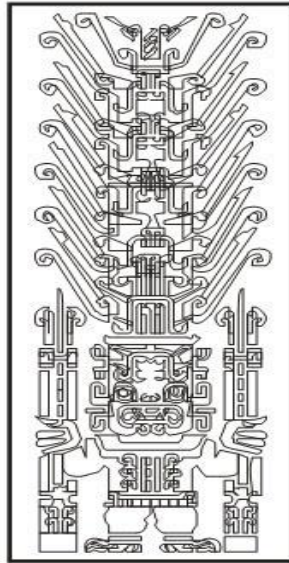


**UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL
ESCUELA UNIVERSITARIA DE POST GRADO**



TESIS

“Influencia de cocción y secado en la calidad estructural y vida útil, de quinua cocida deshidratada variedad Negra Ayrampo”

Presentado por:

Mg. Sc. Alberto Luís Huamaní Huamaní

Para optar el grado académico de:

DOCTOR EN CIENCIA DE LOS ALIMENTOS

Lima-Perú

2017

ÍNDICE

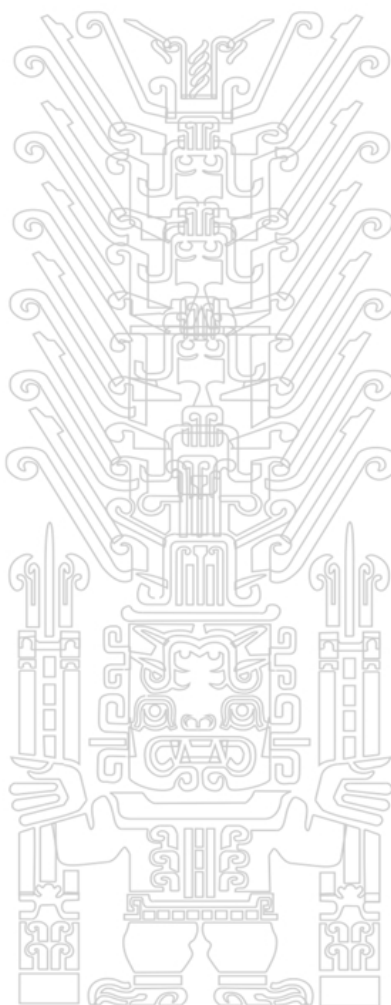
CONTENIDO	Pág.
DEDICATORIA.....	8
AGRADECIMIENTO.....	9
Resumen.....	10
Resumo.....	12
Abstract.....	14
Introducción.....	16
CAPÍTULO I.....	18
Planteamiento del Problema.....	18
1.1 Antecedentes Investigados.....	18
1.2 Planteamiento del Problema.....	22
1.3 Objetivos.....	27
1.4 Justificación e Importancia.....	28
1.5 Alcances y Limitaciones.....	30
1.6 Definición de Variables.....	30
CAPITULO II.....	34
Marco Teórico.....	34
2.1 Teorías generales relacionadas con el tema.....	34
2.1.1 Procesos térmicos de cocción a alta presión.....	34
2.1.2 Deshidratación de alimentos.....	34
2.1.3 Vida útil de alimentos.....	39
2.2 Bases teóricas especializadas sobre el tema.....	41
2.2.1 Quinoa.....	41
2.2.2 Cambios del almidón durante la cocción.....	44
2.2.3 Calidad de alimentos deshidratados.....	51

2.2.4	Cambio de los alimentos en almacenamiento	53
2.3	Hipótesis	57
CAPITULO III		59
Método.....		59
3.1	Tipo	59
3.2	Diseño de investigación	60
3.2.2	Diseño de investigación para optimización de cocción - deshidratación.....	69
3.2.3	Diseño de investigación para determinación de vida útil.....	74
3.3	Estrategias de prueba de hipótesis	77
3.4	Variables	79
3.5	Población	79
3.6	Muestra	79
3.7	Técnicas de investigación	80
CAPITULO IV		83
Presentación de resultados.....		83
4.1	Contrastación de la hipótesis	83
4.2	Análisis e interpretación	91
CAPITULO V		111
Discusión		111
5.1	Discusión	111
5.2	Conclusiones.....	121
5.3	Recomendaciones	123
5.4	Referencias bibliográficas.....	124
ANEXOS		131

ÍNDICE DE TABLAS

Contenido	Pág.
Tabla 1. Operacionalización de la variable cocción a alta presión.....	31
Tabla 2. Operacionalización de la variable quinua cocida	31
Tabla 3. Operacionalización de la variable deshidratación de quinua a alta temperatura	32
Tabla 4. Operacionalización de la variable quinua deshidratado instantáneo	32
Tabla 5. Operacionalización de la variable vida útil de quinua deshidratado instantáneo	33
Tabla 6. Diseño experimental para el objetivo 1	62
Tabla 7. Diseño experimental para la el objetivo 2	70
Tabla 8. Diseño experimental para el objetivo 3	74
Tabla 9. Análisis de la varianza de los modelos predictivos polinómicos para las respuestas durante la durante la cocción de quinua negra ayrampo. ..	94
Tabla 10. Condiciones óptimas de operación para la cocción de quinua variedad negra ayrampo.	99
Tabla 11. Análisis de la varianza de los modelos predictivos polinómicos para las respuestas durante la durante la cocción- secado de quinua variedad negra ayrampo.	102
Tabla 12. Condiciones óptimas de operación para la cocción-deshidratado de quinua variedad negra ayrampo.....	107
Tabla 13. Valores del parámetro de forma y de escala para el atributo sensorial (presencia de aldehído) evaluados en la quinua instantánea almacenado a diferentes temperaturas a pruebas aceleradas	109

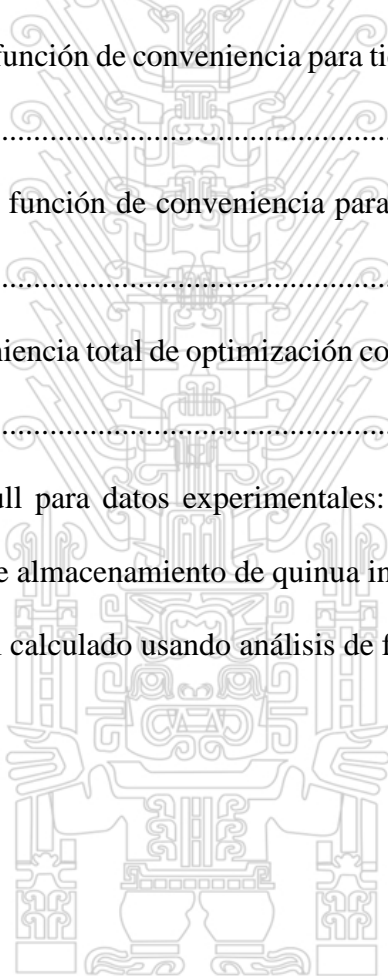
Tabla 14. Tiempo de vida útil (días) a diferentes temperaturas de almacenamiento para la quinua deshidratado instantáneo..... 110



ÍNDICE DE FIGURAS

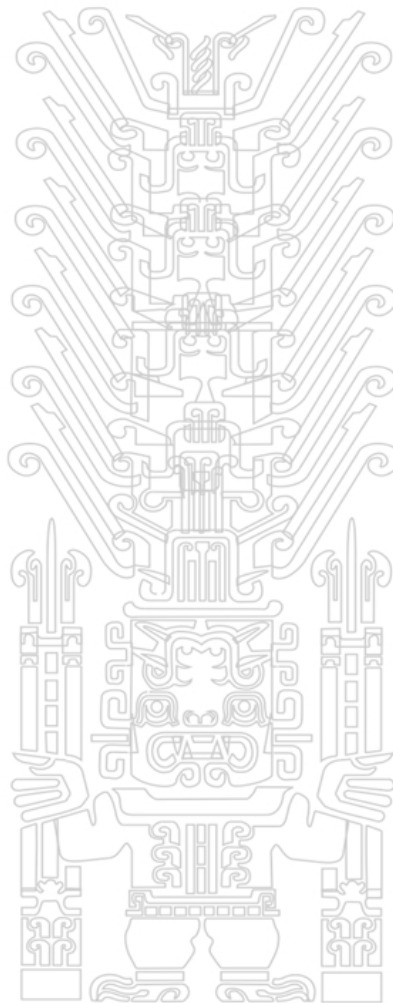
Contenido	Pág.
Figura 1. Mecanismo de eliminación de agua en la deshidratación de un alimento.	38
Figura 2. Chenopodium quinoa: Sección longitudinal media del grano.	45
Figura 3. Grano de quinua con el cotiledón liberado, como señal de cocción finalizada.....	46
Figura 4. Modificaciones del almidón como resultado de cocción.	47
Figura 5. Transiciones térmicas del almidón de cereal (50% sólidos).	50
Figura 6. Cambios de los triglicéridos consecuencia de las reacciones	55
Figura 7. Etapas de la investigación para la obtención de quinua cocida deshidratada.	60
Figura 8. Prueba de presencia de aldehído como indicador de descomposición del lípidó.	76
Figura 9. Indicé de absorción de agua (g/g) durante la cocción de quinua negra ayrampo.	92
Figura 10. Desprendimiento de Cotiledones durante la cocción de quinua negra ayrampo.	93
Figura 11. Gelatinización durante la cocción de quinua negra ayrampo.	93
Figura 12. Maximización de función de conveniencia para el indicé de absorción de agua (g/g).	96
Figura 13. Minimización de función de conveniencia individual para desprendimiento de cotiledones.....	97
Figura 14. Maximización de función de conveniencia individual para desprendimiento para Gelatinización.	97

Figura 15. Función de conveniencia total para optimización de cocción de quinua negra ayrampo.	98
Figura 16. Granos no dañados durante la cocción – deshidratación de quinua negra ayrampo. Fuente: elaboración propia	100
Figura 17. Tiempo de rehidratación de quinua negra ayrampo deshidratado. ..	101
Figura 18. Índice de solubilidad en agua de quinua negra ayrampo deshidratado.	101
Figura 19. Maximización de función de conveniencia para granos no dañados.	105
Figura 20. Maximización de función de conveniencia para tiempo de rehidratación	105
Figura 21. Maximización de función de conveniencia para índice de solubilidad en agua.	106
Figura 22. Función de conveniencia total de optimización cocción- deshidratación.	106
Figura 23. Ploteo de Weibull para datos experimentales: para 40, 50 y 60 °C respectivamente de almacenamiento de quinua instantánea.	109
Figura 24. Ploteo de vida útil calculado usando análisis de falla.	110



DEDICATORIA

Esta tesis, se la dedico a las personas más importantes de mi vida, mi familia y a mi madre Leonor y Padre Genaro, que son la razón de mi vida.



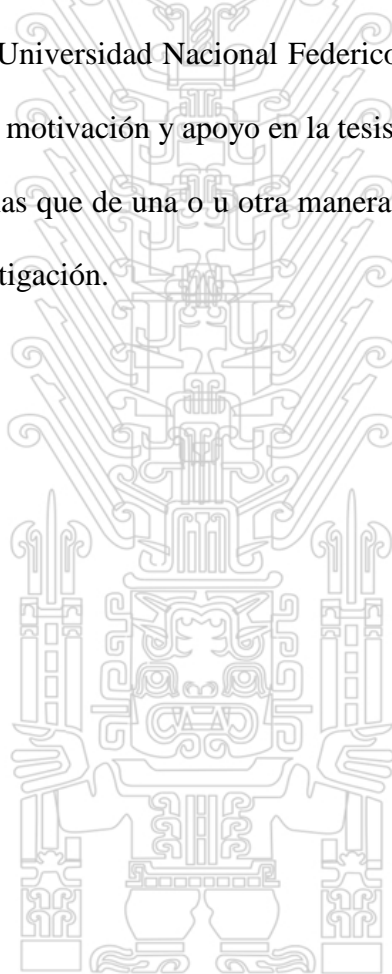
AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento a Dios, por darme la vida, su bondad y trazarme mis objetivos, por concederme la sabiduría y la responsabilidad que le pido para cumplir con cada propósito y meta de mi vida, y por nunca abandonarme.

A mis familiares por su apoyo incondicional y estar siempre a mi lado.

A mis colegas del doctorado en Ciencia de los Alimentos, con quienes iniciamos este proyecto, los Docentes de la Universidad Nacional Federico Villarreal, a mi asesor Dr. Max Zavala Solórzano, por la motivación y apoyo en la tesis y.

Finalmente, a aquellas personas que de una o u otra manera, colaboraron o participaron en la realización de esta investigación.



Resumen

El objetivo de este trabajo fue estudiar la influencia de la cocción de la quinua a alta presión y deshidratación a alta temperatura, en la calidad estructural y vida útil, de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) deshidratada instantánea variedad negra ayrampo. En primer lugar, se realizó un diseño factorial de superficie respuesta de 2 factores, donde se estudiaron los efectos de la alta presión de vapor de cocción (1 a 2 kgf/cm²) y tiempo (2 a 10 minutos), en el porcentaje de desprendimiento de cotiledones, índice de absorción de agua (g/g) y gelatinización del almidón (%) en la optimización de tratamiento térmico de cocción. En segundo lugar, también se usó el diseño factorial de superficie respuesta de 2 factores, donde se evaluó el efecto de la presión de cocción (1 a 2 kgf/cm²) y temperatura de deshidratación (60 a 100 °C) en el porcentaje de granos no dañados, tiempo de rehidratación e índice de solubilidad en agua del almidón de la quinua deshidratada instantánea. Y como tercer objetivo específico correlacionar la vida útil de la quinua deshidratada instantánea con las condiciones ambientales de temperatura y humedad relativa. Obteniéndose las siguientes conclusiones: Los valores cinéticos de cocción térmica son: Tiempo de reducción decimal obtenido en los ensayos de cocción de quinua variedad negra ayrampo fue $D_{100} = 7.52$ min) y el valor del parámetro $Z = 19.7$ °C. Los parámetros óptimos de cocción son: presión 1.55 kgf/cm² y tiempo 9.6 minutos, el valor de la función de conveniencia total fue de 0.8267. Los modelos matemáticos que correlacionan las variables dependientes (IAA: índice de absorción de agua, DC: desprendimiento de cotiledones y G: gelatinización) e independientes se tienen como:

$$Y1(\text{IAA}) = -1.5794 + 0.4073X1 + 8.4433X2 + 0.0064X1^2 - 1.85 X2^2 - 0.225X1X2.$$

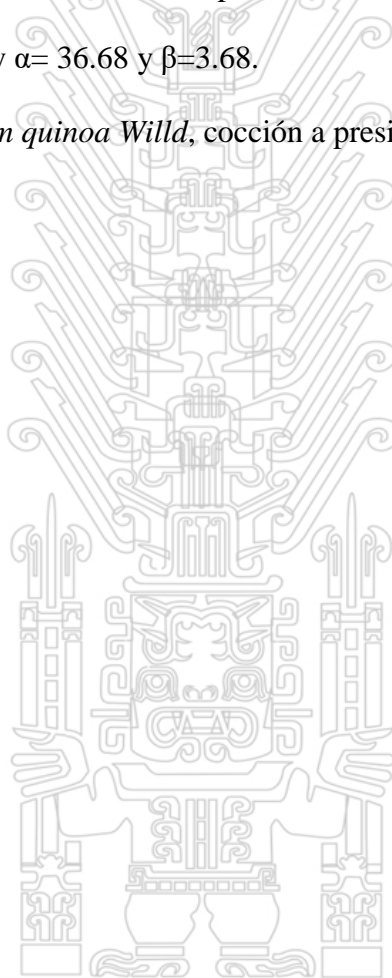
$$Y2(\text{DC}) = 47.724 - 0.3323X1 - 27.925X2 + 0.0508X1^2 + 9.65 X2^2 + 0.2125X1X2.$$

$$Y3(\text{G}) = 9.2880 + 4.3395X1 + 45.2825X2 - 0.1329X1^2 - 12.645 X2^2 + 0.7088X1X2.$$

Los parámetros óptimos de cocción, deshidratación fue de: presión de vapor de 1.95 kgf/cm² y

temperatura de deshidratado 90°C para una función de conveniencia total de 0.92. Los modelos matemáticos que correlacionan las variables dependientes (GND: granos no dañados, TR: tiempo de rehidratación y ISA: índice de solubilidad en agua) y variables independientes son: $Y_4(\text{GND})= 53.50 + 3.667X_1 + 0.842X_2 - 1.00X_1^2 - 0.004X_2^2 - 0X_1X_2$. $Y_5(\text{TR})= 9.625 + 0.5833X_1 - 0.0979X_2 - 0.75X_1^2 + 0.3153 X_2^2 + 0.0125X_1X_2$. $Y_6(\text{ISA})= -3.3275+8.7283X_1+0.5053X_2- 1.935X_1^2 - 0.0029 X_2^2 - 0.0173X_1X_2$. El tiempo de vida útil y la correlación con los parámetros de Weibull fue de: 779 días (aproximadamente 2.2 años) y $\alpha= 36.68$ y $\beta=3.68$.

Palabras clave: *Chenopodium quinoa Willd*, cocción a presión, calidad estructural.

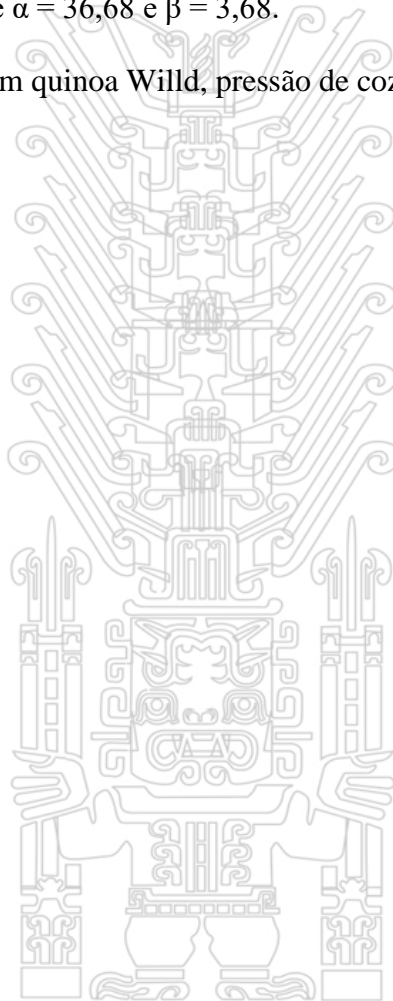


Resumo

O objetivo deste trabalho foi estudar a influência da cozedura de *quinoa* em alta pressão e desidratação a altas temperaturas, na qualidade estrutural e na vida útil, da *quinoa* (*Chenopodium quinoa Willd*), variedade negra instantânea desidratada ayrampo. Em primeiro lugar, realizou-se um projeto fatorial de superfície de resposta de 2 fatores, onde os efeitos da pressão de vapor de cozimento alta (1 a 2 kgf / cm²) e tempo (2 a 10 minutos) na porcentagem de derramamento de cotilédones, índice de absorção de água (g / g) e gelatinização de amido (%) na otimização do tratamento de cozimento térmico. Em segundo lugar, o design fatorial de superfície de resposta de 2 fatores também foi usado, onde o efeito da pressão de cozimento (1 a 2 kgf / cm²) e a temperatura de desidratação (60 a 100 ° C) na porcentagem de grãos não danificados, tempo de reidratação e índice de solubilidade em água do amido *quinoa* desidratado instantâneo. E como um terceiro objetivo específico, correlacionar a vida útil da *quinoa* instantânea desidratada com as condições ambientais de temperatura e umidade relativa. Obtendo as seguintes conclusões: Os valores cinéticos de cozimento térmico são: O tempo de redução obtido nos testes de cozimento de *quinoa* variedade negra ayrampo foi D100 = 7,52 min) eo valor do parâmetro Z = 19,7 °C. Os parâmetros de cozimento ótimos são: pressão 1,55 kgf / cm² e tempo 9,6 minutos, o valor da função de conveniência total foi de 0,8267. Os modelos matemáticos que correlacionam as variáveis dependentes (IAA: índice de absorção de água, DC: desprendimento de cotyledon e G: gelatinização) e independentes são: Y1 (IAA) = - 1.5794 + 0.4073X1 + 8.4433X2 + 0.0064X12 - 1,85 X22 - 0,225X1X2. Y2 (DC) = 47.724- 0.3323X1 - 27.925X2 + 0.0508X12 +9.65 X22 + 0.2125X1X2. Y3 (G) = 9.2880 + 4.3395X1 + 45.2825X2-0.1329X12- 12.645 X22 + 0.7088X1X2. Os parâmetros ótimos de desidratação de cozimento foram: pressão de vapor de 1,95 kgf / cm² e temperatura de desidratação de 90 ° C para uma função de conveniência total de

0,92. Os modelos matemáticos que correlacionam as variáveis dependentes (GND: grãos não danificados, TR: tempo de reidratação e ISA: índice de solubilidade em água) e variáveis independentes são: $Y4 \text{ (GND)} = 53,50 + 3.667X1 + 0.842X2 - 1.00X12 - 0.004X22 - 0X1X2$. $Y5 \text{ (TR)} = 9,625 + 0,5833X1 - 0,0979X2 - 0,75X12 + 0,3153 X22 + 0,0125X1X2$. $Y6 \text{ (ISA)} = -3.3275 + 8.7283X1 + 0.5053X2 - 1.935X12 - 0.0029 X22 - 0.0173X1X2$. A vida útil e a correlação com os parâmetros Weibull foram: 779 dias (aproximadamente 2,2 anos) e $\alpha = 36,68$ e $\beta = 3,68$.

Palavras-chave: Chenopodium quinoa Willd, pressão de cozinha, qualidade estrutural.

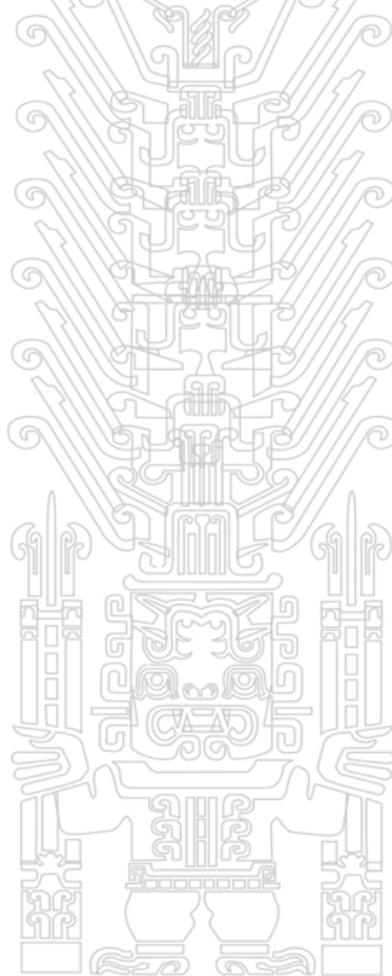


Abstract

The objective of this work was to study the influence of the cooking of quinoa at high pressure and dehydration at high temperature, on the structural quality and shelf life, of quinoa (*Chenopodium quinoa Willd*) dehydrated instant black variety ayrampo. First, a 2-factor response surface factorial design was carried out, where the effects of high cooking steam pressure (1 to 2 kgf / cm²) and time (2 to 10 minutes) on the percentage of shedding of cotyledons, water absorption index (g / g) and starch gelatinization (%) in the optimization of thermal cooking treatment. Secondly, the 2-factor response surface factorial design was also used, where the effect of the cooking pressure (1 to 2 kgf / cm²) and dehydration temperature (60 to 100 ° C) on the percentage of undamaged grains, rehydration time and water solubility index of the instant dehydrated quinoa starch. And as a third specific objective, to correlate the useful life of the instant dehydrated quinoa with the environmental conditions of temperature and relative humidity. Obtaining the following conclusions: The kinetic values of thermal cooking are: Time of reduction obtained in the cooking tests of quinoa black variety ayrampo was $D_{100} = 7.52$ min) and the value of the parameter $Z = 19.7$ °C. The optimal cooking parameters are: pressure 1.55 kgf / cm² and time 9.6 minutes, the value of the total convenience function was 0.8267. The mathematical models that correlate the dependent variables (IAA: water absorption index, DC: cotyledon detachment and G: gelatinization) and independent are as: Y_1 (IAA) = - 1.5794 + 0.4073X₁ + 8.4433X₂ + 0.0064X₁² - 1.85 X₂² - 0.225X₁X₂. Y_2 (DC) = 47.724- 0.3323X₁ - 27.925X₂ + 0.0508X₁² +9.65 X₂² + 0.2125X₁X₂. Y_3 (G) = 9.2880 + 4.3395X₁ + 45.2825X₂-0.1329X₁²- 12.645 X₂² + 0.7088X₁X₂. The optimal cooking-dehydration parameters were: vapor pressure of 1.95 kgf / cm² and dehydration temperature 90 °C for a total convenience function of 0.92. The mathematical

time and ISA: water solubility index) and independent variables are: Y_4 (GND) = $53.50 + 3.667X_1 + 0.842X_2 - 1.00X_1^2 - 0.004X_2^2 - 0X_1X_2$. Y_5 (TR) = $9.625 + 0.5833X_1 - 0.0979X_2 - 0.75X_1^2 + 0.3153 X_2^2 + 0.0125X_1X_2$. Y_6 (ISA) = $-3.3275 + 8.7283X_1 + 0.5053X_2 - 1.935X_1^2 - 0.0029 X_2^2 - 0.0173X_1X_2$. The useful life and the correlation with the Weibull parameters was: 779 days (approximately 2.2 years) and $\alpha = 36.68$ and $\beta = 3.68$.

Keywords: *Chenopodium quinoa* Willd., pressure cooking, structural quality.



Introducción

Desde los inicios el hombre ha necesitado prolongar la vida útil de los alimentos, de manera que en las temporadas de frío, el cultivo y la caza no eran posibles y era necesario almacenar alimentos para que no faltara la alimentación a su población. En la actualidad la necesidad de disponer de métodos que alarguen la vida útil y disponibilidad de los alimentos es muy importante por el aumento masivo de la población.

La quinua en la actualidad es un producto muy requerido por sus características nutricionales y funcionales en la alimentación y salud. La variedad de negra ayrampo se usa favorablemente como una opción para producir quinua instantánea. Antes de servir la quinua instantánea necesita ser rehidratado y su calidad después de la rehidratación es muy importante para la aceptación del consumidor. Sin embargo, aún existe un problema importante en la quinua instantánea, a saber, la textura inferior; la textura de la quinua instantáneo después de la rehidratación no es todavía similar a la de la quinua recién cocido, es decir, una menor dureza y menos pegajosa. Este problema de calidad puede ser causado por el proceso de preparación de la quinua instantáneo. La aplicación de las tecnologías controladas frente a las convencionales son una alternativa ventajosa en calidad nutricional homogénea, tiempo de proceso, gasto de energía.

Los métodos tradicionales de cocción doméstico pueden conducir a pérdidas considerables de nutrientes sensibles a la temperatura. Es importante preservar las características de calidad de los alimentos en la aplicación de diversos procesos como la cocción (Turp, 2016). La cocción puede afectar las características básicas relacionados con las preferencias del consumidor, tales como sabor, ternura, color y apariencia

(Lorenzo, Cittadini, Munekata, & Domínguez, 2015). Hasta donde sabemos, no hay información sobre los cambios de los componentes durante la cocción para el caso de pseudocereales. Las tecnologías alternativas han ganado popularidad creciente con el fin de superar las desventajas de los métodos de cocción convencionales (Turp, 2016).

La vida útil de los productos alimenticios es una característica importante tanto para los fabricantes como para los consumidores. El factor más importante para la evaluación de la vida útil de los alimentos es la seguridad, seguida por la calidad, incluidas las propiedades físicas, químicas y sensoriales. Estudios de vida útil pueden proporcionar información importante a los fabricantes y consumidores para garantizar un producto de alta calidad durante el período de almacenamiento. En general, los estudios de larga vida útil no encajan con el requisito de velocidad. Alternativamente, se han aplicado estudios acelerados (Phimolsiripol & Suppakul, 2016).



CAPÍTULO I

Planteamiento del Problema

1.1 Antecedentes Investigados

(Cueto, Farroni, Schoenlechner, Schleining, & Buera, 2017), en la investigación “Carotenoides y cambios de color en los productos tradicionalmente en copos y extrusionados”. Con el objetivo de evaluar el impacto del proceso y la formulación sobre la pérdida de carotenoides individuales en copos de maíz preparados tradicionalmente y los preparados por extrusión. En muestras que contenían quinoa la disminución alcanzó 60%, y la mayor pérdida (80%). Se obtuvieron correlaciones entre la coordenada de color b^* , el contenido de carotenoides total y individual. Resaltando la importancia de los esfuerzos para aumentar el contenido de carotenoides en las materias primas se complementen con intentos de reducir las pérdidas durante el procesamiento.

Mota *et al.* (2016), en la investigación “El efecto de los métodos de cocción sobre el contenido mineral de quinua (*Chenopodium quinoa Willd.*), amaranto (*Amaranthus sp.*) y trigo sarraceno (*Fagopyrum esculentum*)”. Evaluaron el impacto de dos métodos de cocción, vapor y ebullición, a través de la retención de minerales (%) en pseudocereales y arroz (*variedades Indica y Japonica*). Concluyendo que los métodos de cocción tienen un impacto en la composición mineral de pseudocereales con pérdidas de hasta el 20%. El porcentaje de retención en la quinua varió desde el 100% (manganeso, fósforo y hierro) en el vapor, hasta el 83% (cobre) en agua a ebullición. En el amaranto, varió del 98% (cobre) en el método de ebullición, al 80% (magnesio) en el vapor. El trigo sarraceno presentó variación de 100% para el hierro y 87% para zinc. Para el arroz hervido, las

pérdidas fueron mayores en la variedad Indica, con una disminución del 34% para el manganeso. El manganeso fue el más afectado por el proceso de cocción del arroz Indica. La quinoa al vapor presentó las menores diferencias en comparación con las crudas. El amaranto proporciona la mayor ingesta de minerales después de la cocción.

(Nickel, Spanier, Botelho, Gularte, & Helbig, 2016), en la investigación “Efecto de diferentes tipos de procesamiento sobre el contenido total de compuestos fenólicos, capacidad antioxidante y contenido de saponina de *Chenopodium quinoa* Granos Willd” Evaluaron los efectos de cinco formas de procesamiento sobre el contenido de compuestos fenólicos, capacidad antioxidante y contenido de saponina en granos de quinua. Los procesos incluyeron lavado, lavado seguido de hidratación, cocción (con o sin presión) y tostado. El alto contenido de compuestos fenólicos que se obtuvo después de cocinar bajo presión; Sin embargo, estos compuestos también aumentaron con el lavado de grano. El proceso de tostado causó la mayor pérdida. La capacidad antioxidante de los granos fue afectada de manera similar por las técnicas de procesamiento. El lavado causó una reducción en estos compuestos, pero los niveles permanecieron sin cambios después de cocinar (con y sin) presión y tostado; Sin embargo, aumentaron significativamente después de la hidratación. Cocción bajo presión, tuvo mayores efectos que los otros procesos, y potenció las propiedades funcionales de los granos de quinua.

(Kowalski, Medina-Meza, Thapa, Murphy, & Ganjyal, 2016), en la investigación “Características de procesamiento de la quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Var. cereza vainilla”, investigaron las características de procesamiento de extrusión de la harina de quinoa de vainilla de cereza (*Chenopodium quinoa* Willd) utilizando un diseño de superficie de tres factores de respuesta para evaluar el impacto de la humedad,

temperatura y velocidad del tornillo sobre las propiedades fisicoquímicas de los extruidos de quinoa. Se observaron las siguientes características de los extruidos: relación de expansión (1.17 - 1.55 g / cm³), densidad unitaria (0.45-1,02 g / cm³), índice de absorción de agua (WAI) (2.33 - 3.05 g / g) e índice de solubilidad en agua (WSI) (14.5 – 15.87%). El estudio sugiere además que hay una necesidad de entender las características de procesamiento de las nuevas variedades de quinua para el cultivo. Comprender la extrusión y otros rasgos de calidad por adelantado ayudará a seleccionar las variedades apropiadas que permitirían a los procesadores de alimentos satisfacer las necesidades del consumidor.

(G. Li, Wang, & Zhu, 2016), en la investigación “Propiedades fisicoquímicas del almidón de quinoa”, estudiaron las propiedades fisicoquímicas de los almidones de quinoa aislados a partir de 26 muestras comerciales de una amplia gama de recolección. Se analizaron el poder de hinchamiento (SP), índice de solubilidad en agua (WSI), lixiviación de amilosa (AML), susceptibilidad enzimática, pegado, propiedades térmicas y texturales. Los contenidos de amilosa aparente (AAM) oscilaron entre 7.7 y 25.7%. Se observaron grandes variaciones en las diversas propiedades fisicoquímicas. Se analizaron las correlaciones entre diversos parámetros fisicoquímicos. El análisis de componentes principales utilizando veintitrés variables se utilizaron para visualizar la diferencia entre las muestras. Se extrajeron seis componentes principales que podrían explicar el 88,8% de la diferencia total. Las amplias variaciones en las propiedades fisicoquímicas podrían contribuir a la utilización innovadora del almidón de quinua para aplicaciones alimentarias y no alimentarias.

Tang *et al.* (2015), en la investigación “Caracterización de composiciones de ácidos grasos, carotenoides, tocoferol / tocotrienol y actividades antioxidantes en semillas de tres *Chenopodium quinoa* Willd. Genotipos”. La quinoa negra contiene la vitamina E más alta seguida de quinuas rojas y blancas. Los carotenoides, principalmente trans-luteína (84.7-85.6%) y zeaxantina fueron confirmados por primera vez en semillas de quinoa, y la concentración fue también la más alta en semillas negras. Las actividades antioxidantes de los extractos lipofílicos se correlacionaron positivamente con ácidos grasos poliinsaturados, carotenoides totales y tocoferoles totales

Peralbo (2013), investigó un alimento tipo “*snack*” expandido a base de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willdenow). Con el objetivo de desarrollar un producto tipo “*sanack*” a base de granos de quinoa, por medio de una extrusión termoplástica. Para ver qué variables influyen en las propiedades de los expandidos, hubo un diseño compuesto central (CCRD) cuyas variables independientes (X_1) el contenido de quinoa; (X_2) mezcla inicial de humedad y (X_3) temperatura de extrusión. Se evaluaron las variables dependientes: relación de expansión radial (IER); la densidad aparente (DA); dureza; índice de solubilidad en agua (ISA); índice de absorción de agua (WAI); y las propiedades de la pasta, viscosidad máxima (MV) y la tendencia a retrogradación (TR). Obteniendo como resultado y conclusión para algunas de la respuesta, que es posible la obtención de *snack* a base de quinoa por el proceso de extrusión, este producto presenta valores del índice de solubilidad en agua (ISA) están inversamente relacionados con el contenido de quinoa y humedad de la mezcla, índice de absorción de agua (WAI) con los niveles medios de las variables evaluadas, correspondientes al punto central del diseño.

(Leite, de Jesus, Schmieele, Tribst, & Cristianini, 2017), desarrollaron la investigación “Procesamiento a alta presión (HPP) de almidón de guisante: Efecto sobre las propiedades de gelatinización”. El procesamiento a alta presión (HPP), es una tecnología emergente, se puede utilizar para promover la gelatinización de gránulos de almidón. Este fenómeno depende en gran medida de la fuente de almidón, el nivel de presión, el tiempo y la temperatura aplicados, así como el medio de dispersión. Este trabajo evaluó el efecto de la HPP (hasta 600MPa / 15 min / 25 ° C) sobre la distribución del tamaño de partícula, microscopía óptica, calorimetría de barrido diferencial y propiedades de pegado del almidón de guisante. Los resultados no mostraron diferencias entre las muestras de control y procesadas hasta 400 MPa (dispersión de agua) o todas las muestras dispersadas en etanol, excepto las propiedades térmicas a 400 MPa que mostraron un 31% de gelatinización en dispersión acuosa. Todos los resultados indicaron que la HPP puede ser utilizada para promover la "gelatinización en frío" en la dispersión de agua de almidón de guisante, logrando un perfil tecnológico específico y posiblemente conduciendo a nuevos ingredientes.

1.2 Planteamiento del Problema

La quinua (*Chenopodium quinoa Willd.*) Es un pseudocereal procedente de los alrededores del lago Titicaca (Perú y Bolivia), que se ha cultivado durante siglos en los países andinos. La quinua se conoce como pseudo-cereal porque sus semillas se utilizan como cereales; Aunque su calidad nutricional es superior a la de los cereales comunes (Encina-Zelada *et al.*, 2017) . En la actualidad las semillas se han consumido de manera similar a arroz, preparado en sopa, expandido de cereales para hacer desayuno, o molido para producir productos tostados y horneados (galletas, panes, galletas, fideos,

flacos, tortillas, etc), fermentadas para hacer cerveza, o una bebida alcohólica ceremonial tradicional de América del Sur llamada "chicha" como menciona Graf *et al.* (2015). Existen una serie de variedades blanca y coloreadas, las variedades coloreadas especialmente negras son de textura más dura que las blancas, su inconveniente es el requerimiento de mayor tiempo de cocción en comparación a la variedad blanca. Hoy en día, los productos instantáneos parecen preferidos para lidiar con el estilo de vida moderno. Es bien sabido que la quinua se considera una buena fuente de valores nutricionales muy excelentes. Sin embargo, la quinua normalmente requiere un largo tiempo de cocción de aproximadamente 20 a 30 minutos y la textura tiende a ser gomosa por la gelatinización excesiva del almidón y además de su desprendimiento de su cotiledón. Debido a las razones mencionadas, sería interesante procesar la quinua para que sea un producto más conveniente y preferible, a saber, que una quinua instantánea de cocción rápida.

El contenido inicial de humedad antes del proceso de secado, el grado de gelatinización y las técnicas de secado son considerados como los factores clave más importantes en la producción instantánea de otros productos similares como es el arroz (Rewthong, Soponronnarit, Taechapiroj, Tungtrakul, & Prachayawarakorn, 2011). Antes de servir, la quinua instantánea necesita rehidratarse y su calidad después de la rehidratación es muy importante para la aceptación del consumidor. Sin embargo, todavía existe un problema importante de los granos instantáneos, a saber, la textura antes; la textura de la quinua instantánea después de la rehidratación sin embargo no es similar a la quinua recién cocido, es decir, menor dureza y menos pegajoso. Este problema de calidad puede ser causado por el proceso de preparación de quinua instantáneo. Para obtener quinua

La deshidratación es la unidad de operación más crítica en el procesamiento de productos instantáneos de arroz / cereales. Los métodos y condiciones de secado desempeñan un papel importante en el logro de la calidad deseada. La deshidratación al aire caliente convectivo, todavía se usa comúnmente en la industria instantánea del arroz como un proceso tradicional. Sin embargo un inadecuado manejo de parámetros de este proceso, a conduce a un deterioro drástico de la calidad del producto como el endurecimiento de la superficie, rehidratación, la contracción y la decoloración del producto (Wang, Chen, & Guo, 2017). Frente a esta realidad se plantea desarrollar e investigar un producto, instantáneo de fácil cocción y uso, de vida útil larga, rehidratación corta, como es la quinua instantánea.

Durante el almacenamiento, la retrogradación del almidón deteriora la textura, pero puede ser retardada por el procesamiento o almacenamiento a alta presión por debajo de la temperatura de transición vítrea. Mucho se sabe acerca de los factores de procesamiento que afectan a los cereales recién cocido, pero un conocimiento más sustancial de cómo las etapas de procesamiento afectan a la estructura y propiedades sensoriales de conveniencia ayudará a los fabricantes a diseñar específicamente productos para satisfacer las crecientes demandas de alimentos convenientes (Yu, Turner, Fitzgerald, Stokes, & Witt, 2017).

La calidad de la quinua instantáneo depende de la materia prima y de los métodos de secado. Diferentes métodos de secado se utilizan en el secado de la instantáneos. El secado al aire convectivo en particular, es un antiguo proceso utilizado para conservar los alimentos, ha sido eficaz en el secado de muchos alimentos y por lo tanto es comúnmente usado en la industria de alimentos instantáneos. Hoy en día, los productos instantáneos

parecen preferidos para lidiar con el estilo de vida moderno (Le & Jittanit, 2015). Las propiedades de la quinua seco instantáneo se ven afectadas por cambios químicos y físicos. Los cambios químicos afectan principalmente a las características sensoriales como el color, el sabor y el aroma, y los cambios físicos están relacionados con las características de rehidratación, la textura y el tiempo de cocción (Jiao, Xu, & Jin, 2014).

En el proceso térmico, ocurren modificaciones químicas y físicas en la estructura celular del producto, la perforación de la piel y la abrasión superficial son tratamientos físicos comunes, antes del proceso de secado. La cocción puede realizarse a altas temperaturas y tiempos cortos (HTST) o a bajas temperaturas y largos tiempos (LTLT). Los efectos beneficiosos de la cocción dependen de cómo se lleve a cabo el proceso (Vásquez-Parra, Ochoa-Martínez, & Bustos-Parra, 2013).

Es importante considerar que la rehidratación no es el proceso inverso a la deshidratación, ya que ambos fenómenos tienen diferentes mecanismos de transferencia de materia y dependen de factores distintos (Marín, Lemus, Flores, & Vega, 2006).

La rehidratación dependerá de la característica química de la materia prima, de los pre-tratamientos como cocción o pre-cocción, del daño que ha sufrido el alimento durante la deshidratación, considerándose a todo esto como factores a restaurar las propiedades similares del alimento fresco. La velocidad de rehidratación es uno de los indicadores de medida de la calidad del producto deshidratado. Los alimentos deshidratados deben en lo posible rehidratarse lo más rápido posible y mostrar las mismas características estructurales y químicas del alimento fresco, como también sus propiedades nutricionales y sensoriales. Desde un punto de vista general, el proceso de rehidratación del material

seco se describe como la combinación de etapas de humedecimiento, hundimiento, dispersión e hinchamiento. Para los materiales a base de celulosa, la rehidratación se describe más comúnmente como una combinación de penetración de agua en capilares entre fibras y difusión de agua en fibrillas de celulosa. Estos fenómenos conducen a la hinchazón final en una extensión más o menos grande (Déléris & Wallecan, 2017a).

Para ello se han propuesto una nueva tecnología, como es el de cocción a alta presión con vapor y deshidratación a alta temperatura por convección de aire caliente. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto del tratamiento térmico de cocción y la deshidratación a alta temperatura para evaluar el efecto producido en la capacidad de rehidratación, índice de solubilidad en agua del almidón cocido y la calidad en cuanto al desprendimiento de cotiledones de la quinua variedad negra ayrampo.

Formulación del problema

¿Cuál es la influencia de la cocción de la quinua a alta presión y deshidratación a alta temperatura, en la calidad estructural y vida útil, de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) deshidratado instantánea variedad negra ayrampo?

Problemas específicos

- ¿Existe correlación de parámetros de cocción, con los indicadores de la calidad estructural de la quinua cocida como es el índice de absorción de agua del almidón, desprendimiento de cotiledones y gelatinización del almidón?

- ¿Es posible correlacionar los parámetros de cocción - deshidratación, a través de granos no dañados, tiempo de rehidratación e índice de solubilidad del almidón en agua, como indicadores de la calidad estructural de la quinua deshidratada instantánea?
- ¿La vida útil de la quinua deshidratada instantánea variedad negra ayrampo esta correlacionada con la temperatura, humedad relativa ambiental?

1.3 Objetivos

General

Explicar la influencia de la cocción de la quinua a alta presión y deshidratación a alta temperatura, en la calidad estructural y vida útil, de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) deshidratado instantánea variedad negra ayrampo.

Objetivos Específicos

1. Correlacionar los parámetros de cocción, a través de maximizar el índice de absorción de agua del almidón, minimización de desprendimiento de cotiledones y maximización de la gelatinización del almidón, como indicadores de la calidad estructural de la quinua cocida.
2. Correlacionar de parámetros de cocción - deshidratación, a través de la

maximización del índice de solubilidad del almidón en agua, como indicadores de la calidad estructural de la quinua deshidratada instantánea.

3. Correlacionar la vida útil de la quinua deshidratada instantánea variedad negra ayrampo con la temperatura, humedad relativa ambiental.

1.4 Justificación e Importancia

Existe en la actualidad una tendencia a consumir productos que beneficien a la alimentación y nutrición del ser humano, adquiriendo productos que estén libres de químicos y que aporten suficientes componentes que el cuerpo necesita, por ejemplo: proteínas, fibras, aminoácidos, vitaminas y minerales.

La superioridad de la quinua sobre estos y otros granos (centeno, cebada y avena, entre otros) resulta por su contenido más rico en proteínas, lípidos y cenizas. El contenido de proteínas (13.1% -16.7%), las albuminas y las globulinas (35% y 37%), prolaminas(bajo), proteínas de alta calidad debido a su patrón equilibrado de aminoácidos esenciales y presentan todo los aminoácidos esenciales, presenta un alto contenido de aminoácidos limitantes como lisina (2.4 a 7.8 g / 100 g de proteína), metionina (0.3-9.1 g / 100 g de proteína) y treonina (2.1 - 8.9 g / 100 g de proteína). En carbohidratos el almidón (32% - 69%), fibra dietética (7.0 - 11.7 g / 100 g de materia comestible), fibra soluble (1.3 y 6.1 g / 100 g de materia comestible). Azúcares individuales maltosa, D-galactosa y D-ribosa (3%). Lípidos (5.5 – 7.4 g / 100 g de materia comestible), superior al trigo (1.7 g / 100 g de materia comestible) y al arroz 0.7 g / 100 g de materia comestible), ácido palmítico es

el principal ácido graso saturado (10% de los ácidos grasos totales), ácidos grasos

insaturados oleico (19.7% -29.5%), linoleico (49.0% -56.4%) y alfa-linolénico (8.7% 11.7%) (Vilcacundo & Hernández-Ledesma, 2017).

Además de su alto valor nutricional y su atributo sin gluten, se ha informado que la quinoa tiene efectos beneficiosos en los consumidores de grupos de alto riesgo, como niños, ancianos, intolerantes a la lactosa y personas con anemia, diabetes, obesidad, dislipidemia y enfermedad celíaca. Estos beneficios se han relacionado con el contenido de proteínas, fibra, vitaminas y minerales, ácidos grasos y, especialmente, con la presencia de una plétora de fitoquímicos que proporcionan a la quinua una notable ventaja sobre otros granos en términos de nutrición y salud humana (Abderrahim *et al.*, 2015).

Con estos beneficios se quiere introducir al mercado un producto potencial como quinua cocida deshidratada instantánea, que el producto sea adquirido por las personas de cualquier condición social económica y ser exportado a cualquier país del mundo: Durante el período 2000 - 2014 los principales destinos de la quinua han sido EEUU con el 53%, el Reino Unido con el 29%, Francia el 6%, Alemania y España el 4% y otros países a los que corresponde el 4% de las exportaciones totales (El Diario de Economía y Negocios de Perú, Gestión, 20 de enero del 2015).

En el desarrollo de productos nuevos, es importante conocer el comportamiento de sus componentes durante el proceso y almacenamiento, así garantizar la calidad y estabilidad de un alimento deshidratado instantáneo, es muy importante para los consumidores, indispensable para la empresa y estratégico para el crecimiento de una Nación.

La importancia de esta investigación se centra en la Región de Ayacucho, donde existen 2,500 productores de quinua, de una población de 548834 habitantes, Ayacucho es una de las regiones productoras de quinua, cuenta con un clima que le favorece la producción. Con la aplicación de esta investigación se hace el aporte al desarrollo de la industria en la región y del país, desarrollando la producción agrícola y la industria, lo que generaría un beneficio económico del pequeño agricultor mejorando su calidad de vida y como también del industrial que generara empleo directo e indirecto en la región. Y es una oportunidad de la industrialización y comercialización de este producto.

1.5 Alcances y Limitaciones

El proyecto en desarrollo tuvo como alcance la producción de un alimento cocido deshidratado instantáneo de calidad y de uso fácil, por una población de cualquier condición social y económica, como se viene impulsando mundialmente su consumo de alimentos nutritivos y funcionales.

Para la realización de la investigación no existieron limitaciones técnicas, materiales, equipos salvo las económicas.

1.6 Definición de Variables

Sampieri, Collado, and Baptista (2014), manifiestan, variable es una propiedad que puede variar y dicha variación es susceptible a una medición u observación.

Tabla 1.Operacionalización de la variable cocción a alta presión

Denominación	Cocción de quinua a alta presión
Tipo	Independiente
Naturaleza	Cuantitativa
Medición	Escala de intervalo
Indicador	Inicio de calentamiento
Unidad de medida	Presión, tiempo
Instrumento	Manómetro, cronometro
Dimensión	Física
Definición operacional	Cocción de quinua
Definición conceptual	Proceso térmico que se aplica al alimento a alta presión (hasta 25 MPa) y alta temperatura(100-180°C) durante un breve espacio de tiempo.

Tabla 2. Operacionalización de la variable quinua cocida

Denominación	Quinua cocida
Tipo	Dependiente
Naturaleza	Cuantitativa
Medición	Ordinal
Indicador	Cambio de componentes químicos y físicos
Unidad de medida	Liberación de cotiledones, índice de absorción de agua gelatinización,
Instrumento	Espectrofotométrico, centrifuga, estufa, sensorial
Dimensión	Química, física
Definición operacional	Quinua cruda, quinua cocido
Definición conceptual	La cocción es un proceso en el cual los alimentos experimentan cambios físicos, químicos y/o biológicos, que involucran alteraciones en su aspecto, textura, composición química, sabor y valor nutritivo, todo con la función de convertirlos en algo más digerible, apetecible, nutritivo y saludable.

Tabla 3. Operacionalización de la variable deshidratación de quinua a alta temperatura

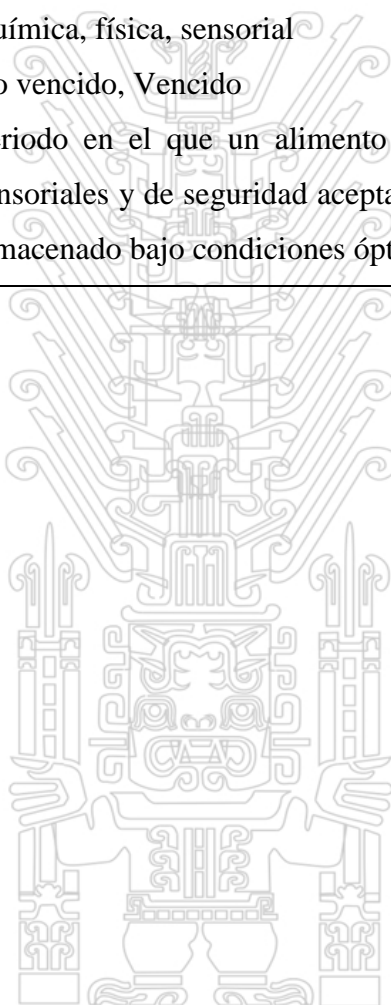
Denominación	Deshidratación de quinua cocida a alta temperatura
Tipo	Independiente
Naturaleza	Cuantitativa
Medición	Escala de intervalo
Indicador	Inicio de deshidratación
Unidad de medida	Variación de peso, Temperatura, tiempo
Instrumento	Balanza, Termómetro, cronometro
Dimensión	Física
Definición operacional	Quinua cocida húmeda, quinua cocida deshidratada
Definición conceptual	Operación donde se elimina total o parcialmente el agua que contiene por efecto de la alta temperatura.

Tabla 4. Operacionalización de la variable quinua deshidratado instantáneo

Denominación	Quinua deshidratado instantáneo
Tipo	Dependiente
Naturaleza	Cuantitativa
Medición	Ordinal
Indicador	Cambio de componentes químicos y físicos
Unidad de medida	Rehidratación, ISA, granos no dañados
Instrumento	Balanza, centrífuga, estufa, tamiz
Dimensión	Física
Definición operacional	Quinua deshidratado instantáneo, quinua deshidratado no instantáneo.
Definición conceptual	Quinua deshidratado instantáneo: Granos cocidos enteros, libre de partículas finas, de preparación comestible rápida y que puede ser ingerida directamente o con un mínimo de operaciones.

Tabla 5. Operacionalización de la variable vida útil de quinua deshidratado instantáneo

Denominación	Vida útil de quinua deshidratado instantáneo
Tipo	Dependiente
Naturaleza	Cuantitativa
Medición	De razón
Indicador	Fecha de fabricación
Unidad de medida	Años o días
Instrumento	Sensorial
Dimensión	Química, física, sensorial
Definición operacional	No vencido, Vencido
Definición conceptual	Periodo en el que un alimento mantiene características sensoriales y de seguridad aceptables para el consumidor, almacenado bajo condiciones óptimas preestablecidas.



CAPITULO II

Marco Teórico

2.1 Teorías generales relacionadas con el tema

2.1.1 Procesos térmicos de cocción a alta presión

Hoy en día se tiene en cuenta que cuando se aplica un tratamiento térmico a un alimento, el objetivo es proporcionar a éste las condiciones de calentamiento y enfriamiento que minimicen en lo posible los procesos de degradación de nutrientes y factores de calidad organolépticos, para obtener un producto microbiológicamente seguro y organolépticamente estable (Casp, 1999).

La aplicación de alta presión (HP) ha sido evaluada como una alternativa de procesamiento de alimentos, prometedora a las tecnologías clásicas de tratamiento térmico (Reineke, Weich, & Knorr, 2011).

La cocción puede realizarse a altas temperaturas y tiempos cortos (HTST) o a bajas temperaturas y largos tiempos (LTLT). Los efectos beneficiosos de la cocción dependen de cómo se lleve a cabo el proceso (Vásquez-Parra *et al.*, 2013).

2.1.2 Deshidratación de alimentos

La deshidratación es una de las operaciones unitarias importantes en la fabricación de alimentos, enfocado principalmente a la conservación de alimentos reduciendo la

cantidad de humedad de la matriz alimenticia a niveles mínimos que inhibirán las actividades microbianas, enzimáticas y la calidad del producto asociado deterioro. Implica la eliminación de agua de un material de alimentación húmedo induciendo cambios de fase de agua de sólido o líquido en una fase de vapor mediante la aplicación de calor (excepto en el caso de deshidratación osmótica durante la cual el agua se elimina sin cambio de fase por el Difusión de agua líquida de alimentos sólidos a una solución osmótica a través de una diferencia de presión osmótica) (Sabarez, 2016) .

El secado térmico de los alimentos es el método más común para garantizar la estabilidad del producto. Además de proporcionar estabilidad microbiológica de los productos obtenidos, el secado también reduce su peso y volumen, lo que conduce a una reducción de los costes de almacenamiento y transporte (Musielak, Mierzwa, & Kroehnke, 2016).

Las operaciones previas a la deshidratación, llamadas pretratamientos, tienen marcada influencia sobre las características y la composición del producto finalmente rehidratado (Marín *et al.*, 2006). Aquellos pretratamientos que contribuyen a mantener la integridad de los tejidos permiten evitar mayores pérdidas de sólidos solubles hacia el medio de rehidratación (Lewicki, 1998a). Los pretratamientos que emplean altas presiones, previos a la deshidratación provocan cambios en la estructura de los tejidos, la compactación de las estructuras celulares y transformaciones de los geles de la pectina, modificando negativamente la posterior rehidratación del producto (Rastogi & Niranjana, 1998). Por otra parte, la deshidratación a altas temperaturas provoca cambios que son irreversibles en el alimento: pérdida de textura, disminución de vitaminas, color y aroma, entre otros (Marín *et al.*, 2006).

Varios autores proponen que la rehidratación se puede considerar como una medida del daño en el alimento ocurrido durante la deshidratación, considerándose como un complejo proceso que ayuda a restaurar las propiedades del alimento fresco, anteriormente deshidratado con o sin pretratamientos al secado (Hogekamp & Schubert, 2003). En algunos casos la velocidad de rehidratación sirve como medida de la calidad del producto deshidratado, siendo los alimentos deshidratados en condiciones óptimas, los que se deterioran menos y se rehidratan de forma normal (Weerts, Martin, Lian, & Melrose, 2005).

Temperatura y velocidad de secado: se ha observado que altas temperatura de secado implican un menor tiempo de rehidratación, pero los índices de calidad del producto final presentan cambios muy variables con respecto al producto fresco, como son la textura y el color, dejando ver que la temperatura de secado es uno de los principales factores que influyen sobre la calidad del producto rehidratado (Lewicki, 1998b).

La deshidratación es un proceso en el cual se elimina el agua para detener o disminuir el crecimiento de microorganismos deteriorados, aparición de reacciones químicas, prolongación de la vida útil, reducir el costo o la dificultad de envasado, manipulación, almacenamiento y transporte, convirtiendo los alimentos en un sólido seco. Esta acción reduce el peso ya veces el volumen de un alimento (Orikasa *et al.*, 2014).

La deshidratación del material biológico es un esfuerzo controlado para preservar la estructura o crear una nueva que sirva para propósitos funcionales. En este contexto, la deshidratación de los alimentos se revisa desde la perspectiva de los últimos avances en

naturaleza, el sondeo microestructural, nuevas tecnologías de procesamiento y profundizaciones en los mecanismos de secado, entre otros. El papel de la estructura en los productos deshidratados parece evidente para entender los mecanismos de transporte y para diseñar propiedades funcionales. Se presentan y discuten algunos enfoques y temas de investigación sobre la estructura de los productos deshidratados (Aguilera, Chiralt, & Fito, 2003).

La deshidratación por aire convectivo, es un proceso térmico y complejo en el que los mecanismos de transferencia de calor y masa se producen simultáneamente en condiciones transitorias. Los parámetros que involucran al proceso de secado es la temperatura, velocidad y humedad relativa del aire de secado (Elmizadeh, Shahedi, & Hamdami, 2017).

El deshidratado al aire caliente es el método más común utilizado para la deshidratación de los alimentos. La calidad de un producto alimenticio es bastante sensible a la temperatura de secado. La temperatura puede causar la degradación de las cualidades del alimento, tales como color, encogimiento, sustancias nutritivas, capacidad de rehidratación y microestructura (Luangmalawat, Prachayawarakorn, Nathakaranakule, & Soponronnarit, 2008).

La deshidratación de los productos alimenticios es un proceso muy complejo debido a su complejidad en la estructura interna del alimento, el mecanismo de transporte de humedad, la transferencia simultánea de calor y masa durante el secado. La tasa de transporte de humedad depende del tamaño y la orientación de las células, así como los tipos de agua celular en las muestras. Es importante optimizar la eficiencia energética del

proceso de secado y maximizar los atributos de calidad de los alimenticios, a fin de minimizar los cambios físicos y químicos en el tejido de los alimentos durante el secado (Khan, Wellard, Nagy, Joardder, & Karim, 2017).

Los materiales de origen vegetal son higroscópicos y porosos y contienen dos tipos de agua, a saber, agua libre (FW) y el agua ligada (BW). El agua libre está presente en los capilares o espacios intercelulares; Mientras que el agua ligada está en el espacio intracelular, como se muestra en la Figura 1. Las vías de migración del agua libre y agua ligada son diferentes. Se supone que la mayoría del agua ligada migran después del colapso de las células. Cuando las células son colapsadas, agua ligada de células se mueve a los espacios intercelulares (Khan *et al.*, 2017).

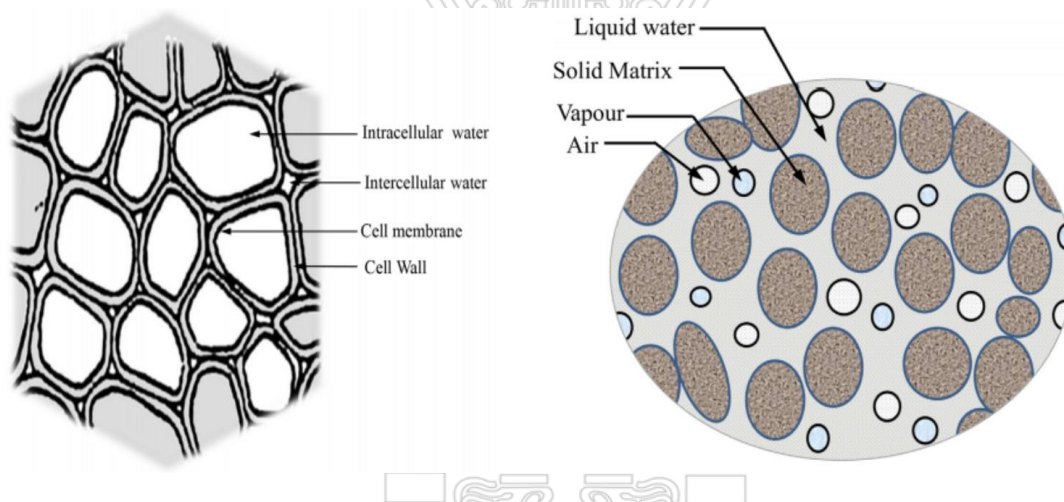


Figura 1. Mecanismo de eliminación de agua en la deshidratación de un alimento.

Los modelos multifásicos que consideran el transporte de agua líquida, vapor de agua y

aire dentro de los materiales alimenticios durante la deshidratación. Estas tres fases (agua, gas y matriz sólida) dentro de las estructuras alimentarias de vegetales, como se muestra

en la Figura 2, representan el dominio que se usa comúnmente en la mayoría de las fases múltiples de secado (Khan *et al.*, 2017).

Una elevada temperatura y velocidad de aire superior a 2 m/s , el factor más influyente en la constante de secado y contenido de humedad de equilibrio del producto deshidratado es la temperatura (Putra & Ajiwiguna, 2017).

La difusión de humedad durante el secado se rige por la estructura interna compleja del alimento, requiriendo a menudo la determinación experimental de curvas de velocidad de secado. Los cálculos de transferencia de calor y masa son útiles para estimar el tiempo de secado (Singh & Heldman, 2014).

La cinética de secado se puede acompañar mediante la obtención de los datos de humedad de la muestra a lo largo del tiempo de proceso. La cinética de secado es muy valiosa para la optimización del proceso y la mejora de la calidad del producto, y también es útil para el análisis del proceso de transferencia de masa y calor durante el secado (Chen *et al.*, 2015).

2.1.3 Vida útil de alimentos

La vida útil de un alimento se define generalmente como el tiempo de almacenamiento, durante el cual un alimento mantiene sus características físicas, químicas y sensoriales inalterados. La caducidad de un alimento, tiene varias consecuencias económicas, ambientales y morales, ya que determina el tiempo máximo de comercialización de los productos, es una de las causas de la pérdida de los alimentos a nivel minorista como

doméstico, particularmente en los países desarrollados (Giménez, Gagliardi, & Ares, 2017b).

La vida útil se define como el tiempo durante el cual un producto alimenticio permanece seguro, conserva las características sensoriales, químicas, físicas y microbiológicas deseadas y cumple con cualquier declaración de etiqueta de datos nutricionales cuando se almacena bajo las condiciones recomendadas (Olivares-Tenorio, 2017).

La vida útil de los productos alimenticios puede considerarse como el período de tiempo durante el cual un producto podría ser almacenado hasta que sea inaceptable desde la seguridad, la nutrición o las perspectivas sensoriales. La estimación de la vida útil de los productos alimenticios y bebidas se ha vuelto cada vez más importante en los últimos años debido a la evolución tecnológica y al aumento del interés de los consumidores por comer productos frescos, seguros y de alta calidad (Giménez, Ares, & Ares, 2012).

La vida útil de un producto no necesariamente está relacionada con su vida real que termina con la pérdida de las propiedades higiénicas y/o nutricionales, que generalmente termina inaceptable en su aspecto físico y características sensoriales. Basta la pérdida de una de estas características es suficiente para provocar el rechazo del producto por los consumidores y, en consecuencia, el final de la comercialización del producto (Alamprese et al., 2017b).

La extensión de la vida útil de los alimentos es un objetivo generalizado tanto para la creciente demanda de productos disponibles como para mejorar la sostenibilidad económica y ambiental de los alimentos procesados a lo largo de toda la cadena de

suministro. De hecho, una vida útil más larga reduce las pérdidas de alimentos, así como los impactos económicos y ambientales de la logística de distribución (Alamprese et al., 2017b).

2.2 Bases teóricas especializadas sobre el tema

2.2.1 Quinua

La composición promedio de la quinua es: El contenido de proteínas (13.1% -16.7%), las albuminas y las globulinas (35% y 37%), prolaminas(bajo), proteínas de alta calidad debido a su patrón equilibrado de aminoácidos esenciales y presentan todos los aminoácidos esenciales, presenta un alto contenido de aminoácidos limitantes como lisina (2.4 a 7.8 g / 100 g de proteína), metionina (0.3 – 9.1 g / 100 g de proteína) y treonina (2.1 – 8.9 g / 100 g de proteína). En carbohidratos el almidón (32% - 69%), fibra dietética (7.0 – 11.7 g / 100 g de materia comestible), fibra soluble (1.3 y 6.1 g / 100 g de materia comestible). Azúcares individuales maltosa, D-galactosa y D-ribosa (3%). Lípidos (5.5- 7.4 g / 100 g de materia comestible), superior al trigo (1.7 g / 100 g de materia comestible) y al arroz 0.7 g / 100 g de materia comestible), ácido palmítico es el principal ácido graso saturado (10% de los ácidos grasos totales), ácidos grasos insaturados oleico (19.7% - 29.5%), linoleico (49.0% - 56.4%) y alfa-linolénico (8.7% a 11.7%) (Vilcacundo & Hernández-Ledesma, 2017).

Además de su alto valor nutricional y su atributo sin gluten, se ha informado que la quinoa tiene efectos beneficiosos en los consumidores de grupos de alto riesgo, como niños, ancianos, intolerantes a la lactosa y personas con anemia, diabetes, obesidad, dislipidemia

y enfermedad celíaca. Estos beneficios se han relacionado con el contenido de proteínas, fibra, vitaminas y minerales, ácidos grasos y, especialmente, con la presencia de una plétora de fitoquímicos que proporcionan a la quinua una notable ventaja sobre otros granos en términos de nutrición y salud humana (Abderrahim *et al.*, 2015).

La quinua (*Chenopodium quinoa Willd.*) es conocido por su excepcional valor nutritivo y los beneficios potenciales para la salud, se han determinado al menos 23 compuestos fenólicos en sus formas libres o conjugados (liberado por alcalina y / o hidrólisis ácida); la mayoría de los cuales fueron ácidos fenólicos, principalmente ácido vanílico, ácido ferúlico y sus derivados, así como los principales flavonoides quercetina, kaempferol y sus glucósidos. Betacianinas, (betanina y isobetainin), confirmando por primera vez que los pigmentos de las semillas de quinua rojo y negro. Semillas de quinua más oscuras presentan mayor concentración fenólica y actividad antioxidante. Los hallazgos de estos compuestos fenólicos, junto con betacianinas se suman a los conocimientos de nuevos componentes funcionales de las semillas de quinua de diferentes cultivares (Tang *et al.*, 2015).

En comparación con la mayoría de los cereales de las semillas de quinua tienen un mayor valor nutricional relativamente ricas en proteínas, con un contenido que va entre 12% y 23%. La globulina 11S y la albúmina 2S son la mayor fracción de proteínas de la quinua, representando aproximadamente el 37% y el 35% de la proteína total del grano, respectivamente. La masa molar de la albúmina 2S es de 8 - 9 kDa, la globulina 11S es 22 - 23 kDa, para la subunidad básica de 32 - 39 kDa y para la subunidad ácida (Kaspchak *et al.*, 2017).

El almidón de quinua presenta propiedades fisicoquímicas tales como: temperaturas bajas de gelatinización (59.2 °C), contenido de amilosa (por ejemplo, 3 - 20%), tamaño de gránulo (~ 1.5 µm), la amilopectina con una gran cantidad de cadenas cortas y una pequeña cantidad de cadena larga. Las propiedades estructurales y fisicoquímicas mencionadas anteriormente sugieren que el almidón de quinoa puede ser una fuente de almidón único y novedoso para aplicaciones (Guantian Li & Zhu, 2017a).

La quinua presenta un almidón con más del 50% del peso seco de las semillas. La calidad de los productos de quinoa puede estar muy determinada por las propiedades del almidón (Guantian Li & Zhu, 2017b). Los gránulos de almidón de quinua son poligonales con un diámetro de 0.3 – 1.7 µm, se presentaban como entidades únicas, esféricas y agregados oblongos (10 - 20 µm). El almidón de quinoa contiene 8,4% de amilosa., temperatura de gelatinización 53 a 66 °C (Srichuwong *et al.*, 2017)

Según los investigadores Graf *et al.* (2015), el grano de quinua (*Chenopodium quinoa Willd.*) es un cultivo alimenticio que ha proporcionado nutrición y sustento a las culturas indígenas andinas durante miles de años y ahora juega un papel cada vez más importante en las dietas humanas en todo el mundo, es promovida como un cultivo agrícola alternativo, debido a sus características tolerantes al estrés, recientemente surgió una plétora de investigaciones sobre los constituyentes químicos y las propiedades terapéuticas de la quinoa, considerándose como alimentos funcionales.

2.2.2 Cambios del almidón durante la cocción

Los carbohidratos son el componente predominante en la quinua con un 80.45% (Encina-Zelada *et al.*, 2017), las variaciones de textura durante la cocción se deben principalmente a los cambios producidos en los carbohidratos. Se produce la gelatinización y retrogradación de almidón que constituyen el granulo de quinua.

El almidón de endospermo de cereales es una fuente importante de alimento para los seres humanos, y consta de dos componentes principales: amilosa y amilopectina. El contenido de amilosa tiene un efecto pronunciado sobre las propiedades y aplicaciones del almidón. El alto contenido de amilosa aumenta la proporción de almidón resistente (RS), que no puede ser digerido en el tracto gastrointestinal superior, sino que funciona como un sustrato para la fermentación bacteriana en el intestino grueso (Encina-Zelada *et al.*, 2017).

Los frutos de *quinua* están compuestos de una sola semilla encerrada por un pericarpio exterior. La semilla de quinua contiene un perispermo central donde se localizan las reservas de carbohidratos, rodeadas por el embrión ricos en lípidos y rico en proteínas, el endospermo y la capa de semilla, el pericarpio de la quinua es rico en saponinas amargas (Graf *et al.*, 2015)..

Durante la cocción los cambios estructurales que sufren los granos son el desprendimiento de los cotiledones, si observamos las Figura 2, están debajo del pericarpio. La estructura morfológica del grano de quinua es; el pericarpio, epispermo el (frente), la perisperma y el embrión (radícula y cotiledones). El perisperma es el tejido de color blanco, compuesto

principalmente de almidón y ocupa un espacio del 60% del total del grano. Seguidamente compuesto por el cotiledón en un 35% aproximadamente, seguidamente compuesto por un 5% por el endospermo y pericarpio en donde ocupa casi el 90% la saponina (Arendt & Zannini, 2013).

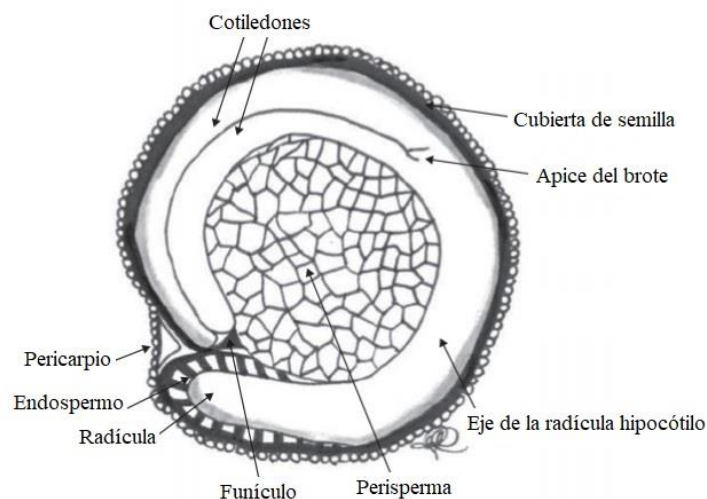


Figura 2. *Chenopodium quinoa*: Sección longitudinal media del grano.

El pericarpio cubre la semilla. El embrión consta de un eje hipocotylradicle y dos cotiledones. El endosperma está presente en la región micropilar *Fuente: (Arendt & Zannini, 2013).*

Cuando se aplica calor a una solución de almidón, para que comiencen a separarse las células se deben producir dos situaciones simultáneamente: la rotura de las paredes celulares y la disolución de la red de pectinas de la lamela central de las células. La rotura se produce en el lugar más delicado de éste, normalmente se inicia en la superficie de la célula y se abre paso hasta la lamela central. El proceso observado a una escala macrométrica se aprecia (Figura 3.) como una separación de células (Alonso-Cortés & Forestal, 2010).

Durante la cocción el almidón absorbe agua, incrementa su volumen consecuencia del incremento de contenido de agua y la presión osmótica generada y luego tiende a romperse la estructura y se liberan los cotiledones. El almidón de quinua presenta una temperaturas bajas de gelatinización (59.2 °C) (Guantian Li & Zhu, 2017a). El almidón se almacena como gránulos semicristalinos discretos y consta de dos biopolímeros principales: amilosa lineal (20 - 30%) y amilopectina altamente ramificada (70 - 80%) (Zhao *et al.*, 2015). El contenido de amilosa y la estructura de amilopectina del almidón influyen fuertemente en sus propiedades fisicoquímicas y aplicaciones X. Chen et al. (2017).



Figura 3. Grano de quinua con el cotiledón liberado, como señal de cocción finalizada.

Fuente: toma de imagen propia

La presión, sin esfuerzo de cizallamiento, podría retrasar el proceso de gelatinización debido a un hinchamiento débil de los gránulos de almidón, un gel muy débil y una menor cantidad de amilosa liberada, en algunos casos no se libera y los gránulos de almidón tienden a conservar su forma (Ji *et al.*, 2017).

La gelatinización de almidón es un proceso irreversible, consta de hinchamiento granular, fusión cristalina nativa, pérdida de birrefringencia y solubilización del almidón (Figura 4). Cuando los almidones se calientan en un medio acuoso en un ambiente atmosférico, ocurre la gelatinización convencional de gránulos de almidón; esta transición también se denomina gelatinización inducida por calor, dicha gelatinización da como resultado una destrucción irreversible de la estructura cristalina de los gránulos de almidón y se ha estudiado extensamente (Ji *et al.*, 2017).

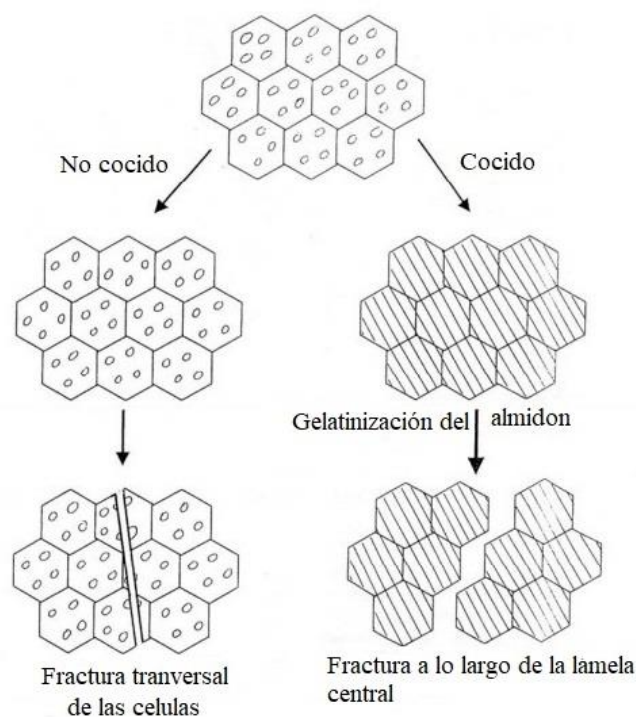


Figura 4. Modificaciones del almidón como resultado de cocción.

Fuente: (Alonso-Cortés & Forestal, 2010).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNFV

Durante la gelatinización, inicialmente los gránulos de almidón son física y químicamente inertes y poco digeribles por el organismo humano. El almidón cuando se calienta en exceso de agua, inicialmente los gránulos se hinchan de manera reversible y la propiedad de birrefringencia no se pierde, sin embargo, cuando se alcanza una cierta temperatura el hinchamiento llega a ser irreversible, la birrefringencia se pierde y la estructura del gránulo se altera significativamente. El almidón cambia de su forma semicristalina e indigerible a una forma amorfa fácilmente digestibilidad,

Los almidones de maíz con alto contenido de amilosa son bien conocidos por presentar temperaturas de gelatinización más altas, un intervalo de gelatinización más amplio y una entalpía de gelatinización más baja que los almidones normales (Qiu *et al.*, 2016). Los comportamientos de gelatinización de gránulos de almidón de maíz de alto contenido de amilosa mostraron ligera hinchazón a 100 °C e hinchamiento notable a aproximadamente 120 °C, los gránulos de almidón de maíz con alto contenido de amilosa exhibieron una alta resistencia a la gelatinización, con calentamiento a 130 °C durante 30 min, la amilosa pudo haberse dañado y eliminado y el almidón tratados a 140 °C se destruyeron sustancialmente (X. Chen *et al.*, 2017)

La pérdida de la estructura cristalina del almidón ocurre a una cierta temperatura llamada (temperatura de gelatinización), para que este evento ocurra, el agua debe penetrar dentro del gránulo. Cada tipo de granulo de almidón posee su propia temperatura de gelatinización, debido a diferencias estructurales individuales, así cuando se tiene una población de gránulos, se habla de rango de temperatura de gelatinización (Lupano, 2013)

La gelatinización de almidón es un proceso irreversible e incluye hinchamiento granular, fusión cristalina nativa, pérdida de birrefringencia y solubilización de almidón (Ji *et al.*, 2017).

Cuando los almidones se calientan en un medio acuoso en un ambiente atmosférico, ocurre la gelatinización convencional de gránulos de almidón; esta transición también se denomina gelatinización inducida por calor. Dicha gelatinización da como resultado una destrucción irreversible de la estructura cristalina de los gránulos de almidón y se ha estudiado extensamente. La gelatinización del almidón bajo alta presión ha atraído la atención enorme pues se ha aplicado extensamente en la industria alimentaria desde principios de los años 80. A diferencia de la gelatinización convencional, la gelatinización a presión da como resultado un hinchamiento débil de los gránulos de almidón, una resistencia del gel más débil y los gránulos de almidón tienden a conservar su forma incluso después de la gelatinización (Ji *et al.*, 2017).

Durante el proceso de cocción de los carbohidratos se producen cambios a nivel estructural del almidón, este cambio es por la modificación de las propiedades físicas y químicas del almidón, como es la absorción de agua, el cual produce una reducción de su cristalinidad del almidón (desorganización estructural del almidón), finalizando en el almidón gelatinizado. La cantidad de agua absorbida por el almidón (Índice de absorción de agua) puede usarse como índice de gelatinización (Jafari, Koocheki, & Milani, 2017a): también la solubilidad del almidón en agua es consecuencia del cambio de la estructura cristalina del almidón.

La solubilidad del almidón, es una consecuencia de la absorción de agua, seguido del hinchamiento del gránulo y del incremento de la temperatura. El índice de solubilidad indica el grado de asociación existente (enlaces intragranular) entre los polímeros del almidón (amilosa y amilopectina) (Araujo, Alicia, & Padilla, 2004).

Conforme se incrementa la temperatura de cocción el almidón va sufriendo cambios estructurales, esto en su solubilidad y digestibilidad, así como podemos observar en la Figura 5. El índice de solubilidad indica el nivel de degradación de los polímeros contenidos en éste. El índice de absorción de agua es una medida indirecta del grado del almidón gelatinizado por la cocción. Todas estas variables están relacionadas con la palatabilidad de los alimentos (Araujo *et al.*, 2004). El índice de solubilidad en agua del almidón, es un parámetro que indica la degradación de gránulos del almidón (Jafari *et al.*, 2017a).

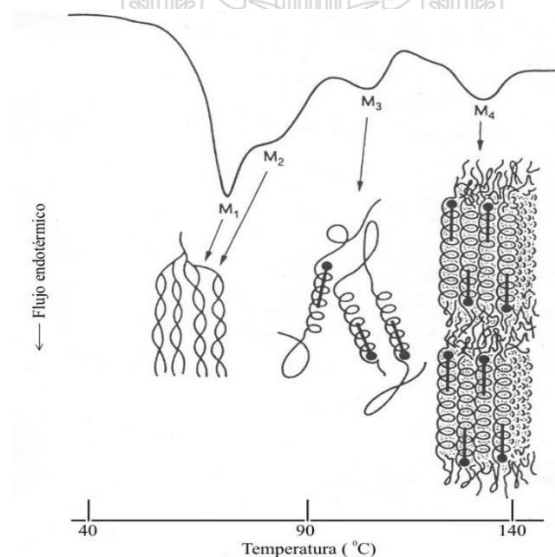


Figura 5. Transiciones térmicas del almidón de cereal (50% sólidos).

Fuente: (Araujo Consuelo de Vizcarrondo, 2004)

2.2.3 Calidad de alimentos deshidratados

La forma íntegra del grano durante la cocción debe sufrir ligeros cambios, durante los procesos. Las cualidades importantes en la quinua cocida son la preservación del grano entero sin fraccionamiento y la capacidad de rehidratación instantánea. Del punto de vista práctico, los consumidores requieren que el grano cocido este intacto o ligeramente fraccionado y que tenga una velocidad de rehidratación rápida. La capacidad de rehidratación depende de la estructura del alimento. Alimento se define como una sustancia, ya sea procesada, semiprocada o cruda, destinada al consumo humano y esencial para la alimentación y subsistencia de la vida. Por consiguiente, la seguridad y la calidad de los alimentos son de suma importancia y han llamado la atención de todas las partes interesadas. Con la creciente liberalización del mercado agroindustrial y la conciencia de los consumidores, la cadena de suministro de alimentos se está integrando. Por consiguiente, la seguridad y la calidad de los alimentos se han convertido en preocupaciones importantes. No basta con producir alimentos; el alimento debe primero ser seguro de consumir y, segundo, ser sano y nutritivo a través de la cadena de suministro, de la producción al consumo (Jha, 2016).

La textura del cereal cocido se ve afectada por una amplia gama de factores, como el contenido de amilosa, el procesamiento postcosecha y el método de cocción. Entre éstos, la estructura del almidón tiene un papel importante en la textura del cereal. El almidón es un polímero de glucosa ramificado que comprende dos tipos de moléculas: amilopectina (Ap) y amilosa (Am). Las moléculas de amilopectina son altamente ramificadas con un gran número de ramas cortas y pesos moleculares relativamente grandes, mientras que

Am tiene un peso molecular más pequeño con algunas ramas largas. El contenido de

amilosa se ha considerado como el determinante más importante de la calidad alimentaria de cereales. A mediados de los años noventa, se propuso que la textura del cereal cocido también está relacionada con la estructura fina de la amilopectina (H. Li, Prakash, Nicholson, Fitzgerald, & Gilbert, 2016)

La demanda de alimentos instantáneos saludables para la rápida vida moderna muestra un creciente interés de los fabricantes de alimentos por el desarrollo de cereales instantáneos. Sin embargo, el tiempo de rehidratación largo y la calidad de la alimentación inferior siempre han sido problemas clave que afectan a la industria de cereales instantánea (Wang *et al.*, 2017).

En el secado de los alimentos, el objetivo es eliminar el agua del material de la manera más eficiente, con la mejor calidad del producto, un mínimo impacto en el medio ambiente, con los costos de capital y operación más bajos del proceso. Los problemas de secado son diversos ya que varios materiales alimenticios con propiedades físicas / químicas muy diversas necesitan secarse a diferentes escalas de producción y con especificaciones de calidad de producto muy diferentes (Musielak *et al.*, 2016).

La creciente competencia de hoy debido a la globalización, junto con la creciente demanda de los consumidores por productos de mejor calidad, junto con la necesidad de procesos ecológicos y sostenibles para mantener la competitividad con un impacto mínimo sobre el medio ambiente, seguirán buscando innovaciones en el proceso de secado. Esto impulsará aún más los esfuerzos para mejorar el rendimiento de las tecnologías de secado existentes y el desarrollo de nuevos conceptos de secado (Sabarez,

El secado es un proceso complejo frecuente en la mayoría de las industrias de procesamiento de alimentos. Las propiedades funcionales de los componentes alimentarios, muy afectadas por los procesos de secado, influyen significativamente en el alcance de su aplicación y en su valor comercial (Dehnad, Jafari, & Afrasiabi, 2016).

Una amplia gama de propiedades funcionales es suministrada principalmente por proteínas, sacáridos y lípidos debido a sus características estructurales. Los componentes mencionados, solos o por interacción con otros constituyentes de los alimentos, contribuyen a las características sensoriales deseables del producto final. Además de la calidad nutricional que debe conservarse mientras se procesa el alimento, parece elegante definir las propiedades sensoriales, ya sea directamente a través de la degustación o indirectamente mediante el establecimiento de una relación apropiada con propiedades funcionales que son más fáciles de medir (Dehnad *et al.*, 2016).

2.2.4 Cambio de los alimentos en almacenamiento

Varios cambios físicos, químicos y microbiológicos ocurren simultáneamente durante el almacenamiento, causando una disminución en la calidad sensorial del producto (Derossi, Mastrandrea, Amodio, de Chiara, & Colelli, 2016).

Los productos deshidratados, productos horneados de baja humedad tales como galletas saladas, galletas y palitos de pan se caracterizan generalmente por una larga estabilidad debido a sus bajos valores de actividad de agua. Las causas principales de la desintegración de la calidad de este segmento de alimento están asociadas a la pérdida de la crujiente y a la oxidación de lípido. El primer fenómeno está relacionado con la absorción de agua del entorno circundante, y puede limitarse o evitarse mediante un

envase adecuado que, sin embargo, es menos eficaz para inhibir el deterioro de los lípidos(Alamprese et al., 2017b).

Los estudios sensoriales de la vida útil generalmente implican medir la intensidad de las diferentes características sensoriales durante el almacenamiento, hasta que alcanzan un criterio de fallo o un punto de corte, lo que corresponde al deterioro máximo tolerable (Giménez *et al.*, 2012).

Este enfoque de criterio de falla tiene varias desventajas. En primer lugar, la consideración de un criterio de falla diferente para cada atributo sensorial puede conducir a diferentes estimaciones de la vida útil. Además, la estimación de un criterio de fallo para cada atributo sensorial es tediosa y requiere mucho tiempo. Por último, debe tenerse en cuenta que todas las características sensoriales del producto cambian simultáneamente. La reacción de los consumidores hacia un producto con alta intensidad de un solo defecto puede ser diferente de su reacción hacia un producto con varios defectos sensoriales. Por lo tanto, la selección del atributo sensorial más relevante para establecer el final de la vida útil de un producto podría ser engorroso. Por esta razón, es necesario obtener una sola medición del deterioro sensorial de los productos (Giménez et al., 2017b).

La pérdida, la ganancia y la transferencia de humedad a menudo afectan los materiales alimenticios. Ya sean derivados de la interacción con la atmósfera o con otro componente del alimento, tales cambios provocan siempre un deterioro de la calidad general del alimento a través del ablandamiento, endurecimiento, descomposición, hinchamiento o contracción debidos a transiciones de fase o disolución. En la mayoría de los casos, la

migración del agua lleva a cambios organolépticos o microbiológicos en los alimentos (Roudaut & Debeaufort, 2011).

La oxidación de los lípidos conduce a la rancidez de los productos que contienen alto contenido de grasa / aceite, lo que puede afectar su vida útil. La rancidez está relacionada con el desarrollo de olores y sabores desagradables, que contribuyen a un perfil sensorial inaceptable del producto. El progreso de la oxidación lipídica puede seguirse midiendo el contenido de compuestos marcadores, entre los cuales algunos son compuestos volátiles, tales como aldehídos. Estos productos secundarios de oxidación de lípidos se generan a partir de una amplia gama de hidroperóxidos formados durante la etapa de iniciación de la reacción y contribuyen fuertemente al aroma a trazas debido a sus bajos umbrales (Sakač *et al.*, 2016).

Teniendo en cuenta la susceptibilidad de la quinua instantánea a la oxidación de los lípidos, el objetivo fue predecir la vida útil de la quinua instantánea sin envasar a 30, 40 y 50 °C durante el almacenamiento, midiendo los compuestos volátiles de sabor desagradable (aldehídos), que se da por la descomposición de los lípidos (Figura 6).

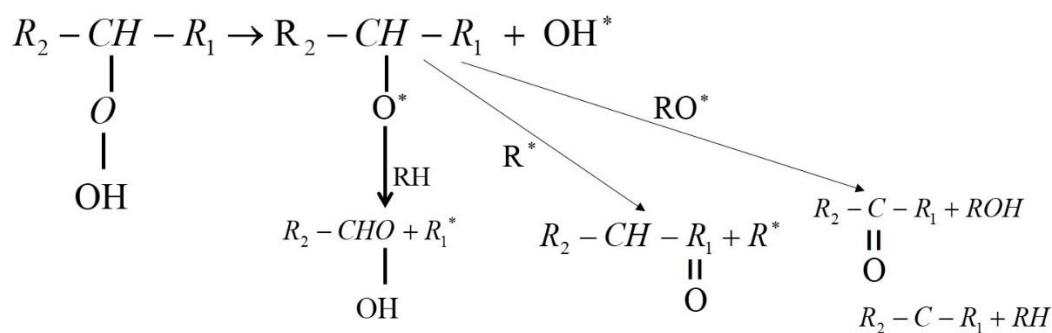


Figura 6. Cambios de los triglicéridos consecuencia de las reacciones

La oxidación de lípidos es sin duda la causa principal de las pérdidas de calidad de los productos horneados de baja humedad que contienen harinas de trigo enteras, parcialmente refinadas o fracciones de salvado de trigo, tales como panes de trigo integral (Alamprese et al., 2017b). De hecho, el grano de quinua cocida deshidratada, debido al alto contenido de ácidos grasos insaturados y enzimas lipolíticas, experimenta fenómenos de oxidación también a bajos niveles de actividad del agua. La lipasa genera la hidrólisis parcial de triacilgliceroles de aceite de salvado de los cereales en ácidos grasos libres, provocando un aumento en la acidez del aceite de salvado y el desarrollo de rancidez hidrolítica que termina en el desarrollo de aromas desagradables. Además, los ácidos grasos libres insaturados son altamente susceptibles tanto a la autoxidación como a la oxidación enzimática causada por la acción de la lipoxigenasa endógena, que conduce al desarrollo de saborizantes rancios. Un tratamiento previo con calor, estabiliza la oxidación de los lípidos durante un almacenamiento prolongado. Sólo hay pocos estudios sobre la vida útil y la estabilidad oxidativa de productos instantáneos disponibles en la bibliografía.

Una propiedad de un amplio grupo de aldehídos es que son detectados por la vía sensorial a muy bajos niveles, lo que da lugar a la aparición de olores extraños durante la oxidación de ácidos grasos. Se han evaluado las propiedades sensoriales de aldehídos como el hexanal (olor grasoso, intenso, aceitoso), nonanal (olor grasoso, a cera, a pintura) y 2,4 heptadienal (olor a pintura, oxidado). Se ha reportado una lata correlacion entre el incremento en los niveles de estos aldehídos y el de oxidación para aceite de oliva y de aceite de pescado. Los aldehídos insaturados son a la vez fácilmente oxidables, produciéndose nuevos compuestos volátiles como el monoaldehido, cuya detección es utilizada como medida de la oxidación de los aceites. El malonaldehido constituye

también un compuesto pro-desnaturalizante de las proteínas al promover el entrecruzamiento de dos grupos amino.

Como indicador de oxidación de la quinua instantánea se utilizó hexanal como principal producto de oxidación volátil del ácido linoleico. Las pruebas de consumo son la herramienta más adecuada para la determinación de la vida útil de los productos alimenticios, pero no son fáciles de manejar. Por el contrario, la técnica más utilizada para la determinación de la vida útil se basa en un panel de expertos (Sakač *et al.*, 2016).

2.3 Hipótesis

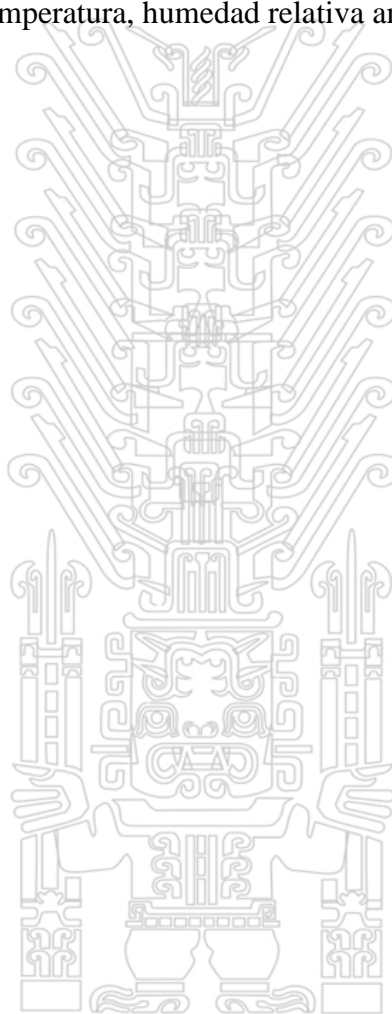
2.3.1 Hipótesis general

- La cocción de la quinua a alta presión y deshidratación a alta temperatura, influyen en la calidad estructural y vida útil, de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) deshidratado instantánea variedad negra ayrampo.

2.3.2 Hipótesis específicas

- La correlación de parámetros de cocción, es posible optimizar a través de maximización de índice de absorción de agua del almidón, minimización de desprendimiento de cotiledones y maximización de la gelatinización del almidón, como indicadores de la calidad estructural de la quinua cocida.

- La correlación de parámetros de cocción - deshidratación, es posible optimizar a través de la maximización de granos no dañados, minimización de tiempo de rehidratación y maximización del índice de solubilidad del almidón en agua, como indicadores de la calidad estructural de la quinua deshidratada instantánea.
- La vida útil de la quinua deshidratada instantánea variedad negra ayrampo esta correlacionada con la temperatura, humedad relativa ambiental.



CAPITULO III

Método

La investigación se llevó a cabo en el departamento de Ayacucho, provincia de Huamanga y distrito Ayacucho en las instalaciones de la Escuela Profesional de Ingeniería en Ingeniería en Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga: Laboratorios de análisis de Alimentos, Laboratorio de operaciones unitarias.

3.1 Tipo

Para realizar el presente proyecto se emplearon los siguientes tipos de investigación:

- **Investigación Exploratoria:** Este tipo de investigación reconoce, registra o averigua con diligencia una cosa o un lugar identificando así la problemática y dando solución a la misma.
- **Investigación Descriptiva:** Describen los hechos como son observados durante el transcurso de la investigación, para llegar a posteriores conclusiones.
- **Investigación Explicativa:** Este tipo de estudio busca el porqué de los hechos, estableciendo relaciones de causa- efecto, en donde se puede identificar las posibles soluciones e interpretar las estrategias necesarias (Sampieri et al., 2014).

3.2 Diseño de investigación

Sampieri *et al.* (2014), manifiesta que el diseño de investigación corresponde a los experimentos puros, debido a que se manipulan las variables independientes para ver sus efectos sobre variables dependientes en una situación de control, se realizó el diseño experimental de acuerdo a las siguientes etapas, como se muestra en la siguiente Figura 7, en tres diseños experimentales.

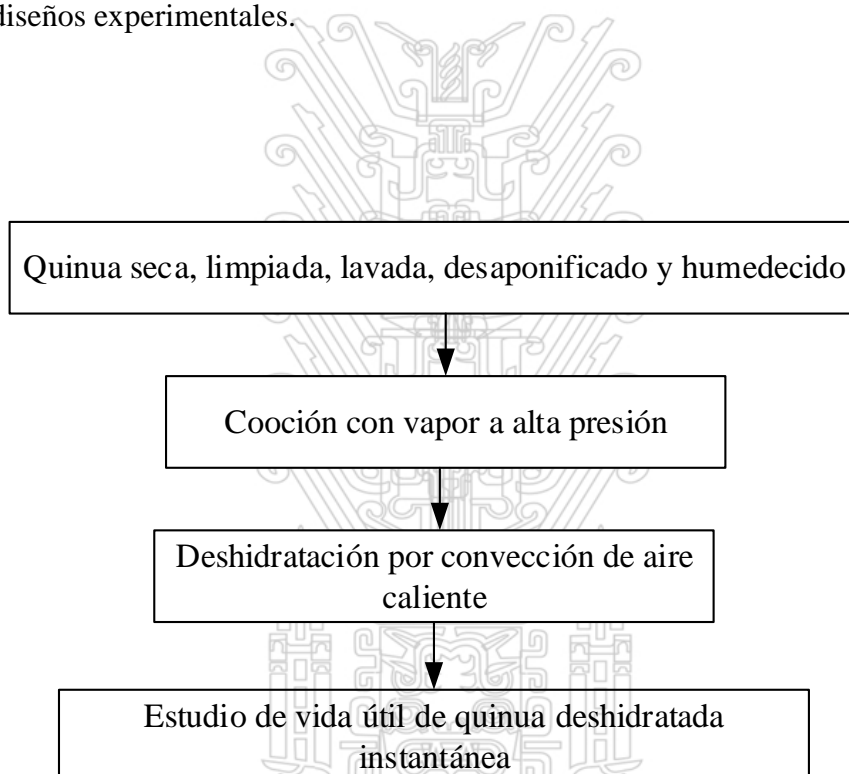


Figura 7. Etapas de la investigación para la obtención de quinua cocida deshidratada.

Fuente: elaboración propia

3.2.1 Diseño de investigación para optimización del proceso térmico de cocción

Se utilizó un diseño de superficie de respuesta factorial de tres factores, con repeticiones realizadas sobre los 12 puntos seleccionados. Primeramente, para la elección de los

límites de los niveles, se realizaron pruebas preliminares de cocción para determinar los niveles y rangos de los factores utilizados. El rango experimental para la presión se

seleccionó porque en los ensayos preliminares, En un recipiente abierto a la atmósfera ambiental a nivel de Ayacucho (presión absoluta es de 0.745 kgf/cm² y temperatura de ebullición 92°C). En autoclave de presión, al contener una presión superior a la presión de la Ciudad de Ayacucho y la máxima una presión aproximada de 2.066 kgf/cm² (presión interior absoluta máxima de aproximadamente 2.066 kgf/cm² y temperatura 133.24°C). Por lo que en autoclave con esta presión se logra un producto final con buena calidad en menor tiempo de proceso. En ella, también, la reducción del tiempo de cocción acrecienta el ahorro de combustible y de hecho de la energía que este representa. El rango experimental para el tiempo se seleccionó porque en los ensayos preliminares, los valores de desprendimiento de los cotiledones de la estructura del grano (calidad: apariencia) fue en el rango del 30 a 80%) fue entre 2 y 10 minutos. Los factores analizados incluyeron el efecto de la presión (X₁) a niveles de 1, 1.5 y 2 kgf/cm² y tiempo (X₂) a niveles de 2, 6 y 10 minutos (Tabla 6).

VARIABLES RESPUESTA

Se consideró la existencia de una función matemática para cada respuesta (y) en función de las dos variables independientes (presión y tiempo) como se describe en la siguiente ecuación 1:

$$y_i = \beta_0 + \sum_{i=1}^{\infty} \beta_i x_i + \sum_{i=1}^{\infty} \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=1}^{\infty} \beta_{ij} x_i x_j \quad (1)$$

Los términos y_i= función respuesta; β₀, β_i, β_{ij} donde i=j, y β_{ij} donde i≠j son los coeficientes para interceptar, efectos lineales, cuadráticos e interactivos respectivamente.

Los términos x_i y x_j son los factores independientes. Las variables respuestas fueron: índice de absorción de agua (g/g), desprendimiento de cotiledones (%), gelatinización (%) como indicadores de cocción de los granos en términos de cambios químicos de los componentes.

Tabla 6. Diseño experimental para el objetivo 1

Tratamiento	Presión (kgf/cm ²)	Tiempo (min)
1	1(120.12°C)	2
2	1.5(127.2°C)	2
3	2(133.24°C)	2
4	1(120.12°C)	6
5	1.5(127.2°C)	6
6	2(133.24°C)	6
7	1(120.12°C)	10
8	1.5(127.2°C)	10
9	2(133.24°C)	10
10	1.5(127.2°C)	6
11	1.5(127.2°C)	6
12	1.5(127.2°C)	6

Fuente: elaboración propia

Análisis estadístico

El método de la función de conveniencia (Derringer, 1980) ha sido utilizado para optimizar las tres respuestas: índice de absorción de agua (g/g), desprendimiento de cotiledones (%), gelatinización (%), y para determinar las condiciones de procesamiento óptimas. El método consiste en la obtención de una función que convierte un problema de respuesta múltiple en una respuesta única (Martinez Delfa, Olivieri, & Boschetti, 2009). En este método cada valor de la respuesta (índice de absorción de agua (g/g), desprendimiento de cotiledones (%), gelatinización (%)), obtenido a partir de la utilización de las ecuaciones polinomiales, es convertido en un valor adimensional de la función de conveniencia d_i . Estos valores varían entre 0 y 1, 0 correspondiendo a una respuesta inaceptable y 1 como óptimo, respectivamente.

Si la respuesta debe ser maximizada, d_i se define como:

$$d_i = 0 \quad y_i < L_i ; \quad d_i = 1 \quad y_i > T_i \quad (2)$$

$$d_i = \left[\frac{y_i - L_i}{T_i - L_i} \right]^{\theta} \quad L_i \leq y_i \leq T_i \quad (3)$$

Y si la respuesta debe ser minimizada, la función de conveniencia individual (d_i) se calcula de la siguiente manera:

$$d_i = 1 \quad y_i < T_i ; \quad d_i = 0 \quad y_i > U_i \quad (4)$$

$$d_i = \left[\frac{U_i - y_i}{U_i - T_i} \right]^{\theta_2} \quad T_i \leq y_i \leq U_i \quad (5)$$

donde y_i es la respuesta predicha por el modelo polinomial, L_i y U_i representan los valores de y_i mínimos y máximos aceptables, respectivamente; y T_i es el valor objetivo correspondiente al valor máximo, mínimo o fijado dependiendo de las restricciones especificadas para cada respuesta. Los valores d_i son afectados por factores definidos por el usuario (θ_1, θ_2) que ponderan la influencia del valor objetivo y de los límites mínimos y máximos. Con el fin de alcanzar los valores que representen las condiciones óptimas de procesamiento solo una función de conveniencia global (D_T) es obtenida, la cual es calculada utilizando la media geométrica de las respuestas convertidas o adimensionales (d_i):

$$D_T = (d_1^{v_1} \cdot d_2^{v_2} \cdot \dots \cdot d_n^{v_n})^{1/\sum_{i=1}^n v_i} = \left(\prod_{i=1}^n d_i^{v_i} \right)^{1/\sum_{i=1}^n v_i} \quad (6)$$

Donde v_i es la importancia relativa asignada a cada d_i .

Además, puede ser observado que si alguna de las respuestas es inaceptable ($d_i=0$), la función total se hace cero, lo cual da una mayor coherencia a la función de conveniencia obtenida.

Un valor alto de D_T indica las mejores combinaciones de factores, que es considerado como la solución óptima del sistema. Los valores óptimos para cada factor son

determinados a partir de los valores de las funciones de conveniencia individual que maximizan la función global D_T (Corzo & Gomez, 2004).

Con el propósito de obtener las ecuaciones polinómicas predictivas para cada producto, calcular la función de conveniencia y graficar las superficies cinéticas y de conveniencia, un algoritmo de solución completo fue codificado en Matlab® 7.2 (Mathworks, Natick, MA). El código empleó funciones matemáticas y gráficas de Matlab para obtener los coeficientes polinomiales, coeficientes de determinación (R^2), valor-p y las superficies predictivas 3D. Los coeficientes significativos se definieron como $p < 0,05$.

Limpieza, Lavado Hidratación de granos secos crudos

Con la finalidad de determinar el tiempo de remojo se realizaron la prueba de hidratación en agua del grano de quinua antes de someter a la operación de cocción, para ello adaptó la metodología usada por (Sharanagat, Kansal, & Kumar, 2016) mediante el remojo. Se inició previamente determinando el contenido de humedad inicial (W_0), que fue de 12,64%. Se utilizaron cuatro ensayos en una probeta de 100 mL de agua y estos fueron colocados a baño maría a 20 °C, luego las muestras se sumergieron en cada una de ellas, previamente colocadas en bolsa de tela nylon. El experimento se realizó con tres repeticiones. Cada intervalo de tiempo (de 15 min) se retiró la muestra y se secó usando papel tisú para eliminar el agua superficial. Los granos fueron pesados (W_s) para determinar la humedad absorbida, hasta un peso constante. La capacidad de absorción de agua (CAA) de grano de quinua se determinó usando la siguiente ecuación:

$$CAA = \frac{(w_s - w_0)}{w_0} * 100 \quad (7)$$

Determinación de Índice de absorción de agua (IAA) e índice de solubilidad en agua (ISA) (Jafari *et al.*, 2017a)

El IAA e ISA se determinaron de acuerdo con el método desarrollado por (Pardhi, Singh, Nayik, & Dar, 2016). La quinua cocido y deshidratado fue molido en un mortero hasta un tamaño muy fino, luego tamizado a fin de separar el perispermo de los cotiledones, pericarpio y endospermo, el perispermo está compuesto por el almidón, luego procediendo con el siguiente procedimiento:

1. Se pesó 2.5 g de almidón y se agregó 30 ml de agua destilada en un Erlenmeyer de 150 mL.
2. Luego se llevó a baño maría a 30 °C sometiéndolo a agitación intermitente por 30 minutos.
3. Luego centrifugándose a 3 000 rpm por 15 minutos.
4. Los sobrenadantes se decantaron en una placa Petri de peso conocido y el sedimento a otra placa Petri, y luego llevado a una estufa a 45°C para evaporar el agua.
5. El IAA fue el peso de gel obtenido después de la eliminación del sobrenadante por unidad de peso de sólidos secos originales.
6. El ISA fue el peso de sólidos secos en el sobrenadante expresado como un porcentaje del peso original de la muestra.

Cálculo:

El gel que quedó dentro del tubo se pesó para determinar el índice de absorción que está

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNFV

$$IAA(g / g) = \frac{\text{Peso del sedimento}}{\text{Pesode solidosseco}} \quad (8)$$

$$ISA(\%) = \frac{\text{Peso del sólido disuelto en el sobrenadante}}{\text{Pesode solidosseco}} \quad (9)$$

Cuando el almidón se calienta en presencia de agua, se lleva a cabo un proceso irreversible llamado gelatinización en el que una serie de enlaces de hidrógeno de almidón internos son sustituidos por enlaces de almidón-agua (Pardhi *et al.*, 2016).

Desprendimiento de Cotiledones (%)

Un grano de quinua es considerado cocido, cuando este grano desprende o libere el cotiledón de su estructura, de manera similar usada para los tubérculos cuando este presenta grietas (rajaduras) en su estructura, presentan de manera visual la cocción del producto. El exceso de cotiledones liberados destruye los granos de quinua, el cual es indeseable desde el punto de vista de apariencia, lo que se busca es una cocción sin la liberación en exceso los cotiledones. El indicador de la cocción es la gelatinización, la gelatinización es definida como la hidratación y el hinchamiento irreversible de los gránulos del almidón hasta su deformación por la presión interna, que es concomitante con la destrucción molecular, la fusión de los cristales de almidón y su solubilizarían (Taghinezhad, Khoshtaghaza, Minaei, Suzuki, & Brenner, 2016). Bajo este concepto se aplicó la deformación del grano de quinua como la apariencia indeseable, que en el proceso lo que se busca es minimizar este detalle, ya que afectará de manera negativa en el balance de materia durante el deshidratado.

Para ello, se extrajeron por triplicado, muestras de granos de quinua al azar inmediatamente después de la cocción, de los cuales se separaron 20 granos, seguidamente se procedió al conteo de granos con los cotiledones desprendidos (aros) y granos enteros. Luego se determinó el porcentaje de granos con desprendimiento de cotiledones en referencia al total de granos de conteo. Se consideró como tiempo de cocción el inicio del desprendimiento hasta un óptimo cuando 35%, mayor a ello se considera como una sobre cocción.

Grado de gelatinización del almidón

- a) Método propuesto por Birch and Priestley (1973), basado en la formación del complejo amilosa-yodo. Se colocan 0.2 g de harina de quinua, 98 ml de agua destilada y 2 ml de KOH 10 M en un matraz de 250 ml. Se agita durante 5 minutos y se centrifuga a 3.500 rpm/15 min. En un tubo de ensayo se coloca 1 ml del sobrenadante, 0,4 ml de HCl 0.5 M y se llevan a 10 ml con agua destilada. Se le añade 0.1 ml de reactivo de yodo (1 g I + 4 g IK en 100 ml), se mezcla y se determina la absorbancia a 600 nm (Absorbancia A).
- b) El procedimiento se repite, pero en este caso se añaden 95 ml de agua destilada y 5ml de KOH 10 M en un matraz de 250 ml para asegurar la solubilización completa de toda la amilosa presente en la muestra, y el mililitro de sobrenadante se neutraliza con 1 ml de HCl 0.5 M. Después de añadir 0.1 ml del reactivo de yodo, se mide la absorbancia a 600 nm (Absorbancia B).

El porcentaje de gelatinización se expresa como la relación entre las absorbancias A y B.

$$\text{Gelatinización (\%)} = \frac{\text{Absorvancia}_A}{\text{Absorvancia}_B} \quad (10)$$

La gelatinización del almidón es uno de los procesos más comunes que tienen lugar durante el procesamiento de alimentos y también uno de los más estudiados. El proceso de gelatinización completo incluye una serie de etapas superpuestas: hinchamiento de gránulos, migración de amilosa, formación de gel. Pero se puede observar a través de muchas técnicas como un solo proceso (Pardhi *et al.*, 2016).

3.2.2 Diseño de investigación para optimización de cocción - deshidratación

Para la deshidratación de la quinua se usó los resultados del diseño 1, considerándose las variables óptimas de tiempo de cocción (2 a 10 minutos) y variable de presiones fueron de 1 a 2 kgf/cm². La variable de temperatura de deshidratación fue en el rango de 60 °C mínimo y 100 °C como máximo. Esta temperatura de diseño fue elegida, en base a que el producto sale de la cocción a una temperatura superior de 90°C por el hecho de ser la cocción entre 120°C y 133°C, una temperatura inferior a 60°C hará que el almidón cambie de comportamiento químico (sufrirá cristalización amorfa) y esta dificulte la evaporación del agua durante la deshidratación.

La deshidratación de la quinua cocida fue realizada de acuerdo al diseño experimental mostrado en la Tabla 7. Los factores analizados incluyeron el efecto de la presión de cocción (X_1) a niveles de 1, 1.5 y 2 kgf/cm² y Temperatura de secado (X_2) a niveles de

60, 80 y 100 °C respectivamente.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNFV

Tabla 7. Diseño experimental para la el objetivo 2

Experimento	Cocción	Deshidratado
	Presión (kgf/cm ²)	Temperatura (°C)
1	1	60
2	1.5	60
3	2	60
4	1	80
5	1.5	80
6	2	80
7	1	100
8	1.5	100
9	2	100
10	1	80
11	1.5	80
12	2	80

Variables respuesta

Se consideró la existencia de una función matemática para cada respuesta (y) en función de dos variables independientes (presión de cocción y temperatura de deshidratación) como se describe en la siguiente ecuación:

Análisis estadístico

Los modelos matemáticos se desarrollaron para describir la relación entre las variables de respuesta y las variables independientes con el diseño de Box-Behnken (Le & Jittanit, 2015). Los modelos predictivos se consiguieron mediante análisis de regresión múltiple. Las gráficas de contorno de la superficie de respuesta de cada respuesta se trazaron como una función de diferentes condiciones del proceso para describir sus efectos y demostrar puntos óptimos. La adecuación del modelo se verificó basándose en la R^2 predicho, la suma de los cuadrados de error de predicción y la falta de prueba de ajuste. El modelo de segundo orden se seleccionó para desarrollar los modelos de respuesta predictiva, expresados como:

$$y_i = \beta_0 + \sum_{i=1}^{\infty} \beta_i x_i + \sum_{i=1}^{\infty} \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{i=1}^{\infty} \beta_{ij} x_i x_j \quad (11)$$

Los términos β_0 , β_i , β_{ij} donde $i=j$, y β_{ij} donde $i \neq j$ son los coeficientes para interceptar, efectos lineales, cuadráticos e interactivos respectivamente. Los términos x_i y x_j son los factores independientes y y_i es la condición de respuesta que se observa, rehidratación, granos no dañados e índice de solubilidad en agua del almidón. Los coeficientes significativos se definieron como $p < 0,05$.

El método de la función de conveniencia (Derringer, 1980) ha sido utilizado para optimizar las tres respuestas tiempo de rehidratación (min), granos no dañados (%) e índice de solubilidad en agua del almidón, y para determinar las variables óptimas de presión de cocción y temperatura de deshidratación. En este método cada valor de

respuesta, índice de solubilidad en agua (g/g), granos no dañados (%), tiempo de rehidratación (min).

La conveniencia de los valores de respuesta con la escala de 0 e 1 se calculó siguiendo el método de Corzo *et al.* (2008).

$$D_T = \left(d_1(\bar{y}_1) * d_2(\bar{y}_2) * d_3(\bar{y}_3) * \dots * d_k(\bar{y}_k) \right)^{1/k} \quad (12)$$

Donde $d(Y)$ es la conveniencia de cada respuesta (la fórmula depende del tipo objetivo que podría ser la maximización, la minimización); k es el número de respuestas. Sin embargo, en este trabajo, los valores de deseabilidad de todas las respuestas, índice de solubilidad en agua (g/g), granos no dañados (%), tiempo de rehidratación (min)., se calcularon utilizando los valores medidos de cada variable obtenidos en el laboratorio. Con el propósito de obtener las ecuaciones polinómicas predictivas para cada producto, calcular la función de conveniencia y graficar las superficies cinéticas y de conveniencia, un algoritmo de solución completo fue codificado en Matlab® 7.2 (Mathworks, Natick, MA). El código empleó funciones matemáticas y gráficas de Matlab para obtener los coeficientes polinomiales, coeficientes de determinación (R^2), valor-p y las superficies predictivas 3D. Los coeficientes significativos se definieron como $p < 0,05$.

Proceso de deshidratado

La deshidratación de la quinua cocida fue llevada a cabo en un deshidratador de aire por convección forzada (modelo UOP8, Armfield, Hampshire, Inglaterra). Las muestras

(Ohaus Adventurer^{ATM}, EE.UU., precisión ± 0.1 g). Las muestras fueron deshidratadas durante 2 horas y se registró el peso a intervalos de 5 minutos en los primeros 30 minutos de secado, a intervalos de 10 minutos entre 30 y 120 minutos de secado, a intervalos de 15 minutos de 1 a 2 horas de secado. La temperatura del aire fue constante en cada experimento (100°C), como también la velocidad de aire (4 m / s). La humedad relativa del ambiente varió entre 68% y 70% durante todos los experimentos.

Calculo de tiempo de rehidratación

Se rehidrataron 15 g de muestras secas (de los experimentos de secado descritos anteriormente) en 1 litro de agua hirviendo. Las muestras se retiraron cada minuto y se pesaron hasta que la diferencia de las ponderaciones sucesivas fuera insignificante (Jiao *et al.*, 2014).

Calculo de granos no dañados (%)

Por otro lado, la textura de los granos de quinua se evaluó, a través de la determinación de porcentaje de granos fragmentados como consecuencia de la sobre-cocción y manipulación en el secado. Estos fragmentos vienen a ser granos con cotiledones desprendidos o que hayan tenido un exceso de cocción, lo que hacen desmerecer la apariencia como calidad de la quinua instantánea. Se determinó realizando el tamizado por triplicado de 100 g de quinua instantánea deshidratada en una malla Numero 40 de la serie de Tyler.

3.2.3 Diseño de investigación para determinación de vida útil

El diseño experimental se detalla según el modelo de Gacula and Kubala (1975) para metodología de Weibull, Tabla 8. La caducidad del producto se evaluó a través de la evaluación de la descomposición de la grasa de la quinua, midiéndose la presencia de aldehído en la quinua almacenada. Los aldehídos se producen por la degradación de los ácidos grasos, las emisiones de aldehído están asociadas con la temperatura de cocción y con la composición de ácidos grasos del aceite en los productos (Peng, Lan, Lin, & Kuo, 2017).

Tabla 8. Diseño experimental para el objetivo 3

Tiempo (días)	Muestras en almacenamiento											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
0												
15												
30												
45												
60												
75												
90												
105												
120												
135												

Fuente: Elaboración propia en función al diseño de (Gacula & Kubala, 1975)

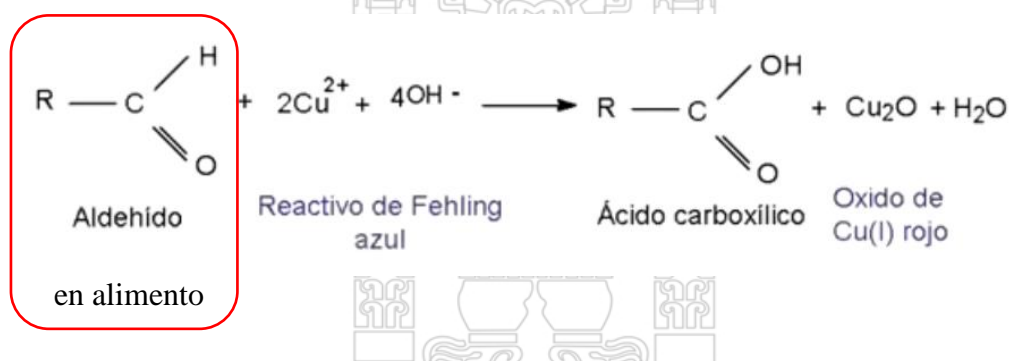
Las muestras se colocaron dentro de un frasco de vidrio transparente 250 g de quinua
Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis instantánea, seguidamente fueron sometidos al vacío e inmediatamente sellados. Y

UNFV

seguido estas se almacenaron en cabinas isotérmicas (Binder, Tuttlingen, Alemania) a temperaturas elevadas ($40 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ y $50 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ y $60 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$). Las muestras de quinua instantánea se analizaron semanalmente y por días según la temperatura de almacenamiento.

Prueba de detección de aldehído (ensayo cualitativo)

Frente al reactivo de Fehling (solución Fehling A: contiene 34.639 g de CuSO_5 disueltos en agua destilada, hasta 500ml. Solución Fehling B: 173 g de tartrato de sodio y potasio con 50 g de NaOH disueltos en agua destilada hasta 500 ml). a) Introducir en un tubo de ensayo 1,5ml de Fehling A y 1.5ml de Fehling B, y calentar en baño María hasta observar un color azul. b) Añadir el contenido del tubo al frasco que tiene la muestra de quinua instantánea y calentar a baño María a $^\circ\text{C}$ hasta observar cambio.



Cada prueba consistió en detectar la presencia de aldehído: "¿hay presencia? ¿Si o no?".

Su presencia en la muestra se basó exclusivamente en detectar la mínima presencia.

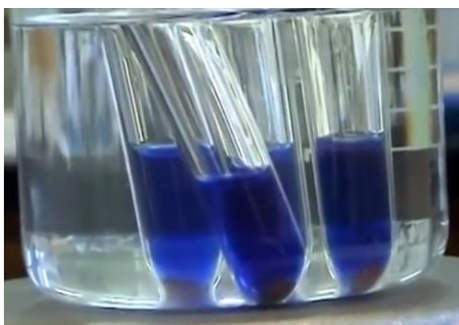


Figura 8. Prueba de presencia de aldehído como indicador de descomposición del lípido.

La frecuencia y la cantidad de muestras extraídas fueron de acuerdo al diseño de muestreo de acuerdo al modelo escalonado propuesto por (Gacula & Kubala, 1975) y modificado por (Cardelli & Labuza, 2001). La estimación de vida útil o vida de anaquel de la quinua instantánea para cada condición de almacenamiento se proyectó utilizando la distribución probabilística de Weibull. Estadísticamente se realizó la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov Smirnov con un nivel de confiabilidad de 95%. El criterio de censura (falla) en la prueba analítica correspondió a la presencia de aldehído de la quinua instantánea. Seguido el proceso de análisis de datos:

Construcción de la curva de función de riesgo de Weibull

Para construir la curva de riesgo se tomó el criterio de falla (presencia de aldehído) para el cual la muestra se censura. Para cada valor observado se toma el tiempo y se marcan aquellos valores para los cuales el producto falla. Se anota el orden del suceso en el que se suministra el tiempo empezando del último día, para las muestras que tienen falla. Este proceso genera una serie de observaciones ordenadas, luego se invierte el orden del

suceso y se obtiene el rango inverso (Rank). Los valores de riesgo $H(t)$ para las muestras

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

que fallan se calculan mediante la ecuación:

UNFV

$$H(t)=100/\text{Rank} \quad (13)$$

Luego de proceder hacer la sumatoria de $H(t)$, seguido hacer la regresión lineal de $\log(t)$ en función de $\log(\sum H)$ y determinar alfa y beta.

$$\text{Log}(t) = \frac{1}{\beta} * \log(H(t)) + \log(\alpha) \quad (14)$$

Luego se determinó el tiempo para $H=69.3$

3.3 Estrategias de prueba de hipótesis

Para cocción

Hipótesis nula

H_0 : Los factores de alta presión, tiempo, no tienen efectos sobre la gelatinización, liberación de cotiledones e índice de absorción de agua de la quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) durante la operación de cocción.

$$H_0: \tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = \tau_4 = 0$$

Hipótesis de investigación

H_1 : Al menos uno de los factores de alta presión, tiempo, influye significativamente sobre la gelatinización, liberación de cotiledones e índice de absorción de agua de la quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) durante la operación de cocción.

$$H_1: \text{al menos un } \tau_i \neq 0$$

Para cocción - deshidratación

Hipótesis nula

H₀: Los factores de alta presión de cocción, alta temperatura de deshidratado, no tienen efectos sobre los granos dañados, tiempo de rehidratación mínimo e índice de solubilidad de agua en la producción de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) deshidratada instantánea.

$$H_0: \tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = \tau_4 = 0$$

Hipótesis de investigación

H₁: Al menos uno de los factores de alta presión de cocción, alta temperatura de deshidratado, tienen efectos significativos sobre los granos dañados, tiempo de rehidratación mínimo e índice de solubilidad de agua en la producción de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) deshidratada instantánea.

$$H_1: \text{al menos un } \tau_i \neq 0$$

Para vida útil

H₀: Los factores de temperatura, humedad relativa de almacenado, no tienen efectos sobre las características sensoriales de aceptabilidad de la quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) deshidratada instantánea en la determinación de vida útil.

$$H_0: \tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = \tau_4 = 0$$

H₁: al menos uno de los factores de temperatura, humedad relativa de almacenado, tienen efectos significativos sobre las características sensoriales de aceptabilidad de la quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) deshidratada instantánea en la determinación de vida útil.

H₁: al menos un $\tau_i \neq 0$

3.4 Variables

Variables independientes

- Cocción de quinua a alta presión
- Deshidratación de quinua cocida a alta temperatura

Variables dependientes

- Quinua cocida
- Quinua deshidratada instantánea
- Vida útil de quinua deshidratada instantáneo

3.5 Población

El presente proyecto tendrá como población: la quinua variedad negra ayrampo.

3.6 Muestra

Quinua cruda variedad negra ayrampo

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNFV

Quinoa cocida deshidratada variedad negra ayrampo

3.7 Técnicas de investigación

Técnicas de investigación documental o bibliográfica

- Análisis documental: Nos permitió el análisis del material a estudiar y precisarlo desde un punto de vista formal y analítico.
- Análisis de contenido: Estudiar y analizar de una manera objetiva y sistemática el documento leído.
- Fichaje: Se usó para construir el marco teórico y la bibliografía de la investigación.

Técnicas de campo

Objetiva: técnica que permitió obtener información sobre las variables y datos a registrar en las diferentes etapas de la investigación.

Instrumento de recolección de datos

- Fichas de investigación o documentación, bibliografías, hemerografías e internet.

Instrumento de recolección de información en laboratorio

- Equipos: balanza analítica: Ohaus® Adventurer, modelo AR3130, cap. Max. 310 g, resolución 0,0001 g, balanza digital: Ohaus® Scout Pro, modelo SP601, cap. Max. 600 g, resolución 0,1 g, estufa eléctrica: Binder®, modelo FED 53, rango de trabajo 25 - 300 °C, centrifuga: Heltich ® Zentrifugen, modelo EBA 200S, 500 – 6000 rpm, espectrofotómetro UV/VIS: Unico®, modelo 2100, rango de onda 200 – 1000 nm, resolución ± 1 nm, mufla: H. W. Kessel S.A.; modelo

Tesis publicada en 2003, temperatura Max del 150°C, precisión de 1 °C, homogeneizador de
No olvide citar esta tesis

UNFV

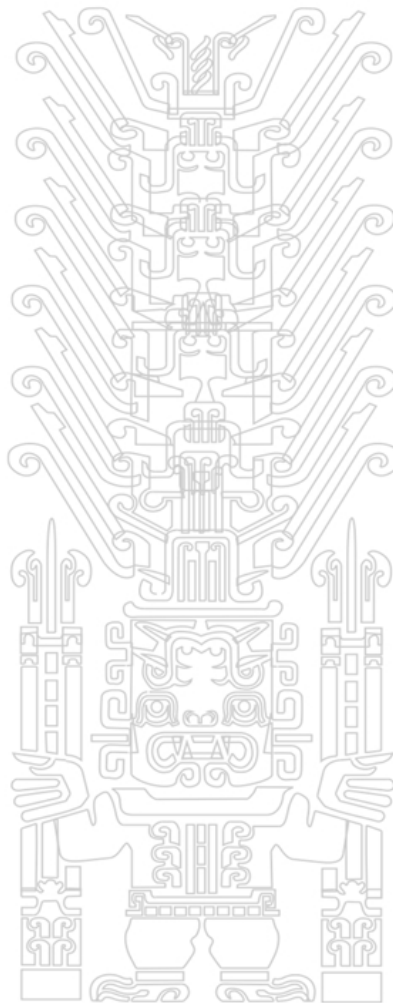
soluciones: Wizard & Classic Velp®, modelo VL-F202A0175, velocidad max. 3000 rpm, movimiento orbital, Autoclave de 10 L, digestor microkjendahl, digestor de fibra cruda, cámara fotográfica.

- Materiales y envases: termómetro, cronómetro, cubetas para espectrofotómetro, plástico y cuarzo, micropipeta 5 – 20 μL (Gilson), micropipeta de 5 a 50 μL (Wheaton), micropipeta de 100 a 1000 μL (Hirschmann Laborgerate), puntas (Tips) para micropipetas de 10, 100 y 1000 μL matraz erlenmeyer de 125, 250 ml, vasos precipitados de 100ml, 250 ml, fioles de 10, 25, 50, 100 y 250 mL, embudos, bureta de 25 ml (equipo de titulación), gradillas, tubos de ensayo 16x160mm, papel filtro, termómetro digital, vernier digital, termohigrómetro -50 a 70°C, tinas de lavado, mesas de acero inoxidable, ventilador con fuente, couler de 10 L, piceta, cronómetro, jabas de plástico 10-20 kg, envases de plástico o tarrimas de plástico, otros que mencionan los procedimientos de las técnicas y de acuerdo a los ensayos y cuaderno de apuntes.

Procesamiento y análisis de datos

El procesamiento y presentación de resultados se realizó utilizando el software Microsoft Office 2013 con sus programas: de texto Word, de cálculos Excel y otros complementos. Con el propósito de obtener las ecuaciones polinómicas predictivas para cada producto, calcular la función de conveniencia y graficar las superficies cinéticas y de conveniencia, un algoritmo de solución completo fue codificado en Matlab® 7.2 (Mathworks, Natick, MA). El código empleó funciones matemáticas y gráficas de Matlab para obtener los

coeficientes polinomiales, coeficientes de determinación (R^2), valor-p y las superficies predictivas 3D. Los coeficientes significativos se definieron como $p < 0.05$.



CAPITULO IV

Presentación de resultados

4.1 Contratación de la hipótesis

Teniendo en cuenta que la contratación de la hipótesis es la actividad que, mediante la observación, la experimentación, la documentación y/o la, comprueba (demuestra) adecuadamente, si una hipótesis es falsa o verdadera, procederemos a contrastar la hipótesis general y las específicas.

Para rechazar o aceptar la presente hipótesis, se sometió a pruebas empíricas y teóricas, mencionadas en antecedentes, con relación a los resultados obtenidos en: a) Muestreo se realizó a participantes y sus parcelas de cultivo de quinua a nivel de la región de Ayacucho, b) Pruebas de ensayos experimentales de cocción, deshidratación, c) Análisis de laboratorio, observación y explicación de resultados según el requerimiento e información que se planteó en el plan de tesis, d) A la documentación, referida como fuente de información pertinente y de credibilidad.

Hipótesis general: La cocción de la quinua a alta presión y deshidratación a alta temperatura, influyen en la calidad estructural y vida útil, de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) deshidratado instantánea variedad negra ayrampo.

Resultado de la investigación de la presente tesis, la cocción a alta presión y la deshidratación a alta temperatura tuvieron efecto en la calidad estructural y vida útil de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) deshidratado instantánea variedad negra ayrampo.

La cocción puede afectar la calidad estructural relacionados con las preferencias del consumidor, tales como sabor, ternura, color y apariencia (Yildiz Turp, 2016).

La influencia de la cocción a alta presión y deshidratación a alta temperatura se evaluó a través de la evaluación de calidad estructural de la quinua cocida, con la medición de los cambios en la estructura de uno de los componentes mayoritarios que es el almidón, que ha sufrido los cambios en su estructura molecular, como es la hidrólisis térmica. Cuando el almidón se calienta en presencia de agua, se lleva a cabo un proceso irreversible de modificación llamado gelatinización en el que una serie de enlaces de hidrógeno de su estructura interna del almidón internos son sustituidos por enlaces de almidón-agua (Aparicio *et al.*, 2009)

Por tanto, podemos afirmar que la presente hipótesis general de la presente tesis es verdadera, puesto que la información, tiene relación y fue corroborada por resultados experimentales en laboratorio donde se evaluó la quinua deshidratada instantánea.

Hipótesis Específico 1: La correlación de parámetros de cocción, es posible optimizar a través de maximización de índice de absorción de agua del almidón, minimización de desprendimiento de cotiledones y maximización de la gelatinización del almidón, como indicadores de la calidad estructural de la quinua cocida.

En cuanto a la correlación de los parámetros de cocción sobre la calidad estructural durante la cocción de quinua a alta presión tuvieron efecto en la calidad estructural de la quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) variedad negra ayrampo evaluados la cocción a

través de índice de absorción de agua del almidón, desprendimiento de cotiledones y gelatinización del almidón, resultados experimentales mostraron una correlación significativa.

Pardhi *et al.* (2016) manifiestan que, durante la cocción, las materias primas experimentan muchas transformaciones químicas y estructurales, tales como gelatinización de almidón, desnaturalización de proteínas, formación de complejos entre amilosa y lípidos y reacciones de degradación de vitaminas y pigmentos.

Los gránulos de quinua durante la cocción, se manifiestan como punto de cocción cuando los granos desprenden el cotiledón de su estructura como consecuencia de cambio a nivel de su estructura. La gelatinización del almidón es uno de los procesos más comunes que tienen lugar durante el procesamiento térmico de alimentos, el proceso de gelatinización completo incluye una serie de etapas superpuestas: hinchamiento de gránulos, migración de amilosa, formación de gel (Aparicio *et al.*, 2009).

Un valor alto de índice absorción de agua es un indicador *in vitro* de buena digestibilidad del almidón, ya que implica el grado de gelatinización y dextrinización y mide la cantidad de agua absorbida por el almidón y puede utilizarse como índice de gelatinización. Este índice de absorción de agua del almidón depende de la disponibilidad de grupos hidrófilos que se unen a las moléculas de agua (Pardhi *et al.*, 2016).

El impacto de alta presión sobre la gelatinización del almidón podría influir en las propiedades del almidón, mientras que la presión inducida por la gelatinización difiere en comparación con la térmica inducida. Los efectos de gelatinización inducidos por la alta

presión limitan el hinchamiento acompañado de retención de la estructura granular y la pérdida de birrefringencia. El grado de gelatinización del almidón depende de la presión aplicada, del tiempo de permanencia y de la temperatura de tratamiento, mientras que el tipo de almidón tiene el mayor impacto en su comportamiento de gelatinización bajo presión (Reineke *et al.*, 2011).

Por lo expuesto, podemos afirmar que la presente hipótesis 1 de la presente tesis es verdadera, en lo que respecta a la correlación de parámetros de cocción, es posible optimizar a través de maximización de índice de absorción de agua del almidón, minimización de desprendimiento de cotiledones y maximización de la gelatinización del almidón, como indicadores de la calidad estructural de la quinua cocida.

Hipótesis Específico 2: La correlación de parámetros de cocción - deshidratación, es posible optimizar a través de la maximización de granos no dañados, minimización de tiempo de rehidratación y maximización del índice de solubilidad del almidón en agua, como indicadores de la calidad estructural de la quinua deshidratada instantánea.

La existencia de correlación de cocción- deshidratación, en la calidad estructural de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) deshidratado instantánea variedad negra ayrampo, a través de los indicadores del producto instantáneo como es cantidad de granos dañados, índice de solubilidad del almidón y tiempo de rehidratación, fueron evaluados con los ensayos experimentales en laboratorio.

La rehidratación dependerá de la estructura química del alimento, de los pre-tratamientos como cocción o pre-cocción, del daño que ha sufrido el alimento durante la deshidratación. La velocidad de rehidratación es uno de los indicadores de medida de la calidad del producto deshidratado. Los alimentos deshidratados deben en lo posible rehidratarse lo más rápido posible y mostrar las mismas características estructurales y químicas del alimento fresco (Déléris & Wallecan, 2017a).

La deshidratación es un proceso complejo que implica la transferencia simultánea de calor y masa, consecuencia de ello se produce cambios significativos en la composición química, estructura y propiedades físicas de los alimentos, además de la pérdida de agua provocan tensiones en la estructura celular que conducen a cambios en la microestructura, como la formación de poros y la contracción. El método de secado y las condiciones previas aplicadas tienen un efecto significativo sobre las características del producto final tales como la porosidad, la contracción y la densidad aparente. El tiempo de rehidratación de alimentos deshidratados depende de su capacidad de absorción de agua y capacidad de retención de agua (Laopoolkit & Suwannaporn, 2011).

La alta calidad de cocción es un proceso con baja pérdida de nutrientes y un incremento de volumen. Teniendo en cuenta el valor nutricional, la disponibilidad de lisina y la digestibilidad del almidón y la proteína son relevantes y están influenciados principalmente por las condiciones de deshidratación (D'Amico *et al.*, 2015).

Para obtener producto instantáneo, el producto crudo es sometido a un proceso de cocción para gelatinizar su almidón; el producto cocido se seca a un cierto contenido de humedad,

para mejorar su calidad, se requiere un pretratamiento antes del deshidratado (Rewthong *et al.*, 2011).

El índice de solubilidad en agua del almidón, se usa como indicador de cocción de un alimento (degradación de los componentes moleculares). Índice de solubilidad en agua del almidón mide la cantidad componentes solubles liberados del almidón después de cocción, un valor alto indica buena digestibilidad del almidón (Pardhi *et al.*, 2016).

Quinoa deshidratado instantáneo, granos cocidos enteros, libre de partículas finas, de preparación comestible rápida y que puede ser ingerida directamente o con un mínimo de operaciones. Una temperatura elevada de deshidratación aumenta significativamente las propiedades del producto, especialmente la modificación de textura (D'Amico *et al.*, 2015).

Las operaciones previas a la deshidratación, llamadas pretratamientos, tienen marcada influencia sobre las características y la composición del producto finalmente rehidratado (Marín *et al.*, 2006). Aquellos pretratamientos que contribuyen a mantener la integridad de los tejidos permiten evitar mayores pérdidas de sólidos solubles hacia el medio de rehidratación (Lewicki, 1998a). Los pretratamientos que emplean altas presiones, previos a la deshidratación provocan cambios en la estructura de los tejidos, la compactación de las estructuras celulares y transformaciones de los geles de la pectina, modificando negativamente la posterior rehidratación del producto (Rastogi & Niranján, 1998). Por otra parte, la deshidratación a altas temperaturas provoca cambios que son irreversibles en el alimento: pérdida de textura, disminución de vitaminas, color y aroma, entre otros

(Marín *et al.*, 2006).

Varios autores proponen que la rehidratación se puede considerar como una medida del daño en el alimento ocurrido durante la deshidratación, considerándose como un complejo proceso que ayuda a restaurar las propiedades del alimento fresco, anteriormente deshidratado con o sin pretratamientos al secado (Hogekamp & Schubert, 2003). En algunos casos la velocidad de rehidratación sirve como medida de la calidad del producto deshidratado, siendo los alimentos deshidratados en condiciones óptimas, los que se deterioran menos y se rehidratan de forma normal (Weerts *et al.*, 2005).

Temperatura y velocidad de secado: se ha observado que altas temperatura de secado implican un menor tiempo de rehidratación, pero los índices de calidad del producto final presentan cambios muy variables con respecto al producto fresco, como son la textura y el color, dejando ver que la temperatura de secado es uno de los principales factores que influyen sobre la calidad del producto rehidratado (Lewicki, 1998b).

Por tanto, podemos afirmar que la presente hipótesis 2 de la presente tesis es verdadera, en los que respecta a la correlación de parámetros de cocción -deshidratación, es posible optimizar a través de maximización de granos no dañados, minimización de tiempo de rehidratación y maximización del índice de solubilidad del almidón en agua, como indicadores de la calidad estructural de la quinua deshidratada instantánea.

Hipótesis Específico 3: La vida útil de la quinua deshidratada instantánea variedad negra ayrampo esta correlacionada con la temperatura, humedad relativa ambiental.

La vida útil es el período de tiempo que corresponde, en condiciones de almacenamiento apropiadas, a una disminución tolerable en la calidad de un alimento envasado, la vida útil de un producto generalmente corresponde al final de su comercialización en términos de un daño o falla inaceptable de su aspecto físico y características sensoriales (Alamprese et al., 2017a).

La vida útil de un producto depende de muchos factores, como, por ejemplo: ambientales, humedad, temperatura a la cual se expone, el proceso térmico que sufre, de la calidad de las materias primas que lo componen, entre otros (Baldizón, 2011).

La distribución Weibull fue originalmente presentada por el sueco Waloddi Weibull que actualmente se puede considerar como una de las distribuciones más importantes en test de vida e ingeniería de confiabilidad (Aly, 2016).

En alimentos de baja humedad, el primer fenómeno está relacionado con la absorción de agua del entorno circundante, y la oxidación de lípidos es sin duda la principal causa de las pérdidas de calidad de productos de baja humedad que contienen harinas (Alamprese et al., 2017a).

La vida útil de la quinua deshidratada instantánea variedad negra ayrampo esta correlacionada con la temperatura, humedad relativa ambiental. Tiempo que transcurre entre la producción/envasado del producto y el punto en el cual se vuelve inaceptable bajo determinadas condiciones ambientales (Ellis, 1994).

La distribución de Weibull y sus extensiones se consideran los modelos más importantes en las estadísticas modernas debido a su capacidad para ajustar datos de diversos campos, desde datos de vida hasta datos meteorológicos u observaciones realizadas en economía y administración de empresas, en hidrología, en biología, y en las ciencias de la ingeniería (Aly, 2016). Debido a sus diversas formas de la función de densidad de probabilidad y su conveniente representación de la función de distribución / supervivencia, la distribución de Weibull se ha utilizado muy eficazmente para analizar datos de toda la vida, particularmente cuando los datos están censurados, lo cual es muy común en la mayoría de los casos experimentos de prueba.

Por lo expuesto, podemos afirmar que la presente hipótesis 3 de la presente tesis es verdadera, en lo que respecta, la vida útil de la quinua deshidratada instantánea variedad negra ayrampo esta correlacionada con la temperatura, humedad relativa ambiental.

4.2 Análisis e interpretación

Objetivo 1: Correlacionar de parámetros de cocción, a través de maximización de índice de absorción de agua del almidón, minimización de desprendimiento de cotiledones y maximización de la gelatinización del almidón, como indicadores de la calidad estructural de la quinua cocida.

Ajuste de modelos polinomiales

Los resultados del ajuste polinomial y análisis de la varianza muestran que todos los modelos predictivos polinómicos fueron estadísticamente significativos (nivel de

confianza 95%). Además, todos los modelos ajustados presentaron coeficientes de determinación cercanos a la unidad ($R^2 \geq 0.9$) lo cual indica que los modelos explican satisfactoriamente la correlación de las variables respuestas o dependientes; en consecuencia, las ecuaciones polinómicas de segundo orden obtenidas pueden ser usadas para la predicción de las variables de índice de absorción de agua (g/g), cotiledones desprendidos (%) y gelatinización (%) de los componentes de la quinua cocida variedad ayrampo en función de la presión de vapor de cocción y tiempo. Tres modelos predictivos fueron obtenidos (para índice de absorción de agua (g/g), cotiledones desprendidos (%) y gelatinización (%)) para la cocción de quinua, usando el enfoque polinomial (Figuras 9 - 11).

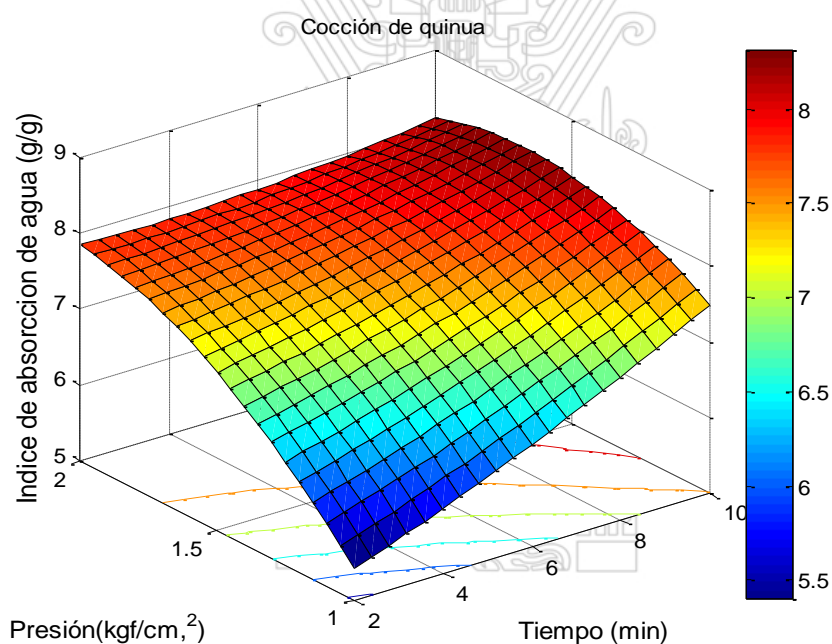


Figura 9. Índice de absorción de agua (g/g) durante la cocción de quinua negra ayrampo.

Fuente: Elaboración Propia.

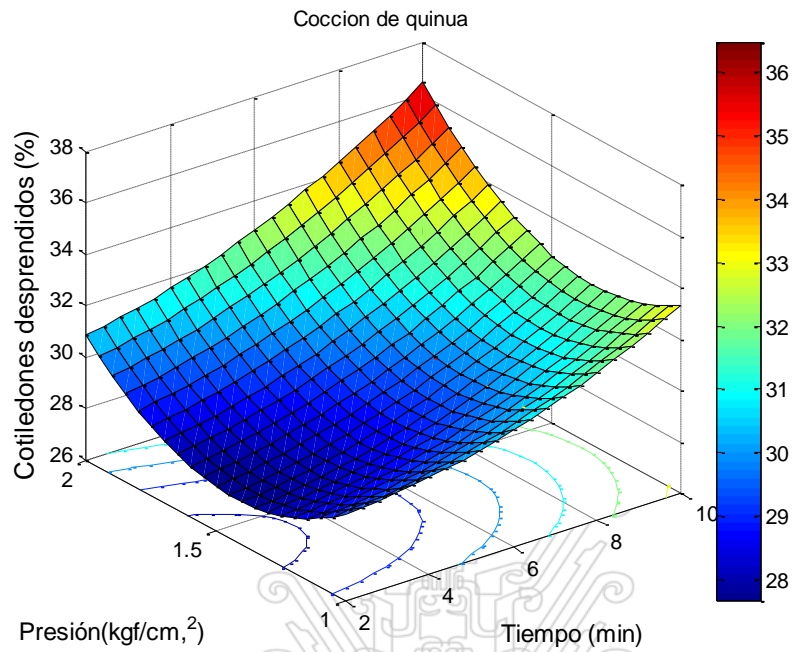


Figura 10. Desprendimiento de Cotiledones durante la cocción de quinua negra ayrampo.

Fuente: Elaboración Propia.

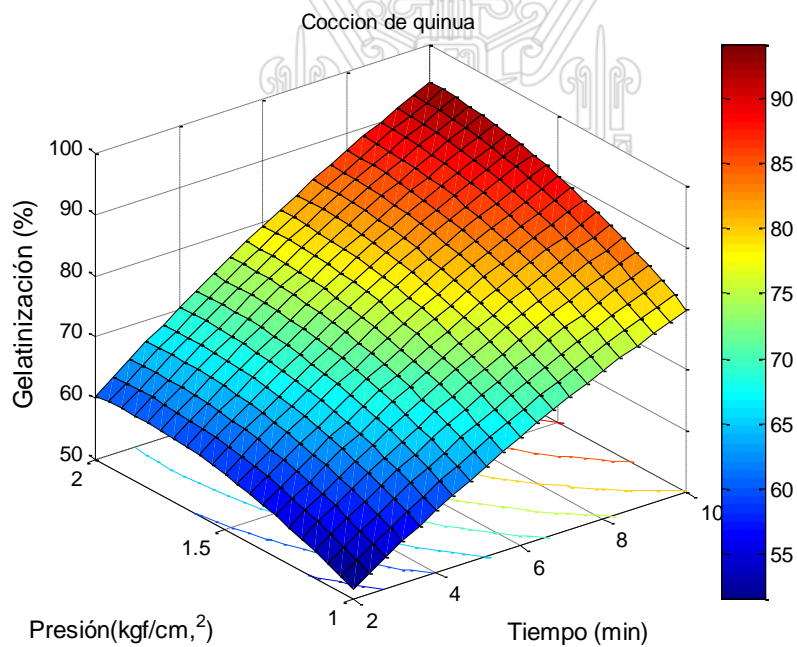


Figura 11. Gelatinización durante la cocción de quinua negra ayrampo.

Fuente: Elaboración Propia.

Los coeficientes de correlación del ajuste polinomial evaluado a través del análisis de varianza (ANVA) muestran una significancia de valor p menor del valor alfa (5%) o un nivel del 95% de confianza, confirmando así la correlación de las variables dependientes con las independientes según el objetivo planteado, como se puede apreciar en la Tabla 13. Además, observando los resultados de los coeficientes presenta un modelo estadístico de tipo cuadrático con 6 coeficientes para cada respuesta consistente en: índice de absorción de agua, desprendimiento de cotiledón y gelatinización del almidón de quinua cocido en función de la presión de vapor de cocción (X_1) y tiempo de cocción (X_2) como se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9. Análisis de la varianza de los modelos predictivos polinómicos para las respuestas durante la cocción de quinua negra ayrampo.

Factores		índice de absorción de agua(g/g)		Desprendimiento de cotiledones (%)		Gelatinización (%)	
		coeficientes	valor-p	coeficientes	valor-p	coeficientes	valor-p
Ca-Modelo	β_0	-1.5794		47.7240		9.2880	
x_1 (Presión)	β_1	0.4073	0.0011	-0.3323	0.0595	4.3995	0.0000
x_2 (Tiempo)	β_2	8.4433	0.0043	-27.9250	0.0030	45.2825	0.0000
x_1^2	β_{11}	0.0064	0.0581	0.0508	0.0176	-0.1329	0.0006
x_2^2	β_{22}	-1.8500	0.6231	9.6500	0.3165	-12.6450	0.0045
x_1x_2	β_{12}	-0.2250	0.0318	0.2125	0.5102	0.7088	0.0114
R^2		0.9181	0.0033	0.8819	0.0094	0.9978	6.82e-08

IAA: Índice de absorción de agua

Fuente: Elaboración propia

Los términos significativos se incluyeron en los modelos cuadráticos como se muestra en Tesis publicada con autorización del autor
 No olvide citar esta tesis. Cabe señalar aquí que los X_1 y X_2 también se incluyeron en los

UNFV

modelos si sus efectos de correlación fueron significativos, aunque sus únicos efectos parecían ser insignificantes. Después de eso, los datos experimentales de cada respuesta se ajustaron en estos modelos cuadráticos para obtener los valores de ajuste de los coeficientes como aparecieron en las ecuaciones 15 - 17.

$$Y1(\text{IAA}) = -1.5794 + 0.4073X1 + 8.4433X2 + 0.0064X1^2 - 1.85X2^2 - 0.225X1X2 \quad (15)$$

$$Y2(\text{DC}) = 47.724 - 0.3323X1 - 27.925X2 + 0.0508X1^2 + 9.65X2^2 + 0.2125X1X2 \quad (16)$$

$$Y3(\text{G}) = 9.2880 + 4.3395X1 + 45.2825X2 - 0.1329X1^2 - 12.645X2^2 + 0.7088X1X2 \quad (17)$$

Dónde:

IAA: Índice de absorción de agua (g/g)

DC: desprendimiento de cotiledones (%)

G: Gelatinización (%)

X1: presión (kgf/cm²)

X2: tiempo (min)

Optimización múltiple

El método de la función de conveniencia puede ser aplicado a los alimentos y al sistema de procesamiento con el propósito de optimizar los diferentes factores. En el caso de la cocción de quinua a alta presión con vapor pueden ser usados para medir la cocción a través de los indicadores de: índice de absorción de agua (g/g), cotiledones desprendidos (%) y gelatinización (%), costo, etc., solos o combinados. En la presente investigación,

las condiciones óptimas para la cocción de quinua variedad negra ayrampo, fueron

encontradas usando el método de la función de conveniencia programada de acuerdo con el siguiente criterio: maximizar el índice de absorción de agua (g/g), minimizar el desprendimiento de cotiledones (%) y maximizar la gelatinización (%) (Figuras 12-15), que también fueron aplicados por, Ahmed, Qazi, and Jamal (2016), (Corzo, Bracho, Vásquez, & Pereira, 2008; Corzo & Gomez, 2004).

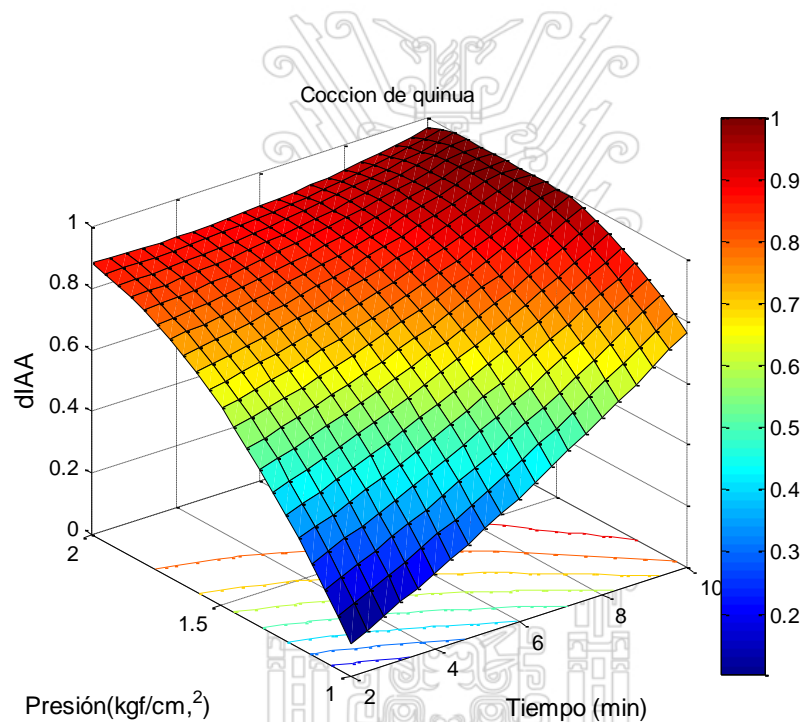


Figura 12. Maximización de función de conveniencia para el índice de absorción de agua (g/g).

Fuente: elaboración propia

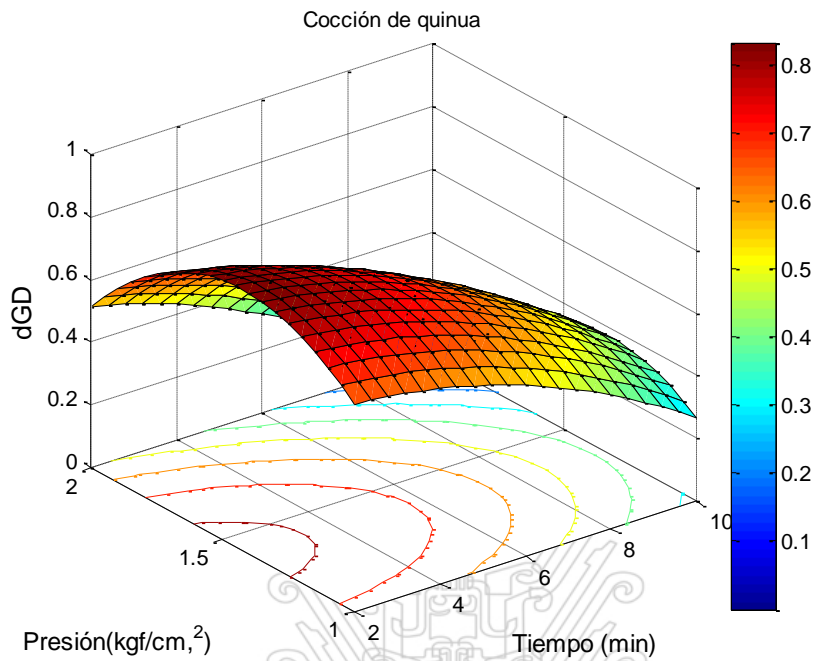


Figura 13. Minimización de función de conveniencia individual para desprendimiento de cotiledones.
Fuente: elaboración propia

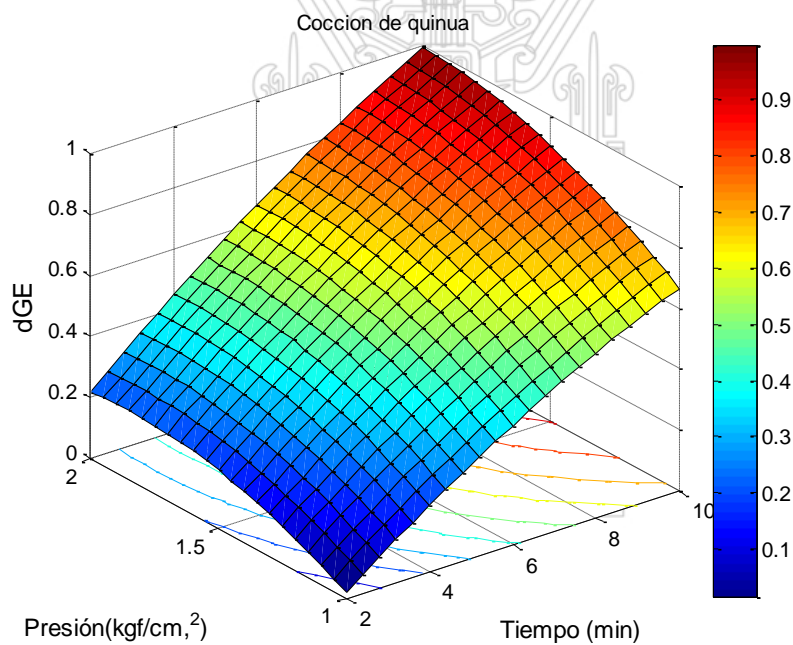


Figura 14. Maximización de función de conveniencia individual para desprendimiento para Gelatinización.

Fuente: elaboración propia

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNFV

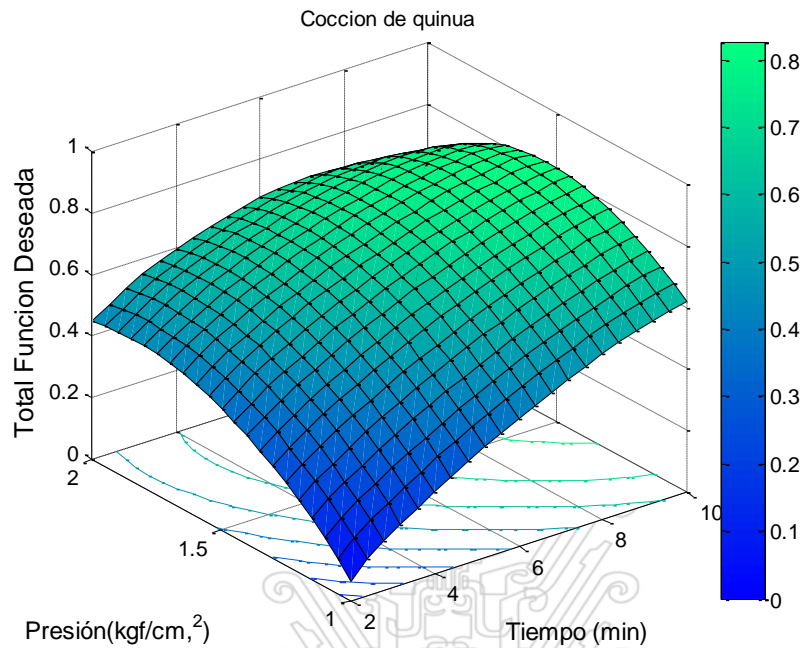


Figura 15. Función de conveniencia total para optimización de cocción de quinua negra ayrampo.

Fuente: elaboración propia

Las superficies de los valores de conveniencia individuales y totales para la quinua variedad negra ayrampo (Figuras 17 -19), fueron obtenidas usando funciones gráficas con los valores de la función de conveniencia calculados a partir de diferentes niveles de presión de vapor (1, 1.5 y 2 kgf/cm^2) y tiempos de proceso (2, 6 y 10 min). La región del valor óptimo de la función conveniencia (D_T) fueron identificados con círculos verdes (Figura 20). Tal es el caso de quinua variedad negra ayrampo, la zona óptima puede observarse como una cuesta estrecha en el nivel máximo de presión (1.55 kgf/cm^2), y 9.6 minutos. Adicionalmente es posible determinar una zona de baja conveniencia que se manifiesta como una caída abrupta en el valor de DT cercano a los valores mínimos de presión y tiempo, esto es debido a los valores de conveniencia individual para el índice de absorción de agua (dIAA) que hacen máximos los valores, cercanos al máximo de presión y tiempo, tienden a cero, teniendo en cuenta la restricción de maximización de

IAA. Analizando la función de conveniencia, puede apreciarse una zona óptima en forma de una cuesta extendida que corresponde a valores máximos de presión y tiempos de 6 a 9.6 minutos.

La condición de procesamiento óptimas para la cocción de quinua fue obtenida de acuerdo con las soluciones matemáticas de la función de conveniencia total considerando el criterio de optimización (Tabla 10). La solución para la condición óptima que maximiza el valor de la función de conveniencia total fue de 0.8267. La correlación de los parámetros de cocción, a través de maximización de índice de absorción de agua del almidón, minimización de desprendimiento de cotiledones y maximización de la gelatinización del almidón, como indicadores de la calidad estructural de la quinua cocida son: Presión = 1.55 kgf/cm²) y Tiempo = 9.6 min para llegar a una cocción óptima medida con los indicadores de calidad estructural de la quinua cocida, a través de la cuantificación de índice de absorción de agua = 8.2156 (g/g), cotiledones desprendidos = 32.276 (%) y gelatinización = 89.63 %.

Tabla 10. Condiciones óptimas de operación para la cocción de quinua variedad negra ayrampo.

Producto	Condiciones óptimas		Respuestas optimizadas			
	Presión (kgf/cm ²)	Tiempo(min)	IAA(g/g)	Cotiledones desprendidos (%)	Gelatinización (%)	DT max
Objetivo	-	-	Max.	Min.	Max.	
Quinua	1.550	9.6000	8.2156	32.2763	89.6303	0.8267
Θ	-	-	1	1	1	-
vi	-	-	3	1	3	-

vi importancia relativa asignada a cada respuesta; Θ factor de peso para las restricciones

Objetivo 2: Correlacionar de parámetros de cocción - deshidratación, a través de la maximización de granos no dañados, minimización de tiempo de rehidratación y maximización del índice de solubilidad del almidón en agua, como indicadores de la calidad estructural de la quinua deshidratada instantánea.

Ajuste de modelos polinomiales

Los resultados del ajuste polinomial y análisis de la varianza muestran que todos los modelos predictivos polinómicos fueron estadísticamente significativos (nivel de confianza 95%). Dichos modelos ajustados presentaron coeficientes de determinación cercanos a la unidad ($R^2 \geq 0.9$), lo cual indica que los modelos explican satisfactoriamente la correlación de las variables dependientes; en consecuencia, los modelos matemáticos obtenidas fueron de segundo orden, pueden ser usadas para la predicción de las variables de granos no dañados (%), índice de solubilidad en agua (%), y tiempo de rehidratación (min) de la quinua deshidratada instantánea, en función de la presión de vapor de cocción y temperatura de deshidratación (Figuras 16 -18).

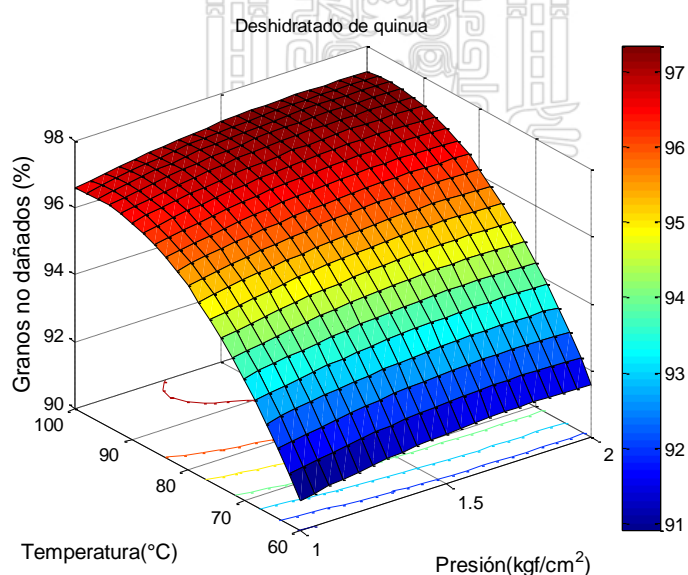


Figura 16. Granos no dañados durante la cocción – deshidratación de quinua negra

Tesis publicada con autorización del autor.
No olvide citar esta tesis

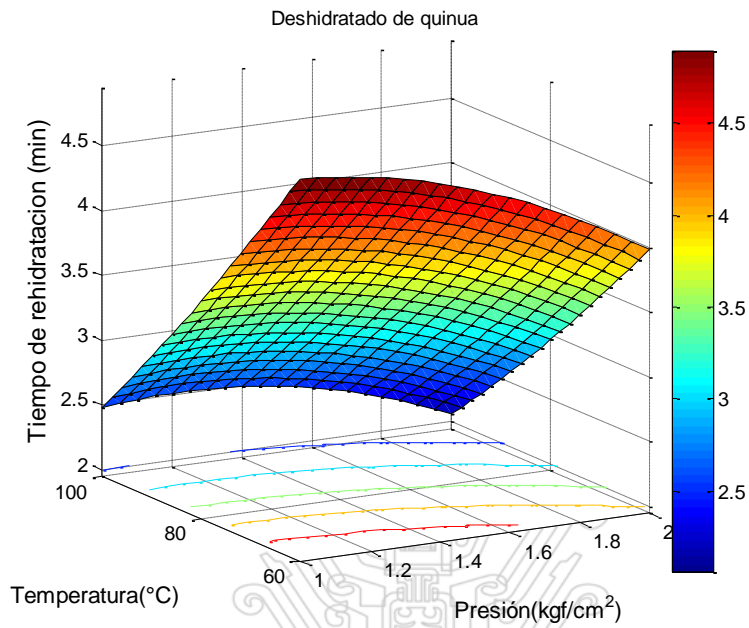


Figura 17. Tiempo de rehidratación de quinua negra ayrampo deshidratado.

Fuente: elaboración propia

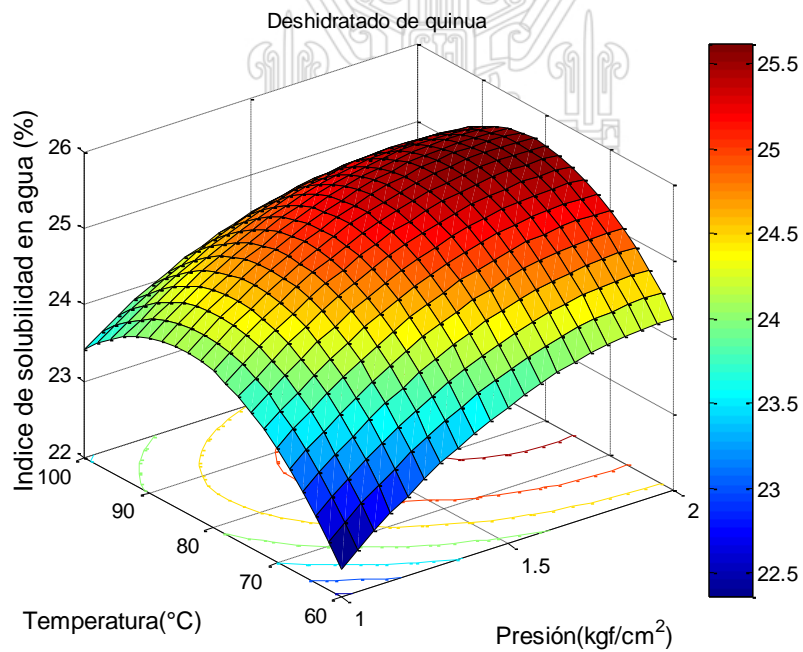


Figura 18. Índice de solubilidad en agua de quinua negra ayrampo deshidratado.

Fuente: elaboración propia

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNFV

Los coeficientes de correlación del ajuste polinomial evaluado a través del análisis de varianza (ANVA) muestran una significancia de valor p menor del valor alfa (5%) o un nivel del 95% de confianza, confirmando así la correlación de las variables dependientes con las independientes según el objetivo planteado, como se puede apreciar en la Tabla 15. Observando los resultados de los coeficientes presenta un modelo estadístico de tipo cuadrático con 6 coeficientes para cada respuesta consistente en: granos no dañados, tiempo de rehidratación e índice de solubilidad en agua del almidón, de quinua deshidratada instantáneo en función de la presión de vapor de cocción(X_1) y temperatura de deshidratación (X_2) como se muestra en la Tabla 11.

Tabla 11. Análisis de la varianza de los modelos predictivos polinómicos para las respuestas durante la cocción- secado de quinua variedad negra ayrampo.

Factores		Granos no dañados (%)		Tiempo de rehidratación(min)		índice de solubilidad en agua (%)	
		coeficientes	valor-p	coeficientes	valor-p	coeficientes	valor-p
Ca-Modelo	β_0	53.500		9.6250		-3.3275	
X1(Presión)	β_1	3.667	0.4393	0.5833	0.0001	8.7283	0.0004
X2(Temperatura)	β_2	0.842	0.0004	-0.0979	0.0000	0.5053	0.0177
X1 ²	β_{11}	-1.000	0.6932	-0.7500	0.0167	-1.9350	0.0268
X2 ²	β_{22}	-0.004	0.0274	0.3153	1.20	-0.0029	0.0004
X1X2	β_{12}	0.0000	1.0000	0.0125	0.0364	-0.0173	0.2499
R ²		0.9101	0.0043	0.9934	1.855e-06	0.9589	4.345e-04

Índice de solubilidad en agua= ISA

Fuente: Elaboración propia

Además, todos los modelos ajustados presentaron coeficientes de determinación cercanos a la unidad ($R^2 \geq 0.9$) lo cual indica que los modelos explican satisfactoriamente la variabilidad de las respuestas; en consecuencia, las ecuaciones polinómicas de segundo orden obtenidas pueden ser usadas para la predicción de las variables de granos no dañados (%), tiempo de rehidratación (min) e índice de solubilidad en agua (%). El modelo matemático fue un modelo cuadrático obtenido a partir del análisis de regresión para las variables dependientes en términos de las variables independientes como presión de vapor de cocción y temperatura de deshidratación se desarrolló de la siguiente manera Ecuaciones 18 - 20:

$$Y4(\text{GND})= 53.50 + 3.667X1 + 0.842X2 - 1.00X1^2 - 0.004X2^2 - 0X1X2 \quad (18)$$

$$Y5(\text{TR})= 9.625 + 0.5833X1 - 0.0979X2 - 0.75X1^2 + 0.3153 X2^2 + 0.0125X1X2 \quad (19)$$

$$Y6(\text{ISA})= -3.3275 + 8.7283X1 + 0.5053X2 - 1.935X1^2 - 0.0029 X2^2 - 0.0173X1X2 \quad (20)$$

Dónde:

GND: Granos no dañados (%)

TR: Tiempo de rehidratación (min)

ISA: Índice de solubilidad en agua (%)

X1: presión (kgf/cm^2)

X2: Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)

La significación del coeficiente de modelo cuadrático ajustado se evaluó mediante el uso del valor -p.

Optimización múltiple

El método de la función de conveniencia puede ser aplicado a los alimentos y al sistema de procesamiento con el propósito de optimizar los diferentes factores. En el caso de la deshidratación a presión de cocción (kgf/cm^2) y temperatura ($^{\circ}\text{C}$) de deshidratado a través de los indicadores de: granos no dañados (%), tiempo de rehidratación (min) e índice de solubilidad en agua (%). En la presente las condiciones óptimas de deshidratado de quinua variedad negra ayrampo, fueron encontradas usando el método de la función de conveniencia programada en Matlab® 7.2 (Mathworks, Natick, MA) de acuerdo con el siguiente criterio: maximizar los granos no dañados (%), minimizar el tiempo de rehidratación (min) y maximizar el índice de solubilidad en agua (%) (Figuras 24-26). Los modelos polinomiales de segundo orden, obtenidos mediante regresión polinomial (RP), fueron usados para cada respuesta maximizar los granos no dañados (%), minimizar el tiempo de rehidratación (min) y maximizar el índice de solubilidad en agua (%), con el fin de determinar zonas óptimas de cocción y el deshidratado de quinua variedad negra ayrampo.

Las superficies de los valores de conveniencia individuales y totales (Figuras 19 a 22) para la quinua variedad negra ayrampo, fueron obtenidas usando funciones gráficas de Matlab de acuerdo con los valores de la función de conveniencia calculados a partir de diferentes niveles de presión de vapor (1, 1.5 y 2 kgf/cm^2) y temperatura de deshidratado (60, 80 y 100 $^{\circ}\text{C}$). La región del valor óptimo de la función conveniencia (D_T) fueron identificados con círculos grises. Tal es el caso de quinua variedad negra ayrampo, la zona óptima puede observarse como una cuesta estrecha en el nivel máximo de presión (1.95 kgf/cm^2), y temperatura de deshidratado 90 $^{\circ}\text{C}$.

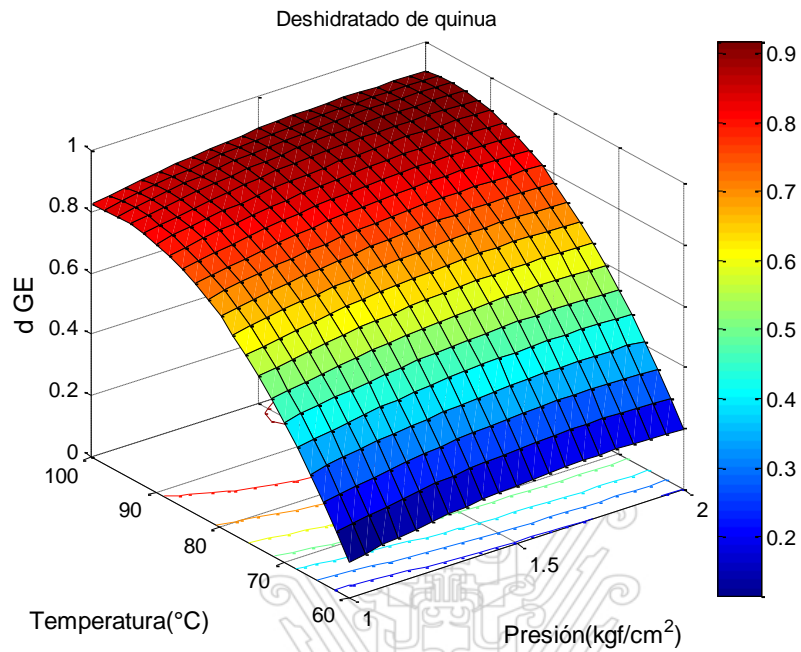


Figura 19. Maximización de función de conveniencia para granos no dañados.

Fuente: elaboración propia

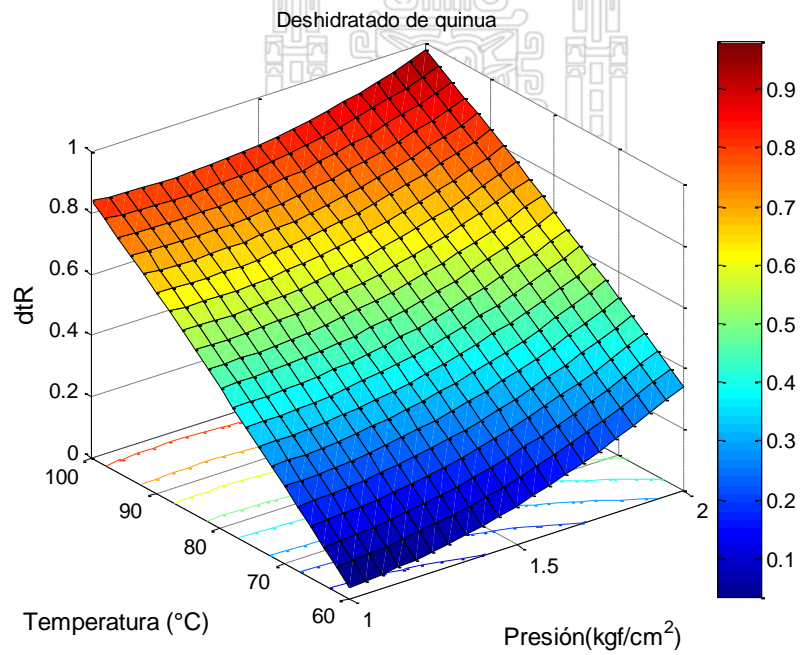


Figura 20. Maximización de función de conveniencia para tiempo de rehidratación

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Fuente: elaboración propia

UNFV

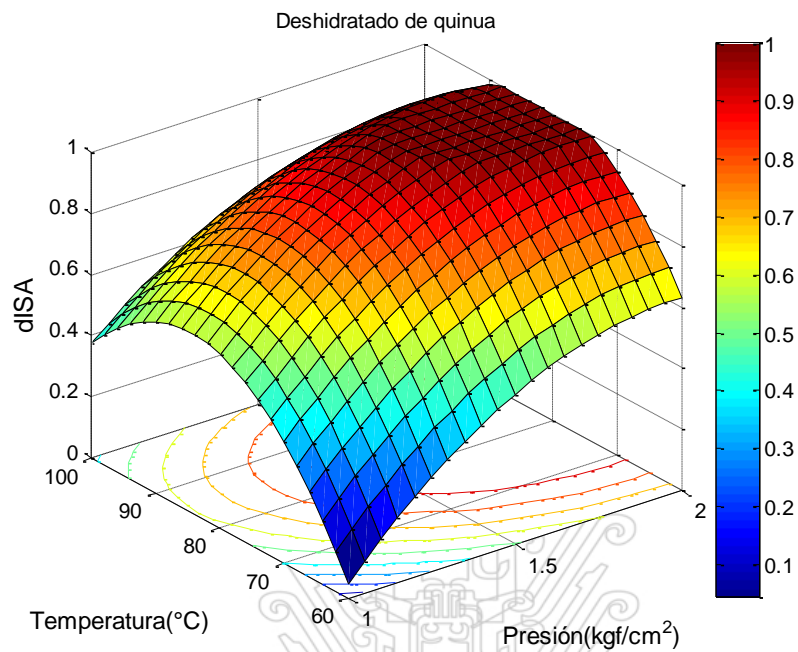


Figura 21. Maximización de función de conveniencia para índice de solubilidad en agua.

Fuente: elaboración propia

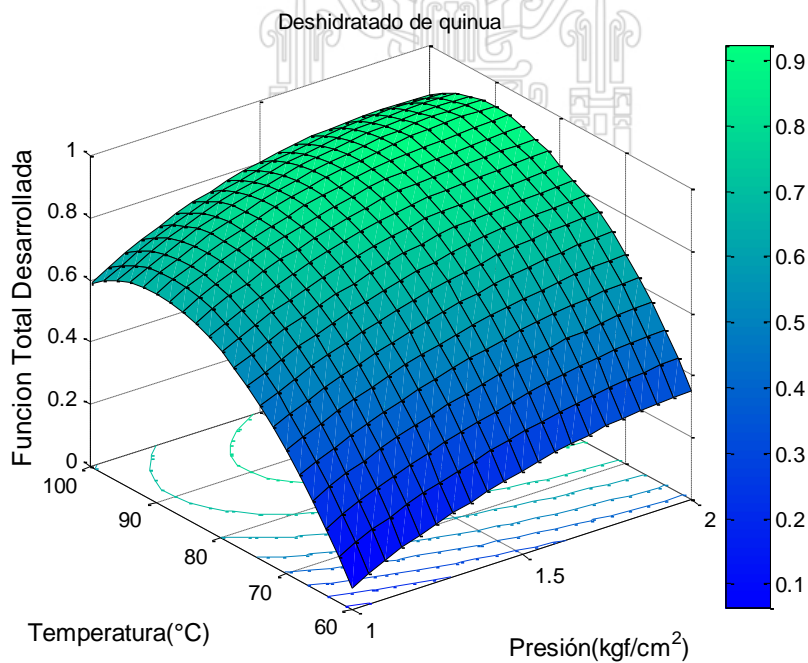


Figura 22. Función de conveniencia total de optimización cocción- deshidratación.

Adicionalmente es posible determinar una zona de baja conveniencia que se manifiesta como una caída abrupta en el valor de DT cercano a los valores máximos de presión y temperatura, esto es debido a los valores de conveniencia individual para el índice de solubilidad en agua (dIAA) que hacen máximos los valores de ISA, cercanos al valor mínimo de presión y temperatura, tienden a cero, teniendo en cuenta la restricción de maximización de ISA. Analizando la función de conveniencia, puede apreciarse una zona óptima en forma de una cuesta extendida que corresponde a valores máximos de presión de 1.95 kgf/cm² y temperatura de deshidratado 90°C.

La condición de procesamiento óptimas para la cocción-deshidratación de quinua fue obtenida de acuerdo con las soluciones matemáticas de la función de conveniencia total considerando el criterio de optimización seleccionado (Tabla 12). Una solución para la cocción de quinua negra ayrampo fue correspondiente a la condición óptima que maximizan el valor de la función de conveniencia total (0.92).

Tabla 12. Condiciones óptimas de operación para la cocción-deshidratado de quinua variedad negra ayrampo

Producto	Condiciones optimas		Respuestas optimizadas		ISA (%)	DT max
	Presión de cocción (kgf/cm ²)	Temperatura de deshidratado(°C)	Granos no dañados (%)	Tiempo rehidratación(min)		
Objetivo	-	-	Max.	Min.	Max.	
Quinua	1.95	90	97.16	2.56	25.42	0.92
Θ	-	-	1	1	1	-
vi	-	-	3	1	3	-

vi importancia relativa asignada a cada respuesta; Θ factor de peso para las restricciones

Objetivo 3: Correlacionar la vida útil de la quinua deshidratada instantánea variedad negra ayrampo con la temperatura, humedad relativa ambiental.

La vida útil de las diferentes muestras de quinua deshidratada instantánea almacenadas a 20 °C se determinó aplicando el análisis de supervivencia, este método ya utilizado en otros estudios por (Bili & Taoukis, 1998; Cardelli & Labuza, 2001; Duyvesteyn, Shimoni, & Labuza, 2001; Freitas & Costa, 2006; Giménez, Gagliardi, & Ares, 2017a) Este método evalúa el tiempo, a menudo llamado tiempo de supervivencia, requerido para que ocurra un evento de interés, incluso cuando este tiempo no puede ser observado exactamente. La vida útil, es decir, el valor de tiempo correspondiente a $\% \sum H = 69,3$, (fallas del producto en 50%), y se calculó por regresión lineal para las temperaturas de 40, 50 y 60°C respectivamente, como podemos observar los resultados para las diferentes temperaturas extremas de almacenamiento en la Figura 28.

Calculo de los parámetros

Los valores mostrados en el Tabla 13, los valores de forma (β) y escala (α) se calcularon para los valores de 40, 50 y 60 °C respectivamente a partir de las curvas de regresión del ploteo de riesgos acumulados de Weibull del atributo sensorial de presencia de formación de aldehídos en las muestras como consecuencia de la degradación del compuesto de la quinua como es el lípido y la Figura 23 se usó para estimar la vida útil a 20°C, los parámetros de forma (β) y escala (α) para 20°C se calcularon haciendo uso de soluciones numéricas de interpolación de Lagrange, Figura 22.

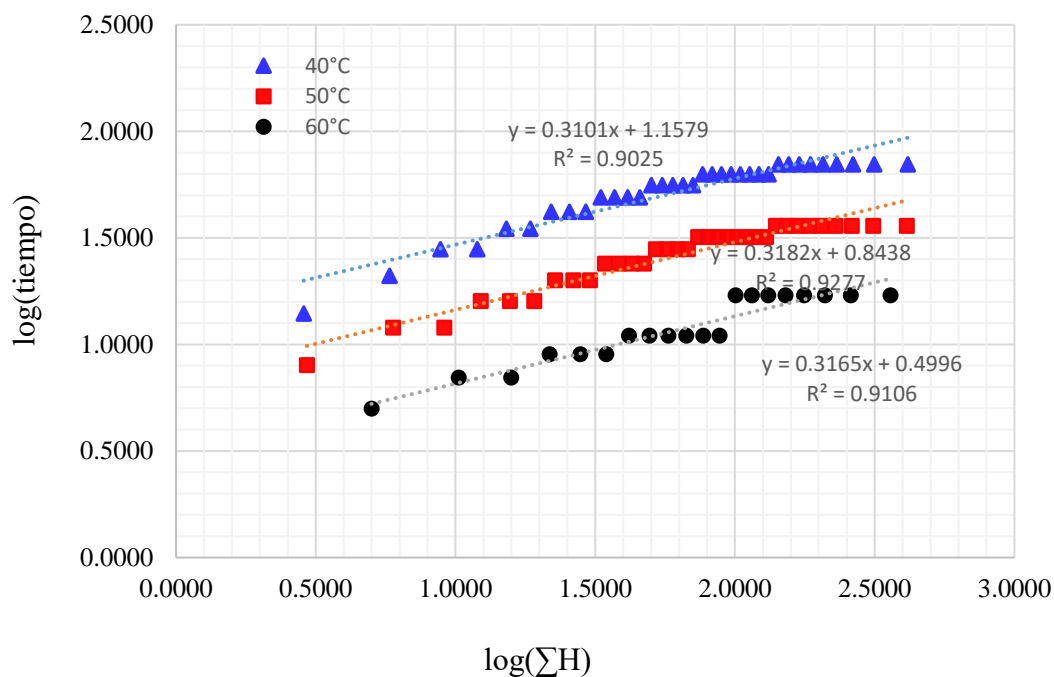


Figura 23. Ploteo de Weibull para datos experimentales: para 40, 50 y 60 °C respectivamente de almacenamiento de quinua instantánea.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13. Valores del parámetro de forma y de escala para el atributo sensorial (presencia de alhído) evaluados en la quinua instantánea almacenado a diferentes temperaturas a pruebas aceleradas

T(°C)	α	β
20	36.68	3.68
40	14.58	3.225
50	6.98	3.142
60	1.68	3.067

Fuente: elaboración propia

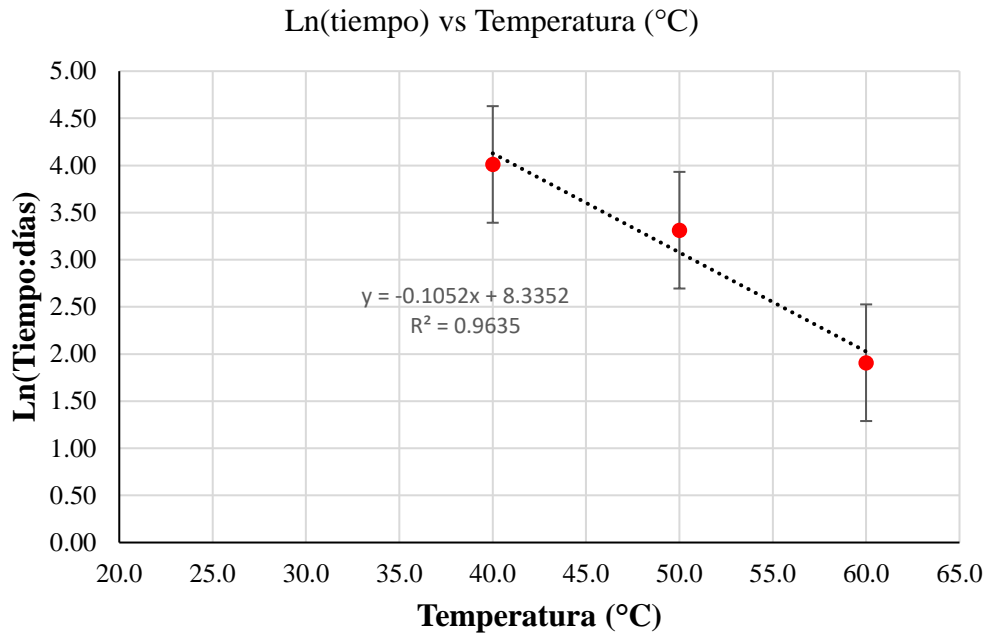


Figura 24. Ploteo de vida útil calculado usando análisis de falla.

Fuente: Elaboración propia

Estimación de vida útil para las condiciones de prueba y normal

De acuerdo a los resultados mostrados de en el Tabla 14, el tiempo de vida útil es de 779 días (aproximadamente 2.2 años), considerando el atributo sensorial (presencia de aldehído).

Tabla 14. Tiempo de vida útil (días) a diferentes temperaturas de almacenamiento para la quinua deshidratado instantáneo.

Temperatura (°C)	Tiempo (días)
20	799
40	54
50	27
60	12

Fuente: elaboración propia

CAPITULO V

Discusión

5.1 Discusión

A. Del Objetivo 1: Correlacionar de parámetros de cocción, a través de maximización de índice de absorción de agua del almidón, minimización de desprendimiento de cotiledones y maximización de la gelatinización del almidón, como indicadores de la calidad estructural de la quinua cocida.

El comportamiento del grano de quinua cruda sin procesar se determinó mediante el remojo de muestras, con un contenido de humedad inicial (w_0) del 13.2% (b.s.) en diferentes tiempos a temperatura ambiental del agua (20°C). se utilizaron un baño maría para mantenerla temperatura constante de 20°C, a pesar que la temperatura del aire del ambiente estuvo alrededor de 20°C, las muestras fueron colocados dentro de una bolsa de malla fina de nylon y estas fueron sumergidos dentro del agua acondicionada. El ensayo fue por repetición de 3. Las muestras fueron retirándose a intervalos de tiempos y antes de ser pesados fueron secados las superficies haciendo uso un papel toalla. Los granos fueron pesados (w_s) para determinar la humedad. La capacidad de absorción de agua (w_{ac}) del grano de quinua fue determinado usando la siguiente expresión matemática.

Se sabe que el proceso de hidratación es importante para el diseño y la optimización de las operaciones de procesamiento de alimentos (Sharanagat *et al.*, 2016). Las propiedades físicas son importantes para el diseño y desarrollo de maquinarias de procesamiento, manipulación y transporte, así como para correlacionar el funcionamiento de la unidad de

proceso con la característica de los alimentos. Los carbohidratos son un componente importante de los cereales y pseudocereales. Por lo tanto, su gelatinización es la ser razón durante el proceso de cocción. En el proceso de cocción con vapor saturado, el contenido de humedad inicial del alimento, es muy importante, el tiempo cocción medido por la gelatinización del granulo de almidón que dependerá del total de agua que absorba y se rompa el granulo y finalice la cocción.

De los resultados obtenidos podemos observar el aumento del contenido de humedad con el tiempo en la Figura 10. El grano de quinua ha mostrado una mayor velocidad de absorción en fase de difusión seguida de una absorción más lenta en la última fase de la fase de relajación. Se han observado curvas similares para otros granos de cereales (Bello, Tolaba, Aguerre, & Suarez, 2010)

Este fenómeno se observa debido a la disminución de la fuerza motriz de difusión a medida que se aproxima la saturación en la fase de relajación. Fue un tiempo de 150 min para que el agua pase de la fase de la difusión a la fase de la relajación. El agua absorbida en la primera fase es casi tres veces la absorbida en la fase secundaria. También se observa que, con el aumento de la temperatura de remojo, se absorbe más cantidad de agua en la primera fase. Se encontró que las capacidades de absorción de agua a la temperatura 20 °C fue de 60%. Los resultados estuvieron similitud a los estudios de (Bello *et al.*, 2010).

Durante el proceso de hidratación, el contenido de humedad aumentó rápidamente al inicio de la inmersión. Sin embargo, la tasa de absorción de agua disminuyó y se estabilizó a medida que trascurría el tiempo y el contenido de humedad alcanzado hasta el punto de

saturación dentro del grano de quinua. El modelo de **Peleg** podría predecir satisfactoriamente el contenido de humedad del grano durante el remojo (Karizaki, 2016). La cocción se considera como un proceso isotérmico a la temperatura del agua, en donde la distribución de humedad dentro del grano es uniforme, en donde existe una fuerza impulsora del movimiento de humedad durante la cocción (gradiente de concentración de humedad a lo largo de los ejes) (Karizaki, 2016).

Del intercepto de las figuras 13a, 13b y 13c es la figura 15d, resultados de la optimización simultánea (aplicando la función de deseabilidad), indicaron que los niveles óptimos fueron: presión de vapor 1.55 kgf/cm² de cocción y tiempo de cocción 9.6 minutos, con las respuestas de maximización de índice de absorción de agua 8.22 g/g, minimización de cotiledones desprendidos 32.27 % y la maximización de gelatinización 89.63 % del almidón de quinua instantánea. Con el fin de probar la fiabilidad de los modelos en la predicción de respuestas óptimas y de acuerdo con los resultados de optimización obtenidos de la metodología superficie respuesta con la función de deseabilidad, los experimentos de verificación se llevaron a cabo en los niveles óptimos. Los resultados indicaron que los valores experimentales medios de índice de absorción de agua 8.62 g/g, minimización de cotiledones desprendidos 30.22 % y la maximización de gelatinización 90.12 %. Los resultados predichos coinciden bien con los resultados experimentales obtenidos utilizando condiciones óptimas ($p < 0,01$) que validan los modelos de superficie respuesta con una buena correlación.

El almidón es el carbohidrato de reserva más abundante en las plantas, y se encuentra en muchos órganos de plantas diferentes, incluyendo semillas, frutas, tubérculos y raíces

(Hu, Zhang, Jin, Xu, & Chen, 2017). La cocción desorganiza la estructura del almidón y

convierte la estructura cristalina en menos cristalina, es la principal razón para una mayor capacidad de absorción de agua del almidón cocido (Jafari, Koocheki, & Milani, 2017b). Similares resultados fueron obtenidos por (Gulati, Weier, Santra, Subbiah, & Rose, 2016).

Durante la cocción de alimentos, la cocción implica la hidrólisis térmica del almidón, este cambio es manifestado en el grado de gelatinización y dextrinización. El índice de absorción de agua mide la cantidad de agua absorbida por el almidón durante la cocción y puede usarse como índice de gelatinización (Pardhi *et al.*, 2016). Índice de absorción de agua depende de la disponibilidad de grupos hidrófilos que se unen a las moléculas de agua. Alto índice de absorción de agua es un indicador *in vitro* de buena digestibilidad del almidón (Pardhi *et al.*, 2016).

El índice de solubilidad en agua es un parámetro que indica la degradación de los gránulos de almidón (Sharma, Singh, & Singh, 2015). El aumento de la solubilidad del almidón durante la cocción podría resultar de la dispersión de moléculas de amilosa y amilopectina durante la gelatinización; mientras que la formación de compuestos de bajo peso molecular bajo condiciones severas (baja humedad y alta temperatura) es la razón principal para un aumento en la solubilidad en harinas (Jafari *et al.*, 2017b).

La solubilidad a altas temperaturas es más probable que se deba a la despolimerización del almidón. Esto se debe probablemente al mayor grado de gelatinización, desintegración de los gránulos del almidón y posible despolimerización del almidón que aumenta la solubilidad del almidón (Jafari *et al.*, 2017b). La degradación de los gránulos del almidón, que es el principal fundamento para el aumento del índice de solubilidad,

disminuye con la energía mecánica específica (Gulati *et al.*, 2016).

Las propiedades funcionales de los almidones dependen de su origen biológico, pero también de los procesos por los que han pasado. Presiones más altas conducirían a grandes cambios en sus temperaturas de gelatinización y viscosidad (Santos, Saraiva, & Gomes, 2014).

B. Del Objetivo 2: Correlacionar de parámetros de cocción - deshidratación, a través de la maximización de granos no dañados, minimización de tiempo de rehidratación y maximización del índice de solubilidad del almidón en agua, como indicadores de la calidad estructural de la quinua deshidratada instantánea.

Las figuras 15, muestran el cambio de porcentaje de granos dañados, como también los cambios en el tiempo de rehidratación y índice de solubilidad del almidón de la quinua cocido deshidratado respectivamente, como función de presión de cocción y temperatura de deshidratado. Como se ve los porcentajes de granos no dañados aumentan ligeramente cuando se incrementa la presión y se incrementa de manera notoria con la temperatura. Este cambio con la temperatura posiblemente sea a que con la temperatura sigue el proceso de cocción y consecuencia de ello el desprendimiento de los cotiledones, y esto es retenido cuando la deshidratación es muy notoria. Además de influir en las proteínas y su grado de polimerización, el secado a alta temperatura también puede tener efectos sobre la fracción de almidón. Los procesos hidrotermales a bajos contenidos de humedad y altas temperaturas de 100 °C y pueden alterar las propiedades fisicoquímicas del almidón. (Marti & Pagani, 2013) demostraron que principalmente se afectó la

organización de las hélices de almidón y su cristalinidad, por lo que la gelatinización del almidón fue retardada y las propiedades de cocción mejoradas.

Del intercepto de las figuras 15a, 15b y 15c es la figura 16d, resultados de la optimización simultánea (aplicando la función de deseabilidad), indicaron que los niveles óptimos fueron: presión de vapor 1.95 kgf/cm² de cocción y temperatura de deshidratado 90°C, con las respuestas de maximización de granos no dañados (97.16%), minimización de tiempo de rehidratación 2.56 min y la maximización de índice de solubilidad en agua 25.42% del almidón de quinua instantánea. Con el fin de probar la fiabilidad de los modelos en la predicción de respuestas óptimas y de acuerdo con los resultados de optimización obtenidos de la metodología superficie respuesta con la función de deseabilidad, los experimentos de verificación se llevaron a cabo en los niveles óptimos. Los resultados indicaron que los valores experimentales medios de granos no dañados (96.42%), minimización de tiempo de rehidratación 3 min y la maximización de índice de solubilidad en agua 25.6% del almidón de quinua instantánea. Los resultados predichos coinciden bien con los resultados experimentales obtenidos utilizando condiciones óptimas ($p < 0,01$) que validan los modelos de superficie respuesta con una buena correlación.

El contenido mayores cantidades de proteínas, interviene en el comportamiento de la textura, el comportamiento elástico podría ser explicadas por los perfiles de aminoácidos en su contenido, el amaranto y la quinoa contienen una cantidad mucho mayor de cisteína. Especialmente la proteína 2S en quinoa tiene que ser señalada debido a su alto contenido de cisteína (D'Amico *et al.*, 2015).

Las temperaturas altas de deshidratado indujeron reacciones de intercambio de grupos SH, por lo que se aumentó la flexibilidad. Por lo tanto, la alta cantidad de grupos SH sea probablemente responsable de la mayor elasticidad en la cocción (D'Amico *et al.*, 2015). Estos resultados confirmaron que la calidad de la proteína es obviamente más importante para aumentar la firmeza y elasticidad de la textura que la cantidad de proteína.

La formación de agregados de proteínas grandes e insolubles fue también predominantemente responsable de la firmeza y elasticidad de textura en pasta, los cambios inducidos por alta temperatura en la estructura de los polímeros proteínicos, que aumentan en tamaño y resistencia a la tracción, impiden la absorción de agua y dan como resultado una mayor firmeza de la textura (D'Amico *et al.*, 2015).

Los resultados óptimos mostrados en la Tabla 14, muestran condiciones de proceso optimo como presión de cocción de 1.95 kgf/cm² y temperatura de deshidratado de 90°C, para la maximización de granos no dañados en 97.16, minimización de tiempo de rehidratación (2.56 minutos) del grano de quinua instantáneo y maximización de índice de solubilidad en agua (25.42 %) del almidón.

Desde un punto de vista general, el proceso de rehidratación del material seco se describe como la combinación de las etapas de humedecimiento, hundimiento, dispersión e hinchamiento. Para los materiales a base de celulosa, la rehidratación se describe más comúnmente como una combinación de penetración de agua en capilares entre fibras y difusión de agua en fibrillas de celulosa (Déléris & Wallecan, 2017b). El transporte de agua dependerá de las condiciones de operación (la temperatura y las tasas de rehidratación).

La cinética de deshidratado es muy valiosa para la optimización del proceso y la mejora de la calidad del producto, y también es útil para el análisis del proceso de transferencia de masa y de calor durante el deshidratado (Santos *et al.*, 2014).

El secado por aire caliente convectivo, es comúnmente muy usado en la industria alimentaria. Las propiedades del alimento seco instantáneo se ven afectadas por cambios químicos y físicos. Los cambios químicos afectan principalmente a las características sensoriales, como el color, el sabor y el aroma, ya que los cambios físicos afectan a las propiedades de manipulación, como la característica de rehidratación, la textura y el tiempo de cocción (Jiao *et al.*, 2014).

El deshidratado a alta temperatura mejoró la calidad. La temperatura de deshidratado influye significativamente en las propiedades de textura, disminución de cocción y solubilidad de la proteína. A mayor temperatura de deshidratado, menor tiempo de cocción y la solubilidad de la proteína (D'Amico *et al.*, 2015).

Otra posible explicación de la disminución de la resistencia del gel después de las etapas de calentamiento y enfriamiento de la proteína quinoa a pH cercano a 7,0 es la presencia de enlaces disulfuro de proteína que permanecen intactos y reducen la flexibilidad de conformación de las proteínas (Mäkinen *et al.*, 2016).

Los almidones con alto contenido de amilosa requieren temperaturas superiores a 130 °C para ser completamente gelatinizado (Ocloo, Minnaar, & Emmambux, 2016, Lin *et al.*, 2016).

La birrefringencia granular de los gránulos pequeños parece ser algo más débil que la de los gránulos grandes cuando se compara bajo el mismo fondo. Los gránulos grandes con cruces maltesas brillantes desaparecen cuando las muestras se calientan a 100°C, lo que indica que los gránulos grandes exhibirán menos resistencia a la gelatinización. Esta alta resistencia proviene de las hélices dobles de amilosa en los gránulos pequeños que requieren alta temperatura y entrada de energía para disociarse completamente que las hélices dobles cortos en los gránulos grandes (Xu Chen et al., 2017)

C. Del Objetivo 3: Correlacionar la vida útil de la quinua deshidratada instantánea variedad negra ayrampo con la temperatura, humedad relativa ambiental.

En la Tabla 15, Observamos que los valores del parámetro de forma α son mayores a 1 en las temperaturas 40 - 60°C, Gacula y Kubala (1975) manifiestan que la velocidad de fallas es creciente para valores mayores a 1. Este resultado describe apropiadamente la velocidad de fallas del deterioro de un producto alimenticio. El valor de β para la temperatura de almacenamiento es de 3,68. (Cardelli & Labuza, 2001), mencionan que la distribución Weibull es simétrica para los valores comprendidos entre $2 < \beta < 4$, lo cual permite una mejor estimación del tiempo de vida útil del producto. Como se puede observar del Tabla 15, los valores de β calculados se encuentran dentro de este rango. El valor de la vida útil nominal a los límites de confianza al 95%, calculados probabilísticamente, para el atributo analizado se muestran en el Tabla 15.

El tiempo promedio de fallas (vida útil nominal), se interpreta como, el tiempo requerido para que el 50% de las muestras defectuosas sean detectadas como diferentes. Es decir, para el presente proyecto, supongamos que se aceptan el 50% de unidades defectuosas,

entonces si sólo se evalúa la descomposición del lípido de la quinua deshidratada instantánea, la vida en anaquel del producto sería menor, en un intervalo de confianza del 95%. Observamos que del atributo evaluado (presencia de aldehído), el tiempo promedio de falla es de 799 días almacenadas a temperatura de 20°C, sin empaque de protección, según el tipo de empaque de protección será mayor a este valor determinado.

La vida útil de los sensorial no sólo depende de los cambios en las características sensoriales del producto, sino de cómo los consumidores reaccionan a estos cambios, ya que deciden consumir un producto después de cierto tiempo de almacenamiento o no (Giménez et al., 2017a).

5.2 Conclusiones

De los resultados obtenidos según la hipótesis planteada llegamos a las siguientes conclusiones:

1. Los valores cinéticos de cocción térmica son: Tiempo de reducción decimal obtenido en los ensayos de cocción de quinua variedad negra ayrampo fue $D_{100} = 7.52$ min) y el valor del parámetro $Z = 19.7$ °C. Los parámetros óptimos de cocción son: presión 1.55 kgf/cm² y tiempo 9.6 minutos, el valor de la función de conveniencia total fue de 0.8267. Los modelos matemáticos que correlacionan las variables dependientes (IAA: índice de absorción de agua, DC: desprendimiento de cotiledones y G: gelatinización) e independientes se tienen como:

$$Y1(\text{IAA}) = -1.5794 + 0.4073X_1 + 8.4433X_2 + 0.0064X_1^2 - 1.85 X_2^2 - 0.225X_1X_2.$$

$$Y2(\text{DC}) = 47.724 - 0.3323X_1 - 27.925X_2 + 0.0508X_1^2 + 9.65 X_2^2 + 0.2125X_1X_2.$$

$$Y3(\text{G}) = 9.2880 + 4.3395X_1 + 45.2825X_2 - 0.1329X_1^2 - 12.645 X_2^2 + 0.7088X_1X_2.$$

2. Los parámetros óptimos de cocción- deshidratación fue de: presión de vapor de 1.95 kgf/cm² y temperatura de deshidratado 90°C para una función de conveniencia total de 0.92. Los modelos matemáticos que correlacionan las variables dependientes (GND: granos no dañados, TR: tiempo de rehidratación y ISA: índice de solubilidad en agua) y variables independientes son:

$$Y4(\text{GND}) = 53.50 + 3.667X_1 + 0.842X_2 - 1.00X_1^2 - 0.004X_2^2 - 0X_1X_2.$$

$$Y5(\text{TR}) = 9.625 + 0.5833X_1 - 0.0979X_2 - 0.75X_1^2 + 0.3153 X_2^2 + 0.0125X_1X_2.$$

$$Y6(\text{ISA}) = -3.3275 + 8.7283X_1 + 0.5053X_2 - 1.935X_1^2 - 0.0029 X_2^2 - 0.0173X_1X_2.$$

3. El tiempo de vida útil y la correlación con los parámetros de Weibull fue de: 779 días (aproximadamente 2.2 años) y $\alpha= 36.68$ y $\beta=3.68$.

5.3 Recomendaciones

De acuerdo a las discusiones y conclusiones del trabajo de investigación, planteamos las siguientes recomendaciones:

- Hacer estudios de cocción para otros tipos de alimentos y así tener base de informaciones de las variables de cocción de muchos alimentos, para fines de cálculos ingenieriles y diseños de equipos.
- Los resultados mostrados de cocción – deshidratación, hacer uso en el diseño de equipos y procesos, como es el caso de autoclaves, deshidratadores que ayudarán reducir el flujo de operaciones en el proceso y por ende costos y mejora de calidad de producto final.
- Investigar la posible influencia de varias variables como los diferentes tipos empaques, porque con diferentes tipos de empaques la vida útil sería menos crítico y más tiempo de vida, que sobre la base del estudio de sin empaque realizado en esta investigación.

5.4 Referencias bibliográficas

- Abderrahim, F., Huanatico, E., Segura, R., Arribas, S., Gonzalez, M. C., & Condezo-Hoyos, L. (2015). Physical features, phenolic compounds, betalains and total antioxidant capacity of coloured quinoa seeds (*Chenopodium quinoa* Willd.) from Peruvian Altiplano. *Food Chemistry*, 183, 83-90.
doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.03.029>
- Aguilera, J. M., Chiralt, A., & Fito, P. (2003). Food dehydration and product structure. *Trends in Food Science & Technology*, 14(10), 432-437.
doi:[http://dx.doi.org/10.1016/S0924-2244\(03\)00122-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0924-2244(03)00122-5)
- Ahmed, I., Qazi, I. M., & Jamal, S. (2016). Developments in osmotic dehydration technique for the preservation of fruits and vegetables. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 34(Supplement C), 29-43.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.01.003>
- Alamprese, C., Cappa, C., Ratti, S., Limbo, S., Signorelli, M., Fessas, D., & Lucisano, M. (2017a). Shelf life extension of whole-wheat breadsticks: Formulation and packaging strategies. *Food Chemistry*, 230(Supplement C), 532-539.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.03.092>
- Alamprese, C., Cappa, C., Ratti, S., Limbo, S., Signorelli, M., Fessas, D., & Lucisano, M. (2017b). Shelf life extension of whole-wheat breadsticks: Formulation and packaging strategies. *Food Chemistry*, 230, 532-539.
doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.03.092>
- Alonso-Cortés, A. L., & Forestal, U. d. V. D. d. I. A. y. (2010). *Corrección del modelo de Bigelow: aplicación en el cálculo de los efectos de cocción y de esterilización sobre "Bacillus coagulans" en una conserva de judías verdes ("Phaseolus vulgaris" var. "Helda") : tesis doctoral.*
- Aly, A. E. (2016). Prediction and reconstruction of future and missing unobservable modified Weibull lifetime based on generalized order statistics. *Journal of the Egyptian Mathematical Society*, 24(2), 309-318.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.joems.2015.04.002>
- Aparicio, C., Resa, P., Elvira, L., Molina-García, A. D., Martino, M., & Sanz, P. D. (2009). Assessment of starch gelatinization by ultrasonic and calorimetric techniques. *Journal of Food Engineering*, 94(3), 295-299.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.03.021>
- Araujo, C., Alicia, M. R., & Padilla, F. (2004). Caracterización del almidón nativo de *Dioscorea bulbifera* L. .
- Araujo Consuelo de Vizcarrondo, A. M. R., Fanny Padilla. (2004). Caracterización del almidón nativo de *Dioscorea bulbifera* L. Disponible en.
- Arendt, E. K., & Zannini, E. (2013). 12 - Quinoa *Cereal Grains for the Food and Beverage Industries* (pp. 409-438): Woodhead Publishing.
- Baldizón, C. G. C., V. G.; Molina Córdoba, M.E. (2011). Evaluación de la vida útil de una pasta de tomate mediante pruebas aceleradas por temperatura. *Ingeniería*, 21(2);, 31-38.
- Bello, M., Tolaba, M. P., Aguerre, R. J., & Suarez, C. (2010). Modeling water uptake in a cereal grain during soaking. *Journal of Food Engineering*, 97(1), 95-100.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.09.020>
- Bili, M., & Taoukis, P. S. (1998). Evaluation of shelf life of flavored dehydrated products using accelerated shelf life testing and the Weibull Hazard sensory

- analysis. In E. T. Contis, C. T. Ho, C. J. Mussinan, T. H. Parliment, F. Shahidi, & A. M. Spanier (Eds.), *Developments in Food Science* (Vol. 40, pp. 627-637): Elsevier.
- Birch, G. G., & Priestley, R. J. (1973). Degree of Gelatinisation of Cooked Rice. *Starch - Stärke*, 25(3), 98-100. doi:10.1002/star.19730250308
- Cardelli, C., & Labuza, T. P. (2001). Application of Weibull Hazard Analysis to the Determination of the Shelf Life of Roasted and Ground Coffee. *LWT - Food Science and Technology*, 34(5), 273-278. doi:<https://doi.org/10.1006/fstl.2000.0732>
- Casp, A. y. J. A. (1999). Procesos de conservación de Alimentos. 494.
- Corzo, O., Bracho, N., Vásquez, A., & Pereira, A. (2008). *Optimization of thin layer drying process for coroba slices* (Vol. 85).
- Corzo, O., & Gomez, E. R. (2004). Optimization of osmotic dehydration of cantaloupe using desired function methodology. *Journal of Food Engineering*, 64(2), 213-219. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodeng.2003.09.035>
- Cueto, M., Farroni, A., Schoenlechner, R., Schleining, G., & Buera, P. (2017). Carotenoid and color changes in traditionally flaked and extruded products. *Food Chemistry*, 229, 640-645. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.02.138>
- Chen, Q., Bi, J., Wu, X., Yi, J., Zhou, L., & Zhou, Y. (2015). Drying kinetics and quality attributes of jujube (*Zizyphus jujuba* Miller) slices dried by hot-air and short- and medium-wave infrared radiation. *LWT - Food Science and Technology*, 64(2), 759-766. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2015.06.071>
- Chen, X., Du, X., Chen, P., Guo, L., Xu, Y., & Zhou, X. (2017). Morphologies and gelatinization behaviours of high-amylose maize starches during heat treatment. *Carbohydrate Polymers*, 157(Supplement C), 637-642. doi:<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.10.024>
- Chen, X., Guo, L., Chen, P., Xu, Y., Hao, H., & Du, X. (2017). Investigation of the high-amylose maize starch gelatinization behaviours in glycerol-water systems. *Journal of Cereal Science*, 77(Supplement C), 135-140. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.08.012>
- D'Amico, S., Mäschle, J., Jekle, M., Tömösközi, S., Langó, B., & Schoenlechner, R. (2015). Effect of high temperature drying on gluten-free pasta properties. *LWT - Food Science and Technology*, 63(1), 391-399. doi:<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.03.080>
- Dehnad, D., Jafari, S. M., & Afrasiabi, M. (2016). Influence of drying on functional properties of food biopolymers: From traditional to novel dehydration techniques. *Trends in Food Science & Technology*, 57, 116-131. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2016.09.002>
- Déléris, I., & Wallecan, J. (2017a). Relationship between processing history and functionality recovery after rehydration of dried cellulose-based suspensions: A critical review. *Advances in Colloid and Interface Science*, 246, 1-12. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.cis.2017.06.013>
- Déléris, I., & Wallecan, J. (2017b). Relationship between processing history and functionality recovery after rehydration of dried cellulose-based suspensions: A critical review. *Advances in Colloid and Interface Science*, 246(Supplement C), 1-12. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cis.2017.06.013>
- Derossi, A., Mastrandrea, L., Amodio, M. L., de Chiara, M. L. V., & Colelli, G. (2016). Application of multivariate accelerated test for the shelf life estimation of fresh-

- cut lettuce. *Journal of Food Engineering*, 169, 122-130.
doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.08.010>
- Derringer, G. S., Ronald. (1980). Simultaneous Optimization of Several Response Variables. *Journal of Quality Technology*, 12, 214–219.
- Duyvesteyn, W. S., Shimoni, E., & Labuza, T. P. (2001). Determination of the End of Shelf-life for Milk using Weibull Hazard Method. *LWT - Food Science and Technology*, 34(3), 143-148. doi:<https://doi.org/10.1006/fstl.2000.0736>
- Elmizadeh, A., Shahedi, M., & Hamdami, N. (2017). Comparison of electrohydrodynamic and hot-air drying of the quince slices. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*.
doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2017.07.030>
- Ellis, M. J. (1994). The methodology of shelf life determination.
- Encina-Zelada, C., Cadavez, V., Pereda, J., Gómez-Pando, L., Salvá-Ruíz, B., Teixeira, J. A., . . . Gonzales-Barron, U. (2017). Estimation of composition of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) grains by Near-Infrared Transmission spectroscopy. *LWT - Food Science and Technology*, 79, 126-134.
doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2017.01.026>
- Freitas, M. A., & Costa, J. C. (2006). Shelf life determination using sensory evaluation scores: A general Weibull modeling approach. *Computers & Industrial Engineering*, 51(4), 652-670. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cie.2006.04.005>
- Gacula, M. C., & Kubala, J. J. (1975). STATISTICAL MODELS FOR SHELF LIFE FAILURES. *Journal of Food Science*, 40(2), 404-409. doi:10.1111/j.1365-2621.1975.tb02212.x
- Giménez, A., Ares, F., & Ares, G. (2012). Sensory shelf-life estimation: A review of current methodological approaches. *Food Research International*, 49(1), 311-325. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.07.008>
- Giménez, A., Gagliardi, A., & Ares, G. (2017a). Estimation of failure criteria in multivariate sensory shelf life testing using survival analysis. *Food Research International*, 99(Part 1), 542-549.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.04.031>
- Giménez, A., Gagliardi, A., & Ares, G. (2017b). Estimation of failure criteria in multivariate sensory shelf life testing using survival analysis. *Food Research International*, 99, 542-549. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2017.04.031>
- Graf, B. L., Rojas-Silva, P., Rojo, L. E., Delatorre-Herrera, J., Baldeón, M. E., & Raskin, I. (2015). Innovations in Health Value and Functional Food Development of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 14(4), 431-445. doi:10.1111/1541-4337.12135
- Gulati, P., Weier, S. A., Santra, D., Subbiah, J., & Rose, D. J. (2016). Effects of feed moisture and extruder screw speed and temperature on physical characteristics and antioxidant activity of extruded proso millet (*Panicum miliaceum*) flour. *International Journal of Food Science & Technology*, 51(1), 114-122.
doi:10.1111/ijfs.12974
- Hogekamp, S., & Schubert, H. (2003). Rehydration of Food Powders. *Food Science and Technology International*, 9(3), 223-235. doi:10.1177/1082013203034938
- Hu, X.-P., Zhang, B., Jin, Z.-Y., Xu, X.-M., & Chen, H.-Q. (2017). Effect of high hydrostatic pressure and retrogradation treatments on structural and physicochemical properties of waxy wheat starch. *Food Chemistry*, 232, 560-565. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.040>
- Jafari, M., Koocheki, A., & Milani, E. (2017a). Effect of extrusion cooking of sorghum flour on rheology, morphology and heating rate of sorghum–wheat composite

- dough. *Journal of Cereal Science*, 77, 49-57.
doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jcs.2017.07.011>
- Jafari, M., Koocheki, A., & Milani, E. (2017b). Effect of extrusion cooking on chemical structure, morphology, crystallinity and thermal properties of sorghum flour extrudates. *Journal of Cereal Science*, 75(Supplement C), 324-331.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.05.005>
- Jha, S. N. (2016). Chapter 1 - Food Safety and Quality *Rapid Detection of Food Adulterants and Contaminants* (pp. 1-24). San Diego: Academic Press.
- Ji, Z., Yu, L., Liu, H., Bao, X., Wang, Y., & Chen, L. (2017). Effect of pressure with shear stress on gelatinization of starches with different amylose/amylopectin ratios. *Food Hydrocolloids*, 72, 331-337.
doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.06.015>
- Jiao, A., Xu, X., & Jin, Z. (2014). Modelling of dehydration–rehydration of instant rice in combined microwave-hot air drying. *Food and Bioprocess Processing*, 92(3), 259-265. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.fbp.2013.08.002>
- Karizaki, V. M. (2016). Kinetic modeling and determination of mass transfer parameters during cooking of rice. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 38(Part A), 131-138.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.09.017>
- Kaspchak, E., Oliveira, M. A. S. d., Simas, F. F., Franco, C. R. C., Silveira, J. L. M., Mafra, M. R., & Igarashi-Mafra, L. (2017). Determination of heat-set gelation capacity of a quinoa protein isolate (*Chenopodium quinoa*) by dynamic oscillatory rheological analysis. *Food Chemistry*, 232, 263-271.
doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.014>
- Khan, M. I. H., Wellard, R. M., Nagy, S. A., Joardder, M. U. H., & Karim, M. A. (2017). Experimental investigation of bound and free water transport process during drying of hygroscopic food material. *International Journal of Thermal Sciences*, 117, 266-273. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2017.04.006>
- Kowalski, R. J., Medina-Meza, I. G., Thapa, B. B., Murphy, K. M., & Ganjyal, G. M. (2016). Extrusion processing characteristics of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) var. Cherry Vanilla. *Journal of Cereal Science*, 70, 91-98.
doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jcs.2016.05.024>
- Laopoolkit, P., & Suwannaporn, P. (2011). Effect of pretreatments and vacuum drying on instant dried pork process optimization. *Meat Science*, 88(3), 553-558.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.02.011>
- Le, T. Q., & Jittanit, W. (2015). Optimization of operating process parameters for instant brown rice production with microwave-followed by convective hot air drying. *Journal of Stored Products Research*, 61(Supplement C), 1-8.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.jspr.2015.01.004>
- Leite, T. S., de Jesus, A. L. T., Schmiele, M., Tribst, A. A. L., & Cristianini, M. (2017). High pressure processing (HPP) of pea starch: Effect on the gelatinization properties. *LWT - Food Science and Technology*, 76, 361-369.
doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2016.07.036>
- Lewicki, P. P. (1998a). Effect of pre-drying treatment, drying and rehydration on plant tissue properties: A review. *International Journal of Food Properties*, 1(1), 1-22. doi:10.1080/10942919809524561
- Lewicki, P. P. (1998b). Some remarks on rehydration of dried foods. *Journal of Food Engineering*, 36(1), 81-87. doi:[https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(98\)00022-3](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(98)00022-3)

- Li, G., Wang, S., & Zhu, F. (2016). Physicochemical properties of quinoa starch. *Carbohydrate Polymers*, *137*, 328-338. doi:<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.10.064>
- Li, G., & Zhu, F. (2017a). Amylopectin molecular structure in relation to physicochemical properties of quinoa starch. *Carbohydrate Polymers*, *164*, 396-402. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.02.014>
- Li, G., & Zhu, F. (2017b). Physicochemical properties of quinoa flour as affected by starch interactions. *Food Chemistry*, *221*, 1560-1568. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.10.137>
- Li, H., Prakash, S., Nicholson, T. M., Fitzgerald, M. A., & Gilbert, R. G. (2016). The importance of amylose and amylopectin fine structure for textural properties of cooked rice grains. *Food Chemistry*, *196*, 702-711. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.09.112>
- Lorenzo, J. M., Cittadini, A., Munekata, P. E., & Domínguez, R. (2015). Physicochemical properties of foal meat as affected by cooking methods. *Meat Science*, *108*, 50-54. doi:<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.05.021>
- Luangmalawat, P., Prachayawarakorn, S., Nathakaranakule, A., & Soponronnarit, S. (2008). Effect of temperature on drying characteristics and quality of cooked rice. *LWT - Food Science and Technology*, *41*(4), 716-723. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2007.04.010>
- Lupano, C. E. (2013). Modificaciones de componentes de los alimentos: cambios químicos y bioquímicos por procesamiento y almacenamiento.
- Marín, B. E., Lemus, M. R., Flores, M. V., & Vega, G. A. (2006). LA REHIDRATACIÓN DE ALIMENTOS DESHIDRATADOS. *Revista chilena de nutrición*, *33*, 527-538.
- Marti, A., & Pagani, M. A. (2013). What can play the role of gluten in gluten free pasta? *Trends in Food Science & Technology*, *31*(1), 63-71. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2013.03.001>
- Martinez Delfa, G., Olivieri, A., & Boschetti, C. E. (2009). Multiple response optimization of styrene-butadiene rubber emulsion polymerization. *Computers & Chemical Engineering*, *33*(4), 850-856. doi:<https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2009.01.002>
- Mota, C., Nascimento, A. C., Santos, M., Delgado, I., Coelho, I., Rego, A., . . . Castanheira, I. (2016). The effect of cooking methods on the mineral content of quinoa (*Chenopodium quinoa*), amaranth (*Amaranthus* sp.) and buckwheat (*Fagopyrum esculentum*). *Journal of Food Composition and Analysis*, *49*, 57-64. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jfca.2016.02.006>
- Musielak, G., Mierzwa, D., & Kroehnke, J. (2016). Food drying enhancement by ultrasound – A review. *Trends in Food Science & Technology*, *56*, 126-141. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2016.08.003>
- Nickel, J., Spanier, L. P., Botelho, F. T., Gularte, M. A., & Helbig, E. (2016). Effect of different types of processing on the total phenolic compound content, antioxidant capacity, and saponin content of *Chenopodium quinoa* Willd grains. *Food Chemistry*, *209*, 139-143. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.04.031>
- Orikasa, T., Koide, S., Okamoto, S., Imaizumi, T., Muramatsu, Y., Takeda, J.-i., . . . Tagawa, A. (2014). Impacts of hot air and vacuum drying on the quality attributes of kiwifruit slices. *Journal of Food Engineering*, *125*, 51-58. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.10.027>

- Pardhi, S. D., Singh, B., Nayik, G. A., & Dar, B. N. (2016). Evaluation of functional properties of extruded snacks developed from brown rice grits by using response surface methodology. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jssas.2016.11.006>
- Peng, C.-Y., Lan, C.-H., Lin, P.-C., & Kuo, Y.-C. (2017). Effects of cooking method, cooking oil, and food type on aldehyde emissions in cooking oil fumes. *Journal of Hazardous Materials*, 324(Part B), 160-167. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.10.045>
- Phimolsiripol, Y., & Suppakul, P. (2016). Techniques in Shelf Life Evaluation of Food Products *Reference Module in Food Science*: Elsevier.
- Putra, R. N., & Ajiwiguna, T. A. (2017). Influence of Air Temperature and Velocity for Drying Process. *Procedia Engineering*, 170, 516-519. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2017.03.082>
- Qiu, S., Yadav, M. P., Liu, Y., Chen, H., Tatsumi, E., & Yin, L. (2016). Effects of corn fiber gum with different molecular weights on the gelatinization behaviors of corn and wheat starch. *Food Hydrocolloids*, 53, 180-186. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.01.034>
- Rastogi, N. K., & Niranjana, K. (1998). Enhanced Mass Transfer During Osmotic Dehydration of High Pressure Treated Pineapple. *Journal of Food Science*, 63(3), 508-511. doi:10.1111/j.1365-2621.1998.tb15774.x
- Reineke, K., Weich, H., & Knorr, D. (2011). The Influence of Sugars on Pressure Induced Starch Gelatinization. *Procedia Food Science*, 1(Supplement C), 2040-2046. doi:<https://doi.org/10.1016/j.profoo.2011.10.005>
- Rewthong, O., Soponronnarit, S., Taechapairoj, C., Tungtrakul, P., & Prachayawarakorn, S. (2011). Effects of cooking, drying and pretreatment methods on texture and starch digestibility of instant rice. *Journal of Food Engineering*, 103(3), 258-264. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.10.022>
- Roudaut, G., & Debeaufort, F. (2011). 3 - Moisture loss, gain and migration in foods *Food and Beverage Stability and Shelf Life* (pp. 63-105): Woodhead Publishing.
- Sabarez, H. (2016). Drying of Food Materials *Reference Module in Food Science*: Elsevier.
- Sakač, M., Pestorić, M., Mandić, A., Mišan, A., Nedeljković, N., Jambrec, D., . . . Sedej, I. (2016). Shelf-life prediction of gluten-free rice-buckwheat cookies. *Journal of Cereal Science*, 69, 336-343. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jcs.2016.04.008>
- Sampieri, R. H., Collado, C. F., & Baptista, L. M. (2014). *Metodología de la Investigación*
- Santos, M. D., Saraiva, J. A., & Gomes, M. T. S. R. (2014). Effect of High Pressure in Starch Viscoelastic Properties Studied with an Acoustic Wave Sensor. *Procedia Engineering*, 87(Supplement C), 216-219. doi:<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.11.625>
- Sharanagat, V. S., Kansal, V., & Kumar, K. (2016). Modeling the effect of temperature on the hydration kinetic whole moong grain. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jssas.2016.05.005>
- Sharma, S., Singh, N., & Singh, B. (2015). Effect of extrusion on morphology, structural, functional properties and in vitro digestibility of corn, field pea and kidney bean starches. *Starch - Stärke*, 67(9-10), 721-728. doi:10.1002/star.201500021

- Singh, R. P., & Heldman, D. R. (2014). Chapter 12 - Dehydration *Introduction to Food Engineering (Fifth Edition)* (pp. 675-710). San Diego: Academic Press.
- Srichuwong, S., Curti, D., Austin, S., King, R., Lamothe, L., & Gloria-Hernandez, H. (2017). Physicochemical properties and starch digestibility of whole grain sorghums, millet, quinoa and amaranth flours, as affected by starch and non-starch constituents. *Food Chemistry*, 233, 1-10.
doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.019>
- Taghinezhad, E., Khoshtaghaza, M. H., Minaei, S., Suzuki, T., & Brenner, T. (2016). Relationship Between Degree of Starch Gelatinization and Quality Attributes of Parboiled Rice During Steaming. *Rice Science*, 23(6), 339-344.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.rsci.2016.06.007>
- Tang, Y., Li, X., Chen, P. X., Zhang, B., Hernandez, M., Zhang, H., . . . Tsao, R. (2015). Characterisation of fatty acid, carotenoid, tocopherol/tocotrienol compositions and antioxidant activities in seeds of three *Chenopodium quinoa* Willd. genotypes. *Food Chemistry*, 174, 502-508.
doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.11.040>
- Turp, G. Y. (2016). Effects of four different cooking methods on some quality characteristics of low fat Inegol meatball enriched with flaxseed flour. *Meat Science*, 121, 40-46. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.05.016>
- Vásquez-Parra, J. E., Ochoa-Martínez, C. I., & Bustos-Parra, M. (2013). Effect of chemical and physical pretreatments on the convective drying of cape gooseberry fruits (*Physalis peruviana*). *Journal of Food Engineering*, 119(3), 648-654. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.06.037>
- Vilcacundo, R., & Hernández-Ledesma, B. (2017). Nutritional and biological value of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Current Opinion in Food Science*, 14, 1-6. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.cofs.2016.11.007>
- Wang, R., Chen, C., & Guo, S. (2017). Effects of drying methods on starch crystallinity of gelatinized foxtail millet (α -millet) and its eating quality. *Journal of Food Engineering*, 207, 81-89. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.03.018>
- Weerts, A. H., Martin, D. R., Lian, G., & Melrose, J. R. (2005). Modelling the hydration of foodstuffs. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 13(2), 119-128. doi:<https://doi.org/10.1016/j.simpat.2004.09.001>
- Yildiz Turp, G. (2016). *Effects of four different cooking methods on some quality characteristics of low fat Inegol meatball enriched with flaxseed flour* (Vol. 121).
- Yu, L., Turner, M. S., Fitzgerald, M., Stokes, J. R., & Witt, T. (2017). Review of the effects of different processing technologies on cooked and convenience rice quality. *Trends in Food Science & Technology*, 59, 124-138.
doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2016.11.009>
- Zhao, D., Palaparathi, A. D., Huang, Q., Fu, X., Liu, H., & Yu, L. (2015). Effects of ionic liquid 1-allyl-3-methylimidazolium chloride treatment on the microstructure and phase transition of cornstarch. *Industrial Crops and Products*, 77, 139-145. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.08.063>

ANEXOS

1. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

Grado de gelatinización: Indicadores de calidad de cocción de carbohidratos (Taghinezhad *et al.*, 2016).

Gelatinización: La gelatinización generalmente se define como la hidratación e hinchazón irreversible del gránulo, que es concomitante con la destrucción del orden molecular, la fusión de los cristales de almidón y la solubilización del almidón (Taghinezhad *et al.*, 2016).

Optimización: Un enfoque relativamente directo para optimizar varias respuestas que funcionan bien cuando son solo unas pocas variables de proceso es superponer las gráficas de contorno para cada respuesta (método gráfico) (Corzo *et al.*, 2008). Con frecuencia, se requieren muchos ensayos y errores para determinar qué factores mantener constantes y qué niveles seleccionar para obtener la mejor vista de la superficie (Myers y Montgomery, 2002). Un enfoque popular es formular y resolver el problema como un problema de optimización restringido (métodos de programación no lineales). Las técnicas matemáticas se usan de esta manera. El problema se puede resolver utilizando una fórmula modificada. La función de deseabilidad de Harrington (1965b) y combinándola con la metodología de superficie de respuesta para formar una metodología llamada metodología de optimización de deseabilidad (Derringer, 1994; Sundaram, 1996).

2. FICHA TÉCNICA DE LOS INSTRUMENTOS

Equipo data logger, equipo usado en el control y toma de datos de cocción



detalles:

Rango de medición	Tipo K: -200 ° C a + 1372 ° C (-328 ° F a 2501 ° F) Tipo J: -210 ° C a + 1200 ° C (-346 ° F a 2192 ° F) Tipo E: -150 ° C a + 1000 ° C (-238 ° F a 1832 ° F) T-tipo: -250 ° C a + 400 ° C (-418 ° F a 752 ° F) R y S-Tipo: 0 ° C a + 1767 ° C (32 ° F a 3212 ° F) Tipo N: -200 ° C a + 1300 ° C (-328 ° F a 2372 ° F)
Resolución de la pantalla	0.1 ° C/° F/K < 2000 ° 1.0 ° C/° F/K ≤ 2000 °
Precisión de La medición (según ITS-90)	K, J, E, T y N-type: ± [0.05% de la lectura + 0.3 ° C (0.6 ° F)] [below-100 ° C (-148 ° F): añadir 0.15% de lectura para K, J-, E-, y N-type; y 0.45% de lectura para T-tipo] R y S-Tipo: ± [0.05% de la lectura + 0.4 ° C (0.8 ° F)]
Coefficiente De temperatura	0.01% de la lectura + 0.03 ° C por ° C (0.05 ° F por ° F) fuera de la especificada 18 ° C a 28 ° C (64 ° F a 82 ° F) gama [LCD ranging: por debajo de-100 ° C (-148 ° F): añadir 0.04% de lectura para K-, J-, E-, y N-type; y 0.08% de lectura para T-tipo]
Diferencial máxima de Voltaje de Modo Común	1 V (tensión Máxima diferencia entre T1 y T2)
Protección de entrada	30 V voltaje máximo de entrada en cualquier combinación de Conector de entrada
frecuencia De muestreo	1 veces/seg
en operación/Almacenamiento Condiciones	0 ° C ~ 40 ° C < 80% RH -10 ° C ~ 60 ° C < 70% RH
Fuente de alimentación	6 unids tamaño AAA Batería
Duración de La batería	aprox. 300hours. (no incluida la retroiluminación y zumbador)
tamaño	152 (L) x \$ number (W) x \$ number (H) mm
peso	aprox. 300g
accesorios	manual de instrucciones, batería

Equipo de Autoclave, donde fue llevado a cabo la cocción a alta presión de vapor



Características principales:

- Dimensiones: 100 x 59 x 48 cm
- Volumen: 30 litros
- Temperatura: 100 a 134 °C
- Consumo: 2.800 W
- Peso: 87 Kg
- Elementos calefactores: de acero inox. Incoloy de gran duración
- Depósito, tapa y cierre de acero inox. AISI 316
- Sistema de purgado automático por vacío
- Contiene depósito para agua destilada para alimentar la caldera y filtro exterior de vaciado

Centrifuga microprocesador

Centrifuga Microprocessada para Microhematócrito
Q222HM

Centrifuga para Microhematócritos com motor de indução sem escova e controle digital de velocidade e tempo.

- Construída em aço carbono com pintura epóxi eletrostática;
- Capacidade máxima de 30 capilares de 1,5mm de diâmetro por 75mm de comprimento;
- Motor de indução trifásico 220V, 50/60 Hz, sem escova, acionado por inversor de frequência;
- Ruído inferior a 75dB;
- Display alfanumérico 4x20 "Big Number" com "backlight" azul, caracteres brancos e teclado tipo soft-touch (toque macio);
- Indicação digital do RPM, RCF, Tempo, Tampa aberta e alarmes;
- Seleção digital da velocidade e do tempo;
- Controle da velocidade entre 10.000 a 14.000 rpm, com incrementos de 10 em 10rpm ou de 100 em 100rpm;
- Programação de tempo até 99 minutos e 59 segundos, ajuste da data e hora;
- Precisão da velocidade em RPM de ±0,25%;
- Seleção de idiomas, português, inglês ou espanhol;
- Memória para salvar até 9 programas;
- Pés tipo ventosa para melhor aderência e absorção de vibração;
- Sinal sonoro para cada função, alarme sonoro e abertura da tampa automática no término do processo;
- Aceleração e Desaceleração suave com parada automática através de freio, sistema de segurança que não permite o funcionamento com a tampa aberta e sistema de segurança para falha de comunicação;
- Cabo de força com dupla isolamento e plugue de três pinos, duas fases e um terra, atendendo a norma ABNT NBR 14136.

Modelos	Volts	Watts	RCF Máx.	Peso (kg)	Dim. Externas (CxLxA) cm
Q222HM1	110	440	20.379 xg.	16	46x39x30
Q222HM2	220	440	20.379 xg.	16	46x39x30

www.quimis.com.br
85

Equipo usado para el análisis de cocción de la quinua.

3. RESULTADOS DE DATOS EXPERIMENTALES OBTENIDOS

Tabla 1. Resultados experimentales de análisis de cocción

Tratamiento	Tiempo (min)	Presión (kgf)	IAA (g/g)	Deformación de granos (% aros desprendidos)	Gelatinización (%)
1	2	1.00	5.08	30.00	50.92
2	2	1.50	7.62	26.00	60.02
3	2	2.00	7.64	32.00	60.2
4	6	1.00	6.68	31.00	68.87
5	6	1.50	7.46	29.20	75.72
6	6	2.00	7.99	32.20	79.44
7	10	1.00	7.46	32.30	79.33
8	10	1.50	8.18	34.00	90.36
9	10	2.00	8.22	36.00	94.28
10	6	1.50	7.46	29.40	76.72
11	6	1.50	7.46	29.40	76.72
12	6	1.50	7.46	29.40	76.72

Tabla 2. Resultados experimentales de análisis de cocción - deshidratación

Exp.	Presión (kgf/cm ²)	Temperatura (°C)	Granos enteros (%)	Rehidratación (min)	ISA (%)
1	1	60	90	5	22.22
2	1.5	60	92	4.5	24.02
3	2	60	92	4.00	24.17
4	1	80	97	3.50	24.00
5	1.5	80	96	3.50	25.31
6	2	80	95	3.00	25.42
7	1	100	96	2.50	23.62
8	1.5	100	97	2.50	24.06
9	2	100	98	2.00	24.88
10	1.5	80	96	3.50	25.31
11	1.5	80	96	3.50	25.44
12	1.5	80	96	3.50	25.38

Tabla 1. Resultados de respuestas cualitativas de formación de aldehídos de quinua deshidratado instantáneo almacenado a 40°C

Período	Tiempo (semanas)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	0	+	+	+	+	+	+									
2	1	+	+	+	+	+	+	+								
3	2	+	+	+	+	+	+	+	+							
4	3	+	+	+	-	+	+	+	+	+						
5	4	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+					
6	5	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+				
7	6	-	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+			
8	7	+	+	-	+	+	-	+	+	-	+	+	+	-		
9	8	+	+	+	+	+	-	-	-	+	-	+	+	-	+	
10	9	+	+	+	-	-	+	+	-	-	-	-	-	+	+	-
11	10	-	+	+	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	+	+

Tabla 2. Resultados de respuestas cualitativas de formación de aldehídos de quinua deshidratado instantáneo almacenado a 40°C

Período	Tiempo(semanas)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	0	+	+	+	+	+	+									
2	1	+	+	+	+	+	+	+								
3	2	+	+	+	+	+	+	+	+							
4	3	+	+	+	-(34)	+	+	+	+	+						
5	4	+	+	-(32)	+	-(33)	+	+	+	+	+					
6	5	+	-(30)	+	-(31)	+	+	+	+	+	+	+				
7	6	-(27)	+	+	-(28)	+	-(29)	+	+	+	+	+	+			
8	7	+	+	-(23)	+	+	-(24)	+	+	-(25)	+	+	+	-(26)		
9	8	+	+	+	+	+	-(18)	-(19)	-(20)	+	-(21)	+	+	-(22)	+	
10	9	+	+	+	-(10)	-(11)	+	+	-(12)	-(13)	-(14)	-(15)	-(16)	+	+	-(17)
11	10	-(1)	+	+	-(2)	-(3)	+	+	-(4)	-(5)	-(6)	-(7)	-(8)	-(9)	+	+

Tabla 3. Resultados de riesgos acumulados de Weibull para formación de aldehídos a temperatura extrema de 40°C.

Rank	Tiempo de falla	H	ΣH
34	3	2.941	2.941
33	4	3.030	5.971
32	4	3.125	9.096
31	5	3.226	12.322
30	5	3.333	15.656
29	6	3.448	19.104
28	6	3.571	22.675
27	6	3.704	26.379
26	7	3.846	30.225
25	7	4.000	34.225
24	7	4.167	38.392
23	7	4.348	42.740
22	8	4.545	47.285
21	8	4.762	52.047
20	8	5.000	57.047
19	8	5.263	62.310
18	8	5.556	67.866
17	9	5.882	73.748
16	9	6.250	79.998
15	9	6.667	86.665
14	9	7.143	93.808
13	9	7.692	101.500
12	9	8.333	109.833
11	9	9.091	118.924
10	9	10.000	128.924
9	10	11.111	140.035
8	10	12.500	152.535
7	10	14.286	166.821
6	10	16.667	183.488
5	10	20.000	203.488
4	10	25.000	228.488
3	10	33.333	261.821
2	10	50.000	311.821
1	10	100.000	411.821

Tabla 4. Resultados de respuestas cualitativas de formación de aldehídos de quinua deshidratado instantáneo almacenado a 50°C

Período	Tiempo (sem)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	0	+	+	+	+	+	+								
2	1	+	+	+	+	+	+	+	+						
3	2	+	+	-	+	-	+	+	-	+					
4	3	+	-	+	-	+	+	-	+	+	+	+			
5	4	-	-	+	+	+	-	+	+	-	+	+	+	+	
6	5	+	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	+	+

Tabla 5. Resultados de respuestas cualitativas de formación de aldehídos den quinua deshidratado instantáneo almacenado a 50°C.

Período	Tiempo (sem)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	0	+	+	+	+	+	+								
2	1	+	+	+	+	+	+	+	+						
3	2	+	+	-(17)	+	-(18)	+	+	-(19)	+					
4	3	+	-(14)	+	-(15)	+	+	-(16)	+	+	+	+			
5	4	-(10)	-(11)	+	+	+	-(12)	+	+	-(13)	+	+	+	+	
6	5	+	+	-(1)	-(2)	-(3)	+	-(4)	-(5)	-(6)	-(7)	-(8)	-(9)	+	+

Tabla 6. Resultados de riesgos acumulados de Weibull para el atributo formación de aldehídos a temperatura extrema de 50°C.

Rank	Tiempo de falla	H	ΣH
19	2	5.263	5.263
18	2	5.556	10.819
17	2	5.882	16.701
16	3	6.250	22.951
15	3	6.667	29.618
14	3	7.143	36.761
13	4	7.692	44.453
12	4	8.333	52.786
11	4	9.091	61.877
10	4	10.000	71.877
9	5	11.111	82.988
8	5	12.500	95.488
7	5	14.286	109.774
6	5	16.667	126.441
5	5	20.000	146.441
4	5	25.000	171.441
3	5	33.333	204.774
2	5	50.000	254.774
1	5	100.000	354.774

Tabla 7. Resultados de respuestas cualitativas de formación de aldehídos den quinua deshidratado instantáneo almacenado a 60°C.

Período	Tiempo (días)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	+	+	+	+	+	+				
2	1	+	+	+	+	+	+	+			
3	4	+	+	-	-	+	-	+	+		
4	5	+	-	+	-	-	+	+	-	+	
5	7	-	-	+	+	-	-	-	+	+	+
6	9	+	-	-	-	+	-	-	-	-	+

Tabla 8. Resultados de respuestas cualitativas de formación de aldehídos den quinua deshidratado instantáneo almacenado a 60°C.

Período	Tiempo (días)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	+	+	+	+	+	+				
2	1	+	+	+	+	+	+	+			
3	4	+	+	-(17)	-(18)	+	-(19)	+	+		
4	5	+	-(13)	+	-(14)	-(15)	+	+	-(16)	+	
5	7	-(8)	-(9)	+	+	-(10)	-(11)	-(12)	+	+	+
6	9	+	-(1)	-(2)	-(3)	+	-(4)	-(5)	-(6)	-(7)	+

Tabla 9. Resultados de riesgos acumulados de Weibull para el atributo formación de aldehídos a temperatura extrema de 60°C.

Rank	Tiempo de falla	H	ΣH
19	4	5.263	5.263
18	4	5.556	10.819
17	4	5.882	16.701
16	5	6.250	22.951
15	5	6.667	29.618
14	5	7.143	36.761
13	5	7.692	44.453
12	7	8.333	52.786
11	7	9.091	61.877
10	7	10.000	71.877
9	7	11.111	82.988
8	7	12.500	95.488
7	9	14.286	109.774
6	9	16.667	126.441
5	9	20.000	146.441
4	9	25.000	171.441
3	9	33.333	204.774
2	9	50.000	254.774
1	9	100.000	354.774

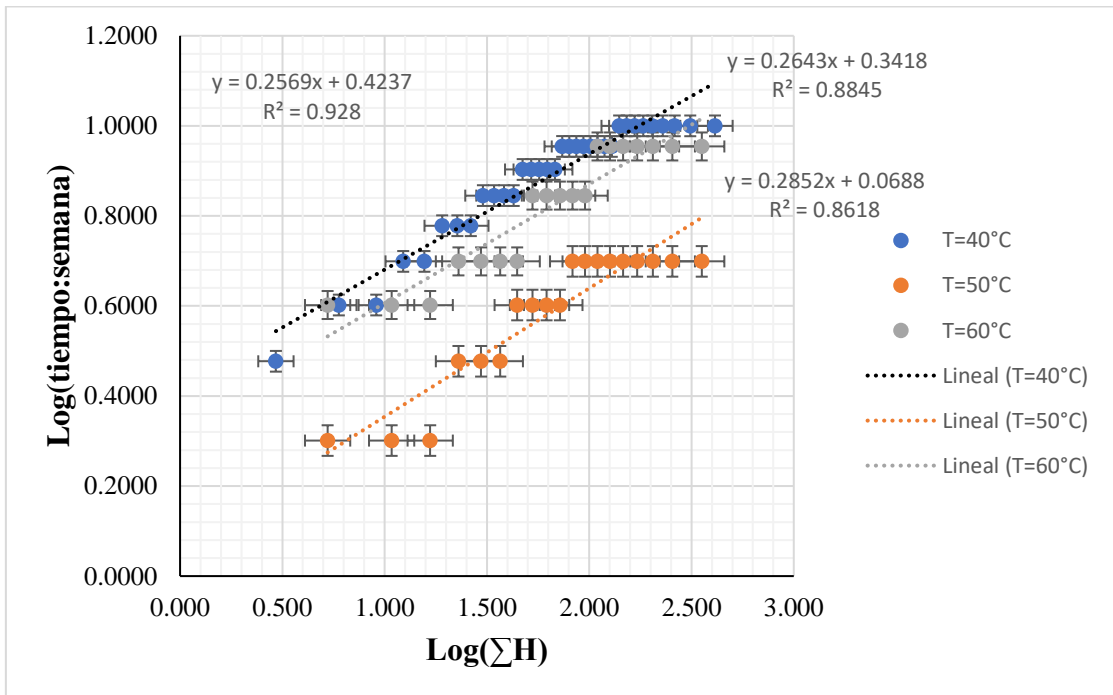


Figura 1. Grafico de Weibull para ploteo de tiempo

4. EVIDENCIA FOTOGRÁFICA



Fotografía 1. Adquisición de datos de para gelatinización del almidón, en la cocción de quinua en autoclave. Equipo data logger conectado al autoclave y al PC.



Fotografía 2. Adquisición de datos espectrofotométricos en la evaluación de la gelatinización de muestras.

5. MATRIZ DE CONSISTENCIA

Influencia de la cocción y deshidratación en la calidad de estructural de quinua deshidratada instantánea y estimación de vida útil

Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Variables	Indicador	Método
¿Cuál es la influencia de la cocción de la quinua a alta presión y deshidratación a alta temperatura, en la calidad estructural y vida útil, de quinua (<i>Chenopodium quinoa Willd</i>) deshidratado instantánea variedad negra ayrampo?	Explicar la influencia de la cocción de la quinua a alta presión y deshidratación a alta temperatura, en la calidad estructural y vida útil, de quinua (<i>Chenopodium quinoa Willd</i>) deshidratado instantánea variedad negra ayrampo.	La cocción de la quinua a alta presión y deshidratación a alta temperatura, influyen en la calidad estructural y vida útil, de quinua (<i>Chenopodium quinoa Willd</i>) deshidratado instantánea variedad negra ayrampo.	<p>Variable dependiente Y1: Calidad de estructural</p> <p>Variable independiente X1: Cocción X2: Deshidratación</p>	<p>Indicador de Y Y1: Índice de absorción de agua del almidón Y2: Índice de solubilidad del almidón Y2: Rehidratación</p>	Método científico (Experimental Hipotético-Deductivo). Cuantitativo, Cualitativo Tipo: Aplicada Nivel: explicativo
Problema específico	Objetivo específicos	Hipótesis específicas	Variables	Indicador	Técnicas
<p>1. ¿Existe correlación de parámetros de cocción, con los indicadores de la calidad estructural de la quinua cocida como es el índice de absorción de agua del almidón, desprendimiento de cotiledones y gelatinización del almidón?</p> <p>2. ¿Es posible correlacionar los parámetros de cocción - deshidratación, a través de granos no dañados, tiempo de rehidratación e índice de solubilidad del almidón en agua, como indicadores de la calidad estructural de la quinua deshidratada instantánea?</p> <p>3. ¿La vida útil de la quinua deshidratada instantánea variedad negra ayrampo esta correlacionada con la temperatura, humedad relativa ambiental?</p>	<p>1. Correlacionar de parámetros de cocción, a través de maximización de índice de absorción de agua del almidón, minimización de desprendimiento de cotiledones y maximización de la gelatinización del almidón, como indicadores de la calidad estructural de la quinua cocida.</p> <p>2. Correlacionar de parámetros de cocción - deshidratación, a través de la maximización de granos no dañados, minimización de tiempo de rehidratación y maximización del índice de solubilidad del almidón en agua, como indicadores de la calidad estructural de la quinua deshidratada instantánea.</p> <p>3. Correlacionar la vida útil de la quinua deshidratada instantánea variedad negra ayrampo con la temperatura, humedad relativa ambiental.</p>	<p>1. La correlación de parámetros de cocción, es posible optimizar a través de maximización de índice de absorción de agua del almidón, minimización de desprendimiento de cotiledones y maximización de la gelatinización del almidón, como indicadores de la calidad estructural de la quinua cocida.</p> <p>2. La correlación de parámetros de cocción - deshidratación, es posible optimizar a través de la maximización de granos no dañados, minimización de tiempo de rehidratación y maximización del índice de solubilidad del almidón en agua, como indicadores de la calidad estructural de la quinua deshidratada instantánea.</p> <p>3. La vida útil de la quinua deshidratada instantánea variedad negra ayrampo esta correlacionada con la temperatura, humedad relativa ambiental.</p>	<p>Variable independiente X1: Cocción de quinua a alta presión</p> <p>Variable dependiente Y1: Quinua cocida</p> <p>Variable independiente X2: Deshidratación de quinua cocida a alta temperatura</p> <p>Variable dependiente Y2: Quinua deshidratada instantánea</p> <p>Variable dependiente Y3: Vida útil</p> <p>Variable independiente X1: Temperatura de almacenamiento (°C) X2: Humedad relativa ambiental (%)</p>	<p>Indicadores de Y1 Y1: Porcentaje (%) de desprendimiento de cotiledones, Índice de absorción de agua del almidón, Gelatinización del almidón.</p> <p>Indicador de Y2 Y2: Granos no dañados, Índice de solubilidad en agua del almidón, rehidratación</p> <p>Indicador de Y3 Y3: Formación de aldehídos</p>	Técnicas observacionales a través de uso de instrumentos y equipos de análisis, Métodos de la AOAC Official Methods of Analysis - AOAC International.