realizaron Hosseinzadeh *et al.* (2018), indican que al someter la hoja de *kelussia odoratissima* a secado por el método infrarrojo a 40 y 60°C el contenido fenólico total aumentó, pero al someter a 80°C el contenido fenólico total

disminuyó en un 24% asemejándose así a los resultados obtenidos. Entre las especies reactivas del oxígeno, el radical hidroxilo, es el más reactivo e induce daño severo a biomoléculas adyacentes; el IR es un buen eliminador de radicales superóxidos y DPPH radical. Estudios recientes han demostrado que muchos flavonoides y polifenoles relacionados contribuyen significativamente a la actividad antioxidante total de muchas frutas y verduras.

#### 4.1.9. Hoja de quinua secada por método de secado horno convencional

La Tabla 20 presenta los resultados obtenidos de la hoja de quinua secada a 40°C, 60°C, y 80°C, expresada en EQ-Acido gálico mg/100 g.

**Tabla 20: Determinación de fenoles totales en la hoja de quinua secada por método de horno convencional**

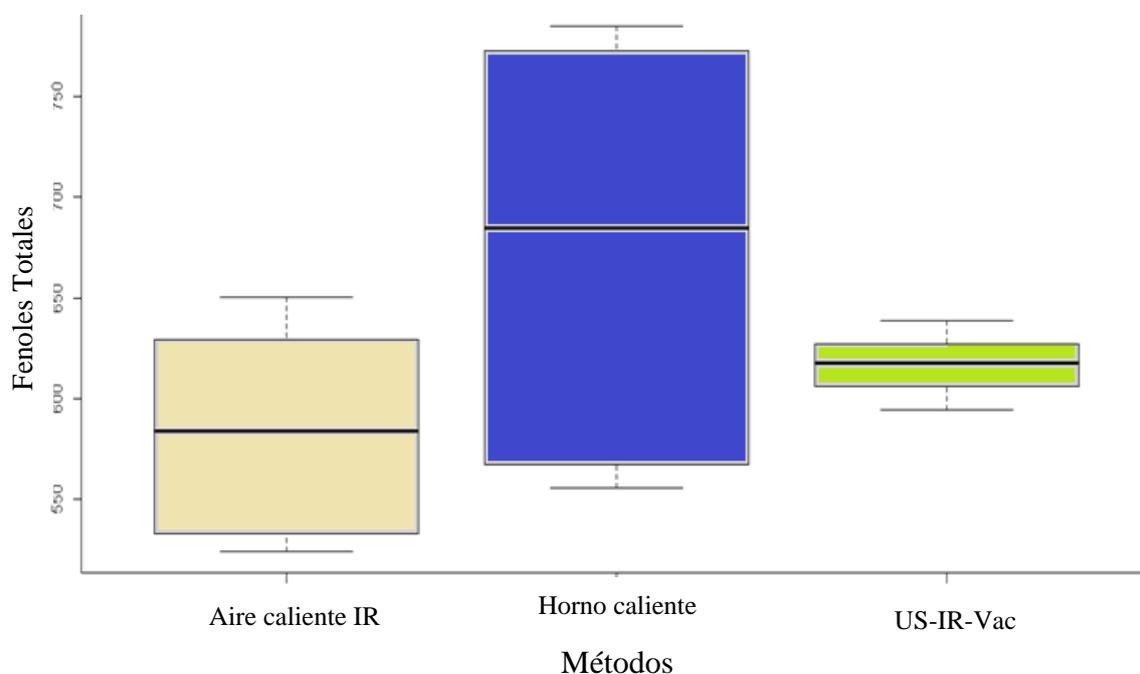
Código	Muestra		Repeticiones			Fenoles totales
	Temperatura (°C)	Tiempo (min.)	r-1	r-2	r-3	Promedio EQ-Ac gálico mg/100 g
MHC-1	40	960	567.6	564.6	555.7	562.63 ± 6.19
MHC-2	60	120	773	781.9	784.9	779.93 ± 6.19
MHC-3	80	60	675.6	684.5	687.4	682.50 ± 6.15

MHC: Muestra secada por horno convencional r: repetición

Se puede describir de la Tabla 20, que a 60°C la hoja de quinua presenta mejor contenido fenólico total con un valor de 779.93 ± 6.19 EQ-Ac gálico mg/100 g., pero Villacrés *et al.* (2022) reporta que la hoja de quinua liofilizada presenta 4902.53 mg AGE/100g, este valor es mayor a lo presentado en la Tabla 20. Sin embargo, según Hosseinzadeh *et al.* (2018), hallaron que el contenido fenólico total de las hoja de Kelussia aumentó en el secado a 80°C y explica que el aumento se produce debido a la inactivación de las enzimas, ya que son eficaces en la descomposición y degradantes, como se muestra en el secado por horno a 40°C. Allí, se observa que disminuye el contenido fenólico total debido a la temperatura óptima de estas enzimas. Por otro lado, Rababah *et al.*,(2015), en la investigación a los efectos del proceso de secado sobre fenoles totales, actividad antioxidante y contenido de flavonoides de hierbas mediterráneas comunes, compararon el secado por horno y secado a temperatura ambiente, y establecen que el nivel de

contenido fenólico total disminuyó y significativamente en hierbas con aire secado. La reducción mínima del contenido fenólico, después del tratamiento de secado al aire fue de 31,7% en la salvia mientras que el toronjil mostró la reducción máxima del contenido fenólico con un 49,1%, en el secado en horno. Por su parte, Macedo *et al.* (2020) determina que el secado causa daño físico, pérdida de volumen, y durante el secado ocurre la reacción de Maillard, formando pigmentos oscuros que cambian el color a la muestra. Todos estos efectos influenciada por la temperatura, en donde las temperaturas más altas tienden a producir más pigmentos, y el tiempo, que el producto está expuesto también es un factor, y cuanto menor sea el tiempo de exposición, menor será la producción de pigmentos oscuros con efecto compensador.

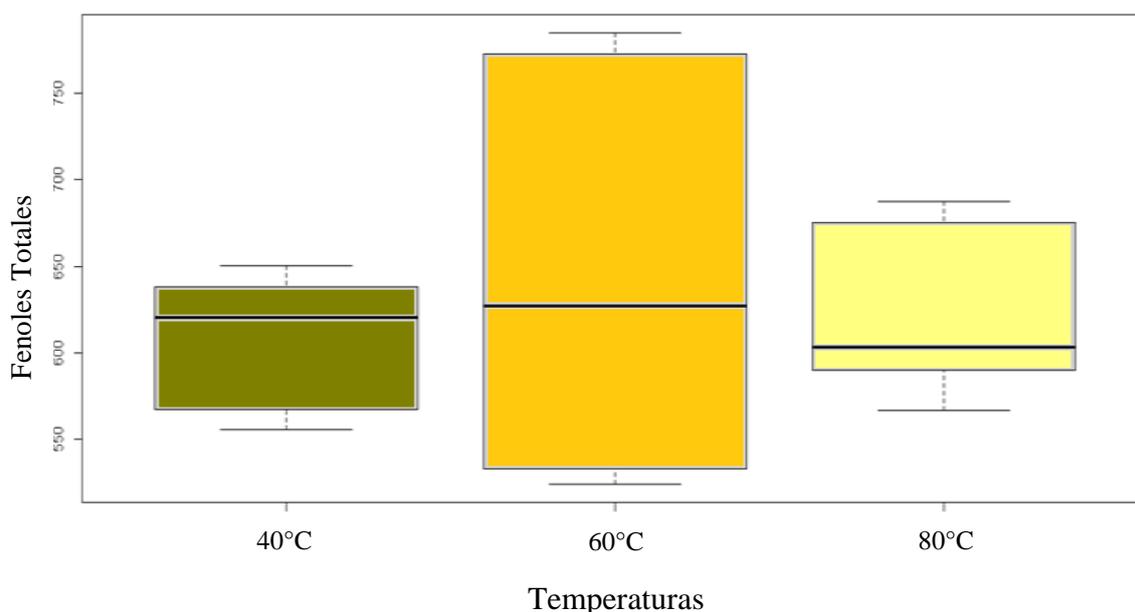
#### 4.1.10. Comparación del contenido de fenoles totales en la hoja de quinua secada



**Figura 18: Diagrama de cajas del efecto del método de secado sobre los fenoles totales.**

En la Figura 18 se observa que el contenido fenólico total presenta un mejor valor en el secado por el método de horno convencional, en comparación al tratamiento de aire infrarrojo y el ultrasonido-infrarrojo-vacío. El método de secado de horno convencional presenta mejores resultados. Por otro lado, en el estudio realizado por, Złotek *et al.* (2019) determina que el secado a 60°C por un secador de convección único de la ONU, disminuyeron significativamente los compuestos fenólicos totales en la variedad blanca.

Sin embargo, para la quinua de variedad roja se determinó mayor contenido de fenoles totales esta diferencia se puede dar, debido a que las condiciones de siembra no son las normales, ya que el estudio realizado a las dos variedades de quinua fue en una universidad de Polonia y la metodología de secado difiera de la metodología aplicada para esta investigación.



**Figura 19: Diagrama de cajas del efecto de la temperatura sobre los fenoles totales en la hoja de quinua**

En la Figura 19, se observa que, a una temperatura de 60°C, el contenido fenólico total se concentra mejor y difiere, significativamente, ante la temperatura de 40°C y 80°C. Por otra parte, los resultados de Złotek *et al.*,(2019) contradice a los resultados obtenidos en esta investigación, ya que en la evaluación a la hoja de quinua, de variedad Blanca sometida al secado por convección por 60°C, indica que el contenido fenólico total disminuye. Sin embargo, Criollo (2015) establece que los compuestos fenólicos son sensibles a las condiciones ambientales adversas, incluyendo temperatura, luz, pH, humedad, y oxígeno; por tanto están propensos a degradarse durante el procesamiento y adecuación de las frutas. Sin embargo, Surjadinata *et al.* (2017) establece que, a una temperatura de 65°C a menos el contenido fenólico se conserva o aumenta.

El análisis de varianza de los datos correspondientes a la cantidad de fenoles presentes en la hoja de quinua, después del proceso de secado, se sometió a diferentes métodos y temperaturas. Para mayor detalle en la Tabla 31 del anexo 7. se presenta los resultados en donde podemos apreciar el ANOVA encontrándose una diferencia significativa ( $p=0.005$ )

para el método de temperaturas y la interacción entre ambos factores, la comparación se realizó para el método, por un factor cualitativo; en cambio para el factor temperatura, se realizó la optimización a través de los modelos de regresión cuadrática.

#### 4.1.11. Flavonoides en las hojas de quinua fresca

Los flavonoides, que poseen un gran número de grupos hidroxilos formando glicósidos, son polares, por lo que son ligeramente solubles en disolventes polares, como el metanol, etanol, acetato de etilo o agua. Los taninos constituyen un grupo de sustancias ampliamente distribuidas en el reino vegetal, se presentan como mezclas de polifenoles, muy difíciles de separar, con el agua forman soluciones coloidales de reacción ácida y sabor astringente. En la Tabla 21, se aprecia el contenido flavonoides presentes en la hoja de quinua fresca, determinada por el método de tricloruro de aluminio basándose en estándar de flavonoides quercetina, expresada en equivalentes de quercetina en miligramos que están presentes en 100 gr de muestra.

**Tabla 21: Contenido de flavonoides totales en la hoja de quinua fresca**

Muestra de hoja	Repeticiones			Flavonoides totales
	R - 1	R - 2	R - 3	Promedio
				EQ-Quercetina mg/100 g
Hojas de quinua fresca	50.92	53.55	54.3	52.92 ± 1.78

R: repetición

El contenido de flavonoides totales en la hoja de quinua fresca presentada en la Tabla 21 expresa un valor de 52.92 EQ-Quercetina mg/100gr. Sin embargo, Vazquez-Luna *et al.* (2019), reporta que la hoja de quinua presenta 62.07 EQ-Quercetina mg/100gr de flavonoides en diferentes concentraciones, el más abundante es la catequina con 45.58 mg/100g MS en seguida la morina con 39.05 mg/100g MS, kaempferol con 4.47 mg/100g MS y ácido gálico con 3.71 mg/100g MS. Estos valores están por encima de los reportada en la literatura como la recomendada porciones diarias, lo que indica que la quinua puede servir como un antioxidante natural en los organismos, que es necesarias para la prevención de enfermedades crónicas y degenerativas En el estudio Hamrouni-Sellami *et al.* (2013) en la determinación de fenólicos totales, flavonoides y actividad antioxidante de la salvia, plantas afectadas por diferentes métodos de secado, hallaron que la hoja de

salvia presenta 0,436 mg de QE/g de MS, en características físicas se asemeja a la hoja de quinua, sin embargo, la variación de los flavonoides es significativa.

#### 4.1.12. Hoja de quinua secada por el método combinado (US-IR-Vac)

Los flavonoides se ubican principalmente en las hojas y en el exterior de las plantas, apareciendo sólo rastros de ellos en las partes de la planta por encima de la superficie del suelo, en la Tabla 22, se muestran los resultados obtenidos de los flavonoides totales de las hojas de quinua secada por ultrasonido-infrarrojo-vacío.

**Tabla 22: Contenido de flavonoides totales en la hoja de quinua secada por método combinado**

Muestra		Repeticiones			Flavonoides totales	
Código	Temperatura (°C)	Tiempo (min.)	r-1	r-2	r-3	Promedio EQ-Quercetina mg/100 g
MUS-IR-Vac-1	40	420	295.69	295.69	301.38	423.92 ±4.40
MUS-IR-Vac-2	60	140	396.17	399.98	401.89	297.59 ±3.29
MUS-IR-Vac-3	80	30	426.46	426.46	418.84	399.35 ±2.91

MUS-IR-Vac: Método de secado por Ultrasonido-Infrarrojo-Vacío r: repetición

En la Tabla 22, las hojas de quinua secadas, expresan un valor de 423.92 a 40°C, mientras que a 80°C se contiene 399.35 y a 60°C 297.59 de flavonoides, el contenido en las muestras varía, esta variación puede darse debido a las radiaciones infrarroja, la cual podría influir en las reacciones termo-degradativas y fotoquímicas de los carotenoides responsables del color rojo. La cadena de polieno y los grupos terminales pueden oxidarse por reacción con el oxígeno atmosférico, las velocidades que dependen de la luz, el calor y la presencia de pro- y antioxidantes. Al parecer estos procesos oxidativos implican reacciones de epo-oxidación, formaciones de apocarotenoides e isomerizaciones, a partir de trans  $\beta$ caroteno formándose sobre todo los isómeros 9-cis  $\beta$ -caroteno y 13-cis  $\beta$ -caroteno, disminuyendo así el color rojo (Rochín *et al.*, 2012). Según Lavaut *et al.* (2008) en la investigación de la evaluación fitoquímica de *Erythroxylum confusum* Britt. (Erythroxylaceae), al variar el método de secado de las hojas indica que el extracto acuoso, los fenoles y flavonoides se encuentran en abundancia en el material vegetal fresco,

mientras que su presencia se nota disminuida al realizar el secado por cualquiera de los tres métodos. Esto pudiera deberse a la pérdida de grupos azúcares (compuestos reductores) si se tiene en cuenta la presencia de estos en los extractos. Esta observación debe considerarse si se desea el aislamiento de estos tipos de metabolitos; si es mayor de 50°C puede provocar descomposición de los metabolitos presentes. Por su parte, Vazquez-Luna *et al.* (2019) reporta que la hoja de quinua tiene diferentes concentraciones de flavonoides, el más abundante es la catequina en seguida la morina, kaempferol y ácido gálico. Los resultados sobre el efecto de interacción entre temperatura y método de secado sobre el contenido total de flavonoides mostraron que con el aumento de temperatura en los métodos de secado por aire caliente e IR desde 40°C a 60°C, el contenido total de flavonoides aumenta, cuando la temperatura alcanza a 80 °C, el contenido de flavonoides totales se redujo en un 24% (Hosseinzadeh *et al.*, 2018).

#### 4.1.13. Hoja de quinua secada por método aire caliente Infrarrojo

El contenido de flavonoides totales en la hoja de quinua deshidratada por infrarrojo se determinó por el método de tricloruro de aluminio expresada en unidades de EQ-Quercetina mg/100g, tal como se muestra en la Tabla 24, Los flavonoides más representativos son el kempferol, la quercetina y la miricetina. Los flavonoides constituyen un amplio y diverso grupo de metabolitos secundarios de plantas, se encuentran en abundancia en las plantas (Criollo, 2015)

**Tabla 23: Contenido de flavonoides totales en la hoja de quinua secada por aire caliente infrarrojo**

Muestra			Repeticiones			Flavonoides
Tratamiento	Temperatura (°C)	Tiempo (min.)	r-1	r-2	r-3	Promedio EQ-Quercetina mg/100 g
MIR-1	40	420	374.82	380.54	386.25	380.54 ± 5.72
MIR-2	60	140	296.14	303.75	301.85	300.58 ± 3.96
MIR-3	80	30	328.99	332.81	342.34	334.71 ± 6.88

MIR: Metodo de secado por aire caliente infrarrojo r: repetición

En la Tabla 23, se observa que, el contenido de flavonoides totales se presenta mejor en la muestra secada a 40°C con un valor de  $380.54 \pm 5.72$ , en comparación a la muestra secado a 60°C con 300.58 EQ-Quercetina mg/100 gr. El infrarrojo tiene la capacidad de romper los enlaces covalentes y liberar antioxidantes como flavonoides, caroteno, tanino, ascorbato, flavoproteína o polifenoles de polímeros repetidos, en un estudio se mostró que los tratamientos térmicos no pudieron escindir los fenómenos unidos covalentemente, compuestos fenólicos (Hamrouni-Sellami *et al.*, 2013). Algunos estudios han demostrado que la pérdida de macromoléculas como flavonoides en el tratamiento térmico se pueden atribuir a la dificultades de condiciones de secado, sobre todo la duración y la temperatura (Rochín *et al.*, 2012).

Por su parte, Hosseinzadeh *et al.* (2018) hallaron el efecto de diferentes métodos de secado y temperatura de secado sobre los flavonoides. mostró que con el aumento de temperatura en los métodos de secado por aire caliente e IR desde 40°C a 60°C, el contenido total de flavonoides aumenta. La mayoría de los flavonoides que se encuentran en las verduras de forma glicosidada se liberan fácilmente como consecuencia del procesamiento y aumentan su concentración de flavonoides totales en el producto final (Criollo, 2015).

#### 4.1.14. Hoja de quinua secada por método de secado por horno convencional

En la Tabla 24, se muestra el contenido de flavonoides totales presentes en la hoja de quinua secada por el método de horno convencional (estufa de laboratorio) a temperaturas de 40°C, 60°C y 80°C, y diferentes tiempos, expresada en unidades de EQ-Quercetina mg/100 g.

**Tabla 24:** *Contenido de flavonoides en la hoja de quinua secada por horno convencional*

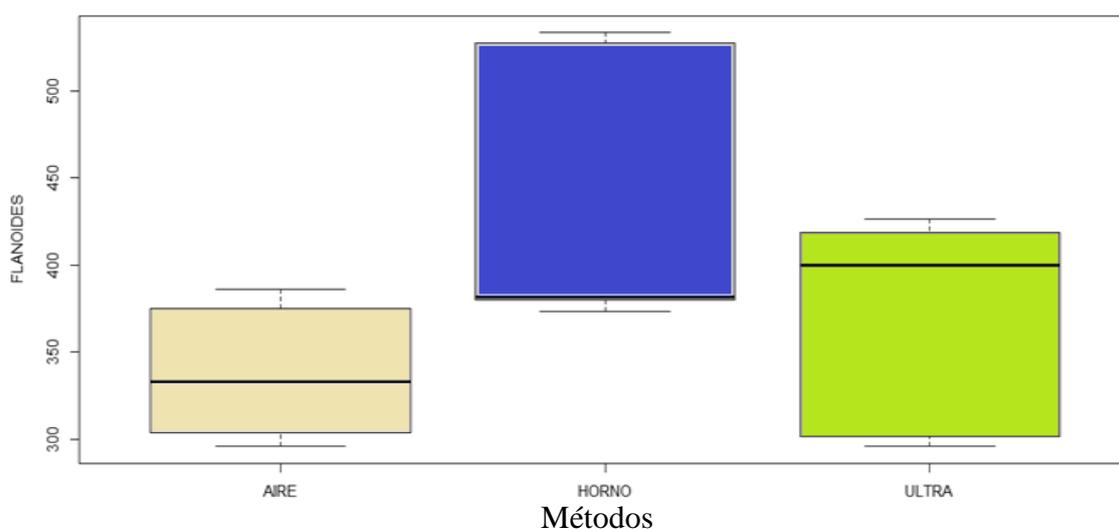
Muestra			Repeticiones			Flavonoides
Código	Temperatura (°C)	Tiempo (min.)	r-1	r-2	r-3	Promedio EQ-Quercetina mg/100 g
MHC-1	40	960	373.29	373.29	380.92	$375.83 \pm 4.41$
MHC-2	60	120	527.78	531.58	533.48	$530.95 \pm 2.90$
MHC-3	80	60	379.78	381.68	391.18	$384.21 \pm 6.11$

MHC: método de secado por horno convencional r: repetición

La Tabla 24, a 60°C la muestra presenta mayor contenido de flavonoides totales con un valor de 530.95 EQ-Quercetina mg/100 g, pero a 40°C presenta menor contenido con un valor de 375.83 EQ-Quercetina mg/100g. Sin embargo, Villacrés *et al.* (2022), informa, que la hoja de quinua secada por el método de liofilización contiene 616.00 mg quercetina/100g, este valor es mayor a lo reportado en la Tabla 24, pero, Rochín *et al.* (2012) en la investigación al “efecto de los procesos de secado y encurtido sobre la capacidad antioxidante de los fitoquímicos del chiltepín” explica que, los flavonoides totales presenta una disminución significativa, después del proceso de secado y los flavonoides como miricetina se degradan proporcionalmente conforme aumenta la temperatura. Por su parte Lavaut *et al.* (2008), en la evaluación fitoquímica de *Erythroxylum confusum* Britt. indica. el secado a la estufa es rápido, requiere el consumo de energía y un control adecuado de la temperatura porque que si es mayor de 50°C de temperatura puede provocar descomposición de los metabolitos presentes en la muestra.

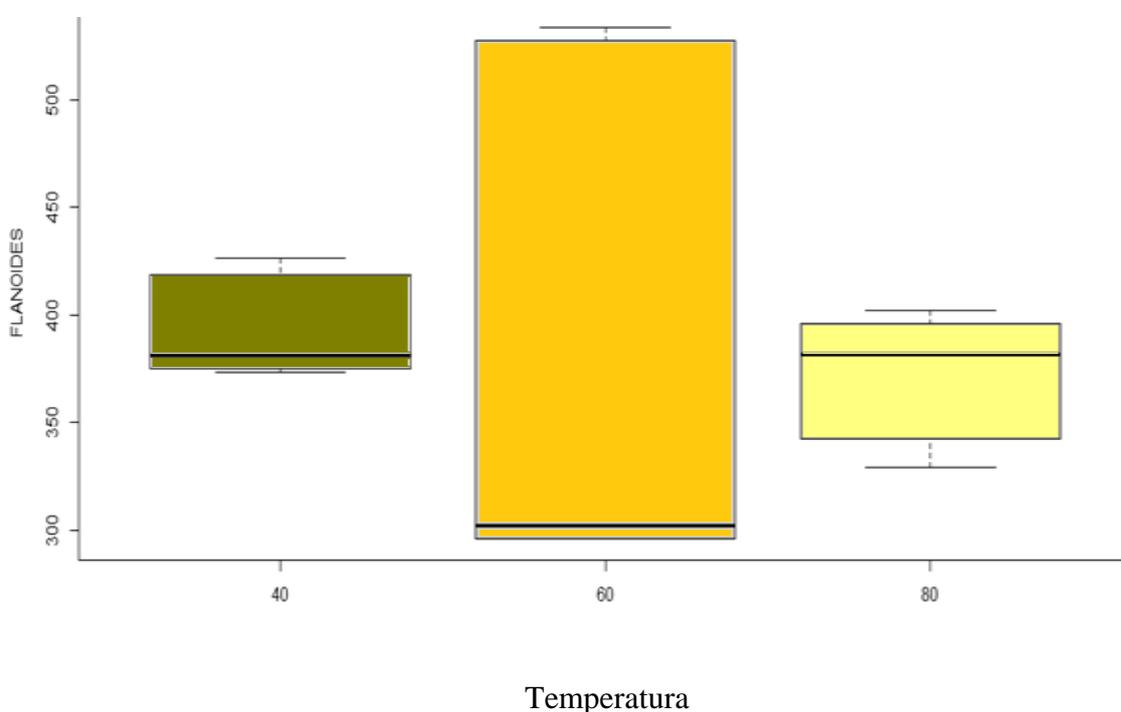
En el estudio de Grande (2012), efecto de diferentes métodos de secado en la propiedades físico-químicas del tomate, halló que los tomates en estado natural contenían flavonoides, pero en el tomate secado a 67°C aumenta el contenido de flavonoides totales presentado valores de 67.65 mg RE/100g DW, pero el tomate fresco contenía 8.17 mg RE/100 g a esto, explica que la alteración del tejido vegetal aumenta con intensidad causando más liberación de compuestos de flavonoides.

#### 4.1.15. Comparación del contenido de flavonoides totales presentes en la hoja de quinua secada



**Figura 20: Diagrama de cajas de método en función a los flavonoides**

En la Figura 20, se observa que el método de secado por horno convencional tiene un efecto significativo en las hojas de quinua, en comparación con el método ultrasonido-infrarrojo-vacío y de aire caliente infrarrojo, el método de aire caliente IR presenta también un efecto menor en las hojas de quinua. Sin embargo, según Echeverry *et al.* (2018), la degradación de los flavonoides, se debe a que en condiciones de hidrólisis ácida, las pentosas se hidrolizan más rápido que las hexosas. En base a ello, los vegetales se consideran lábil bajo estrés, ya que en su estudio realizado a los flavonoides en las hojas de *Passiflora quadrangularis* indica que, en condiciones con ácido, el porcentaje de flavonoides se degradó en un 20%.



**Figura 21: Diagrama de cajas de efecto de la temperatura sobre los flavonoides**

En la Figura 21, se observa que al 60°C se concentró mejor los flavonoides hallando un a diferencia significativa en contraste al secado por 40°C y 80°C. Según, Surjadinata *et al.* (2017), en su investigación a los efectos del estrés en las zanahorias narra que, a una temperatura de 65°C a más, los componentes nutraceuticos se empiezan a volatilizar. Sin embargo, a una temperatura menor de 65°C la muestra preserva o aumenta su componente funcional debido al estrés de la muestra, ya que cuando un vegetal se encuentra en estado de estrés se empiezan a activar los metabolitos secundarios.

#### 4.1.16. Optimización de la temperatura en el proceso de secado por los tres métodos

En la Tabla 25 se presenta las ecuaciones de regresión cuadrática para predecir las variables antioxidantes, compuesto fenólico y flavonoides a partir de la temperatura con sus respectivos óptimos y coeficiente de determinación  $R^2$  en hojas de quinua.

**Tabla 25:** *Ecuaciones de regresión cuadrática para predecir las variables antioxidantes, fenoles totales y flavonoides totales.*

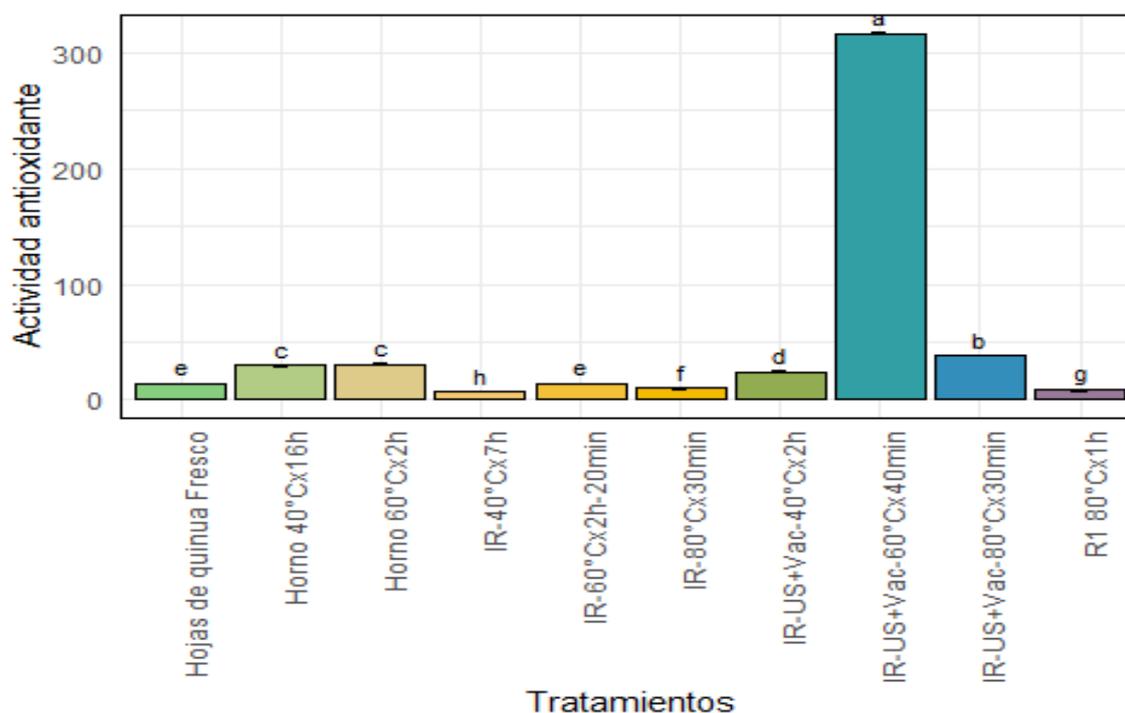
Variable	Método	Modelo	$\hat{Y}_{\text{óptimo}}$	$R^2$
Actividad Antioxidante	Ultrasonido	$\hat{Y}_u = -2275.023 + 86.0587T - 0.7143T^2$	60.24	99.99
	Aire	$\hat{Y}_a = -44.0867 + 1.881T - 0.01512T^2$	62.19	99.19
	Horno	$\hat{Y}_h = -40.72 + 2.9055T - 0.0286T^2$	50.74	99.45
Compuesto Fenólico	Ultrasonido	$\hat{Y}_u = 564.60 + 2.5983T - 0.02675T^2$	48.57	61.78
	Aire	$\hat{Y}_a = 1349.967 - 25.9133T + 0.20367T^2$	63.62	96.11
	Horno	$\hat{Y}_h = -816.1667 + 50.20667T - 0.3934T^2$	63.81	99.57
Flavonoides	Ultrasonido	$\hat{Y}_u = 1360.867 - 34.828T + 0.2851T^2$	61.08	99.62
	Aire	$\hat{Y}_a = 882.72 - 18.2591T + 0.1426T^2$	64.02	97.41
	Horno	$\hat{Y}_h = -839.933 + 45.4865T - 0.3773T^2$	60.28	99.62

## 4.2. EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA TEMPERATURA Y TIEMPO DE SECADO EN LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE, FENOLES TOTALES Y FLAVONOIDES TOTALES.

Los datos de la capacidad antioxidante, fenoles totales y flavonoides totales en diferentes métodos fueron analizados en software estadístico R versión 4.1.2. Los datos fueron analizados usando el diseño en bloques completos al azar (DBCA).

### 4.2.1. Efecto de la temperatura sobre el tiempo de secado en la capacidad antioxidante de la hoja de quinua

El efecto de la temperatura en la muestra es un factor determinante, ya que según Surjadinata *et al.* (2017) a una temperatura a de 65°C a más, se empiezan a volatilizar los flavonoides y fenoles totales. A continuación, mostramos el diagrama de barras en la Figura 22, con la descripción de la temperatura, el tiempo empleado para cada proceso y el contenido de capacidad antioxidante.



**Figura 22:** Comparación de métodos por medias Newman – Keuls de la capacidad Antioxidante.

En la Figura 22, se observa que el tratamiento US-IR-Vac-60°C con un tiempo de 40 min aparentemente sería el método más óptimo, sin embargo, debido al coeficiente de inhibición de 50% de Chen *et al.* (2017) establecen que un valor de coeficiente de inhibición al 50% bajo implica una mayor actividad antioxidante. y en IC alto 50 los valores indican una baja actividad antioxidante, muestra la mayor actividad de eliminación de radicales de DPPH, en consecuencia, el tratamiento mencionado sería el menos óptimo. Por otro lado, el tratamiento que muestra más efectividad e incremento de la actividad antioxidante es de IR-40°C por 420 min, frente al contenido de capacidad antioxidante de la hoja de quinua fresca, además, entre los tratamientos IR-80 y horno (R1)-80°C no hay diferencia en el contenido de capacidad antioxidante, pero si en el tiempo empleado para el proceso.

Esta determinación de la muestra puede darse debido a que existen efectos tanto directos como indirectos de la radiación ultravioleta en las plantas, que incluyen cambios en la fotosíntesis, división celular, cambios en el ADN y otros procesos relacionados con el crecimiento y desarrollo. Además, las plantas también tienen respuestas "adaptativas", como la activación de diferentes defensas mecanismos como protección contra la radiación ultravioleta (Surjadinata *et al.*, 2017).

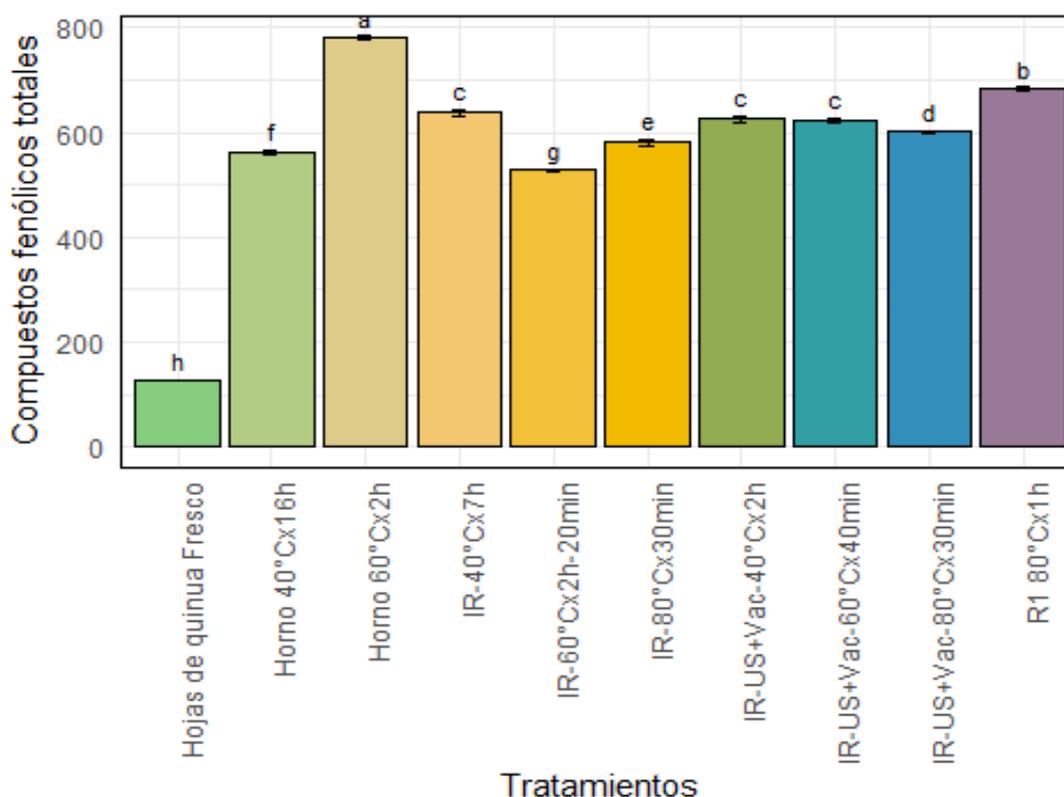
Las comparaciones efectuadas estadísticamente en los diferentes tratamientos, los valores medios de la actividad antioxidante en promedio muestran diferencias altamente significativas, con un rango de 6.95 Trolox CI50 mg/100 g del tratamiento por IR-40°C en comparación a 317.02 Trolox CI50 mg/100 g del tratamiento IR-US-Vac. Sin embargo Hosseinzadeh *et al.*,(2018) en el estudio a la hoja de *Kelussia odoratissima* (planta aromática) hallaron que al secado a 60°C la capacidad antioxidante aumenta significativamente, a un nivel de 5%. y por el método IR-US-Vac.

Alternativamente, la radiación puede interactuar con otros átomos o moléculas en la célula, particularmente con agua, que luego produce radicales libres (Karasu y Baslar, 2016). Estos radicales pueden difundirse lo suficiente alcanzar y dañar diferentes componentes de la célula, tal efecto es muy significativo en las plantas ya que el citoplasma de la célula vegetal contiene aproximadamente un 80% de agua. Las células vegetales también pueden responder a estos reactivos especies de oxígeno al desencadenar el metabolismo fenilpropanoide, la capacidad antioxidante aumentó a medida que aumentaba el tiempo de radiación UV lo que indica, que estrés de las heridas

combinado con compuestos fenólicos inducidos por la exposición a los rayos UV con más actividad antioxidante (Surjadinata *et al.*, 2017).

#### 4.2.2. Efecto de la temperatura sobre el tiempo de secado en función a los fenoles totales de la hoja de quinua.

El efecto de la temperatura y el tiempo de secado de las hojas de quinua secada por los métodos planteados, influyen considerablemente, en la Figura 23, se muestra la variación de contenido fenólico total en las hojas de quinua.



**Figura 23: Comparación de métodos por medias Newman – Keuls de los fenoles totales en las hojas de quinua.**

La Figura 24, expresa que el tratamiento por horno a 60°C con un tiempo de 120 min, fue el mejor tratamiento, puesto que presenta una buena cantidad de fenoles totales, frente a los tratamientos de IR y US-IR-Vac, Sin embargo, el tratamiento por horno (R1) a 80°C por 60 min puede ser una alternativa ya que resulta siendo eficiente en el tiempo empleado para el proceso. Sin embargo, el tratamiento de horno (R1) 80°C difiere, pero el tiempo empleado es de 60 min.

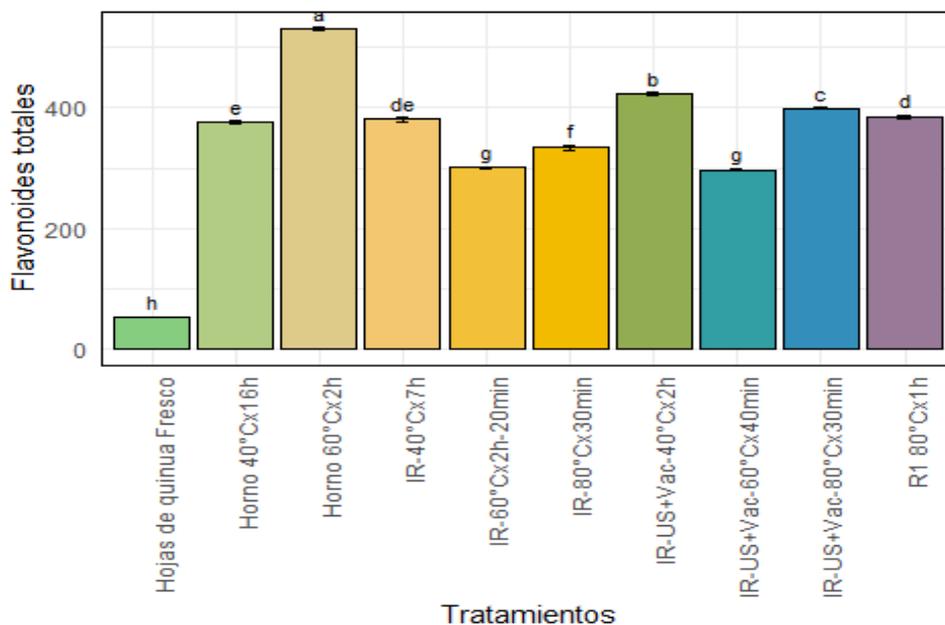
Entre los tratamientos IR-40°C, US-IR-Vac-40°C y US-IR-Vac-80°C, no hay diferencias significativas en el contenido de fenoles totales, pero si entre el tiempo empleado para

cada tratamiento, por lo que el tratamiento más óptimo sería US-IR-Vac-60°C con un tiempo de 40 min. Sin embargo, todas las muestras sometidas a secado por los métodos planteados en la investigación afectan en los componentes funcionales de las hojas de quinua frente a la hoja en estado fresco.

Por su parte, Surjadinata *et al.* (2017) establece al someter las zanahoria a diferentes radiaciones y exponer el tejido de la zanahoria a diferentes luces ultravioleta aumenta la concentración fenólica significativamente ( $p < 0.05$ ) en el esto debido a que se vio afectada por el estrés. Asimismo, informes anteriores han demostrado que al herir el estrés se aplica en combinación con otras tensiones como fitohormonas exógenas, hiperoxia, glifosato y pérdida de agua, y pueden desencadenar el metabolismo fenilpropanoide en tejidos vegetales. No hay muchos estudios que hayan investigado el efecto de los rayos IR sobre los contenidos fenólicos en tejidos de frutas y verduras.

#### 4.2.3. Efecto de la temperatura sobre el tiempo de secado en los flavonoides totales de la hoja de quinua.

Los flavonoides durante el proceso de secado son termolábiles, en la Figura 24 se observa el diagrama de barra, describiendo el tratamiento al que fue sometido, temperatura empleada y tiempo del proceso. Los flavonoides juegan un papel vital en las plantas debido a su capacidad de depuración



**Figura 24:** Comparación de métodos por medias Newman – Keuls de contenido de flavonoides totales en la hoja de quinua.

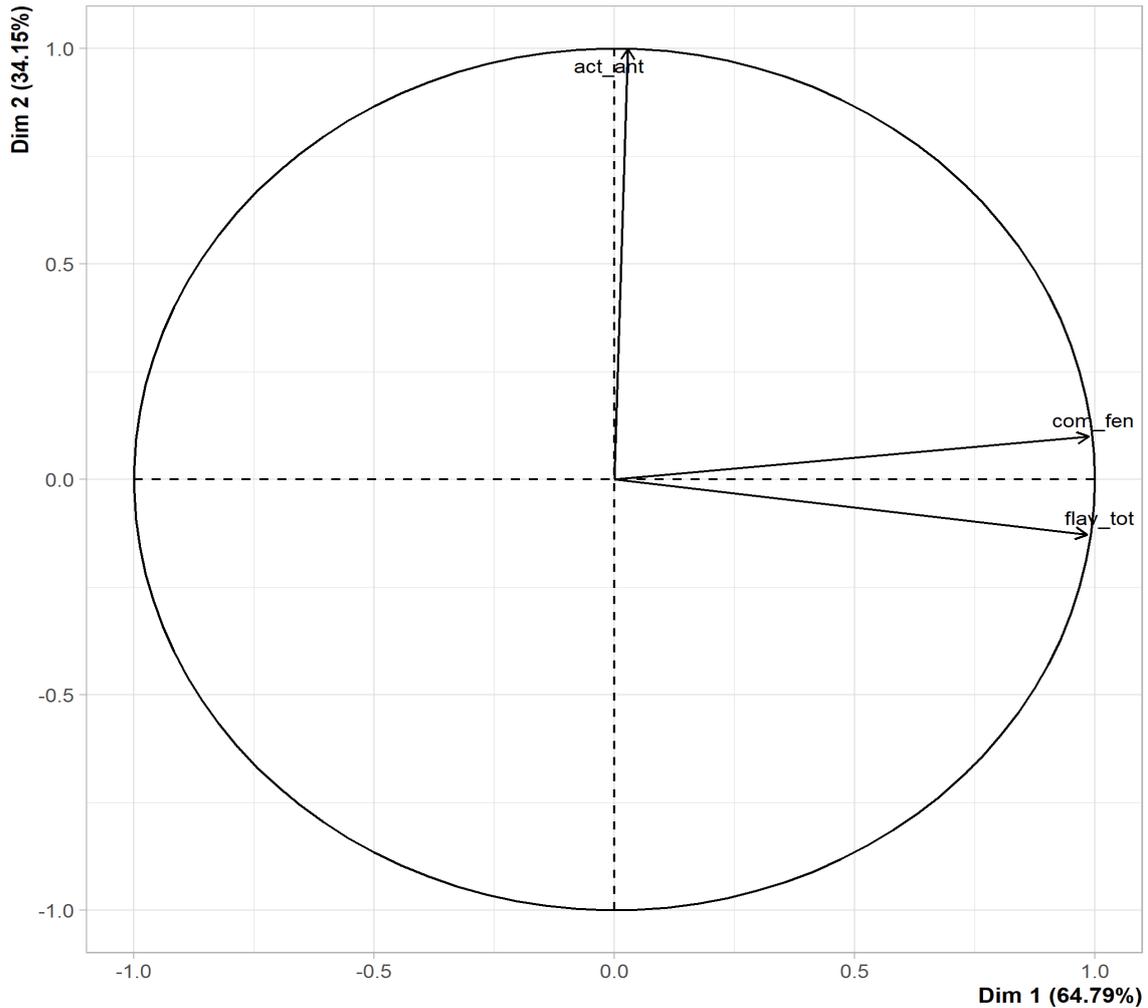
La Figura 24, ilustra que, el método de secado por horno convencional a una temperatura de 60°C fue la mejor con un tiempo de 120min, en comparación con el método de US-IR-V a una temperatura de 40°C con un tiempo de 120 min. Por otro lado, entre la muestra IR-60°C y US-IR-Vac-60°C, presentan valores similares de flavonoides totales, pero difieren en el tiempo, por lo que el método más óptimo sería el método combinado, sin embargo, entre el tratamiento por IR y horno convencional a 40°C presentan valores similares, con diferencias significativas en el tiempo, resultando mejor el método por IR-40°C. Las muestras en general, sometidas a los tres métodos de secados, difieren significativamente ante la muestra fresca, deduciendo así que los métodos de secado, planteados en la investigación, afectan en la composición funcional de la hoja de quinua. A este respecto, Hosseinzadeh *et al.* (2018) demostraron que por el método de aire caliente IR de 40°C a 60°C, el contenido de flavonoides aumentó y a 80°C disminuyó en un 21% y 24%, respectivamente. Pero en el método IR-US-Vac de 40°C a 80°C, el contenido de flavonoides totales aumentó en un 35% y de 60°C a 80°C, no demuestra significancia a un nivel del 5%. Por otro lado, Macedo *et al.* (2020) determinó que, a 80°C, el secado de banano mostró una mayor conveniencia general, ya que el tiempo empleado y el consumo de energía es menor en contraste al secado a 40°C y 60°C.

El mecanismo más estudiado es la producción de flavonoides, especialmente antocianinas para filtrar los rayos ultravioletas. Las plantas deben poder lidiar con condiciones de estrés potencialmente dañinas que son casi constantemente presente en su entorno. Los flavonoides tienen  $\lambda_{max}$  a 270 y 345 nm, mientras que los ácidos hidroxicinámicos tienen  $\lambda_{max}$  a 320 nm, por lo que ambas clases pueden proteger contra los rayos ultravioletas dañinos de radiación (Surjadinata *et al.*, 2017). Sin embargo, el secado por infrarrojo ofrece también muchas ventajas sobre el secado convencional en condiciones de secado similar, los estudios que compararon el secado por infrarrojo son más rápidos que los métodos convencionales considerando como factor primordial el tiempo (Khaing *et al.*, 2019). El secado por infrarrojo reduce en un 50% el tiempo de secado a comparación con otros métodos y reduce el agua hasta en un 80% secando la muestra de manera uniforme (Ertekin y Heybeli, 2014).

### 4.3. CONTENIDO DE PROPIEDADES FUNCIONALES EN LA HOJA DE QUINUA

Para determinar las propiedades funcionales con mejores características se empleó un análisis multivariado el cual se muestra en la Figura 25.

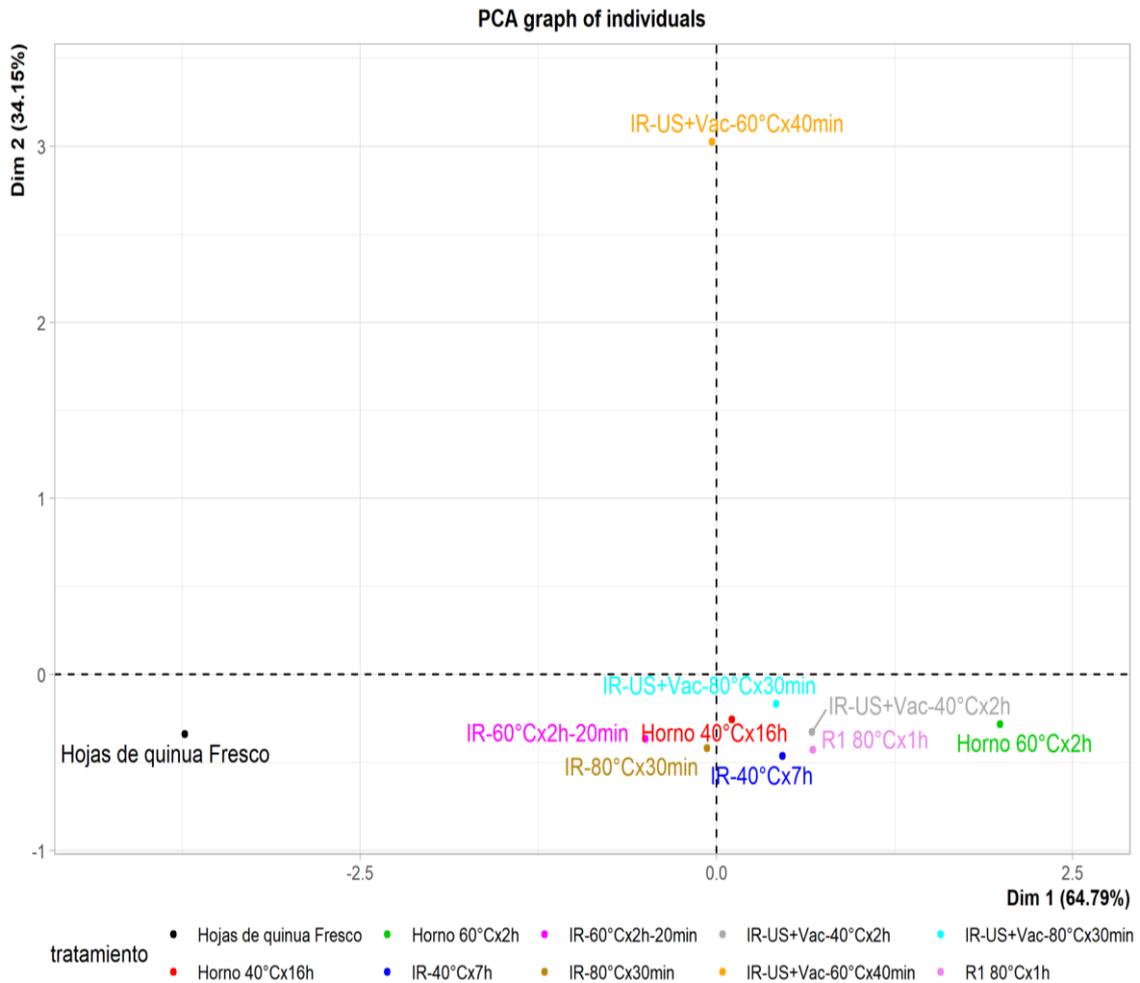
El análisis multivariado se realizó usando análisis de componentes principales (PCA) para las variables y los individuos.



**Figura 25:** Análisis de compuestos principales de los métodos de secado en función a la capacidad antioxidante, fenoles totales y flavonoides totales de la hoja de quinua secada.

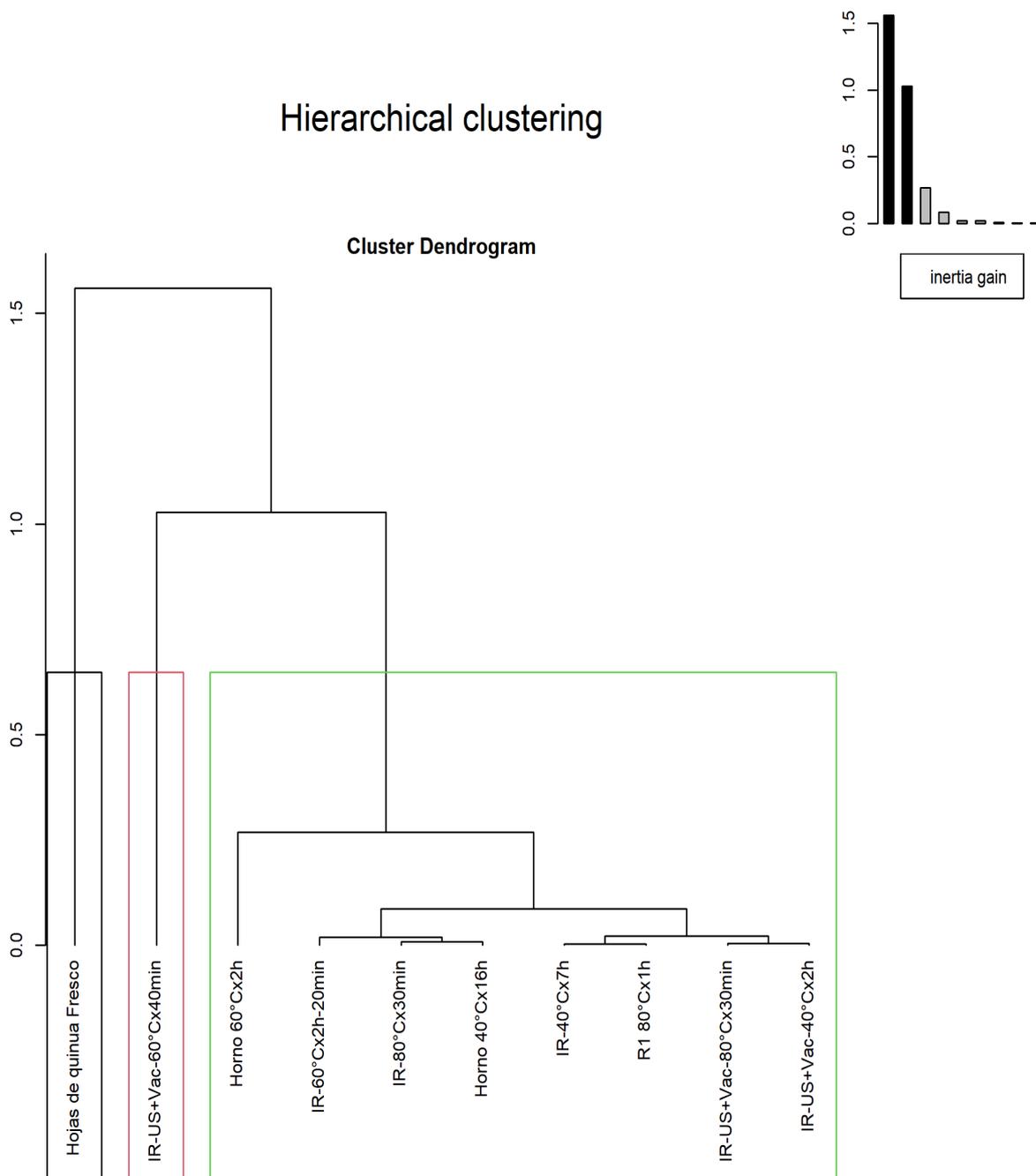
La Figura 25, muestra el análisis de compuestos principales. Las variables evaluadas al 98.93% de la varianza del experimento (suma de las componentes: 64.79 + 34.15%) explican que existe una correlación alta entre los fenoles totales y flavonoides totales.

Mientras que en el componente 2, la variable actividad antioxidante posee una buena proyección (valor cerca del círculo).



**Figura 26: Análisis de componentes principales**

De acuerdo a la Figura 26 el análisis de los componentes principales, el tratamiento que tuvo menor actividad antioxidante fue “IR-US+Vac-60°C x 40min”. Mientras que el tratamiento “Horno 60°Cx2h” es el que tuvo mayores valores para fenoles totales y flavonoides totales. Por otra parte, el tratamiento “Hojas de quinua fresca” tuvo los menores valores para ambas variables.



**Figura 27:** Dendrograma de los métodos de secado en función a la capacidad antioxidante, fenoles totales y flavonoides totales.

En la Figura 27, se muestra el dendrograma donde expresa que; tanto el tratamiento “IR-US+Vac-60°Cx40min” y “Hojas de quinua fresca” son los que muestran una clara diferencia entre los tratamientos aplicados. Mientras que los demás tratamientos están agrupados por tener similares cuantificaciones para las variables.

#### 4.4. CINÉTICA DE SECADO Y MODELADO DEL METODO US-IR Y VAC (COMBINADO)

##### 4.4.1. Determinación del tiempo de secado de la hoja de quinua

Para la optimización del secado de la hoja de quinua por Ultrasonido Infrarrojo-Vacío (método combinado), se adecuo el equipo tomando en cuenta la distancia de la lámpara infrarroja, el tiempo, la temperatura, (descrita en la metodología) 3.4, después de tomar en cuenta la adecuación de los equipos se determinó el tiempo de secado, el tiempo de secado se determinó por la constancia del peso de la muestra, datos que se muestran en la Tabla 26. La temperatura se establece, tomando como referencia el estudio realizado por Hosseinzadeh *et al.* (2018) y Rojas y Augusto, (2018), peso inicial en gramos, tiempo de secado y peso final de la muestra. Las metodologías de secado aplicada en este estudio son innovadoras por lo que el tiempo fue un factor a determinar.

**Tabla 26: Resultados del secado de la hoja de quinua por el método combinado**

Método	Temperatura (°C)	Peso inicial (gramos)	Tiempo (min.)	Peso final (gramos)
US-IR-V 1	40	5	120	2.4
US-IR-V 2	60	5	40	2.4
US-IR-V 3	80	5	30	1.97

US-IR-V: ultrasonido-infrarrojo-vacío

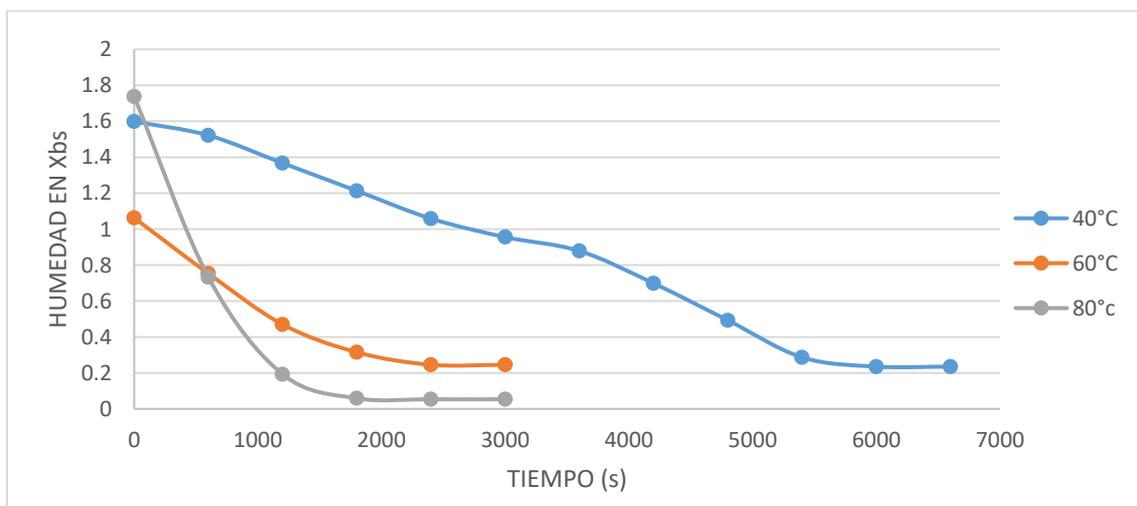
Según la Tabla 26 describe, que el método de secado combinado a 80°C empleó 30 min. y para 40°C empleo 120 min. En contraste con el método aire caliente y horno convencional, el método que emplea menos tiempo es el método combinado. Según Ozuna y Ochoa, (2012), explica que el ultrasonido es una corriente eléctrica que se transforma mediante transductores, empleados para el sonido generándose un micro canal por el estrés mecánico debido a la cavitación acústica, ya que tienen cerca del 95% de eficiencia. Es la razón por el cual representa una ventaja sobre los procesos tradicionales, al reducir tiempos de proceso, mejorar atributos de calidad, no alterar las principales características de los productos, reduce riesgos químicos, físicos y se considera tecnología sustentable (Gutiérrez-Mosquera *et al.*, 2019).

#### 4.4.2. Curva de humedad vs tiempo

La curva de humedad en base seca vs tiempo de secado, se presenta en la Figura 28, los datos experimentales se registran en la Tabla 27, estos datos nos permitieron obtener la curva que se muestra en la Figura 28.

**Tabla 27: Datos del proceso de secado a 40°C, 60°C y 80°C de temperatura por el método US-IR-Vac**

tiempo (S)	40°C	60°C	80°C
0	5.05	5.04	5.12
600	4.9	4	3.24
1200	4.6	3.4	2.23
1800	4.3	2.85	1.98
2400	4	2.55	1.97
3000	3.8	2.415	1.97
3600	3.65	2.415	
4200	3.3		
4800	2.9		
5400	2.5		
6000	2.4		
6600	2.4		



**Figura 28: Humedad en base seca (Xbs) vs tiempo (s)**

La velocidad del secado versus tiempo, presentada en la Figura 28 demuestra que el secado de la hoja de quinua con un espesor de 0.5165 mm a temperatura de 40°C demanda más tiempo con 120 min. Sin embargo, a temperaturas de 60 y 80°C se observa un secado en menos tiempo con 40 min y 30 min respectivamente. Esto sugiere, que la temperatura es el parámetro más importante que influye en el secado de la hoja de quinua corroborado por Montilla *et al.* (2010) donde manifiesta que; en la industria, los métodos utilizados para la deshidratación de vegetales se basan en la aplicación de calor y de modo general, se puede decir que el aire caliente, a una temperatura de 40-80°C entra en contacto directo con el alimento y proporciona calor para la evaporación. Con el fin de afectar en la menor medida posible la calidad del producto. Así, pueden realizarse procesos de deshidratación a temperaturas altas y tiempos corto o temperaturas más bajas durante tiempos más largos, siendo generalmente preferible la primera de estas opciones, ya que ha menor daño térmico el consumo de energía es menor.

Por su parte, Adbeel (2019) en su estudio de difusividad efectiva durante el secado de rodajas de yuca, halló que el secado de rodajas de yuca con un espesor de 2mm a 40°C fue con un tiempo de 246 min, para 50°C por un tiempo de 210 min y 60°C por un tiempo de 156 min, la metodología de secado que se aplicó fue de secador por bandejas.

Por otro lado, Lemus-Mondaca *et al.* (2021) en el estudio al secado de las hojas de Stevia con un espesor de 0,0014 mm a 40°C, 60°C y 80°C halló que a 40°C el secado por infrarrojo demandó 638 min, siendo el proceso más lento según el estudio y a 80°C se logró el menor tiempo con 56 min.

#### **4.4.3. Cálculo del coeficiente de difusividad efectiva**

Para la determinación del coeficiente de difusión, los datos de la Tabla 28 fueron ajustados a la segunda ley de Fick y para el ajuste se consideraron el espesor de la hoja de quinua de variedad Blanca de Juli de 0.5165 mm y espesor medio de 0.00025825, la humedad de equilibrio con un valor de 0.053476. En la Tabla 28 se presenta la temperatura de secado, la humedad de equilibrio, la difusividad efectiva, coeficiente de determinación, medida del error y la humedad crítica

**Tabla 28: Valores de la difusividad efectiva  $Deff$  obtenidos para las hojas de quinua en diferentes temperaturas de secado por US-IR-Vac.**

Tem (°C)	X equi g H2O/g s.s,	Difusividad Efec $m/s^2$	$R^2$	MA%E	Humedad critica (%)
40	0.2351	5.5983 E-12	0.95537	8.8008	31.49
60	0.2453	2.3838E-11	0.99599	1.94	28.66
80	0.0534	5.1457E-11	0.9901	2.825	19.25

Tem: temperatura Xequi: humedad de equilibrio  $R^2$ : coeficiente de determinación MA%E: medida del error

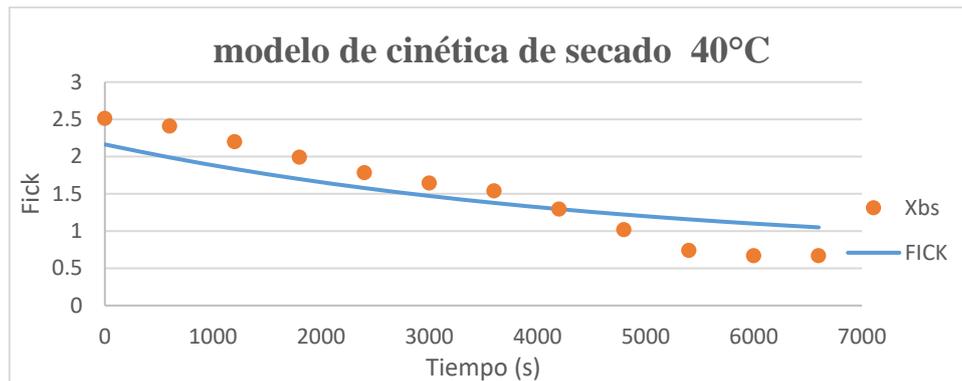
Los resultados obtenidos en la Tabla 28, difieren con otros autores como, Cayra (2019) que estudio a la optimización de los parámetros de secado a las hojas de guanábana, reportando difusividades de (3.817, 6.3470 y 10.9750) \*  $10^3 mm^2/h^1$  a temperaturas de 50°C, 60°C y 70°C respectivamente, donde  $Deff$  aumenta con la temperatura de secado, por otro lado, Puente-Días *et al.* (2015) en el secado de descartes de limón por infrarrojo presenta los coeficientes de difusividad efectiva de  $9.45 * 10^{-10}$ ,  $2.36 * 10^{-9}$  y  $3,71*10^{-9} 2m/s^2$ , para temperaturas de 30°C, 40°C y 50°C respectivamente, el cual es comparable con los resultados de la Tabla 28. Por su parte, Espinoza (2011) en el secado de murtilla por infrarrojo, reporta coeficiente de difusividad de (1,0556, 8,1083 y 4,7618) \*  $10^{-10} m^2 s^{-1}$  a temperaturas de 40°C, 50°C y 60°C respectivamente, mostrando un comportamiento similar a los obtenidos en la presente investigación.

Por otro lado, Macedo *et al.* (2020) indica que el coeficiente de difusividad fue de;  $5,84*10^{-10}$ ,  $1.727*10^{-9}$  y  $3.538*10^{-9} m^2 s^{-1}$  para el secado de rodajas de banano a temperaturas de 40°C, 60°C y 80°C en tiempos que varían de 120 a 960 min.

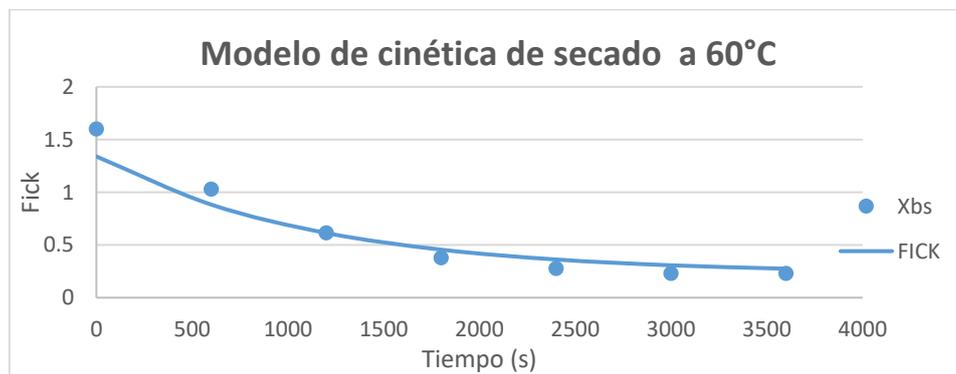
Según Talens *et al.* (2018) durante el secado a altas temperaturas provocan el calentamiento y la evaporación interna del agua, aumentando en gran medida los gradientes internos de presión y concentración por lo tanto, la difusión efectiva, en consecuencia se reduce el tiempo de procesamiento esta teoría corrobora los resultados presentado en la Tabla 28, Se puede observar también, que el modelo al que fue ajustado es la segunda ley de Fick y los valores de ( $r^2$ ) fueron de 0.95537, 0.99599 y 0.99010, a 40°C, 60°C y 80°C respectivamente.

Los resultados de la difusividad efectiva del secado de las hojas de Stevia por infrarrojo, convección y vacío fueron de  $6.602 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ ,  $7.434 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  y  $6.390 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ , respectivamente con un  $R^2$  de 1.00, 0.988 y 0.989 con un tiempo de 56,9 min. (Lemus-Mondaca *et al.*, 2021).

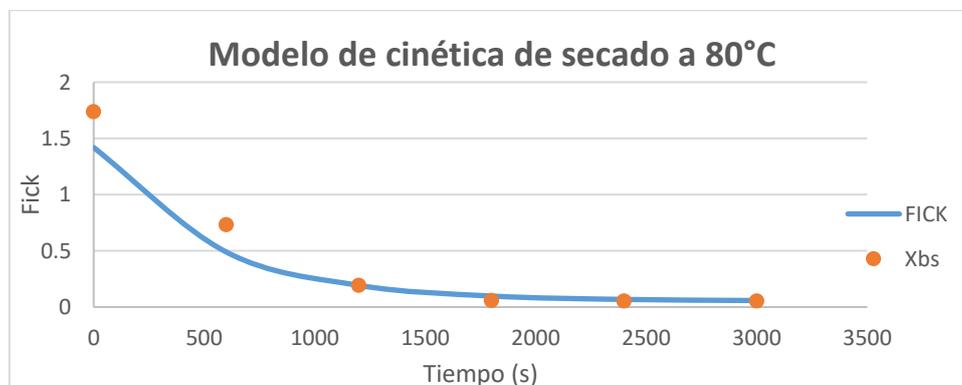
En las Figuras 30, 31 y 32 se observa la velocidad de secado de la hoja de quinua a temperaturas de 40°C, 60°C y 80°C.



**Figura 29:** Curva de modelo de secado a 40°C por el método US-IR-Vac.

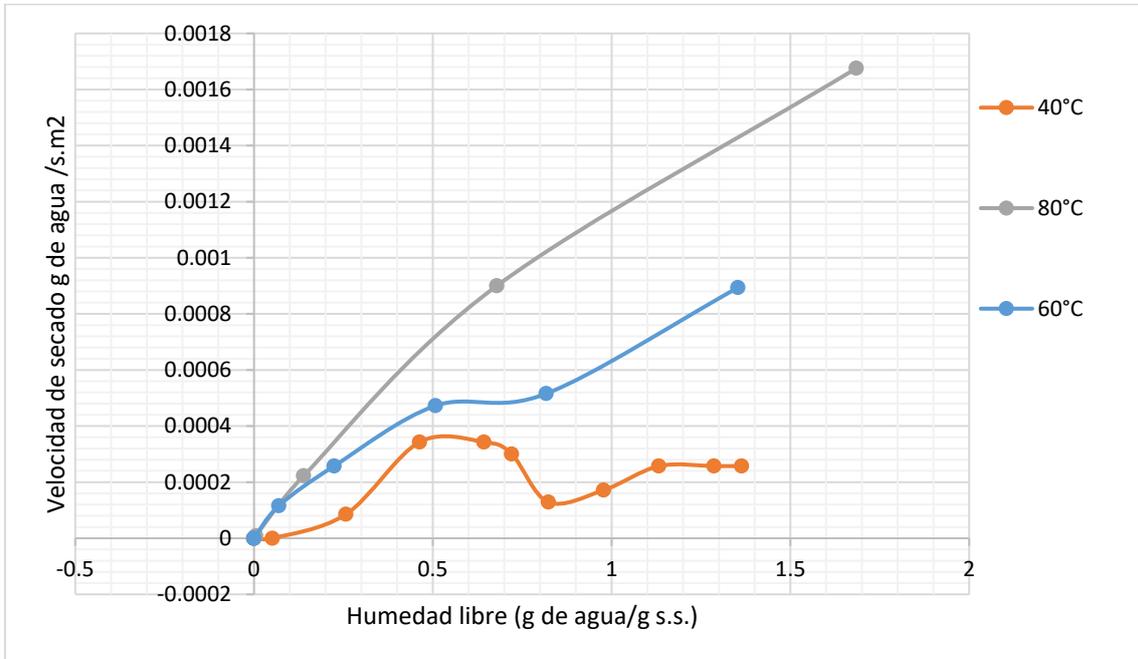


**Figura 30:** Curva de modelos de secado a 60°C por el método de US-IR-Vac.



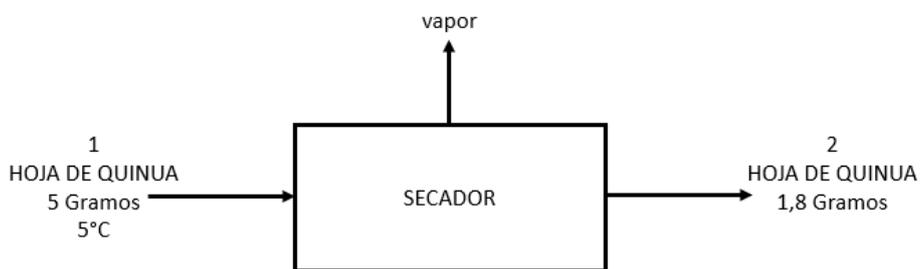
**Figura 31:** Modelo de secado a 80°C por el método US-IR-Vac.

La Figura 32, presenta el comportamiento de la velocidad de secado en función a la humedad libre, en donde se puede observar que el tratamiento de secado a 80°C, tuvo una mayor velocidad en contraste con el secado a 60°C y 40°C. Sin embargo, se observa, también, que el tratamiento secado a 40°C, presenta una alteración en la velocidad de secado.



**Figura 32:** Curva de velocidad de secado de las hojas de quinua a 40°C, 60°C y 80°C

Balance de energía del secado de hoja de Quinua por el método ultrasonido infrarrojo y vacío:



Balance de materia:

$$M1 = M_{vapor} + M2 \rightarrow M_{vapor} = M1 - M2$$

$$M_{vapor} = 5g - 1.8g = 3.2g$$

Balance de energía:

$$Q = M1 * Cp * \Delta T + M_{vapor} * \Delta H_{vaporizacion}$$

$$Q = (Q_{us} + Q_{lir}) * tiempo \rightarrow tiempo = \frac{Q}{(Q_{us} + Q_{lir})}$$

$Q_{us}$  : energía del ultrasonido 150 W

$Q_{lir}$  : energía de la lampara infrarroja 250Watts

Para  $P = 15\text{mbar} = 1.5\text{kpa}$

Usando la tabla de vapor (Termodinámica, Yunus Cengel)

T saturación = 13°C

$\Delta H$  vaporización = 2470.1 J/g

$$Q = 5g * \frac{2.894768J}{g * ^\circ C} * (13 - 5)^\circ C + 3.2g * \frac{2470.1J}{g} = 8020.111J$$

$$tiempo = \frac{8020.111J}{(150 + 250)J/s} = 20.05s$$

Para  $T = 40^\circ C$

Usando la tabla de vapor (Termodinámica, Yunus Cengel)

P saturación = 7.4 kPa

$\Delta H$  vaporización = 2406 J/g

$$Q = 5g * \frac{2.894882J}{g * ^\circ C} * (40 - 5)^\circ C + 2.7g * \frac{2406J}{g} = 7002.8044J$$

$$tiempo = \frac{7002.8044J}{(150 + 250)J/s} = 17.50s$$

Para  $T = 60^\circ C$

Usando la tabla de vapor (Termodinámica, Yunus Cengel)

P saturación = 19.95 k Pa

$\Delta H$  vaporización = 2357.7 J/g

$$Q = 5g * \frac{2.894768J}{g * ^\circ C} * (60 - 5)^\circ C + 2.1g * \frac{2357.7J}{g} = 5747.213J$$

$$tiempo = \frac{5747.213J}{(100 + 250)J/s} = 16.42s$$

Para T = 80°C

Usando la tabla de vapor (Termodinámica, Yunus Cengel)

P saturación = 47.4 k Pa

$\Delta H$  vaporización = 2308 J/g

$$Q = 5g * \frac{2.894768J}{g * ^\circ C} * (80 - 5)^\circ C + 3.2g * \frac{2308J}{g} = 8471.138J$$

$$tiempo = \frac{8471.138J}{(150 + 250)J/s} = 21.17s$$

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. CONCLUSIONES

- Se ha logrado optimizar el método del secado por ultrasonido- infrarrojo-vacío, cuya temperatura adecuada fue a 40°C, ya que a esta temperatura refleja un alto rendimiento. La capacidad antioxidante se expresa valor de 24.44 Trolox CI50 mg/100gr, fenoles totales con un valor de 625.7 EQ-Ac Gálico mg/100g y flavonoides totales de 423.9 EQ-Quercetina/100g. Se determinó que para el contenido de capacidad antioxidante el método más eficiente fue el de aire caliente a una temperatura de 40°C y para el contenido de fenoles y flavonoides totales el método más efectivo fue el secado por horno convencional a una temperatura de 60°C.
- La temperatura de secado afecta la capacidad antioxidante, fenoles totales y flavonoides totales, puesto que aumenta sus componentes funcionales en la hoja de quinua. Estadísticamente, los tratamientos adecuados son las muestras sometidas a secado con temperatura de 40°C y 60°C ya que concentra mejor las propiedades funcionales. Sin embargo, las metodologías eficientes, en función al tiempo, son US-IR-Vac y Aire Caliente IR, ambas contribuyen reducir el tiempo y a generar valor agregado. Por otra parte, los valores obtenidos de compuestos fenólicos indican que las hojas de quinua pueden servir como antioxidantes naturales, haciéndolos un alimento funcional.
- Se logró modelar las curvas de secado por el método US-IR-Vac con temperaturas de 40°C, 60°C y 80°C hallando los coeficientes de difusividad efectiva de la hoja de quinua  $5.59 \cdot 10^{-12} \text{ m/s}^2$ ,  $2.38 \cdot 10^{-11} \text{ m/s}^2$  y  $5.14 \cdot 10^{-11} \text{ m/s}^2$ , respectivamente con tiempos de 120 min, 40 min y 30 min, la cinética de secado se desarrolló ajustando al modelo de la segunda ley de Fick.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

- Se sugiere utilizar el ultrasonido en serie para la optimización del método de secado por Ultrasonido-infrarrojo-vacío.
- Se recomienda aplicar la metodología de secado por aire caliente infrarrojo para la capacidad antioxidante y para los compuestos de fenoles y flavonoides totales, aplicar el método de secado por horno convencional.
- Se debe impulsar estudios similares para emplear otras variedades de hojas de quinua elaborando un estudio de actividad de agua.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abarca-Vargas, R., & Petricevich, V. (2018). Importancia biológica de los compuestos fenólicos. *Inventio*, 14(34), 33-38. <https://doi.org/10.30973/inventio/2018.14.34/4>
- Abderrahim, F., Huanatico, E., Repo-Carrasco-Valencia, R., Arribas, S. M., Gonzalez, M. C., & Condezo-Hoyos, L. (2012). Effect of germination on total phenolic compounds, total antioxidant capacity, Maillard reaction products and oxidative stress markers in canihua (*Chenopodium pallidicaule*). *Journal of Cereal Science*, 56(2), 410-417. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2012.04.013>
- Adbeel, C. D. (2019). Difusividad efectiva durante el secado de rodajas de yuca (*Manihot esculenta*) a diferentes temperaturas y espesor y obtencion de harina. Universidad Agraria De La Selva.
- Ahumada, A., Ortega, A., Chito, D., & Benítez, R. (2016). Saponinas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.): un subproducto con alto potencial biológico. *Revista Colombiana de Ciencias Químico-Farmacéuticas*, 45(3), 438-469. <https://doi.org/10.15446/rcciquifa.v45n3.62043>
- Akdeniz, V., & Akalın, A. S. (2022). Recent advances in dual effect of power ultrasound to microorganisms in dairy industry: activation or inactivation. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(4), 889-904. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1830027>
- Alizehi, M. H., Niakousari, M., Fazaeli, M., & Iraj, M. (2020). Modeling of vacuum- and ultrasound-assisted osmodehydration of carrot cubes followed by combined infrared and spouted bed drying using artificial neural network and regression models. *Journal of Food Process Engineering*, 43(12), 1-16. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13563>
- Apaza, V., Caceres, G., Estrada, R., & Pinedo, R. (2013). *Catálogo de variedades comerciales de quinua en el Perú*.
- Bernal, J. G. (2012). *Elaboracion de material didactico para la enseñanza de la transferencia de calor por conduccion en estado estacionario*.
- Book, O., Mollinedo, P., & Peñarrieta, J. M. (2018). *Determination of the Total Antioxidant Capacity , Total Phenols , and the Enzymatic Activity in a Non-Diary*

*Beverage Based on Grains of La Capacidad Antioxidante Total , Fenoles Totales , Y La Actividad Enzimática. 35(5), 162-170.*

- Campo Vera, Y., Gelvez Ordoñez, V., & Ayala Aponte, A. (2018). Ultrasonido en el procesamiento (homogenización, extracción y secado) de alimentos. *Biotechnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 16(1), 102. [https://doi.org/10.18684/bsaa\(16\)102-113](https://doi.org/10.18684/bsaa(16)102-113)
- Casp, V. A., & Abril, R. J. (2003). *Proceso de conservación de alimentos* (G. M. Prensa (ed.); segunda ed). Tecnología de alimentos.
- Castañeda, J. L., Amell Arrieta, A. A., & Cadavid Sierra, F. J. (2012). La radiación infrarroja como mecanismo de transferencia de calor de alta calidad en procesos de calentamiento. *Ingeniería y Ciencia*, 8(16), 97-127. <https://doi.org/10.17230/ingciencia.8.16.5>
- Castel, J. (2017). La hoja de quinua, reivindicada como una ‘superverdura’ andina - La Razón. *La Razón*.
- Cayra, D. F. (2019). Optimización de los parámetros de secado de hojas de guanábana (*Annona muricata* L.) sobre el contenido de polifenoles y capacidad antioxidante. En *UPeU*. <http://repositorio.upeu.edu.pe/handle/UPEU/2671>
- Chacaliaza-rodríguez, L., Espinoza-begazo, G., Ramos-escudero, F., & Servan, K. (2021). *Artículo de investigación Composición química próxima y contenido de biológicamente Componentes activos en hojas de dos cultivares de quinua ( Salcedo y Altiplano ) Producido en Perú. 1-7.*
- Chen, H. L., Lan, X. Z., Wu, Y. Y., Ou, Y. W., Chen, T. C., & Wu, W. T. (2017). The antioxidant activity and nitric oxide production of extracts obtained from the leaves of *Chenopodium quinoa* Willd. *BioMedicine (France)*, 7(4), 24-28. <https://doi.org/10.1051/bmdcn/2017070424>
- Cofré Martínez, A. (2015). Determinación de Polifenoles Totales, Actividad Antioxidante y Antocianinas de Jugo de Murtilla (*Ugni molinae* Turcz) Obtenido por Condensación de Vapor [Universidad Austral de Chile]. En *Universidad Austral de Chile*. <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2015/fac675d/doc/fac675d.pdf>
- Coloma, A., Paquita, R., Velasquez, H., & Abarca. (2017). Efecto del escaldado y la

- temperatura en la cinética de secado de las hojas de quinua ( *Chenopodium quinoa* Willd .), variedad Salcedo INIA Effect of blanching and temperature on the drying kinetic of the leaves of quinoa ( *Chenopodium quinoa* Willd .), Sal. *Universidad Austral de Chile*, 45(3), 57-73. <https://doi.org/10.4206/agrosur.2017.v45n3-08>
- Corrales, H. (2016). *tres volúmenes de agua salina en cinco variedades de Chenopodium quinoa w. bajo condiciones de riego por goteo* [Universidad San Agustín de Arequipa].  
<http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/3175/AGcohehr.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cortez, G. C. (2015). *Construcción y evaluación de un secador solar indirecto por convección natural, aplicado al secado de yacon*. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Criollo, W. R. (2015). Efecto térmico del secado por aspersión sobre los metabolitos antioxidantes de la curuba larga (*Passiflora mollissima* baley) [Universidad Técnica de Ambato]. En *Información Tecnológica* (Vol. 26, Número 1). <https://doi.org/10.4067/S0718-07642015000100009>
- Csepregi, K., Kocsis, M., & Hideg, É. (2013). On the spectrophotometric determination of total phenolic and flavonoid contents. *Acta Biologica Hungarica*, 64(4), 500-509. <https://doi.org/10.1556/ABiol.64.2013.4.10>
- Delgado, O. J. (2011). Aplicación del ultrasonido en la industria alimentaria. *Escuela Ciencias Básicas Tecnología e Ingeniería*, 1-12.
- Díaz, A. J. (2021). *Universidad Católica de Santa María Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales Escuela Profesional de Ingeniería de Minas*. Universidad Católica de Santa María.
- Dumitrescu, L., Popescu-olaru, I., Cozma, L., Tulb, D., Hinescu, M. E., Ceafalan, L. C., Gherghiceanu, M., & Popescu, B. O. (2018). *Oxidative Stress and the Microbiota-Gut-Brain Axis*. 2018.
- Echavarría, A. P., Pagán, J., & Ibarz, A. (2012). Melanoidins Formed by Maillard Reaction in Food and Their Biological Activity. *Food Engineering Reviews*, 4(4), 203-223. <https://doi.org/10.1007/s12393-012-9057-9>

- Echeverry, S. M., Medina, H. I., Costa, G. M., & Aragón, D. M. (2018). Optimization of flavonoid extraction from *Passiflora quadrangularis* leaves with sedative activity and evaluation of its stability under stress conditions. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 2017, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.bjp.2018.06.005>
- Equivel, P. F. (2019). Manejo Agronomico de *Chenopodium quinoa* Will en el distrito de Santiago de Chuco, LaLibertad [Universidad Nacional de Trujillo]. En *universidad Nacional de Trujillo*. [http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/13450/Esquivel Paredes Carlos Francisco.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/13450/Esquivel_Paredes_Carlos_Francisco.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Ertekin, C., & Heybeli, N. (2014). Thin-layer infrared drying of mint leaves. *Journal of Food Processing and Preservation*, 38(4), 1480-1490. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12107>
- Espinoza Saavedra, J. L. (2011). *Aplicación de un proceso de secado asistido infrarrojo para la deshidratación del fruto de murtillo (Ugni molinae turcz.)*. 1-93.
- Estirada Valverde, A. B. (2021). *Agricultura biosalina y perspectivas de futuro*. Universidad de Jaen.
- F. A. Tomás-Barberan. (2015). Los polifenoles de los alimentos y la salud. *Alimentacion, nutricion y salud.*, 10(2), 41-53.
- Fernandez Gallardo, A. B., & Puma Jihuallanca, R. H. (2021). Comparacion de la capacidad antioxidante y del contenido de antocianinas en el extracto fermentado de *Tropaolum tuberosum* frente a los extractos fermentados de maiz morado y arandano. *Alicia*. file:///C:/Users/User PC/Documents/proyecto/antioxidante de la mashua en ucsm.pdf
- Fiallos-Jurado, J., Pollier, J., Moses, T., Arendt, P., Barriga-Medina, N., Morillo, E., Arahana, V., de Lourdes Torres, M., Goossens, A., & Leon-Reyes, A. (2016). Saponin determination, expression analysis and functional characterization of saponin biosynthetic genes in *Chenopodium quinoa* leaves. *Plant Science*, 250, 188-197. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2016.05.015>
- Fitriyanti, A. M. (2019). Synergistic Effect of Ultrasonication on Antimicrobial Activity of Cecropin P1 Against *Escherichia Coli*. *Engineering, Biological, August*, 1-145.

- Galo, C. (2009). *Optimización del proceso de secado de la Manzanilla (Matricaria chamomilla) y del Toronjil (Melissa officinalis) con la union de comunidades indígenas y campesinas de Juan Montalvo ( UCICJUM)*. [Escuela Politécnica Nacional]. file:///C:/Users/User/Downloads/227513028-1-Optimizacion-Del-Proceso-de-Secado-de-La-Manzanilla-Matricaria-Chamonilla.pdf
- García-Parra, M. Á., Plazas-Leguizamón, N. Z., Carvajal Rodríguez, D. C., Ferreira Torrado, S. C., & Parra, J. D. (2018). Descripción de las saponinas en quinoa (*Chenopodium quinoa willd*) en relación con el suelo y el clima: Una revisión. *Informador Técnico*, 82(2), 241. <https://doi.org/10.23850/22565035.1451>
- GelvezOrdoñez, V. M., Campo-Vera, Y., & Villada Castillo, D. C. (2015). Efecto Del Ultrasonido En Las Propiedades Físicas. *Bistua Revista De La Facultad De Ciencias Basicas*, 13(2), 79. <https://doi.org/10.24054/01204211.v2.n2.2015.1803>
- Grande, V. R. (2012). *Effect of Different Drying Methods on the Physico-Chemical Properties of Tomato*. 8(2). <https://doi.org/10.1515/1556-3758.2678>
- Gutiérrez-Mosquera, L. F., Arias-Giraldo, S., & Cardona-Naranjo, D. F. (2019). Cavitación hidrodinámica: un enfoque desde la ingeniería y la agroindustria. En *Scientia et technica* (Vol. 24, Número 2, p. 283). <https://doi.org/10.22517/23447214.19921>
- Hamrouni-Sellami, I., Rahali, F. Z., Rebey, I. B., Bourgou, S., Limam, F., & Marzouk, B. (2013). Total Phenolics, Flavonoids, and Antioxidant Activity of Sage (*Salvia officinalis* L.) Plants as Affected by Different Drying Methods. *Food and Bioprocess Technology*, 6(3), 806-817. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-0877-7>
- Herrera, A. (2009). Elaboración de dos panes tipo blando uno mediante la adición de deshidratado de acelga y otro con deshidratado de espinaca; enriquecidos con lactosuero en polvo Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero de Alimentos. En *Universidad de la Salle*.
- Hosseinzadeh Samani, B., Gudarzi, H., Rostami, S., Lorigooini, Z., Esmaili, Z., & Jamshidi-kia, F. (2018). Development and optimization of the new ultrasonic-infrared-vacuum dryer in drying *Kelussia odoratissima* and its comparison with conventional methods. *Industrial Crops and Products*, 123, 46-54. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.06.053>

- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. (2015). El mercado y la producción de quinua en el Perú. En *El mercado y la producción de quinua en el Perú*.
- ITP. (2014). *Aplicaciones y usos de la Quinua*. [https://www.itp.gob.pe/archivos/vtic/AGROINDUSTRIA\\_001-2014/files/assets/downloads/page0078.pdf](https://www.itp.gob.pe/archivos/vtic/AGROINDUSTRIA_001-2014/files/assets/downloads/page0078.pdf)
- Iturrizaga, M. (2013). *Comparativo de rendimiento de 23 accesiones de quinua (Chenopodium quinoa Willd) procedentes de Puno bajo condiciones del Instituto Regional de Desarrollo Sierra*. 1-103. <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/2097/Iturrizaga>
- Jimenez, L. (2013). *Exportaciones de quinua y su contribucion al crecimiento economico de Bolivia* [Universidad Mayor de San Andrés Facultad de Ciencias Económicas Y Financieras]. <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/3346/T-1416.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Karasu, S., & Baslar, M. (2016). *Effects of infrared heating on drying kinetics , antioxidant activity , phenolic content , and color of jujube fruit*. <https://doi.org/10.1007/s11694-016-9305-4>
- Khaing Hnin, K., Zhang, M., Mujumdar, A. S., & Zhu, Y. (2019a). Emerging food drying technologies with energy-saving characteristics: A review. *Drying Technology*, 37(12), 1465-1480. <https://doi.org/10.1080/07373937.2018.1510417>
- Khaing Hnin, K., Zhang, M., Mujumdar, A. S., & Zhu, Y. (2019b). Emerging food drying technologies with energy-saving characteristics: A review. *Drying Technology*, 37(12), 1465-1480. <https://doi.org/10.1080/07373937.2018.1510417>
- Lavaut, G.-, Antonio, J., Erythroxyllum, D., Erythorxylacea, B., Álvarez-reyes, A., Antonio, J., & Lavaut, G.-. (2008). Evaluación fitoquímica de Erythroxyllum confusum Britt. (Erythorxylacea) al variar el método de secado de las hojas. *Revista CENIC. Ciencias Químicas*, 39(3), 135-137.
- Lemus-Mondaca, R., Zura-Bravo, L., Ah-Hen, K., & Di Scala, K. (2021). Effect of drying methods on drying kinetics, energy features, thermophysical and microstructural properties of Stevia rebaudiana leaves. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101(15), 6484-6495. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11320>

- Liu, X., Xia, B., Hu, L., Ni, Z., Thakur, K., & Wei, Z. (2020). Maillard conjugates and their potential in food and nutritional industries: A review. *Food Frontiers*, *1*(4), 382-397. <https://doi.org/10.1002/fft2.43>
- López, Y., & Garcia, J. (2016). Proceso De Secado. *Proceso de Secado*, *23*. [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lim/davila\\_n\\_jr/capitulo4.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/davila_n_jr/capitulo4.pdf)
- Macedo, L. L., Vimercati, W. C., da Silva Araújo, C., Saraiva, S. H., & Teixeira, L. J. Q. (2020). Effect of drying air temperature on drying kinetics and physicochemical characteristics of dried banana. *Journal of Food Process Engineering*, *43*(9), 1-10. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13451>
- Manayay, D., & Ibarz, A. (2010). Modelamiento de la cinética de reacciones del pardeamiento no enzimático y el comportamiento reológico, en el proceso térmico de jugos y pulpas de fruta. *Scientia Agropecuaria*, *1*(2), 155-168. <http://www.revistas.unitru.edu.pe/index.php/scientiaagrop/article/view/28>
- Matuszewska, A., Jaszek, M., Stefaniuk, D., & Ciszewski, T. (2018). *Actividades anticancerígenas , antioxidantes y antibacterianas de subfracciones bioactivas de bajo peso molecular aisladas de cultivos de hongos que degradan la madera Cerrena unicolor*. 1-14.
- Matuszewska, A., Jaszek, M., Stefaniuk, D., Ciszewski, T., & Matuszewski, Ł. (2018). Anticancer, antioxidant, and antibacterial activities of low molecular weight bioactive subfractions isolated from cultures of wood degrading fungus *Cerrena unicolor*. *PLoS ONE*, *13*(6), 1-14. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0197044>
- Melchor, V. (2002). Secado de las hojas de stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) por conveccion, evaluacion microbiologica y sensorial [Universidad Nacional Agraria de la Selva]. En *Facultad De Zootecnia*. <http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/200/FIA-122.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Meyhuay, M. (1997). *Operaciones de Poscosecha* (D. Mejia & B. Lewis (eds.); AGSI/FAO). Instituto de Desarrollo Agroindustrial.
- Mina, A. C. (2018). Evaluacion de las propiedades funcionales de concentrados proteicos de hoja de quinoa (*Chenopodium quinoa* Will) variedad INIAP-Tunkahuan obtenidos con ods procedimientos de extraccion [Universidad Central Del Ecuador].

- En *Facultad de Ciencias Químicas Carrera de química de alimentos* (Vol. 151, Número 2). <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/16606/1/T-UCE-0008-CQU-041.pdf>
- MINAGRI. (2021a). *Observatorio de las Siembras y Perspectivas de la producción Quinoa*. 38. <https://repositorio.midagri.gob.pe/handle/20.500.13036/835>
- MINAGRI, M. de D. A. y R. (2021b). *Mercado de analisis 2015-2020*. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1479275/Análisis de Mercado - Quinoa 2015 - 2020.pdf>
- Montilla, A., Gamboa, J., & Soria, A. C. (2010). Deshidratación de vegetales por convección y por ultrasonidos. Indicadores de calidad. *Instituto de la Investigacion en Ciencias de la Alimentacion, Diciembre*, 45.
- Morales, L., & Montesdeoca, F. (1986). *comportamiento de dos lineas de quinua con diferentes densidades y sistemas de siembra en trs localidades de la sierra de ecuatoriana* [Universidad Central de Ecuador]. <https://books.google.com.pe/books?id=54YzAQAAMAAJ&pg=PA8&lpg=PA8&q=>
- Mujica, A., Jacobsen, S.-E., Izquierdo, J., & Marathee, Jean P. (2001). *Cultivos Andinos Fao - Version 1*. [http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP\\_FaoRlc/old/prior/segalim/prodalim/prodveg/cdrom/contenido/libro03/home03.htm](http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/prior/segalim/prodalim/prodveg/cdrom/contenido/libro03/home03.htm)
- Ninaraqui, R. P. (2015). *“Efecto del escaldado y temperatura en la cinético de secado de las hojas de quinua ( chenopodium quinoa willd), variedad salcedo INIA*. Universidad Nacional de Puno.
- Núñez Heredia, J. J., & Enrique Ceverino, V. M. (2017). Diseño e implementación de un prototipo de limpieza por medio de ultrasonido [Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil- Facultad de Ingeniería]. En *Ingeniería Electrónica* (Vol. 6). <file:///C:/Users/User PC/Downloads/UPS-GT001954.pdf>
- Ortiz Jerez, M. J. (2014). *Modelación matemática del secado de alimentos por el método de ventana de refractancia* [Universidad del Valle Facultad de Ingeniería de Alimentos]. <https://hsgm.saglik.gov.tr/depo/birimler/saglikli-beslenme-hareketli-hayat-db/Yayinlar/kitaplar/diger-kitaplar/TBSA-Beslenme-Yayini.pdf>

- Ozuna, R., & Ochoa, M. (2012). Ultrasonido y sus aplicaciones en el procesamiento de alimentos. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 13, 15.
- Paladino, S. C. (2008). Actividad antioxidante de los compuestos fenólicos contenidos en las semillas de la vid (*Vitis vinifera* L.). *Facultad de Ciencias Agrarias, Sede Mendoza*, 100. [http://bdigital.uncu.edu.ar/objetos\\_digitales/2627/tesispaladino.pdf](http://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/2627/tesispaladino.pdf)
- Pando, L. G., & Castellanos, E. A. (2016). Guía del cultivo de la quinoa. En *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura Universidad Nacional Agraria La Molina* (Universidad, Vol. 1). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Pérez-Cabeza, S. B., Morón Angarita, N., Cervantes, M., & Barón-Rodríguez, M. A. (2018). Evaluación del potencial antioxidante en extracto de espinaca por voltamperometría cíclica. *Revista ION*, 30(2), 99-105. <https://doi.org/10.18273/revion.v30n2-2017009>
- Pineda, M. L., Chacón, A., & Cordero, G. (2009). Efecto de las condiciones de secado sobre la cinética de deshidratación de las hojas de morera (*Morus alba*). *Agronomía Mesoamericana*, 2, 9. <https://doi.org/10.15517/am.v20i2.4944>
- Portelo Sendra, F., & Martínez, M. (2006). *Radiación Infrarroja*. 1-6. <http://files.sld.cu/rehabilitacion-fis/files/2010/11/radiacion-infrarroja.pdf>
- Poveda, E., Silva, E., Cuadrado, L., Álvarez, J., & Quelal, M. (2014). *La riqueza oculta de las hojas de Quinoa*. June.
- Puente-Días, L., Pacheco, E. E., Montero, E. C., & Scala, K. Di. (2015). Aplicación de modelos matemáticos al proceso de secado asistido por infrarrojos de descartes de limón (*Citrus limon* (L.) Burm. F. Cv. Genova). *DYNA (Colombia)*, 20(366), 26. <http://www.recintodelpensamiento.com/ComiteCafeteros/Comunicaciones/2018-09-14-Comunicado.pdf> <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/3488> <http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/882/5/4>. Secado del café.pdf <http://normasapa.net/como-preparar>
- Quispe Ruiz, F. (2013). Mecanismos de transmisión de calor (conducción, convección, radiación). *Universidad de Pamplona*, 3, 1-23. [file:///C:/Users/prueba/Downloads/Mecanismos de transmisión de calor](file:///C:/Users/prueba/Downloads/Mecanismos%20de%20transmisi%C3%B3n%20de%20calor)

(conduccion, conveccion, radiacion).pdf

- Rababah, T. M., Al-U' Datt, M., Alhamad, M., Al-Mahasneh, M., Ereifej, K., Andrade, J., Altarifi, B., Almajwal, A., & Yang, W. (2015). Effects of drying process on total phenolics, antioxidant activity and flavonoid contents of common mediterranean herbs. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 8(2), 145-150. <https://doi.org/10.3965/j.ijabe.20150802.1496>
- Ramirez, E. (2015). *Elaboración de sopa deshidratada a partir de germinado y hojas de quinua (Chenopodium quinoa, Willd) y arveja (Pisum sativum)*.
- Ramos, J. A. (2016). Aplicación De Radiación Infrarroja Como Método De. *Ciencias y Ingenieria, May 2016*, 10.
- Reyes Montaña, E. A., Ávila Torres, D. P., & Guevara Pulido, J. O. (2006). Componente nutricional de diferentes variedades de quinua de la región Andina. *AVANCES Investigación En Ingeniería*, 5(5), 86-97.
- Rochín Wong, Gámez Meza, Montoya Ballesteros, & Medina Juárez. (2012). Effect of drying and pickling processes on antioxidant capacity 213 Derivation and application of the Stefan-Maxwell equations OF PHYTOCHEMICALS OF CHILTEPIN (Capsicum annum L. var. glabriusculum). *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 11(1), 23-43.
- Rodas Narvaez, J. J. (2020). *Producto en polvo a partir de la hoja de quinua (Chenopodium quinoa )*
- Rojas, M. L., & Augusto, P. E. D. (2018). Ethanol and ultrasound pre-treatments to improve infrared drying of potato slices. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 49, 65-75. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.08.005>
- Roman, A. R. (2020). *Estudio del comportamiento de arcilla proveniente de la union, ant. Ante el calentamiento por radiacion infrarroja*. Universidad de Antioquia- Facultad de Ingenieria.
- Rosales, G., & Mercado, W. (2020). Effect of changes in food price on the quinoa consumption and rural food security in Peru. *Scientia Agropecuaria*, 11(1), 83-93. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.01.10>
- Ruiz, S., Venegas, E., Valdiviezo, J., & Plasencia, J. (2018a). Contenido de fenoles totales

- y capacidad antioxidante in vitro del zumo de “ pur ( Passifloraceae ) Content of total phenols and in vitro antioxidant capacity of the juice of “ pur pur ” Passiflora tripartita var . mollissima ( Passifloraceae ). *Arnaldoa*, 25(3), 1003-1014.
- Ruiz, S., Venegas, E., Valdiviezo, J., & Plasencia, J. (2018b). Contenido de fenoles totales y capacidad antioxidante in vitro del zumo de “pur pur” Passiflora tripartita var. mollissima (Passifloraceae). *Arnaldoa*, 25(3), 1003-1014. <https://doi.org/10.22497/arnaldoa.253.25312>
- Sanchez Pizarro, A. L. (2019). Composicion quimico proximal, minerales y capacidad antioxidante de hojas de cuatro variedades de quinua (Chenopodium quinoa) en diferentes etapas fenologicas. [Universidad Nacional Agraria La Molina - Industrias Alimentarias]. En *Universidad Nacional Agraria La Molina*. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3271>
- Santamaria, M. R. (2010). Industria Alimentaria: Tecnologias Emergentes. En U. P. de Catalunya & J. girona Salgado (Eds.), *Univeridad Politecnica de Catalunya (UPC*, Vol. 3, Número 3). [https://doi.org/10.1016/0960-8524\(91\)90131-3](https://doi.org/10.1016/0960-8524(91)90131-3)
- Santilla, M. (2015). *Sub título el derroche e incompetencia del minagri y su programa proquinua* (Número 9). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Silva, A. albertos C. (2017). *Optimizacion de los parámetros de extracción de compuestos fenólicos totales de hojas de quinua (Chenopodium quinoa will.) variedad INA 420-Negra Collana*. (Número dic) [UPeU]. file:///C:/Users/User/Documents/A tesis claudia/articulos en español/Nueva carpeta/Optimizacindelos parmetros deextraccion deTPCdehojasdequinuavariedadINA420 (1).pdf
- Singh, K., Tripathi, S., & Chandra, R. (2021). Maillard reaction product and its complexation with environmental pollutants: A comprehensive review of their synthesis and impact. *Bioresource Technology Reports*, 15(May), 100779. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2021.100779>
- Singla, M., & Sit, N. (2021). Application of ultrasound in combination with other technologies in food processing: A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 73. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105506>
- Surjadinata, B. B., Jacobo-Velázquez, D. A., & Cisneros-Zevallos, L. (2017). UVA, UVB and UVC light enhances the biosynthesis of phenolic antioxidants in fresh-cut carrot

- through a synergistic effect with wounding. *Molecules*, 22(4), 1-13.  
<https://doi.org/10.3390/molecules22040668>
- Swieca, M., Seczyk, L., Gawlik-Dziki, U., & Dziki, D. (2015). Pan enriquecido con hojas de quinua-la influencia de la sprteinas-fenoles interacciones sobre la calidad nutricional y antioxidante. *Acta Biomaterialia*, 7061(15), 1-25.  
[file:///c:/users//documents/science direct - español/marco teorico de la fascia en la terapia manual.en.es.pdf](file:///c:/users//documents/science%20direct%20-%20espa%C3%B1ol/marco%20teorico%20de%20la%20fascia%20en%20la%20terapia%20manual.en.es.pdf)
- Talens, C., Castro-Giraldez, M., & Fito, P. J. (2018). Effect of Microwave Power Coupled with Hot Air Drying on Sorption Isotherms and Microstructure of Orange Peel. *Food and Bioprocess Technology*, 11(4), 723-734. <https://doi.org/10.1007/s11947-017-2041-x>
- Tanacca, L., Aravena-narbona, A., & Diaz Ramires, C. (2018). *Uso de harinas de hojas de quinua (Chenopodium quinoa) como ingrediente innovador, para la elaboracion de alimentos de uso humano*. 1-10.
- Tapia, M. (1979). *La quinua y la kañiwa\_ cultivos andinos*.
- Troisi, J., Pulvento, C., & Lavini, A. (2014). *Estado del arte de la quinua en el mundo 2013. December 2015*, 319--322. <https://doi.org/10.13140/2.1.1568.5129>
- Valeiro, A. (2013). Ciencia y Tecnología de los Cultivos Industriales. *Quinua*, 1-108.  
<https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/7314/INTA-Revista-Ciencia-y-Tecnologia-de-los-Cultivos-Industriales-Ano-3-No-5-Quinua.pdf?sequence=5>
- Valencia, Z., Ccapa, K., Catacora, P., & Quispe, F. (2017). Compuestos bioactivos y actividad antioxidante de semillas de quinua Peruana (*Chenopodium quinoa* W.). *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 83(1), 16-29.
- Vazquez-Luna, A., Cortés, V. P., Carmona, F. F., & Díaz-Sobac, R. (2019). Quinoa leaf as a nutritional alternative. *Ciencia e Investigacion Agraria*, 46(2), 137-143.  
<https://doi.org/10.7764/rcia.v46i2.2098>
- Veca, A. C., Ruzzante, J. E., Lopez Pumarega, M. I., & Accolti, E. (2019). *Ultrasonido para Ingenieros y Estudiantes de Ingeniería* (A. C. Veca, J. E. Ruzzante, M. I. Lopez Pumarega, & E. Accolti (eds.); 1ra edicio).
- Vega, A. A., & Lemus, R. A. (2006). Modelado de la cinética de secado de la papaya

- chilena (*vasconcellea pubescens*). En *Informacion Tecnologica* (Vol. 17, Número 3, pp. 47-66). <https://doi.org/10.4067/s0718-07642006000300005>
- Velasco, O., Cárdenas, B., Abril, R., Annco, M., & Annco Loza, R. (2015). Estudio Comparativo Del Contenido Proteico De Nueve Variedades De Quinoa (*Chenopodium Quinoa Willd*) Cultivadas En Tres Zonas Agroecológicas Del Perú. *Scientiarvm*, *1*(1), 31-35. <https://doi.org/10.26696/sci.epg.0103>
- Veloza Ramírez, C., Romero Guerrero, G., & Gómez Piedras, J. J. (2016). Respuesta morfoagronómica y calidad en proteína de tres accesiones de quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*) en la sabana norte de Bogotá. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, *19*(2), 325-332. <https://doi.org/10.31910/rudca.v19.n2.2016.86>
- Venegas Casanova, E. (2012). Cuantificación de flavonoides totales y taninos presentes en el extracto acuoso de hojas de *Thea sinensis L.* y su capacidad antioxidante. *UCV - SCIENTIA*, *4*(2), 161-174.
- Villacrés, E., Quelal, M., Galarza, S., Iza, D., & Silva, E. (2022). Nutritional Value and Bioactive Compounds of Leaves and Grains from Quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*). *Plants*, *11*(2), 1-11. <https://doi.org/10.3390/plants11020213>
- Villacres, E., Silva, E., Cuadrado, L., Alvarez, J., & Quetal, M. belen. (2014). La riqueza oculta de las hojas de Quinoa INIAP - Estación Experimental Santa Catalina. *Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias INIAP*, *166*(June 2016), 1-33.
- Wanyo, P., Siriamornpun, S., & Meeso, N. (2017). Improvement of quality and antioxidant properties of dried mulberry leaves with combined far-infrared radiation and air convection in Thai tea process. *Food and Bioproducts Processing*, *89*(1), 22-30. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2010.03.005>
- Złotek, U., Gawlik-Dziki, U., Dziki, D., Awieca, M., Nowak, R., & Martinez, E. (2019). Influence of Drying Temperature on Phenolic Acids Composition and Antioxidant Activity of Sprouts and Leaves of White and Red Quinoa. *Journal of Chemistry*, *2019*. <https://doi.org/10.1155/2019/7125169>
- Złotek, U., Gawlik-dziki, U., Dziki, D., Swieca, M., Nowak, R., & Martinez, E. (2021). *Composición y actividad antioxidante de los brotes y Hojas de Quinoa Blanca y Roja*. 1-8.

## ANEXOS

### Anexo 1. IMAGENES OBTENIDAS DURANTE LA EJECUCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

a)



b)



c)



d)



**Figura 33:** La imagen muestra la planta en pleno desarrollo a los 30 días del sembrío

a)



b)



**Figura 34.** La hoja de quinua en condiciones óptimas para ejecutar el proyecto.

a)



b)



**Figura 35: Perfil de las hojas de quinua para ejecutar el proyecto.**

a)



b)



c)



d)



**Figura 36: Selección de las hojas de quinua para realizar ejecutar el proyecto.**

a)



b)



**Figura 37: Peso del volt para pesar las muestras**

a)



b)



**Figura 38: Selección de las hojas de quinua**

a)



b)



c)



**Figura 39: Limpieza y desinfección de las hojas de quinua**

## Anexo 2. MÉTODO DE SECADO POR INFRARROJO

a)



b)



**Figura 40:** Pesado muestras de hoja de quinua para el secado por Infrarrojo

a)



b)



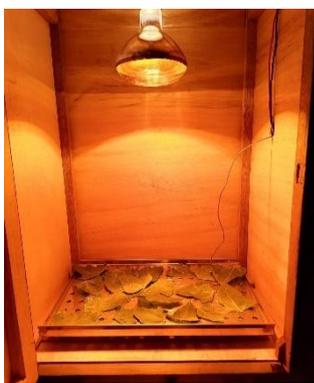
c)



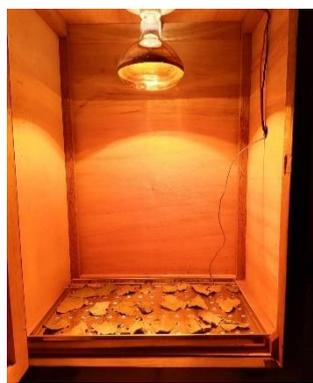
d)



e)



f)



**Figura 41:** Equipo de secado de Infrarrojo

a)



b)



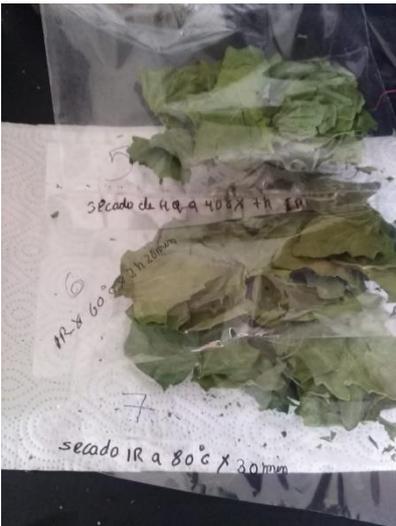
c)



d)



**Figura 42: Equipamiento del sistema de secado de Infrarrojo**



**Figura 43: Envasado de las hojas de quinua después del secado**

### Anexo 3. RESULTADOS DEL SECADO DE HOJAS DE QUINUA POR HORNO CONVENCIONAL

a)



**Figura 44:** Selección y Desinfección de la muestra de hoja de quinua



**Figura 45:** Pesado de la muestra para la aplicación de secado por horno convencional

a)



b)



c)



d)



e)



**Figura 46: Equipamiento del sistema de secado por Horno Convencional de la hoja de quinua**

#### **Anexo 4. METODO DE SECADO POR ULTRASONIDO-INFRARROJO-VACÍO**

a)



b)



c)



**Figura 47: Selección y desinfección de hoja de quinua para el método de secado de US-IR-V**

a)



**Figura 48: Pesado de la muestra de hoja de quinua**

a)



b)



c)



d)



e)



f)



g)



h)



i)



**Figura 49: Equipamento de sistema de secado por US-IR-V**

a)



b)

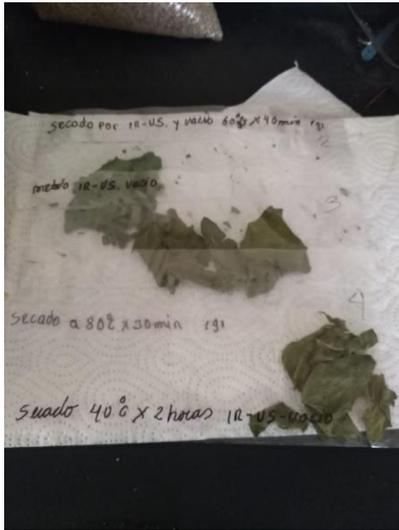


c)



**Figura 50: Muestras de hoja de quinua fresca y deshidratada**

a)

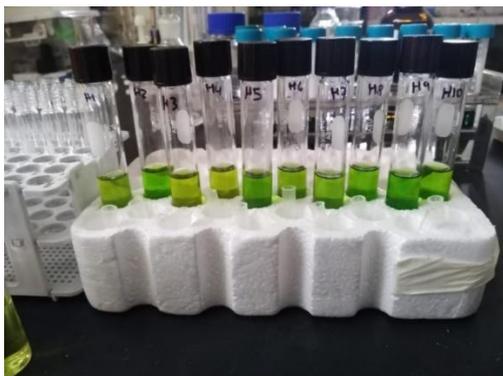


b)

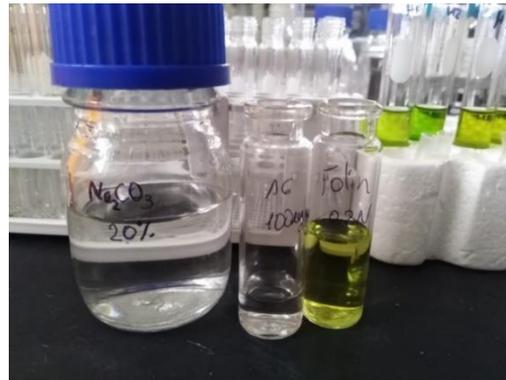


**Figura 51: Envasado de las hojas de quinua después del proceso de secado.**

a)



b)



c)



d)



**Figura 52: Imágenes de las determinaciones de propiedades funcionales**

**Anexo 5. ECUACIONES APLICADAS PARA ADECUACIÓN A LA SEGUNDA  
LEY DE FICK**

- DETERMINACION DE HUMEDAD EN BASE SECA

Humedades:

$$S = \frac{Mh * Ms}{Mh}$$

Donde:

Mh= Materia Húmeda

Ms=Materia Seca

S=Peso del solido Seco

$$S = \frac{Mh * Ms}{Mh}$$

$$Xbs = \frac{Mh - S}{S}$$

Donde:

Mh= Materia Húmeda

S=Peso del solido seco

Xbs=Humedad en base seca

$$Xbs = \frac{Mh - S}{S}$$

- Ecuación de segunda ley de Fick

$$\frac{X_t - X_\infty}{X_0 - X_\infty} = \frac{8}{\pi^2} \text{Exp}\left(-\frac{h \cdot \pi^2 D_{ef} t}{4L^2}\right)$$

$$\text{LEY FICK} = X_e + (X_i - X_e) * \left(\frac{8}{\pi^2}\right) \text{Exp}\left(-(\pi^2) * D_{ef} * \frac{t}{(4 * L^2)}\right)$$

- Humedad de equilibrio

$$H_e = \left( \frac{W_{H_2O}}{W_s} \right)$$

- Contenido de agua humedad

$$X_{bh} = \left( \frac{W_{H_2O}}{W_{\text{producto}}} \right)$$

- Contenido de agua Xbs

$$X_{bs} = \left( \frac{W_{H_2O}}{W_s} \right)$$

- Contenido de humedad

La determinación de humedad se realizó midiendo el espesor de la hoja de quinua y luego se procedió a determinar la humedad, para la determinación se realizó pesando 5 gramos de hojas frescas que serán secadas a 40°C, 60°C y 80°C por un tiempo determinado hasta lograr un peso constante. Luego, la muestra fue transferida a una campana de desecación hasta alcanzar la temperatura ambiente. El peso final fue registrado y expresado en contenido de humedad (base húmeda, b.h.) mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Contenido de humedad} \left( \frac{g_{H_2O}}{100g} \right) = \left( \frac{W_{\text{inicial}} - W_{\text{final}}}{W_{\text{final}}} \right) \times 100$$

- Determinación de humedad de equilibrio

La humedad de equilibrio se determinó aplicando la metodología descrita por Coloma *et al.* (2017), mediante la curva de secado, cuando el proceso de secado se encuentra en el punto E, en condiciones constantes de secado.

$$X = X_t - X^*$$

Donde:

X<sub>t</sub>: contenido total de humedad

X: contenido de humedad libre

X\*: contenido de humedad de equilibrio

## Anexo 6. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE LABORATORIO



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
 LABORATORIO DE CROMATOGRAFÍA Y ESPECTROMETRÍA – Pabellón de Control de Calidad  
 AV. De la Cultura 733 CUSCO-PERÚ Contacto: 973868855

### RESULTADOS

Cusco, 07 de Abril del 2021

Solicitantes : Claudia Paola Molina Ticona  
 Tipo de Análisis : Actividad Antioxidante  
 Metodo : DPPH, Espectrofotometro  
 Tipo de Muestras : Hojas de Quinua  
 Cantidad de Muestra : 10, aproximadamente 1 gr. de cada uno  
 Almacenamiento : 4 °C.

Condiciones de Análisis por Espectrofotometro  
 Equipo : Espectrofotometro Genesis 20 Thermo Electron  
 Longitud de Onda : 517 nm  
 Celda de Lectura : Cubetas de Vidrio de 1cm.  
 Ecuacion de la curva patron :  $y = 0.0458x + 0.0046$ ,  $R^2 = 0.9985$   
 Lecturas por Muestra : 3

Codigo	Muestra Hojas de Quinua	Repeticiones			Promedio
		1	2	3	Trolox C/150 mg/100gr
1	Hojas de Quinua Fresco	14.09	13.96	14.22	14.10
2	IR-US+Vac-60°Cx40 min	317.02	318.34	315.69	317.0
3	IR-US+Vac-80°Cx30 min	38.27	38.15	38.03	38.15
4	IR-US+Vac-40x2h	24.93	24.32	24.08	24.44
5	IR-40°Cx2h	7.11	7.05	6.69	6.95
6	IR-60°Cx2h-20min	14.17	14.43	14.37	14.33
7	IR-80°Cx30 min	9.12	9.72	9.96	9.60
8	Horno 40°Cx16h	30.09	29.55	29.42	29.69
9	Horno 60°Cx2h	31.13	30.53	29.93	30.53
10	RI 80°Cx1h	8.43	7.28	9.69	8.47

Nota: Los resultados obtenidos en la determinación de actividad antioxidante fue realizado por triplicado, expresa el Coeficiente de Inhibición al 50% (IC<sub>50</sub> o IC<sub>50</sub>) en miligramos equivalentes Trolox que están presente en 100 gramos de muestra. Los valores bajos poseen mayor actividad antioxidante<sup>24</sup>

#### Referencias

- Brand-Williams W, M. Cuvelier and C. Berset; (1997) Use of a Free Radical Method to Evaluate Antioxidant Activity, Lebensm. Wiss. U. Technol. 28, 25-30.
- Matuszewska, A., Jazek, M., Stefanik, D., Czapewski, T., & Matuszewska, I. (2018). Anticancer, antioxidant, and antibacterial activities of low molecular weight bioactive subfractions isolated from cultures of wood degrading fungus *Cerrena unicolor*. PLOS ONE, 13(6), e0197044. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0197044>
- Noraliza A-Nahaman, Lee Suan Chua, Mohamed Raj Sarmidi, Ramlan Aziz (2013) Physicochemical and radical scavenging activities of honey samples from Malaysia Agricultural Sciences Vol.4, No.58, 46-51.
- Philip Molyneux 2004, The use of the stable free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity Songklanakarin J. Sci. Technol., 26(2) : 211-219.
- Fugliese A.G, Franco A, Torres-Barberan, Pilar Truchado, Maria I. Genovese, Flavonoids, Proanthocyanidins, Vitamin C, and Antioxidant Activity of *Theobroma grandiflorum* (Cupuassu) Pulp and Seeds J Agric Food Chem. 2013 Mar 20;61(11):2720-8. doi:10.1021/jf1304349u. Epub 2013 Mar 6.
- Zhang, X., Yu, Y., Cen, Y., Yang, D., Qi, Z., Hou, Z., Han, S., Cai, Z., & Liu, K. (2018). Bivariate Correlation Analysis of the Chemometric Profiles of Chinese Wild *Savia miltiorrhiza* Based on UPLC-Qq-MS and Antioxidant Activities. Molecules, 23(3), 538. <https://doi.org/10.3390/molecules23030538>

  
 Quimi Jorge Choquevarita Part  
 Analista del Laboratorio de Cromatografía y  
 Espectrometría - UNASAC  
 CCP - 614

**Figura 53: Resultados de la capacidad antioxidante en la hoja de quinua deshidratada por tres métodos de secado**



**RESULTADOS**

Cusco, 07 de Abril del 2021

Solicitantes : Claudia Paola Molina Ticona  
 Tipo de Análisis : Determinación de compuestos Fenólicos Totales  
 Método : Folin Ciocalteu, Espectrofotometro  
 Tipo de Muestras : Hojas de Quinua  
 Cantidad de Muestra : 10, aproximadamente 1 gr. de cada uno  
 Almacenamiento : 4 °C.

Condiciones de Análisis por Espectrofotometro  
 Equipo : Espectrofotometro Genesis 20 Thermo Electron  
 Longitud de Onda : 765 nm  
 Celda de Lectura : Cubetas de Vidrio de 1cm.  
 Ecuacion de la curva patrón :  $y = 0.0468x + 0.0046$ ,  $R^2 = 0.9985$   
 Lecturas por Muestra : 3

Codigo	Hojas de Quinua	Repeticiones			Promedio
		1	2	3	
1	Hojas de Quinua fresco	127.4	128.6	129.2	128.4
2	IR-US+Vac-60°Cx40 min	615.3	627.2	630.1	624.2
3	IR-US+Vac-80°Cx30 min	603.3	594.3	606.2	601.3
4	IR-US+Vac-40x2h	620.8	638.6	617.8	625.7
5	IR-40°Cx7h	650.2	638.3	629.4	639.3
6	IR-60°Cx2h-20min	527.4	524.4	533.3	528.3
7	IR-80°Cx30 min	590.1	584.3	566.7	580.4
8	Horno 40°Cx16h	567.6	564.6	555.7	562.6
9	Horno 60°Cx2h	773.0	781.9	784.9	779.9
10	R1 80°Cx1h	675.6	684.5	687.4	682.5

Nota: Los resultados obtenidos fue realizado por triplicado, la cuantificación se basó utilizando un estándar Acido Gálico, expresa los miligramos en equivalentes de Acido Gálico que están presente en 100 g de muestra.

Referencia

- Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R. M. (1999). [14] Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. In *Methods in Enzymology* (Vol. 299, pp. 152-178). Academic Press. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)09017-1](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)09017-1)
- Pugliese A.G, Francisco A, Tomas-Barberan, Pilar Truchado, María I. Genovesa, Flavonoids, Proanthocyanidins, Vitamin C, and Antioxidant Activity of Theobroma grandiflorum (Cupuassu) Pulp and Seeds J Agric Food Chem. 2013 Mar 20;61(11):2720-8. doi: 10.1021/jf304349u. Epub 2013 Mar 6.
- Huang, R. T., Lu, Y. F., Inbaraj, B. S., & Chen, B. H. (2015). Determination of phenolic acids and flavonoids in *Rhinacanthus nasutus* (L.) kurz by high-performance-liquid-chromatography with photodiode-array detection and tandem mass spectrometry. *Journal of Functional Foods*, 12, 498-508. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2014.12.002>
- Hu, Y., Pan, Z. J., Liao, W., Li, J., Grugnet, P., Kitts, D. D., & Lu, X. (2016). Determination of antioxidant capacity and phenolic content of chocolate by attenuated total reflectance-Fourier transformed-infrared spectroscopy. *Food Chemistry*, 202, 254-261. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.01.130>

Quím. Jorge Choquevarra Pani  
 Analista del Laboratorio de Cromatografía y  
 Espectrometría – UNSAAC.  
 CCF- 914

**Figura 54: Resultados de los fenoles totales en la hoja de quinua deshidratada**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
FACULTAD DE CIENCIAS

LABORATORIO DE CROMATOGRAFIA Y ESPECTROMETRIA – Pabellón de Control de Calidad  
Av. De la Cultura 733 CUSCO-PERÚ Contacto: 973868855

**RESULTADOS**

Cusco, 07 de Abril del 2021

Solicitantes : Claudia Paola Molina Ticona  
Tipo de Análisis : Determinación de Flavonoides Totales  
Metodo : Tricloruro de Aluminio.  
Tipo de Muestras : Hojas de Quinua  
Cantidad de Muestra : 10, aproximadamente 1 gr. de cada uno  
Almacenamiento : 4 °C.

Condiciones de Análisis por Espectrofotometro

Equipo : Espectrofotometro Genesis 20 Thermo Electron  
Longitud de Onda : 415 nm  
Celda de Lectura : Cubetas de Vidrio de 1cm.  
Ecuacion de la curva patrón :  $y = 0.0131x + 0.0002$ ,  $R^2 = 0.9976$

Codigo	Hojas de Quinua	Repeticiones			Promedio
		1	2	3	EQ-Quercetina mg/100g
1	Hojas de Quinua Fresco	50.92	53.55	54.90	52.9
2	IR-US+Vac-60°Cx40 min	295.69	295.69	301.38	297.6
3	IR-US+Vac-80°Cx30 min	396.17	399.98	401.89	399.3
4	IR-US+Vac-40x2h	426.46	426.46	418.84	423.9
5	IR-40°Cx7h	374.82	380.54	386.25	380.5
6	IR-60°Cx2h-30min	296.14	303.75	301.85	300.6
7	IR-80°Cx30 min	328.99	332.81	342.34	334.7
8	Horno 40°Cx16h	373.29	373.29	380.92	375.8
9	Horno 60°Cx2h	527.78	531.58	533.48	530.9
10	R1 80°Cx1h	379.78	381.68	391.18	384.2

**Nota:** Los resultados obtenidos en la determinación de Flavonoides totales fue realizado por triplicado, la cuantificación se basó utilizando un estándar de flavonoide Quercetina, expresa los equivalentes de Quercetina en miligramos que están presente en 100gr de muestra.

Referencia

- Chang C. C., Yang M. H., Wen H. M., Chern J. C., Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods, *J. Food & Drug Analysis* 10 (2002) 178–182
- Meda, A., Lamien, C. E., Romito, M., Millogo, J., & Nacoulma, D. G. (2005). Determination of the total phenolic, flavonoid and proline contents in Burkina Faso honey, as well as their radical scavenging activity. *Food Chemistry*, 92(3), 571–577. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.10.006>

Quim Jorge Choquenainza Piani  
Analista del Laboratorio de Cromatografía y  
Espectrometría – LMSAAC  
COP-914

**Figura 55:** Resultados de contenido de flavonoides totales en la hoja de quinua

## Anexo 7. ANOVA

Se realizaron tres repeticiones para la evaluación de la capacidad antioxidante, fenoles totales y flavonoides totales en la hoja de quinua, en la Tabla 29 se presenta los resultados obtenidos como; la capacidad antioxidante (YANTI), fenoles totales (YFENOL) y flavonoides totales (YFLAVO) de la hoja de quinua secada por el método de ultrasonido-infrarrojo-vacío (ULTRA), aire caliente infrarrojo (AIRE) y horno convencional (HORNO).

**Tabla 29: Datos obtenidos después del secado por los métodos de US-IR-Vac, Aire Caliente IR y Horno Convencional para la corrida estadística**

	<b>METODO</b>	<b>TEMPE</b>	<b>YANTI</b>	<b>YFENOL</b>	<b>YFLAVO</b>
1	ULTRA	40	24.93	620.8	426.46
2	ULTRA	40	24.32	638.6	426.46
3	ULTRA	40	24.08	617.8	418.84
4	ULTRA	60	317.02	615.3	295.69
5	ULTRA	60	318.34	627.2	295.69
6	ULTRA	60	315.69	630.1	301.38
7	ULTRA	80	38.27	603.3	396.17
8	ULTRA	80	38.15	594.3	399.98
9	ULTRA	80	38.03	606.2	401.89
10	AIRE	40	7.11	650.2	374.82
11	AIRE	40	7.05	638.3	380.54
12	AIRE	40	6.69	629.4	386.25
13	AIRE	60	14.17	527.4	296.15
14	AIRE	60	14.43	524.4	303.75
15	AIRE	60	14.37	533.3	301.85
16	AIRE	80	9.12	590.1	328.99
17	AIRE	80	9.72	584.3	332.81
18	AIRE	80	9.96	566.7	342.34
19	HORNO	40	30.09	567.6	373.29
20	HORNO	40	29.55	564.6	373.29
21	HORNO	40	29.42	555.7	380.92
22	HORNO	60	31.13	773	527.78
23	HORNO	60	30.53	781.9	531.58
24	HORNO	60	29.93	784.9	533.48
25	HORNO	80	8.43	675.6	379.78
26	HORNO	80	7.28	684.5	381.68
27	HORNO	80	9.69	687.4	391.18

TEMPE: Temperatura YANTI: Capacidad antioxidante YFENOL: Fenoles totales

YFLAV: Flavonoides totales.

CAPACIDAD ANTIOXIDANTE

**Tabla 30: Análisis de Varianza de la capacidad antioxidante**

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	Sig
<b>Método</b>	2	73240.7503	36620.3751	79252.1745	<2.22e-16	***
<b>Tempe</b>	2	61307.4121	30653.7060	66339.3767	<2.22e-16	***
<b>metodo:tempe</b>	4	103267.7225	25816.9306	55871.8441	<2.22e-16	***
<b>Residuals</b>	18	8.3173	0.4621			

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

C.V. = 1.28%

METODO DE SECADO AIRE CALIENTE

Response: YANTI

	Df	Sum Sg	Mean Sg	F value	Pr(>F)	
TEMPE	1	10.53375000	10.53375000	122.80278	3.2156e-05	***
TEMPE2	1	73.16467222	73.16467222	852.95602	1.0679e-07	***
Residuals	6	0.51466667	0.08577778			

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

METODO DE SECADO POR HORNO

Response: YANTI

	Df	Sum Sg	Mean Sg	F value	Pr(>F)	
TEMPE	1	675.4326000	675.4326000	1044.87837	5.8288e-08	***
TEMPE2	1	262.3576889	262.3576889	405.68118	9.7149e-07	***
Residuals	6	3.8785333	0.6464222			

FENOLES TOTALES

**Tabla 31: Análisis de varianza- compuestos fenólicos totales**

	Df	Sum Sg	Mean Sg	F value	Pr(>F)	
<b>Método</b>	2	39206.8156	19603.40778	285.14048	2.3507e-14	***
Tempe	2	5664.6156	2832.30778	41.19720	1.9146e-07	***
Método:tempe	4	85026.1956	21256.54889	309.18617	2.5399e-16	***
Residuals	18	1237.5000	68.75000			

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1 > cv.model(model1)[1]

1.3268150309 Grand mean = Gran Medio o media general = 624.92222222

**METODO ULTRASONIDO-INFRRARROJO-VACÍO**

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t Value	Pr(> t )	
(Intercept)	564.6000000000	52.3667692198	10.78165	3.7651e-05	***
TEMPE	2.5983333333	1.8514448812	1.40341	0.21007	
TEMPE2	-0.0267500000	0.0153577704	-1.74179	0.13218	

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

**METODO DE SECADO POR AIRE CALIENTE INFRRARROJO**

Analysis of Variance Table

Response: YFENOL

	DF	Sum Sg	Mean Sg	F value	Pr(>F)	
TEMP	1	5209.706667	5209.706667	56.23874	0.00029073	***
TEMP2	1	13273.635556	13273.635556	143.28878	2.0601e-05	***
Residuals	6	555.813333	92.635556			

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

**HORNO CONVENCIONAL**

Response: YFENOL

	DF	Sum Sg	Mean Sg	F value	Pr(>F)	
TEMP	1	21552.02667	21552.02667	565.09320	3.6383e-07	***
TEMP2	1	49528.53556	49528.53556	1298.63604	3.0450e-08	***
Residuals	6	228.83333	38.13889			

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

FLAVONOIDES TOTALES

**Tabla 32: Análisis de varianza - flavonoides totales**

	Df	Sum Sg	Mean Sg	F value	Pr(>F)	
<b>Método</b>	2	38564.1267	19282.06336	870.38612	<2.22e-16	***
Tempe	2	2194.2079	1097.10396	49.52292	4.8111e-08	***
Método:tempe	4	80043.8221	20010.95551	903.28807	<2.22e-16	***
Residuals	18	398.7623	22.15346			

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

METODO HORNO CONVENCIONAL

Analysis of Variance Table

Response: YVLAVO

	Df	Sum Sg	Meam Sg	F value	Pr (>F)	sig
TEMPE	1	105.33660	105.33660	4.85181	0.069844	***
TEMPE2	1	45555.70509	45555.70509	2098.30016	7.2518e-09	***
Residuals	6	130.26460	21.71077			

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

### Anexo 8. TABLA DE DATOS DE CINÉTICA DE SECADO

TABLA DE DATOS DE CINÉTICA DE SECADO A 40°C DE ULTRASONIDO-INFRAROJO-VACÍO

Xi	X equilibrio	Def, m/s <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>	MRSE	MA%E
1.59898477	0.23516108	5.5983E-12	0.955370644	0.23020238	11.6946092

Contador	Masa	Masa de agua	X bs	FICK	ERROR	MRSE	MA%E
0	5.05	3.10693359	1.59898477	1.34063493	0.258349846	0.06674464	0.04174189
600	4.9	2.95693359	1.5217872	1.21144979	0.310337415	0.09630931	0.06328698
1200	4.6	2.65693359	1.36739207	1.09736117	0.270030904	0.07291669	0.05332537
1800	4.3	2.35693359	1.21299693	0.99660488	0.216392052	0.04682552	0.03860316
2400	4	2.05693359	1.0586018	0.90762293	0.15097887	0.02279462	0.02153276
3000	3.8	1.85693359	0.95567171	0.82903936	0.126632345	0.01603575	0.01677956
3600	3.65	1.70693359	0.87847414	0.75963904	0.118835105	0.01412178	0.01607535
4200	3.3	1.35693359	0.69834648	0.6983488	2.31311E-06	5.3505E-12	7.6616E-12
4800	2.9	0.95693359	0.4924863	0.64422091	0.151734601	0.02302339	0.0467493
5400	2.5	0.55693359	0.28662612	0.59641837	0.309792249	0.09597124	0.33483074
6000	2.4	0.45693359	0.23516108	0.55420202	0.319040942	0.10178712	0.43284
6600	2.4	0.45693359	0.23516108	0.51691905	0.281757973	0.07938756	0.33758799

---

SUMA	2.513884615	0.63591762	1.4033531
------	-------------	------------	-----------

---

**Anexo 9.** TABLA DE DATOS DE CINÉTICA DE SECADO A 60°C DE ULTRASONIDO-INFRAROJO-VACÍO

Xi	Xequilibrio	Def, m/s <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>	MRSE	MA%E					
1.59898477	0.24534687	2.3838E-11	0.993762225	0.13267769	1.93968173					
hora	contador	masa 1	Masa 2	Promedio	Masa de agua	Xbs	FICK	ERROR	MRSE	MA%E
09:10	0	5.01	5.07	5.04	3.10078125	1.59898477	1.34256443	0.256420346	0.06575139	0.04112071
09:20	600	3.9	4.1	4	2.06078125	1.06268633	0.89171909	0.170967239	0.0292298	0.02750557
09:30	1200	3.3	3.5	3.4	1.46078125	0.75328338	0.62612554	0.127157836	0.01616912	0.02146485
09:40	1800	2.8	2.9	2.85	0.91078125	0.46966401	0.46966406	4.84811E-08	2.3504E-15	5.0045E-15
09:50	2400	2.7	2.4	2.55	0.61078125	0.31496253	0.3774924	0.062529868	0.00390998	0.01241413
10:00	3000	2.6	2.23	2.415	0.47578125	0.24534687	0.32319397	0.077847096	0.00606017	0.02470042
10:10	3600	2.6	2.23	2.415	0.47578125	0.24534687	0.29120669	0.045859821	0.00210312	0.00857204
							SUMA	0.740782254	0.12322358	0.13577772

**Anexo 10. TABLA DE DATOS DE CINÉTICA DE SECADO A 80°C DE ULTRASONIDO-INFRAROJO-VACÍO**

Xi	Xequilibrio	Def, m/s <sup>2</sup>	R2	MRSE	MA%E
1.73796791	0.05347594	5.1457E-11	0.99014052	0.16473506	2.82482953

Hora	Contador, s	Masa	Masa de agua	Xbs	FICK	ERROR	MRSE	MA%E
08:45	0	5.12	3.25	1.73796791	1.4188737	0.31909421	0.10182111	0.0585863
08:55	600	3.24	1.37	0.73262032	0.48918391	0.243436413	0.05926129	0.08088949
09:05	1200	2.23	0.36	0.19251337	0.1925134	2.62009E-08	6.8649E-16	3.5659E-15
09:15	1800	1.98	0.11	0.05882353	0.09784376	0.039020232	0.00152258	0.02588383
09:25	2400	1.97	0.1	0.05347594	0.06763402	0.014158083	0.00020045	0.00374844
09:35	3000	1.97	0.1	0.05347594	0.05799388	0.004517943	2.0412E-05	0.0003817
					SUMA	0.620226907	0.16282584	0.16948977

## Anexo 11. Balance de energía durante el secado

Hay que determinar cuánto de energía se requiere adicionar a las hojas para que su temperatura se eleve de la temperatura ambiente hasta la temperatura del secado (calor sensible) y la energía que se requiere para evaporar el agua de las hojas.

$$E_{Ingresas\ al\ sistema} - E_{Sale\ del\ sistema} = \Delta E_{sistema}$$

¿Cuál es el sistema? Son las hojas húmedas de quinua. El sistema debe ser calentado hasta 40, 60 y 80°C desde la temperatura ambiente y en el tiempo del secado, siendo esto el CALOR SENSIBLE. El sistema requiere de energía para evaporar el agua de las hojas. Esto es el CALOR LATENTE.

Para conocer el calor sensible (W) se usa la ecuación:

$$\dot{Q} = m C_p (T_2 - T_1) / \Delta t$$

Dónde: m, es la masa (kg), Cp es el calor específico (kJ/kg°C), T<sub>2</sub> es la temperatura final (°C) y T<sub>1</sub> es la temperatura inicial y t es el tiempo del secado.

Para conocer el calor latente se usa la siguiente ecuación:

$$\dot{Q} = m L_V / \Delta t$$

Donde: L<sub>V</sub> es el calor latente de vaporización del agua.

### Capacidad calorífica

La capacidad calorífica o calor específico es una propiedad de los materiales relacionado a la energía requerida (kJ) para elevar en 1°C a 01 kg de masa. La ecuación más utilizada para alimentos frescos es la de Siebel:

$$C_p = 3.349 X_{bh} + 0.837$$

Donde: C<sub>p</sub>, es el calor específico (kJ/kg°C), X<sub>bh</sub>, es el contenido de agua en base húmeda (kg agua/kg de muestra).

5. Determinación de parámetros óptimos para el secado de la hoja de quinua variedad Blanca de Juli a 40°C

$$C_p = X * 3.34 + 0.84 \text{ (KJ/kg}^\circ\text{C)}$$

Donde:

X es el contenido de agua Xbh

$$C_p = 0.61523438 * 3.34 + 0.84 \text{ (KJ/kg}^\circ\text{C)}$$

$$C_p = 2.894882 \text{ (KJ/kg}^\circ\text{C)}$$

Cálculo del calor latente

Determinación de parámetros óptimos para el secado de la hoja de quinua variedad Blanca de Juli a 60°C

$$C_p = X * 3.34 + 0.84 \text{ (KJ/kg}^\circ\text{C)}$$

Donde:

X es el contenido de agua Xbh

$$C_p = 0.6152 * 3.34 + 0.84 \text{ (KJ/kg}^\circ\text{C)}$$

$$C_p = 2.894768 \text{ (KJ/kg}^\circ\text{C)}$$

X es el contenido de agua Xbs

$$C_p = 2.51166 * 3.34 + 0.84 \text{ (KJ/kg}^\circ\text{C)}$$

$$C_p = 9.2289444 \text{ (KJ/kg}^\circ\text{C)}$$

- Determinación de parámetros óptimos para el secado de la hoja de quinua variedad Blanca de Juli a 80°C

$$C_p = X * 3.34 + 0.84 \text{ (KJ/kg}^\circ\text{C)}$$

Donde:

X es el contenido de agua Xbh

$$C_p = 0.6152 * 3.34 + 0.84 \text{ (KJ/kg}^\circ\text{C)}$$

$$C_p = 2.894768 \text{ (KJ/kg}^\circ\text{C)}$$

X es el contenido de agua Xbs

$$C_p = 1.6845 * 3.34 + 0.84 \text{ (KJ/kg}^\circ\text{C)}$$

$$C_p = 6.46623 \text{ (KJ/kg}^\circ\text{C)}$$



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA**

*"Universidad Pública de Calidad"*