

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL  
DE HUAMANGA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y METALURGIA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS  
ALIMENTARIAS**



**DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL  
CONCENTRADO PROTEICO DE QUINUA, SOLUBILIDAD Y  
AMINOGRAMA E ISOTERMAS DE ESTABILIDAD DE AGUA.**

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

**PRESENTADO POR:**

**Bach. Maria Guadalupe YARANGA AVENDAÑO**  
**Bach. Geonella Magaly CANGANA VILCATOMA**

**ASESOR:**

**Dr. Alberto Luis HUAMANI HUAMANI**

**AYACUCHO - PERÚ**

**2023**

## **DEDICATORIA**

A Dios por este sueño cumplido, así mismo a mis queridos padres Teófilo y Francisca por esa fuerza de impulso, por su amor, a mi bella hermana Nery por la motivación de luchar hasta conseguirlo y mi hijo Johao por sus hermosas palabras "te quiero mucha mamá" y con cariño para Hilmar por su compañía en este proceso.

**MARIA**

A nuestra querida alma mater por su acogida y sus enseñanzas, a mis padres, mis tíos y por último a mis hermanos y hermana, quienes siempre me han guiado y apoyado con sus palabras de orientación en este largo proceso para poder llegar a subir el peldaño.

**GEONELLA**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por llegar a este día tan especial que es para nosotras y cumplir con nuestros sueños.

Al Dr. Ing. Alberto Luis Huamani, asesor de la presente tesis, por sus consejos, recomendaciones, apreciaciones, paciencia y por brindarme la información necesaria para la investigación del presente trabajo y por no dejarme rendir.

A nuestros jurados el Dr. Ing. Saul Ricardo CHUQUI DIESTRA, Mg. Hugo Rodolfo ORIUNDO MAMANI y Mg. Julio Pablo ODENZI VARGAS, por todo el apoyo y consejos brindados durante la revisión de este trabajo.

A nuestra casa superior de estudios la Universidad Nacional San Cristóbal De Huamanga por brindarnos el apoyo en la parte experimental.

A los docentes de la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional San Cristóbal De Huamanga, por sus enseñanzas y orientaciones durante mi desarrollo académico y profesional.

A los amigos y amigas de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

## RESUMEN

La proteína de la quinua, como uno de los pocos alimentos nutricionalmente completos, los concentrados proteicos son alimento funcionales y nutritivos que actualmente se está estudiando como una alternativa atractiva para innovar nuevos productos.

Como objetivo de la investigación es determinar las características del concentrado proteico de la quinua, solubilidad, aminograma e isotermas de estabilidad de agua. El concentrado proteico de quinua se obtuvo por solubilidad de la proteína a pH alcalino 10, seguido de precipitación a pH ácido 4, luego se llevó al equipo de liofilización a temperatura  $-55^{\circ}\text{C}$ . La proteína de quinua mostro una humedad de  $2,72 \pm 0,129\%$ , un  $71,42 \pm 0,545\%$  de pureza proteica y una solubilidad proteica del  $72,94\%$ . La estabilidad de agua del concentrado proteico de quinua se determinó utilizando el método gravimétrico estático de soluciones salinas saturadas a 30, 40 y  $50^{\circ}\text{C}$  respectivamente. Los valores experimentales se ajustaron al modelo de GAB, Oswin, Henderson y Caurie. La humedad de equilibrio (Me) disminuye con el incremento de la temperatura, que es similar a la mayoría de los alimentos agrícolas. Los modelos que presentaron los mejores ajustes, de acuerdo al SEM (%)  $< 10\%$  fueron la ecuación GAB y Oswin con valores de SEM de  $2,92\%$  a  $30^{\circ}\text{C}$  de GAB y  $3,84\%$  a  $50^{\circ}\text{C}$  de Oswin, también mostraron un buen ajuste en las curvas experimentales. El concentrado proteico presentó concentraciones moderadas de aminoácidos esenciales (excepto triptófano) con un alto nivel de lisina ( $13,42\%$ ).

**Palabras clave:** Quinua, estabilidad de concentrado proteico

## ABSTRACT

Quinoa Protein As one of the few nutritionally complete foods, Quinoa Protein Concentrate is a functional and nutritious food that is currently being studied as an attractive alternative for new product development.

In this research, the objective is to determine the characteristics of the quinoa protein concentrate, solubility, aminogram and water stability isotherms. The quinoa protein concentrate was obtained by solubility of the protein at alkaline pH 10, followed by precipitation at acid pH 4, then it was taken to the lyophilization equipment at a temperature of  $-55^{\circ}\text{C}$ . The quinoa protein showed a humidity of  $2.72 \pm 0.129\%$ , a  $71.42 \pm 0.545\%$  protein purity and a protein solubility of 72.94%. The water stability of the quinoa protein concentrate was determined using the static gravimetric method of saturated saline solutions at 30, 40 and 50 °C respectively. The experimental data were fitted to the GAB, Oswin, Henderson and Caurie models. Equilibrium moisture (Me) decreases with increasing temperature, which is similar to most agricultural foods. The models that presented the best adjustments, according to the SEM < 10%, were the GAB and Oswin equation with SEM values of 2.92% at 30 °C for GAB and 3.84% at 50 °C for Oswin, they also showed a good fit to the experimental curves. The protein concentrate presented moderate concentrations of essential amino acids (except tryptophan) with a high level of lysine (13.42%).

**Keywords:** Quinoa, stability of protein concentrate

## INDICE

Contenido	pág.
I. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Formulación del problema .....	2
1.1.1. Problema general .....	2
1.1.2. Problemas específicos .....	3
1.2 Objetivo.....	4
1.2.1 Objetivo general.....	4
1.1.2 Objetivo específico .....	4
II. MARCO TEÓRICO.....	6
2.1 QUINUA .....	6
2.2 CONCENTRADO PROTEICO DE QUINUA.....	10
2.2.1 Concentrado proteico .....	10
2.2.2 Extracto proteico.....	10
2.2.3 Solubilidad de la proteína.....	13
2.3 COMPUTO QUIMICO AMINOACIDOS .....	14
2.3.1 Score químico .....	14
2.3.2 Pruebas experimentales.....	16
2.4 ISOTERMAS DE HUMEDAD DE EQUILIBRIO.....	17
2.4.1 Actividad de agua (aw) .....	17

2.4.2	Isotermas de equilibrio .....	19
2.4.3	Adsorción de humedad en alimentos.....	20
2.4.4	Tres zonas de isoterma en alimentos .....	22
2.4.5	Tipos de isoterma en alimentos.....	25
2.4.6	Factores que influyen sobre las isotermas de sorción de agua en alimentos .....	28
2.5	MODELOS MATEMÁTICOS DE ISOTERMA DE ADSORCIÓN.....	32
2.5.1	Modelo Teórico.....	33
2.5.2	Modelo semiempírico.....	34
2.5.3	Modelo empírico.....	35
III.	MATERIAL Y MÉTODOS.....	37
3.1	LUGAR DE EJECUCIÓN .....	37
3.2	TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	37
3.3	MATERIALES, REACTIVOS Y EQUIPOS .....	37
3.3.1	Muestra .....	37
3.3.2	Materiales y otros.....	38
3.3.3	Equipos e instrumentos .....	39
3.3.4	Reactivos .....	39
3.4	DISEÑO METODOLÓGICO.....	40
3.5	DISEÑOS EXPERIMENTAL .....	42
3.6	OBTENCIÓN DEL CONCENTRADO PROTEICO.....	43

<b>3.6.1</b>	<b>Obtención del concentrado proteico por solubilización – precipitación</b> .....	<b>43</b>
<b>3.7</b>	<b>MÉTODOS DE ANALISIS</b> .....	<b>47</b>
<b>3.7.1</b>	<b>Determinación del contenido de humedad del concentrado proteico</b> .....	<b>47</b>
<b>3.7.2</b>	<b>Determinación de la solubilidad de concentrado proteico</b> .....	<b>48</b>
<b>3.7.3</b>	<b>Determinación del contenido de proteína</b> .....	<b>49</b>
<b>3.7.4</b>	<b>Determinación de estabilidad de humedad de equilibrio</b> .....	<b>51</b>
<b>3.7.5</b>	<b>Determinación de ceniza</b> .....	<b>53</b>
<b>3.7.6</b>	<b>Determinación de lípidos</b> .....	<b>54</b>
<b>3.7.7</b>	<b>Cálculo de parámetros de los modelos matemáticos</b> .....	<b>55</b>
<b>IV.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIONES</b> .....	<b>62</b>
<b>4.1</b>	<b>EXTRACCIÓN DE PROTEÍNA POR SOLUBILIZACIÓN</b> .....	<b>62</b>
<b>4.1.1</b>	<b>Extracción por solubilidad - precipitado</b> .....	<b>62</b>
<b>4.2</b>	<b>CARACTERIZACIÓN DEL CONCENTRADO PROTEICO</b> .....	<b>63</b>
<b>4.2.1</b>	<b>Humedad y proteína de la quinua</b> .....	<b>63</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Humedad y proteína en el concentrado proteico</b> .....	<b>64</b>
<b>4.2.3</b>	<b>Solubilidad</b> .....	<b>65</b>
<b>4.3</b>	<b>ESTABILIDAD A DIFERENTES HUMEDADES RELATIVAS</b> .....	<b>67</b>
<b>4.4</b>	<b>PARÁMETROS DE LOS MODELOS MATEMÁTICOS</b> .....	<b>68</b>
<b>4.5</b>	<b>MODELAMIENTO DE ISOTERMAS DE ADSORCIÓN</b> .....	<b>72</b>
<b>4.5.1</b>	<b>Modelo GAB</b> .....	<b>72</b>

<b>4.5.2</b>	<b>Modelo Oswin.....</b>	<b>73</b>
<b>4.5.3</b>	<b>Modelo Henderson.....</b>	<b>75</b>
<b>4.5.4</b>	<b>Modelo Caurie.....</b>	<b>76</b>
<b>4.6</b>	<b>AMINOÁCIDOS ESENCIALES EN CONCENTRADO PROTEICO.....</b>	<b>78</b>
<b>V.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>80</b>
<b>VI.</b>	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>81</b>
<b>VII.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>82</b>
<b>VIII.</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>94</b>

## Indice de Tablas

<b>Tabla 1:</b> Caracterización fisicoquímica de la quinua.....	7
<b>Tabla 2:</b> Composición de aminoácidos de la quinua .....	9
<b>Tabla 3:</b> Contenido de aminoácidos en el concentrado proteico de quinua. ....	12
<b>Tabla 4:</b> Patrón FAO /OMS del cómputo químico de aminoácidos.....	16
<b>Tabla 5:</b> Valores estándar de las actividades de agua de las sales a utilizar en función de la temperatura.....	52
<b>Tabla 6:</b> Contenido de humedad y proteína en la harina de quinua.....	63
<b>Tabla 7:</b> Contenido de humedad y proteína en el concentrado proteico.....	64
<b>Tabla 8:</b> Humedad en equilibrio (M) del concentrado proteico de quinua promedio a las temperaturas 30 °C, 40 °C y 50 °C.....	67
<b>Tabla 9:</b> Parámetros de ajuste de las isotermas de adsorción del concentrado proteico con los diferentes modelos matemáticos seleccionados a 30°C, 40°C y 50°C y el error estándar de humedad (SEM). ....	69
<b>Tabla 10:</b> Contenido de aminoácidos esenciales y el computo químico en el concentrado proteico de quinua en g/100g de proteína.....	78

## Índice de Figuras

<b>Figura 1:</b> El grano de quinua. ....	6
<b>Figura 2:</b> Isoterma de sorción.....	22
<b>Figura 3:</b> Las tres zonas de isoterma en alimentos.....	24
<b>Figura 4:</b> Tipos de isotermas de sorción según forma y proceso.....	27
<b>Figura 5:</b> Isotermas de adsorción de agua de diversos alimentos.....	28
<b>Figura 6:</b> Dependencia de las isotermas del tiempo para algunos alimentos.....	30
<b>Figura 7:</b> Influencia de las variaciones de temperatura sobre el agua.....	32
<b>Figura 8:</b> La quinua (descarte).....	38
<b>Figura 9:</b> Diseño metodológico.....	41
<b>Figura 10:</b> Diseño experimental de investigación.....	42
<b>Figura 11:</b> Concentrado proteico de quinua extraída.....	46
<b>Figura 12:</b> Analizador de humedad a temperatura 105°C.....	47
<b>Figura 13:</b> Solubilidad del concentrado proteico de quinua.....	48
<b>Figura 14:</b> Método de Kjeldahl.....	50
<b>Figura 15:</b> Digestión, destilado y titulación de proteína.....	50
<b>Figura 16:</b> Saturación de sales en los desecadores.....	52
<b>Figura 17:</b> Desecadores con muestras de concentrado proteico en estufas.....	53

## I. INTRODUCCIÓN

La quinua es conocida mundialmente como un alimento vegetal con un alto contenido proteico y un excelente perfil de aminoácidos, alto contenido de aminoácidos de lisina y metionina; también contiene varios minerales y vitaminas; la proteína es mejor que el cereales del trigo, arroz y maíz (Vargas et al., 2019). Tavano et al. (2022) menciona que la proteína total de la quinua está constituida principalmente por globulinas (41,3%), seguida de albúminas (26,96%), glutelinas (23,16%), y prolaminas (1,7%). Föste et al. (2015) menciona que los concentrados proteicos de quinua puede ser un ingrediente alimentario o prometedor que puede complementar las proteínas de diferentes fuentes, ya que es rico en aminoácidos esenciales. Mir et al., (2019) indica que las propiedades funcionales, como emulsificante, espumante y gelificación y son usadas como ingrediente en pan sin gluten, suplementos dietéticos, y para formulación de una amplia gama de nuevos productos alimenticios para enriquecer con proteínas y proporcionar un buena calidad de alimentos. Mir et al.,(2021) por otra parte menciona como formulación nutricional en productos horneados, cereales para el desayuno y alimentos para bebés.

El agua es el ingrediente más abundante en los alimentos. Es un determinante clave del almacenamiento de alimentos y tiene múltiples funciones en el procesamiento de alimentos Kong & Singh (2016). En química, el agua tiene una mayor influencia en las reacciones y la calidad de los alimentos que cualquier otro ingrediente químico Rahman (2007). La importancia funcional del agua en los productos orgánicos va más allá de su aspecto cuantitativo. El agua afecta la estructura y apariencia de los vegetales y es importante en las reacciones bioquímicas y el crecimiento microbiano Berk (2018). Controlar el contenido de

humedad de los alimentos durante el procesamiento es una técnica de conservación antigua que todavía se utiliza ampliamente en la actualidad [Desa et al. \(2019\)](#). Esto se logra eliminando la humedad para garantizar la estabilidad a largo plazo de los alimentos contra el deterioro microbiano y químico [Kong & Singh \(2016\)](#). Las isotermas de sorción de humedad juegan un papel importante en el enfoque cuantitativo para predecir la vida útil de los alimentos secos porque son sensibles a los cambios en el contenido de humedad [Samaniego et al. \(1991\)](#). Las isotermas de absorción de humedad han sido ampliamente estudiadas debido a su influencia sobre la estabilidad de los alimentos secos durante el almacenamiento, así como su influencia en la difusión del agua de los alimentos ([Timmermann et al., 2001](#)).

La mayoría de las investigaciones fueron enfocados a la extracción, caracterización de los extractos y concentrados de quinua. Sin embargo, existe poca información respecto a la estabilidad de agua de los extractos, concentraos proteicos de la quinua, ya que este parámetro es de mucha importancia en la conservación de los extractos y concentrados para sus aplicaciones en la industria alimentaria. Frente a esta poca información nos planteamos a realizar el estudio para determinar la estabilidad de agua del concentrado proteico de quinua.

## **1.1 Formulación del problema**

### **1.1.1. Problema general**

¿Es posible determinar de las características del concentrado proteico de la quinua, solubilidad y aminograma e isotermas de estabilidad de agua?

### **1.1.2. Problemas específicos**

1. ¿Cuál es la cantidad de proteína, humedad y solubilidad de los concentrados proteicos de quinua?
2. ¿Qué estabilidad tendrá el concentrado proteico a diferentes condiciones de humedad relativa y temperatura?
3. ¿Qué parámetros tienen los modelos matemáticos para modelar las isotermas de estabilidad?
4. ¿Qué forma tendrán las isotermas de estabilidad de agua del concentrado proteico de quinua?
5. ¿Qué componente de aminograma tendrá el concentrado proteico de quinua?

## **1.2 Objetivo**

### **1.2.1 Objetivo general**

Determinar las características del concentrado proteico de la quinua, solubilidad y aminograma e isothermas de estabilidad de agua.

#### **1.1.2 Objetivo específico**

1. Determinar la cantidad de proteína, humedad y solubilidad en agua.
2. Determinar la estabilidad de humedad del concentrado proteico a diferentes condiciones de humedad relativa y temperatura.
3. Determinar los parámetros de los modelos matemáticos.
4. Modelar las isothermas de estabilidad para cada modelo matemático.
5. Determinar los aminoácidos esenciales.

## **Hipótesis General**

Las características del concentrado proteico de la quinua, como isotermas de estabilidad de agua, solubilidad y aminograma es posible conocer.

## **Hipótesis específicas**

1. La cantidad de proteína, humedad y solubilidad en agua del concentrado proteicos de quinua es muy buena.
2. La estabilidad de humedad del concentrado proteico de quinua a diferentes condiciones de humedad relativa y temperatura son conocidos.
3. Los parámetros en los modelos matemáticos en concentrado proteico de quinua son propios de los alimentos.
4. Las isotermas de estabilidad de agua de los modelos matemáticos usados en concentrado proteico son propios de los alimentos.
5. Los valores de aminograma del concentrado proteico son muy buenos.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1 QUINUA

La quinua (*Quinoa Chenopodium*) es un pseudocereal cultivado por los incas desde la antigüedad, un alimento básico por las culturas andina, también se cultiva en Bolivia y Ecuador. Perú cultiva mayor al 50% de la producción mundial, la quinua es un alimento excelente, lo consideran como un cultivo eficaz que se adapta fácil por la sequía hasta puede crecer en regiones marginales, hoy en día lo seleccionan para ofrecer seguridad alimentaria en el siglo XXI (FAO, 2013).

#### Figura 1

*El grano de quinua.*



Fuente: <https://www.andeantaste.com/quinua/>

La quinua posee una proteína de 13,8 a 16,5% en base seca con un promedio del 15%. Mayoría de las proteínas almacenadas del grano de quinua es la albúmina (35%), globulina (37%) y bajo concentraciones de prolamina [Mir et al. \(2019\)](#), contiene una buena fuente de fibras, grasas poliinsaturadas, minerales (calcio, hierro, manganeso, magnesio, cobre y potasio), vitaminas (E, B, C) y fitoquímicos como polifenoles y flavonoides ([Shen et al., 2021](#)).

**Tabla 1**

*Caracterización fisicoquímica de la quinua*

<b>Análisis Proximal</b>	<b>Quinua en Semilla g/100 %</b>	<b>Harina de Quinua Precocida g/100 %</b>
Humedad	10,9 ± 0,001	4,7 ± 0,001
Ceniza	5,84 ± 0,35	8,1 ± 0,43
Grasa	6,9 ± 0,15	7,4 ± 0,2
Proteína	13,2 ± 0,05	13,8 ± 0,14
Fibra	9,44	9,68
Carbohidratos	53,7	56,4
Solidos totales	89,1	95,38
Calorías	330 kcal	347 kcal

Fuente: [Gutiérrez et al. \(2021\)](#).

Las variedades de granos de quinua han sido reconocidas como importantes fuentes de proteínas, como se muestra en la tabla 1. El grano de quinua es consumido en harina, batidos, biscochos, galletas y las hojas como ensaladas por su mayor contenido de proteína ([Gutiérrez et al., 2021](#)).

La quinua contiene proteínas de buena calidad, cercanas a la composición de aminoácidos requerida por el cuerpo humano, el contenido de proteínas puede alcanzar el 16-22% [Cao et al. \(2023\)](#). Existen diferentes tipos de quinua conocidos por su alto contenido en proteínas. Dependiendo de la variedad, el contenido de proteínas oscila entre el 13,81 y el 21,9%, a la vez contiene todos los aminoácidos esenciales que el ser humano requiere en su nutrición, ([Quelal et al., 2019](#)).

La variedad de quinua reside en su concentración de aminoácidos formadores de proteínas (lisina y metionina), el grano de quinua no es excepcionalmente alta en proteínas, es mejor que otros cereales en cuanto a este nutriente. Las legumbres poseen mayor contenido de proteína, no son muy buenos. La quinua es un cereal de alto valor biológico ([Alberto et al., 2015](#)).

En Tabla 2 se aprecia los aminoácidos esenciales encontrados en el grano de quinua.

**Tabla 2***Composición de aminoácidos de la quinua*

<b>Aminoácidos esenciales (mg/g de proteína)</b>	<b>Quinua</b>
Histidina	28,8
Isoleucina	35,7
Leucina	59,5
Lisina	54,2
Metionina	21,8
Fenilalanina	42
Treonina	29,8
Triptofano	11,8
Valina	42,1

Fuente: [Alberto et al. \(2015\)](#).

La proteína de la quinua es comparable a la proteína animal de la carne de res y del pescado. Además, la proteína de quinua tiene una interesante composición de aminoácidos, cuyos hidrolizados aportan muchos beneficios para la salud y propiedades antioxidantes. Recientemente, se han realizado muchos estudios sobre las características de calidad de la proteína de quinua y la producción de péptidos bioactivos a partir de la proteína de quinua se ha convertido en un nuevo tema de investigación ([Martínez et al., 2019](#)).

La quinua es una proteína sin gluten. La proteína de quinua requiere mucho esfuerzo para formar una determinada estructura de red, lo que causa problemas con la retención de agua, retención de gases y poca capacidad de gelificación de la proteína de quinua durante el procesamiento físico (Cao et al., 2023).

## **2.2 CONCENTRADO PROTEICO DE QUINUA**

### **2.2.1 Concentrado proteico**

Los concentrados proteicos en la extracción, cuanto más filtrada o purificada sea la proteína es mucho mejor y es pura, los concentrados proteicos tienen una concentración de proteína al 72.81% y posee niveles altos de otras macromoléculas (Dueñas et al., 2019).

### **2.2.2 Extracto proteico**

El extracto proteico es un material que contiene al menos un 90% de proteína. Como se sabe la materia prima de la que se extrae el aislado de proteína contiene mucho menos del 90 % de proteína, el proceso de elaboración del aislado de proteína consiste principalmente en la filtración y/o purificación de la proteína. se alcanza un valor del 90 % (Nazate, 2016).

El aislado de proteína es aquel proceso de producción implica varios pasos destinados a disminuir los elementos no proteicos para producir un producto final que tiene entre 70 a 80 de proteínas (Caiza Ayala, 2011).

Para obtener el aislado proteico de quinua se obtiene por solubilidad alcalina, la solubilidad es la relación de la haría de quinua con el agua, se realiza un control para una buena solubilidad de temperatura que es apropiado a 40 °C, aun pH de 9 - 10 y aun tiempo de 2-4 horas. Las proteínas al solubilizarse a pH alcalino, debido a los grupos polares y no polares predominan las especies cargadas negativamente debido a la ionización de los grupos carboxilo y la desprotonación de los grupos amina, un fenómeno que da como resultado una mayor interacción con el solvente y, por lo tanto, la solubilización de proteínas (Föste et al., 2015).

La precipitación de la proteína se da en el punto isoeléctrico a un pH de 4 – 4.5 con HCl donde la proteína no tiene carga eléctrica, las moléculas de proteínas vecinas no tienen repulsión electrostática y tienden a precipitar (Föste et al. 2015). La solubilización alcalina para la obtención del concentrado proteico de quinua, el pH es el efecto importante que daña la estructura de la proteína (Nazate, 2016).

El cuerpo no puede producir aminoácidos esenciales, los 9 aminoácidos esenciales son: histidina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, fenilalanina, treonina, triptófano y valina, por ello los encontramos en los alimentos como la quinua (Quelal et al., 2019).

En la Tabla 3 se muestran los principales aminoácidos esenciales.

**Tabla 3**

*Contenido de aminoácidos en el concentrado proteico de quinua.*

<b>Aminoácidos esenciales</b>	<b>Concentrado proteico de quinua (g/100 g) *</b>	<b>Semilla de quinua (g/100 g) **</b>	<b>FAO***</b>
Histidina	2,76	2,88	1,9
Isoleucina	1,3	3,57	2,8
Leucina	4,6	5,95	6,6
Lisina	17,13	5,42	5,8
Metionina	1,7	2,18	2,5
Fenilalanina	9,34	4,2	6,3
Treonina	1,47	2,98	3,4
Triptofano	N/D	1,18	1,1
Valina	2,03	4,21	3,5
Digestibilidad de la proteína (%)	78,37	78	

Fuente:

\*Elsohaimy et al.(2015).

\*\* Quelal et al. (2019)

\*\*\* Patrón de requerimiento de aminoácidos para preescolares extrapolables a adultos (FAO, 1985)

Según [Rivera \(2006\)](#) los aminoácidos encontrados en el aislado proteico son: histidina 1,98 (g/100g); isoleucina con 3,30 (g/100g); leucina con 5,61 (g/100g); lisina con 5,40 (g/100g); metionina con 1,68 (g/100g); fenilalanina con 3,43 (g/100g); lisina con 4,01 (g/100g); treonina con 2,00 (g/100g); Valina 3,86 (g/100g) y [Shi et al. \(2020\)](#) menciona que

los aminoácidos encontrados en el aislado proteico son histidina 2,66 ; isoleucina 3,87; leucina 5,96; lisina 5,40; metionina 2,37; Fenilalanina 3,93; lisina 5,40 treonina 2,00; Valina 3,75, respectivamente en (g/100g).

### **2.2.3 Solubilidad de la proteína**

La solubilización de proteínas es una manifestación termodinámica del equilibrio entre las interacciones proteína-proteína y proteína-disolvente. En otras palabras, la solubilidad supone que: separación de moléculas del disolvente, separación de moléculas de proteínas y dispersión de estas moléculas, se maximiza la interacción entre la proteína y el disolvente (Damodaran & Parkin, 2018).

Dado que los diferentes aminoácidos tienen diferente solubilidad en agua, la composición y concentración de los grupos de aminoácidos polares y no polares también es de importancia en la determinación de la solubilidad de las proteínas (Lorenzo, 2008).

Según Wang et al (2019) muchos factores afectan la solubilidad; éste, la formación de aminoácidos (la proteína con aminoácidos polares generalmente es más soluble que una proteína muy rica en aminoácidos hidrofóbicos); estructura tridimensional (una proteína fibrosa son generalmente poco solubles que las proteínas globulares) y el entorno de la propia proteína.

Según [Pinciroli \(2011\)](#) por encima o por debajo del punto isoeléctrico, la proteína tiene una carga negativa o positiva y puede interactuar con moléculas de agua que portan estas cargas, contribuyendo a su disolución.

A altas concentraciones de sal, la solubilidad baja, lo que lleva a la precipitación. Este factor (precipitación por salificación), este es el resultado de la competencia entre la proteína y la sal por las moléculas de agua necesarias para disolverlas ([Gálvez et al., 2013](#)).

## **2.3 COMPUTO QUIMICO AMINOACIDOS**

### **2.3.1 Score químico**

El valor biológico de la proteína dependerá en mayor medida de su composición en aminoácidos esenciales ([Suárez et al., 2006](#)).

El método actualmente propuesto no ayuda evaluar la calidad de las proteínas, con el cómputo químico se calcula a los aminoácidos esenciales limitantes de un alimento ajustada por digestibilidad de proteínas o PDCAAS, la FAO propuso en 1991 ([Pires et al., 2006](#)).

El score de aminoácidos se refiere a la proporción de 1 g de proteína objetivo a la proteína referencial. Composición de aminoácidos recomendada por la FAO/OMS para la proteína de referencia (aminoácido, mg/g de proteína) utilizando los requisitos de aminoácidos de niños de 2 a 5 años: histidina 19; isoleucina 28; leucina 66; lisina 58;

metionina cisteína 25; fenilalanina tirosina 63; treonina 34; triptófano 11; Valina 35 (FAO, 1991). El score de aminoácidos de la harina representa el aminoácido esencial más limitante (Bai et al., 2018).

$$SQ = \frac{(\text{g AAE alimento})}{(\text{g AAEP proteína})} * 100 \quad (1)$$

Donde:

- SQ: Score químico de aminoácidos.
- AAE: sumaria total de aminoácidos en peso del alimento
- AAEP: como unidad de peso estándar de aminoácido

El patrón como referencia de aminoácidos se presenta en la siguiente Tabla

**Tabla 4**

Patrón FAO /OMS del cómputo químico de aminoácidos

---

<b>Aminoácidos</b>	<b>Dosis propuesta mg/g proteína</b>
Isoleucina	40
Leucina	70
Lisina	55
Metionina + Cisteína	35
Fenilalanina + Tirosina	60
Treonina	40
Triptofano	10
Valina	50
<b>Total</b>	<b>360</b>

---

Fuente: [Barrera & Pérez, \(2014\)](#).

### 2.3.2 Pruebas experimentales

La composición de aminoácidos se determinó en POS Bio-Sciences Corp. (Saskatoon, SK) utilizando un sistema de análisis de aminoácidos Pico-label (Waters Corporation, Milford, MA, EE. UU.) y la cromatografía en líquida de alta resolución (HPLC). Se han identificado los 18 aminoácidos. Brevemente, se prepararon muestras que contenían

20 mg de proteína y se mezclaron en tubos Pyrex con 15 ml de ácido clorhídrico 6 N seguido de lavado con N<sub>2</sub>. Luego, los tubos se sellaron y almacenaron a 110 °C durante 20 h para hidrolizar las proteínas en aminoácidos para su separación y determinación mediante HPLC. (Bai et al., 2018).

## **2.4 ISOTERMAS DE HUMEDAD DE EQUILIBRIO**

### **2.4.1 Actividad de agua (aw)**

Labuza (1980) describe que el agua en los alimentos está en forma libre o ligada. Cuando está libre, actúa como disolvente de sales y azúcares, promoviendo reacciones químicas y el crecimiento microbiano. Cuando se une, se une a otros grupos químicos como grupos hidrofílicos de polisacáridos y proteínas y no presentan reacciones químicas o como solvente. Desde el campo de la ciencia de los alimentos, en el concepto de actividad del agua, siendo estas áreas:

- Métodos de control de la actividad del agua.
- Inhibición microbiana de la reducción.
- Factores que afectan en actividad de agua.
- Aplicación de la actividad de agua en la conservación de alimentos

Según la termodinámica, el potencial químico del agua en soluciones (aw) fue el principal parámetro para controlar el contenido de agua de los alimentos, porque se demostró que existe una humedad aleatoria óptima correspondiente a un amplio rango de actividad del

agua donde los productos muestran un máximo estabilidad ( Gálvez et al. 2006). La actividad del agua junto con el pH, la humedad, la temperatura y el oxígeno afectan la estabilidad de los alimentos, con  $a_w$  alta (1.0) se multiplican bacterias, mohos y levaduras, si cae por debajo de 0.85 se controla su crecimiento (Labuza, 1985).

La actividad del agua de un alimento se expresa como la relación entre la presión de vapor del agua en solución y la presión de vapor del agua pura, variando su valor de 1,0 para el agua pura a 0 para el producto completamente seco (Labuza, 1980).

Físicamente, la actividad del agua se puede describir como una medida del estado del agua de los alimentos y se puede describir termodinámicamente por el coeficiente de fugacidad (Gálvez et al., 2006).

$$a_w = \frac{f}{f_0} \approx \frac{p}{p_0} = \frac{HRE}{100} \quad (2)$$

Donde:

- $a_w$ : Actividad de agua.
- P: Presión parcial de vapor de agua en el sistema (alimento).
- $P_0$ : Presión de saturación del agua líquida pura a la misma temperatura.
- HRE: Humedad relativa de equilibrio.

### 2.4.2 Isotermas de equilibrio

La isoterma de los alimentos nos muestra la curva de la relación entre su contenido de humedad y la actividad del agua cuando se encuentran en equilibrio a temperatura constante (Labuza, 1980). Cuando se traza el contenido de humedad de equilibrio de un alimento en función de su actividad hídrica, normalmente se observan curvas de diversas formas, como sigmoidea, exponencial, de dos o tres mesetas. La forma de las isotermas depende siempre de la temperatura y composición del alimento (proteico, graso, rico en azúcar, rico en almidón) y de su estado físico (en polvo, cristalino, sólido amorfo, etc.) (Vega & Lemus, 2017).

Conocer y comprender las isotermas de sorción de agua de los alimentos es un tema interesante en diversos campos de la ciencia, la ingeniería y la tecnología de los alimentos; cada producto tiene su propia isoterma de sorción única (Nayab et al. 2023).

La isoterma de absorción de humedad es una herramienta muy valiosa para comprender el mecanismo de absorción de agua, que resulta útil en el diseño, modelado y optimización de muchas operaciones y procesos de ingeniería (Zhang et al. 2022). También, permite conocer el fenómeno de la absorción de agua, como la estabilidad de los alimentos y las velocidades de reacciones químicas, para realizar estimaciones y también calcular la vida útil de los alimentos (Azuara & Beristain, 2019), calcular el envasado, mezcla de ingredientes seleccionar el material de empaque y almacenamiento de productos alimenticios (Doperto et al., 2012).

Las isoterma de sorción física ayudan a saber cuándo ocurren cambios en el aroma, sabor, color, textura y nutrientes de los alimentos; cuando habrá pardeamiento en los materiales pulverulentos y productos húmedos que puedan perder agua y evitar que sean duros, los cambios de temperatura (Azuara & Beristain ,2019). Además, la isoterma de sorción también brindan información sobre la estructura de los alimentos, los requisitos de energía y el estado molecular del agua dentro de los productos (Aviara, 2020).

Cuando los alimentos absorben agua al entrar en contacto con el medio ambiente, aumenta la humedad del aire, aumenta la actividad del agua, aumentan las reacciones químicas, físicas y enzimáticas y la proliferación de microbios puede provocar el deterioro de los alimentos o poner en peligro la salud animal. y por ello el estudio de las isoterma de sorción es importante y nos brinda resultados confiables sobre el producto (Raji & Ojediran, 2011).

### **2.4.3 Adsorción de humedad en alimentos**

La adsorción de humedad en los alimentos es un proceso en el que las moléculas de agua se combinan gradual y reversiblemente con los sólidos de los alimentos mediante adsorción química, adsorción física y condensación multicapa (Bustos, 2019). El contenido de humedad, donde la presión del vapor de agua en el alimento es igual a la del ambiente, se llama humedad de equilibrio, si se conocen las propiedades de adsorción del alimento, así podemos observar los fenómenos que ocurren en la matriz del alimento durante y después del procesamiento y almacenamiento (Bustos, 2019).

La curva de adsorción permite conocer la evolución de la humedad relativa del ambiente, en términos de contenido de agua del producto no protegido, indicando su higroscopicidad (Romani et al., 2016).

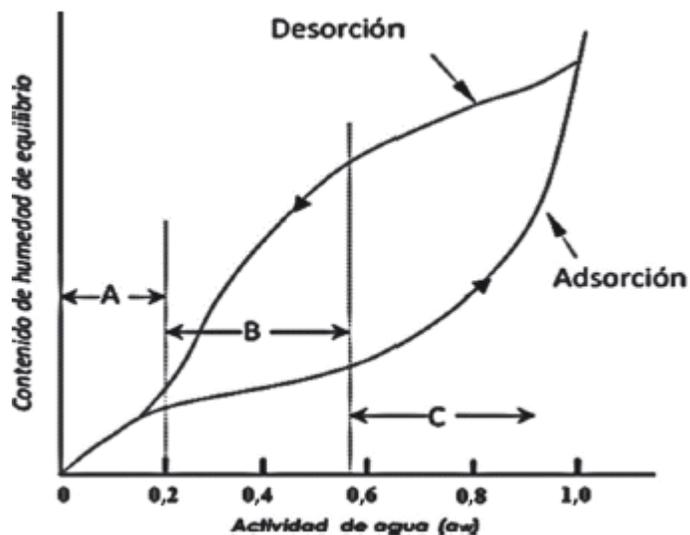
El estudio de las isoterma de adsorción es necesario para predecir la estabilidad de los alimentos con sus diferentes actividades de agua después del proceso de secado, siempre los productos secos son expuestos a diferentes humedades y temperaturas al momento de almacenar y distribuir (Toğrul & Arslan, 2020).

Hablamos de adsorción cuando se inicia el proceso de equilibrio en una muestra seca hasta alcanzar el equilibrio con el aire circundante, dando lugar a un aumento de la humedad, de esta forma se puede conocer el agua unida al sistema. En cambio, la desorción se determina midiendo la pérdida de peso cuando el material húmedo se introduce por primera vez en un ambiente de humedad relativa constante (Muhtaseb et al., 2002).

Las isotermas de estabilidad se utilizan para cuatro áreas de procesamiento de alimentos como: secado, mezclado, envasado y almacenamiento.

**Figura 2**

*Isoterma de sorción*



Fuente: [Muhtaseb et al. \(2002\)](#).

#### **2.4.4 Tres zonas de isoterma en alimentos**

Las isotermas de estabilidad en alimentos, se dividen en tres zonas:

En la primera zona I, con valores de  $a_w$  inferiores a aproximadamente 0,25, las moléculas de agua están fuertemente unidas a lugares específicos del sólido, estos lugares incluyen los grupos hidroxilo de los polisacáridos, los grupos carbonilo y amino de las proteínas. enlaces de hidrógeno y fuerza del dipolo iónico, la zona isotérmica corresponde a la humedad de la monocapa del alimento, el valor de la monocapa corresponde a la cantidad

máxima de agua que puede unirse muy fuertemente a la materia seca (Choque, 2018). Por lo general el agua de esta región está descongelada, por lo que esta agua no está disponible como solvente y por lo tanto no actúa microbiológicamente, ni enzimáticamente ni químicamente, pero puede ocurrir oxidación de lípidos, los alimentos nos dan más tiempo. Degradación de calidad larga y mínima a una temperatura determinada (Araújo & Pena, 2022).

En la **zona II**, es una región intermedia de equilibrio, con valores de  $a_w$  que varían de 0,25 a 0,75 a 0,80, representa moléculas de agua débilmente unidas, el agua se encuentra en monocapas multicapa (Araújo & Pena 2022), menos fuertemente unida. Esta agua está disponible como disolvente para solutos de bajo peso molecular normalmente presentes en capilares pequeños, ocurre en reacciones de pardeamiento, reacciones enzimáticas, oxidación hidrolítica y de lípidos, por nombrar algunas, reacciones bioquímicas. En esta región, la isoterma tiene muchas formas diferentes dependiendo de la naturaleza y la higroscopicidad del alimento (Choque, 2018).

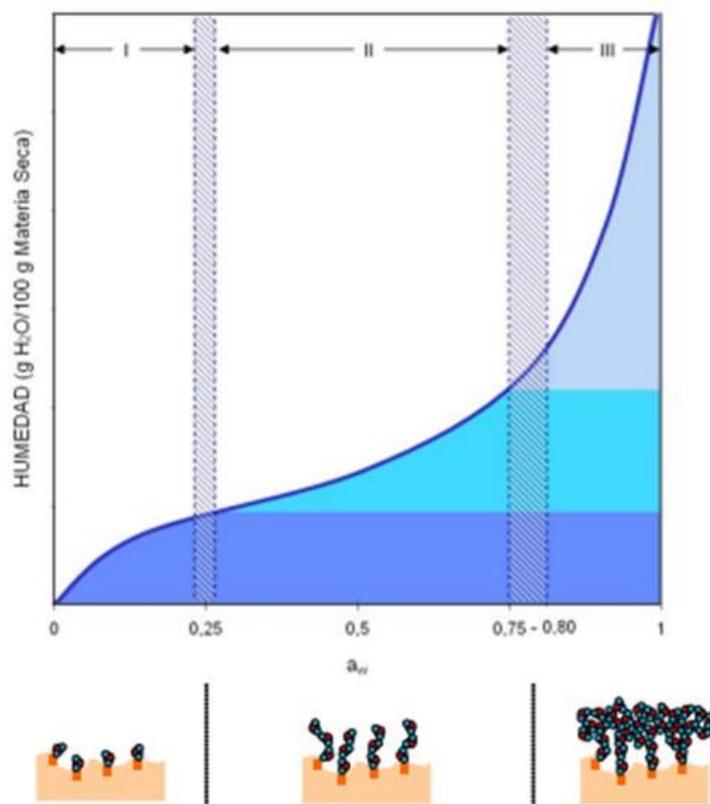
En la **zona III**, que incluye valores desde  $a_w$  hasta la unidad, está representado estructuralmente y puede presentar soluciones (Choque, 2018), el exceso de agua está presente en macrocapilares o como parte de la fase líquida en materiales húmedos. Esta zona tiene casi todas las características del agua a granel, es decir. está suelto en grandes capilares o libre y, por tanto, puede actuar como disolvente y es susceptible al crecimiento microbiano, hongos, levaduras y bacterias. En este tipo de alimentos se producen cambios químicos como

reacciones de hidrólisis, reacciones de pardeamiento no enzimático, oxidación de lípidos y actividad enzimática, que se convierten en la principal causa de intoxicación alimentaria (Araújo & Pena, 2022).

Las isoterma de sorción de alimentos están diseñadas para conocer la actividad del agua de cada alimento a una temperatura determinada según su contenido de humedad.

### Figura 3

*Las tres zonas de isoterma en alimentos*



Fuente: Lemus (2023).

#### 2.4.5 Tipos de isoterma en alimentos

Según [Mathlouthi & Rogé \(2003\)](#) las isotermas de adsorción se pueden clasificar en cinco tipos según la forma de la curva y el proceso. Brunauer, basándose en su experiencia, clasificó las isotermas en cinco tipos.

**Tipo 1:** Corresponde a la isoterma de Langmuir mostrando un aumento de la actividad del agua y de su humedad, las curvas son convexas hacia arriba. Este tipo de isoterma ayuda a analizar el llenado de una capa monomolecular dentro de un sólido poroso que contiene agua en la superficie interna del material, este gráfico podría encontrarse en procesos con adsorción monocapa en los que la superficie del adsorbente interactúa con la capa de moléculas, en contamos a alimentos anti-aglomerantes ([Caiza, 2021](#)).

**Tipo 2:** Es una de las isotermas más frecuentes en los alimentos y puede clasificarse en tres zonas, conocida como sigmoide, al igual que las ecuaciones BET y/o GAB donde las curvas son cóncavas hacia arriba, este tipo de isoterma se considera una adsorción multicapa, que invierte la dirección cóncava hasta el punto de inflexión, el codo de la curva es el punto de finalización de la primera adsorción de monocapa. También marca el comienzo de la adsorción para la segunda capa y las superiores. Son característicos de los productos solubles, tienden a asintotarse a medida que la actividad del agua se acerca a la unidad, son característicos de los alimentos ricos en almidón, como el salvado de avena y la harina. ([Sierra & Allca, 2022](#)).

**Tipo 3:** reconocido como isoterma de Flory-Huggins, Según el gráfico, no hay punto de inflexión, lo que significa que no hay una formación multicapa restringida. La gráfica es convexa en todos sus puntos. Este tipo de curva se produce debido a la débil interacción entre el adsorbente y las superficies adsorbentes, este tipo de isoterma se observa frecuentemente en el caso de sólidos disueltos para alimentos con alto contenido de azúcar o sal, a valores bajos de  $a_w$ , puede ocurrir una disolución local de alcoholes de azúcar, un hinchamiento de proteínas y el surgimiento de nuevos sitios activo (Nazreen et al., 2020).

**Tipo 4:** Al describir la adsorción de sólidos hidrófilos, está estrechamente relacionada con el tipo 2, donde la curva contiene un punto de inflexión. La curva muestra la formación de monocapas y multicapas. También podría usarse para describir el hinchamiento de un sólido hidrofílico a través de la adsorción hasta que alcanza la hidratación posible (Yogendrarajah et al., 2015).

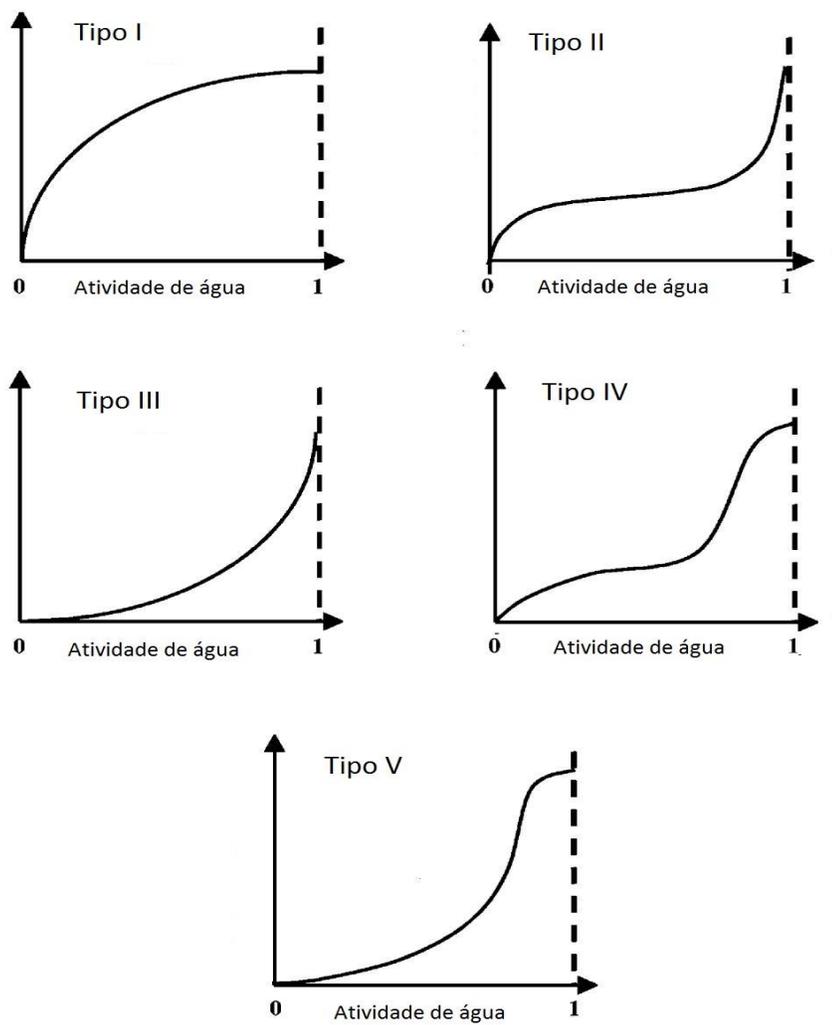
**Tipo 5:** La isoterma de adsorción multicapa Brunauer Emmett Teller (BET) es similar al tipo 3, en el sentido de que no hay punto de inflexión. Ambas curvas describen la formación de adsorción multicapa y la interacción débil entre las interacciones adsorbente-adsorbato que representa la adsorción multimolecular observada en la adsorción de vapor de agua sobre carbón. Está estrechamente relacionado con las isotermas de adsorción tipo 2 y tipo 3 (Sierra & Allca, 2022).

Las configuraciones isotérmicas más comunes en los alimentos son los tipos 2 y 4, aquí esto nos muestra que la mayoría de los alimentos tienen capacidad de adsorción multicapa y

el agua contenida en el alimento tiene una presión de vapor similar cercana a esa agua pura (Nazreen et al., 2020).

#### Figura 4

*Tipos de isothermas de sorción según forma y proceso*



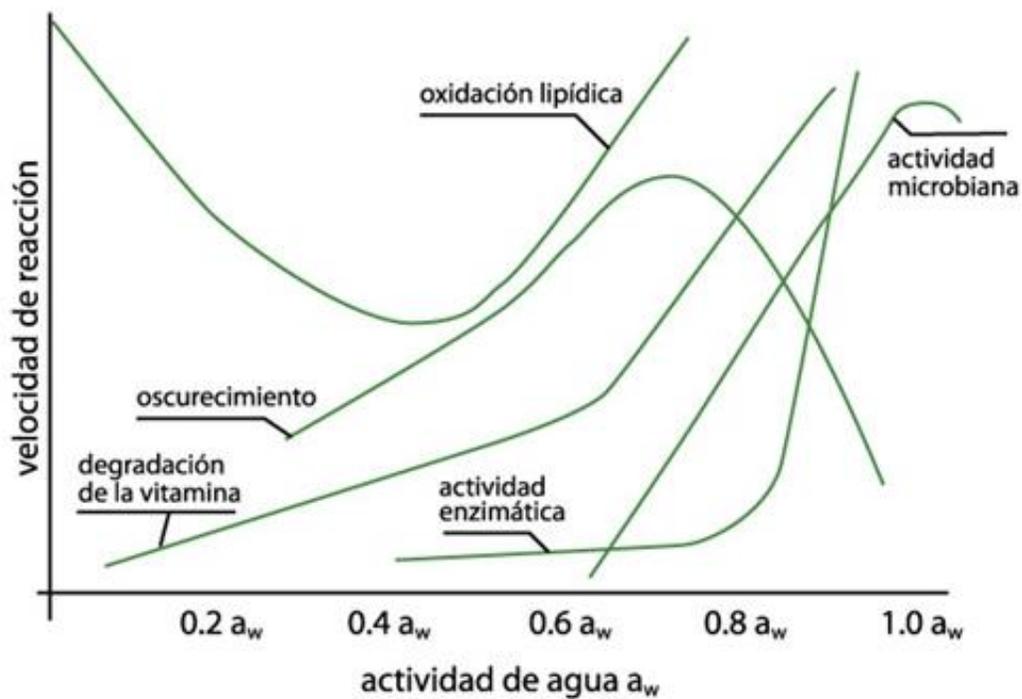
Fuente: Caiza (2021).

#### 2.4.6 Factores que influyen sobre las isotermas de sorción de agua en alimentos

Los factores que influyen en la forma de la curva y la ubicación de la isoterma son la composición del producto, el estado físico de los ingredientes y la temperatura. Los alimentos cambian sus isotermas de un alimento a otro como lo confirma la siguiente Figura 4 (Ramírez, 2021).

**Figura 5**

*Isotermas de adsorción de agua de diversos alimentos*



Fuente: Ramírez (2021).

#### **2.4.6.1 Composición del producto**

Determina cuatro formas de curva de estabilidad encontradas en alimentos por su composición, tenemos a los productos como el almidón (como la patata), productos proteicos (como la carne), ricos en carbohidratos de bajo y alto peso molecular (vegetales) y ricos en azúcares (frutas) (Martínez et al., 2019).

Los productos con almidón (patatas, frijoles, maíz, arroz, pasta, harina) tienen una mayor capacidad de retención de agua en zonas con baja humedad relativa. Los alimentos ricos en proteínas (pescado, huevos, queso, carne) tienen una capacidad ligeramente menor, al igual que las verduras ricas en carbohidratos. El conocimiento de la interacción entre el agua y los componentes de la matriz alimentaria es un indicador más adecuado para predecir la estabilidad microbiana o fisicoquímica de este tipo de productos proteicos. (Leonardo et al., 2020).

#### **2.4.6.2 Estado físico de sus componentes**

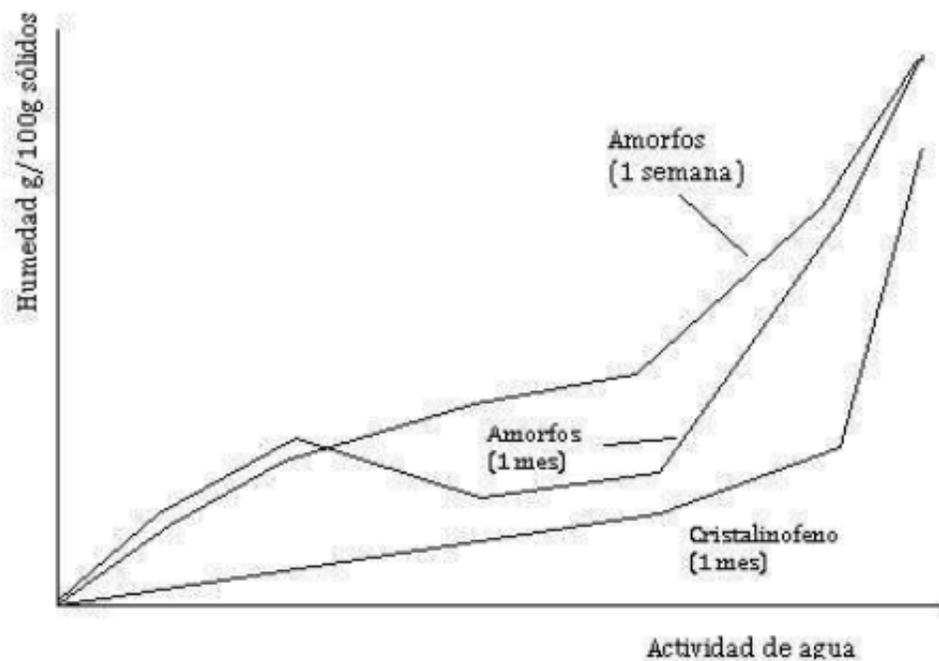
Cuando se produce la cristalización de un componente en un material amorfo con un determinado contenido de humedad y actividad de agua, el valor de  $a_w$  aumentará debido a la liberación de dichas moléculas de agua y el producto pierde sus propiedades estables. Los cambios en el pH y la fuerza iónica afectan la capacidad de retención de agua de los alimentos proteicos. Para el mismo producto tratado de diferentes maneras, pero manteniendo

constantes otras condiciones, tendrán isothermas de adsorción significativamente diferentes (Martínez et al., 1998).

Para los alimentos que contienen azúcar en forma amorfa (leche desnatada, frutos secos en polvo, aromas en polvo...), la isoterma de adsorción depende del tiempo como se muestra en la Figura 6.

**Figura 6**

*Dependencia de las isothermas del tiempo para algunos alimentos*



Fuente: Martínez et al. (1998).

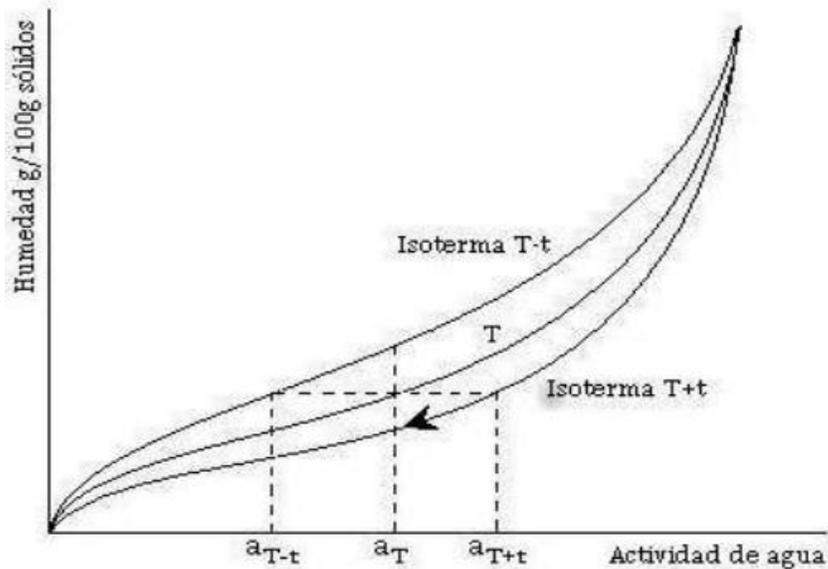
### 2.4.6.3 Temperatura

Los alimentos son presentados a diferentes temperaturas durante su almacenamiento y procesado. La temperatura afecta la movilidad de las moléculas de agua y el equilibrio dinámico entre el vapor y la fase adsorbente en general, el aumento de temperatura conduce a la pérdida de humedad del producto en equilibrio con la humedad relativa dada, observamos el acercamiento de la isoterma hacia el eje  $a_w$ , podemos decir que  $a_w$  aumenta para la misma humedad. En caso de que algunos azúcares y alimentos de bajo peso molecular sean solubles en agua y se vuelvan más higroscópicos a temperaturas más altas. Dependiendo del alimento, cambios muy pequeños de temperatura pueden provocar grandes cambios en la actividad del agua ([Martínez et al., 1998](#)).

En la Figura 7 si el producto se expone a una humedad relativa ambiental en T, un aumento repentino de la temperatura de T a  $T+t$  producirá deshidratación como lo muestra la flecha, y el aumento de temperatura va acompañado de una disminución de la humedad relativa ([Leonardo et al., 2020](#)).

## Figura 7

*Influencia de las variaciones de temperatura sobre el agua*



Fuente: [Leonardo et al. \(2020\)](#).

## 2.5 MODELOS MATEMÁTICOS DE ISOTERMA DE ADSORCIÓN

Para modelar las curvas isotérmicas de los alimentos existen numerosas ecuaciones matemáticas de carácter teórico, semiempírico y experimental. Los modelos GAB y BET son teóricos y explican las interacciones entre el agua y las estructuras de los alimentos, mientras que los modelos semiempíricos y empíricos se utilizan para ajustar los datos a una variedad de actividades acuáticas que seguramente provocarán diferentes interacciones en el proceso. ([Sosa & Castro, 2022](#)).

### 2.5.1 Modelo Teórico

#### Modelo GAB

El modelo GAB tiene un número razonablemente limitado de tres parámetros y normalmente representa con precisión valores experimentales en el rango de 0 a 0,95 para casi todos los alimentos útiles en la práctica. Este modelo incluye un grado de libertad adicional ( $K$  constante) que lo hace muy volátil, porque en el modelo BET logra adsorción física local en muchas capas sin correlación en el mismo nivel. Con la adición del parámetro  $K$ , el modelo GAB supone que las moléculas multicapa interactúan con el adsorbente a valores de energía similares a los de las moléculas monocapa (Sosa & Castro, 2022).

$$M = \frac{M_0 C_g k a_w}{(1 - K a_w)(1 - K a_w + C K a_w)} \quad (3)$$

Donde:

- $M$ : Valor de humedad en el equilibrio [kg H<sub>2</sub>O/100 kg]
- $M_0$ : Valor de humedad en la monocapa (contenido de agua correspondiente a la saturación de todos los sitios primarios por una molécula de agua)
- $C$ : contante de Guggenheim
- $k$ : valor de parámetro de corrección para las propiedades de las moléculas en la multicapa con respecto al líquido.
- $a_w$ : actividad de agua

Algunos ejemplos de alimentos en los que se ha aplicado el modelo de GAB incluyen: Granos y cereales (arroz, trigo, maíz); frutas y hortalizas (manzanas, naranjas, zanahorias, entre otros); frutos secos y semillas (nueces, almendras, semillas de girasol); productos lácteos (leche en polvo, queso); carnes y productos cárnicos (carne seca, jamón); productos de panadería y repostería (pan, galletas, pastas); productos deshidratados (vegetales deshidratados, sopas instantáneas) ([Badui Dergal, 2016](#)).

### 2.5.2 Modelo semiempírico

#### Modelo Cauri

El modelo Caurie es un modelo semiempírico que da buenos resultados para una amplia gama de alimentos en el rango de 0 a 0,85 ([Choque, 2018](#)).

$$M = \exp(A_1 + B_1 * aw) \quad (4)$$

Donde:

- M: Valor de humedad en el equilibrio [kg H<sub>2</sub>O/100 kg]
- A: Valor de humedad de seguridad que proporciona la máxima estabilidad al alimento deshidratado durante el almacenamiento (g/g m.s)
- B: constante característica del material
- aw: actividad acuosa

La ecuación de Caurie es la base para modelar las isothermas de los alimentos deshidratados; el contenido máximo de agua que afecta la estabilidad de los alimentos deshidratados es aproximadamente el 22% (Caurie, 1970).

### 2.5.3 Modelo empírico

#### 2.5.3.1 Modelo Henderson

Uno de los modelos más utilizados representa la correspondencia entre la actividad y la absorción del agua Martinelli et al. (2007) se representa la ecuación:

$$M = \left[ \frac{-\ln (1-Aw)}{-A2} \right]^{1/B2} \quad (5)$$

Donde:

- M: Valor de humedad en el equilibrio [kg H<sub>2</sub>O/100 kg]
- A y B: Valore de parámetros matemáticos
- Aw: actividad de agua

Algunos ejemplos de alimentos específicos a los que se ha aplicado el modelo de Henderson incluyen: Arroz, Manzanas, Cereales, leche en polvo, carne seca, etc, (Caiza, 2021).

### 2.5.3.2 Modelo Oswin

El modelo de Oswin encaja perfectamente entre valores de actividad del agua de  $0 < a_w < 1,0$ , esta ecuación corrige la isoterma del alimento en aproximadamente un 57%. Los parámetros característicos A y B muestran la relación con la temperatura para diferentes isotermas (Martinelli et al. 2007) se representa la ecuación:

$$M = A_3 \left[ \frac{A_w}{(1-A_w)} \right]^{B_3} \quad (6)$$

Donde:

- M: Valor de humedad en el equilibrio [kg H<sub>2</sub>O/100 kg]
- A y B: valores de parámetros matemáticos
- A<sub>w</sub>: actividad de agua

El modelo de Oswin se ha aplicado a una variedad de alimentos y productos agrícolas, incluyendo: Cereales y granos (arroz, trigo, maíz, quinua) y productos deshidratados (Gálvez et al., 2006).

### **III. MATERIAL Y MÉTODOS**

#### **3.1 LUGAR DE EJECUCIÓN**

La parte experimental del trabajo de investigación se realizó en **el laboratorio de Análisis de Alimentos, lab. de investigación y lab. Tecnología de Alimentos**, de la Facultad de Química y Metalurgia de la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga.

#### **3.2 TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN**

Según la finalidad del trabajo este pertenece al de tipo **experimental aplicativo**, y el nivel de investigación pertenece a **explicativo, predictivo y aplicativo**.

#### **3.3 MATERIALES, REACTIVOS Y EQUIPOS**

##### **3.3.1 Muestra**

Para extraer el concentrado proteico de quinua, se usó la quinua descarte (quinua de tercera), adquirido en el mercado de Huamanga.

## Figura 8

*La quinua (descarte)*



### 3.3.2 Materiales y otros

- ✓ Piseta
- ✓ Papel aluminio
- ✓ Desecadores (6) de 1.5 L
- ✓ Plato descartable
- ✓ Indicador de pH (PANPEHA)
- ✓ Soporte universal
- ✓ Espátula

- ✓ Papel toalla
- ✓ Probeta de 5 ml, 25 ml y 100 ml
- ✓ Fiola de 25ml (2), 10ml, 100ml (2) y 1000 ml.
- ✓ Matraz Erlenmeyer de 250ml (5) y 1000 ml
- ✓ Vaso precipitado de 100ml (2) y 500 ml
- ✓ Bureta de 25 ml

### **3.3.3 Equipos e instrumentos**

- ✓ Agitador con magneto: Marca IKAMAG RCT
- ✓ Centrifugador: JANETZKI T30
- ✓ Termómetro digital
- ✓ Analizador de humedad AND MX-50 (0.01% / Max 51g)
- ✓ Liofilizador LABCONCO
- ✓ Incubadora MEMMERT

### **3.3.4 Reactivos**

- ✓ Hidróxido de sodio (NaOH)
- ✓ Ácido clorhídrico (HCl)
- ✓ Hidróxido de potasio (KOH)
- ✓ Cloruro de magnesio  $MgCl_2 \cdot 6H_2O$
- ✓ Carbonato de potasio ( $K_2CO_3$ )

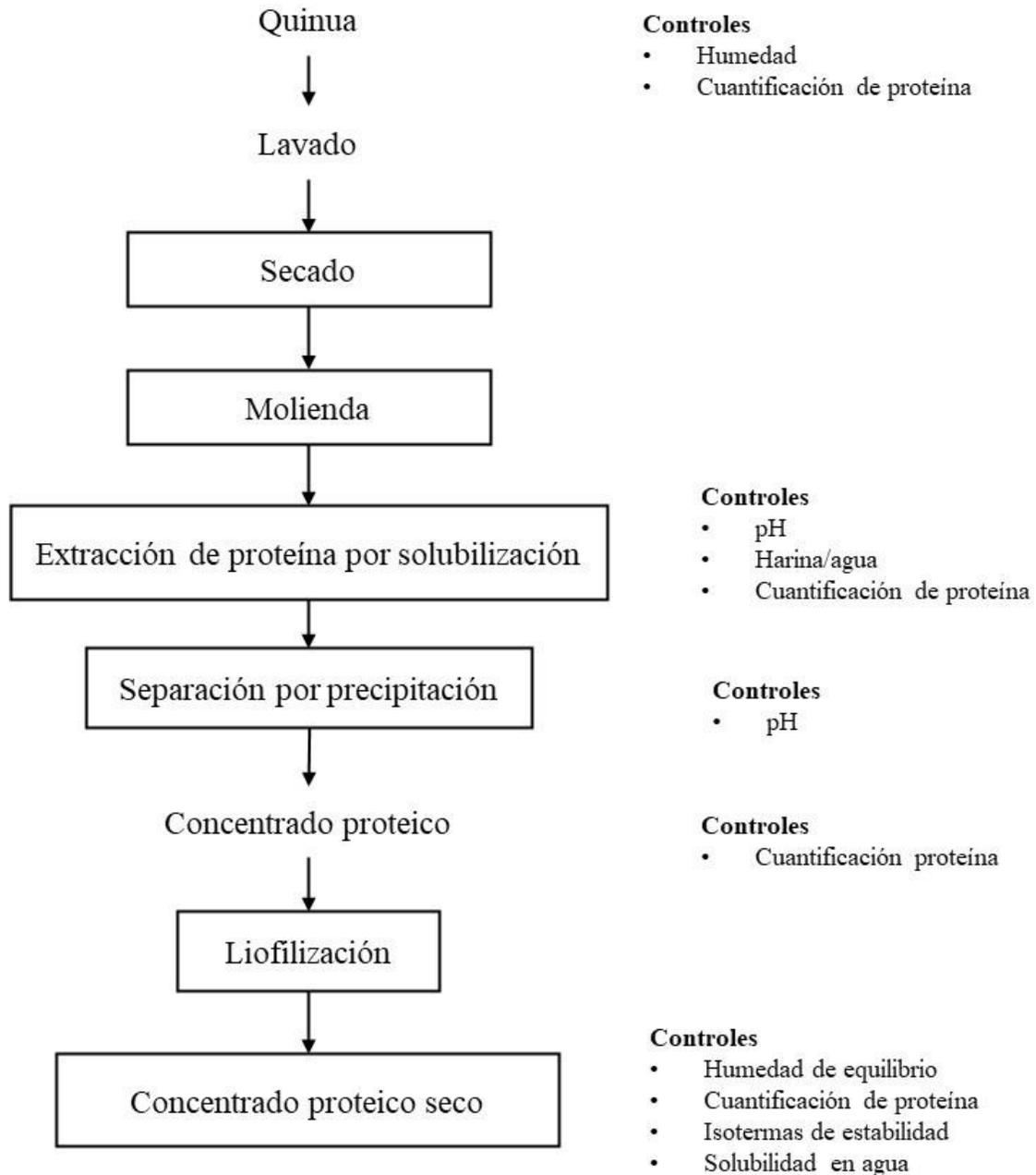
- ✓ Nitrato de sodio ( $\text{NaNO}_3$ )
- ✓ Cloruro de potasio ( $\text{KCl}$ )
- ✓ Cloruro de bario ( $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )
- ✓ Sulfato de potasio ( $\text{SO}_4\text{K}_2$ )
- ✓ Sulfato de cobre ( $\text{SO}_4\text{Cu}$ )
- ✓ Ácido clorhídrico ( $\text{HCl}$ )
- ✓ Ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )
- ✓ Hidróxido de sodio ( $\text{NaOH}$ )
- ✓ Ácido bórico ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ )
- ✓ Rojo metilo
- ✓ Verde bromocresol
- ✓ Etanol al 96 %
- ✓ Agua destilada

### **3.4 DISEÑO METODOLÓGICO**

Nuestra metodología a seguir fue la que se muestra en la Figura 9.

**Figura 9**

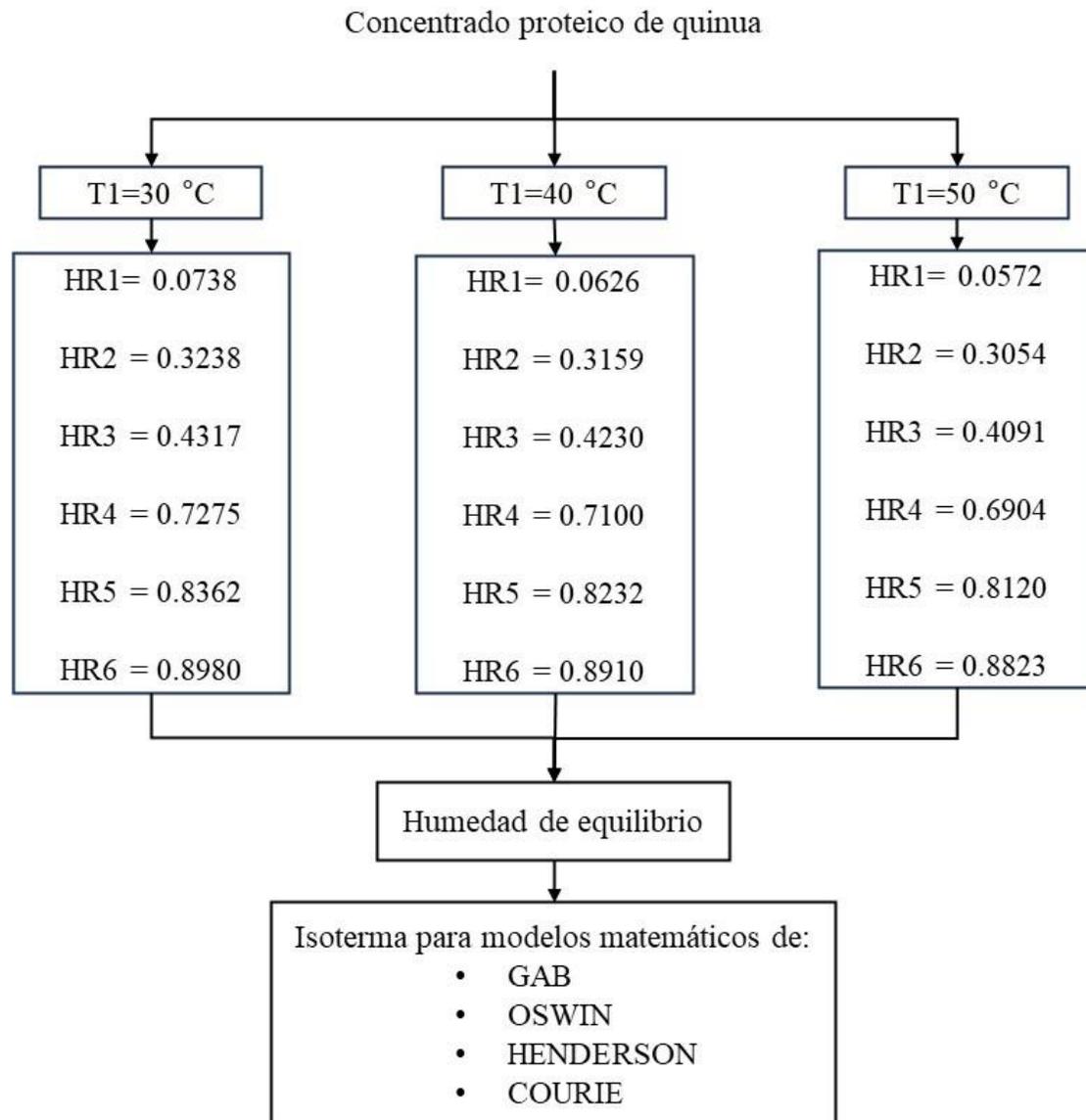
*Diseño metodológico*



### 3.5 DISEÑOS EXPERIMENTAL

**Figura 10**

*Diseño experimental de investigación*



## 3.6 OBTENCIÓN DEL CONCENTRADO PROTEICO

### 3.6.1 Obtención del concentrado proteico por solubilización – precipitación

**Recepción de la Quinoa** Se peso 5 kg de granos de quinoa de tercera calidad que fueron compradas del mercado de huamanga.

**Lavado** La quinoa fueron lavadas varias veces con agua potable para eliminar sabor amargo de la saponina y hasta que no forme espuma.

**Secado** Esta operación se realizó con el objetivo de eliminar agua hasta alcanzar una humedad comercial (12-14%), si contiene mucha humedad se produce la germinación o fermentación, lo que reduce la calidad del producto. Esta operación se realizó al medio ambiente, colocando los granos en capas no muy gruesas sobre bandejas de aluminio, el tiempo de secado fue por 2 días.

**Molienda** Esta operación se realizó con la finalidad de transformar el grano seco en harina. Se realizó en una maquina llamado molino casero, que se encargó de triturar el grano hasta convertirlo en gránulos muy pequeños.

**Extracción de proteína por solubilización** Se prepararon la dilución de harina y agua con relación 1:10 p/v, mediante un agitador magneto se logró homogenizar dicha mezcla. La dilución acuosa se regulo con NaOH 1N a pH 10 por un periodo de 2 horas. Despues de

homogenizar la mezcla, se llevó a la centrifuga a 3 000 rpm por 15 minutos para ello se rescató el sobrenadante del precipitado y se almacenó.

**Separación por precipitación** Se unió todo el sobrenadante de la extracción, para regular a pH a 4 con HCl 1N, luego se llevó a centrifugación en las mismas condiciones que antes, separando el sobrenadante del precipitado.

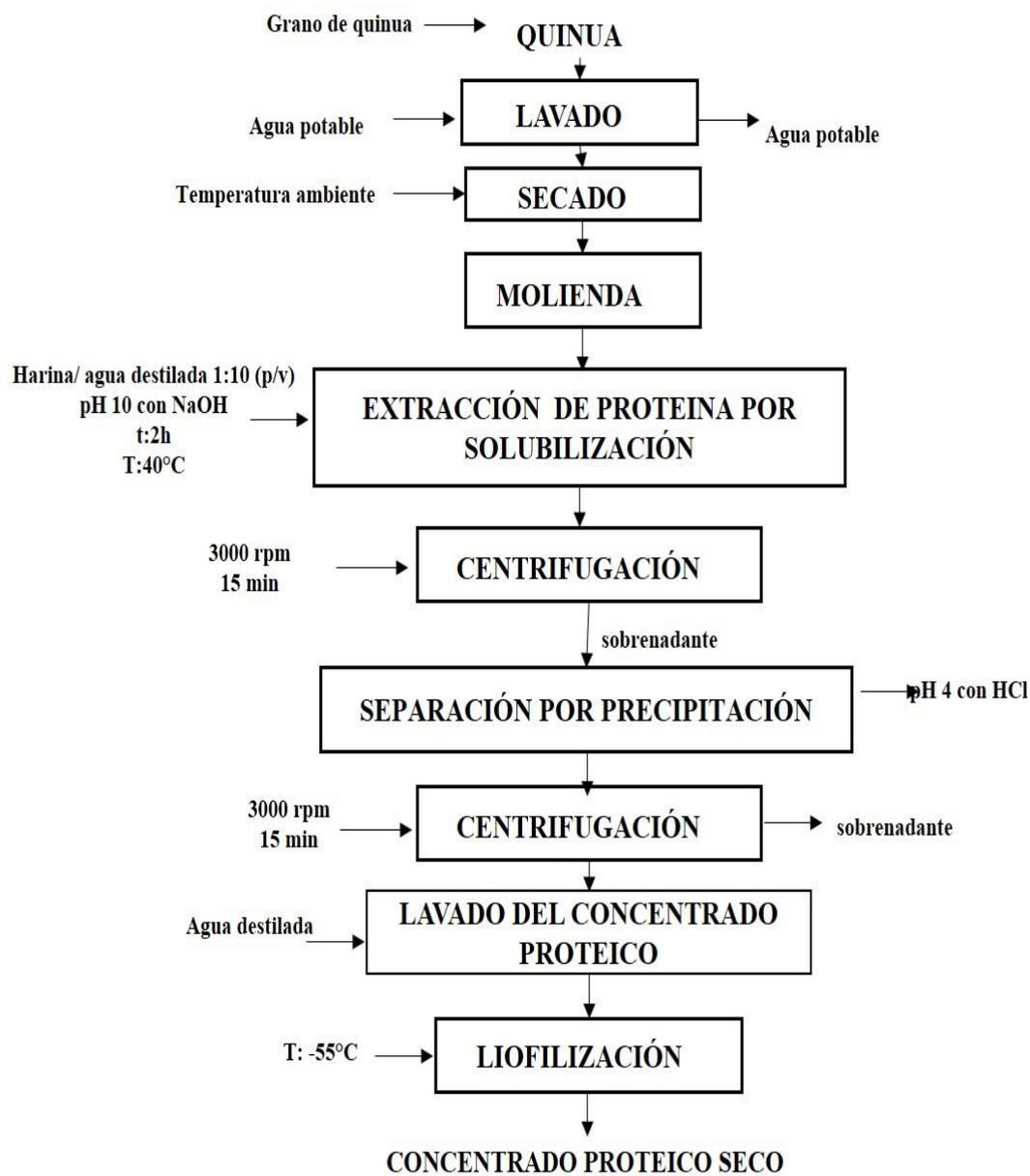
**Concentrado proteico** El precipitado se recogió y luego se lavó dos veces con agua destilada para obtener una proteína más pura y libre de sustancias ácidas.

**Liofilización** Después de ser recolectada, la proteína recuperada se congelará a -15oC y se cortará en trozos finos y redondos, luego se someterá a un proceso de liofilización durante al menos 24 horas a -55°C y a 0,280 mBar de presión.

**Concentrado proteico seco** Después del secado, la proteína se almacena en un recipiente de vidrio.

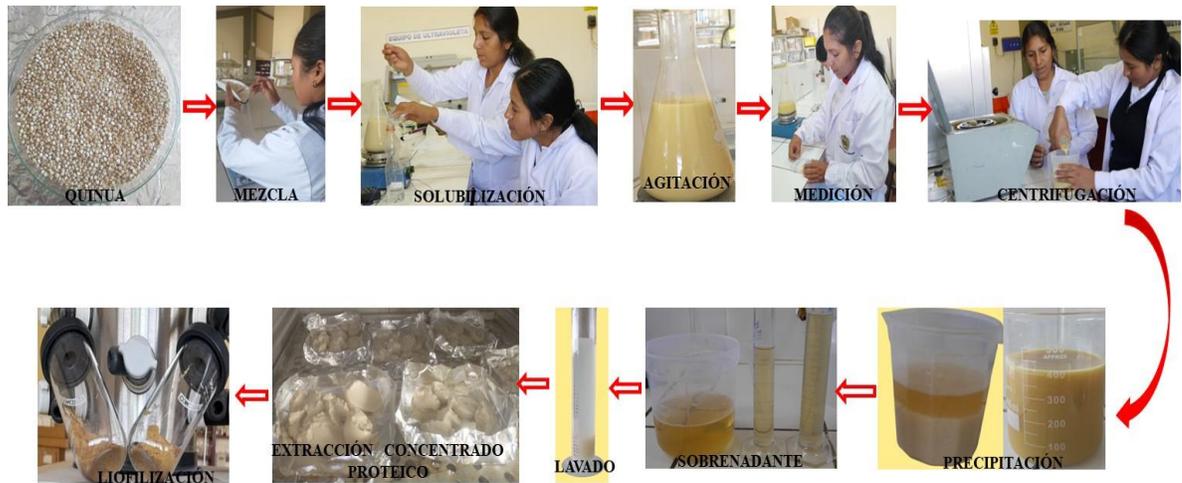
**Figura 11**

*Diagrama de flujo para la obtención del concentrado proteico de quinua*



**Figura 12**

*Obtención experimental del concentrado proteico de la quinua*



**Figura 11**

*Concentrado proteico de quinua extraída*



### 3.7 MÉTODOS DE ANALISIS

#### 3.7.1 Determinación del contenido de humedad del concentrado proteico

El porcentaje de humedad se determinó con el equipo de analizador de humedad AND MX-50 (0.01% / Max 51g), donde se pesó 0.5 g de muestra de concentrado proteico con 3 repeticiones a una temperatura de 105°C.

**Figura 12**

*Analizador de humedad a temperatura 105°C.*



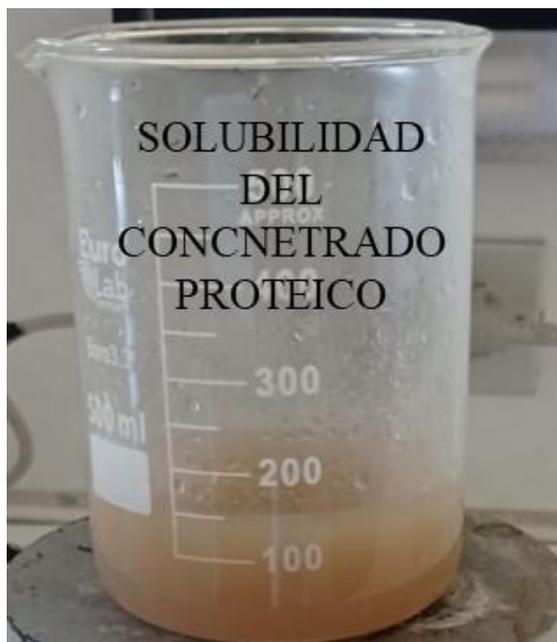
### 3.7.2 Determinación de la solubilidad de concentrado proteico

La solubilidad de las proteínas aisladas se determinó mediante el método de [Achouri et al. \(2012\)](#). La dispersión de la proteína aislada (2 g/100 ml) se preparó con agua destilada y se mezcló durante 1 h usando un agitador magnético. Luego, la solución se centrifugó a 3000 rpm durante 15 minutos. El contenido de proteína soluble en el sobrenadante se determinó usando el método de Kjeldhal y la solubilidad se calculó de la siguiente manera:

$$\text{Solubilidad (\%)} = \frac{\text{Cantidad de proteína en el sobrenadante}}{\text{Cantidad de proteína en la muestra}} * 100 \quad (7)$$

**Figura 13**

*Solubilidad del concentrado proteico de quinua*



### 3.7.3 Determinación del contenido de proteína

Se realizó según el método AOAC 984. 13 (2005). Método Kjeldahl. El factor de conversión de proteínas utilizado fue 6,25. Los resultados se expresan como porcentaje.

Para la digestión de proteína se pesaron las muestras: 0,2 g de muestra de extracto líquido; 0,2 g de concentrado proteico; 0,2 g de solubilidad proteica y 0,2 g de la harina de quinua, para cada proceso se realizó dos repeticiones. Luego se colocaron las muestras en el tubo digestor, a cada tubo 10 ml de ácido sulfúrico concentrado y 5 g de catalizador (sulfato de potasio y sulfato de cobre), esperamos 2 horas a una temperatura de 420 ° C, la digestión termina cuando El contenido del tubo cristaliza completamente y luego se deja enfriar.

El proceso de destilación comienza después del enfriamiento, se agregan 50 ml de agua destilada al tubo de digestión, se agita bien, se colocan 25 ml de solución de ácido bórico al 4% en el matraz para recibir el destilado, el proceso de destilación finaliza cuando ya no pasa más amoníaco valorar durante 7 minutos con ácido clorhídrico titulado (aproximadamente 0,05 N) y registrar el coste.

$$\%Nitrogeno = \frac{ml\ de\ HCl * N * meq\ de\ Nitrogeno}{g\ de\ muestra} * 100 \quad (8)$$

$$\%Proteina = \%Nitrogeno * 6.25 \quad (9)$$

**Figura 14**

*Método de Kjeldahl*



**Figura 15**

*Digestión, destilado y titulación de proteína*



### 3.7.4 Determinación de estabilidad de humedad de equilibrio

Los valores de humedad de equilibrio de las muestras se determinarán a 30, 40 y 50°C por el método gravimétrico estático. Así, de cada muestra se recogerá 0,5 g aproximadamente. Se colocarán en un porta muestras dentro de los desecadores (Fig. 15), donde se utilizarán seis diluciones salinas saturadas (KOH, MgCl<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, NaNO<sub>3</sub>, KCl y BaCl<sub>2</sub>) (Moreira et al., 2016). Estas soluciones se utilizarán para mantener la humedad relativa dentro de los frascos en el rango de 5 a 90 % (Bizot et al., 1987; Greenspan, 1977) (Tabla 4). Las muestras se pesarán cada 4 días hasta que se registre un valor constante en dos pesajes consecutivos, cuando se supone que la muestra está en equilibrio. Para minimizar el grado de sorción de humedad atmosférica durante el pesaje de la muestra; el tiempo de pesaje debe ser menor de 30 s. Cada experimento se llevará a cabo por triplicado.

El valor de la humedad de equilibrio se determina por la diferencia entre la masa de la muestra en equilibrio y su masa seca, tal como lo describe (Moreira et al., 2016). Mediante la siguiente ecuación:

$$M = \frac{meq - ms}{ms} \quad (10)$$

Donde:

M: Humedad de equilibrio (g.H<sub>2</sub>O/g.m.s.)

meq: Masa de la muestra en el equilibrio (g)

ms: Masa de la muestra seca (g)

**Figura 16**

*Saturación de sales en los desecadores.*



**Tabla 5**

*Valores estándar de las actividades de agua de las sales a utilizar en función de la temperatura.*

	<b>KOH</b>	<b>MgCl<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O</b>	<b>K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub></b>	<b>NaNO<sub>3</sub></b>	<b>KCl</b>	<b>BaCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O</b>
<b>30 °C</b>	0.0738	0.3238	0.4317	0.7275	0.8362	0.898
<b>40°C</b>	0.0626	0.3159	0.423	0.71	0.8232	0.891
<b>50°C</b>	0.0572	0.3054	0.4091	0.6904	0.812	0.8823

Fuente: Bizot et al. (1987).

**Figura 17**

*Desecadores con muestras de concentrado proteico en estufas*



### 3.7.5 Determinación de ceniza

Se pesa un crisol vacío y seco, se agrega al crisol 1g de concentrado proteico de quinua, se pre incinere el concentrado a la flama del mechero de bunsen, luego el crisol con concentrado se coloca en la mufla precalentada a 550°C por 2 horas, se apaga la mufla y el crisol con concentrado pasan a un desecador hasta alcanzar la temperatura del ambiente y se pesa cuando este frío.

$$\% \text{ ceniza} = \frac{(P1-P2)}{Pm} * 100 \quad (10)$$

Donde:

P1= Peso de recipiente + muestra

P2= Peso de recipiente + muestra seca

Pm= Peso de la muestra

### 3.7.6 Determinación de lípidos

Extracción por solventes en caliente Soxhlet método de la A.O.A.C. (1998).

El balón del soxhlet se lava y se seca en estufa a 110°C por espacio de una hora, enfriar en un desecador y pesar. Se pesa 1g de concentrado proteico de quinua y empaquetarlo en papel filtro y luego se lleva a pesar. El paquete se coloca en el cuerpo del soxhlet, agregamos n – hexano destilado hasta que una parte del mismo sea sifoneado hacia el matraz. Se conecta la cocina a temperatura baja. El hexano al calentarse se evapora (69 – 34.6°C) y asciende hacia la parte superior del cuerpo donde se condensa por refrigeración con agua y cae sobre la muestra, regresando posteriormente al matraz por el sifón, arrastrando consigo la grasa. El ciclo es cerrado y la velocidad de goteo del n – hexano es de 30 a 40 gotas por minuto. El esperar durante 3 horas. El matraz se seca del aparato cuando contiene poco hexano. Se evapora el matraz en estufa a temperatura de 60°C, luego se pesa el balón que tiene grasa. Se verifica el cartucho y se seca en estufa a 100°C y luego se pesa.

$$\% \text{grasa} = \frac{P3 - P1}{(g)\text{muestra}} \times 100 \quad (11)$$

### 3.7.7 Cálculo de parámetros de los modelos matemáticos

Los parámetros para el modelo GAB ( $M_0$ ,  $C$  y  $k$ ), Oswin ( $A_1$ ,  $B_1$ ), Henderson( $A_2$ ,  $2B$ ) y Caurie ( $A_3$ ,  $B_3$ ), se obtuvieron a través del uso de programación lineal de optimización, donde como función objetivo se tuvo la minimización el error estándar de humedad SEM (%) entre el valor experimental y el valor simulado, para determinar las constantes de cada modelo, se inició la iteración con un valor inicial asignado, con los parámetros de los modelos se simuló la humedad de equilibrio para cada actividad de agua, en cada caso de temperatura, para el cálculo fue usado el Solver de Excel del Microsoft Office 2019. El procedimiento seguido fue como:

**Paso 1:** se abrió el Excel y digitamos los datos de los valores experimentales de datos

	A	B	C
3		<b>aw</b>	<b>M exp (g agua/100 g ms)</b>
4		0.0738	2.041
5		0.3238	4.86
6		0.4317	5.94
7		0.7275	12.271
8		0.8362	23.411
9		0.898	34.451
10			

**Paso 2:** Se asigna cualquier valor a los parámetros deseados a calcular

	A	B	C
11			
12		Kg=	1.000
13		C=	1.000
14		Mo=	1.000
15			

**Paso 3:** Hacemos los cálculos de función M para cada aw del modelo de GAB

	A	B	C	D	E
17		aw	M experimental	M ajust GAB	(Mexp-M ajust)^2
18		0.0738	2.041	0.080	3.847
19		0.3238	4.86	0.479	19.194
20		0.4317	5.94	0.760	26.836
21		0.7275	12.271	2.670	92.184
22		0.8362	23.411	5.105	335.109
23		0.898	34.451	8.804	657.773
24				SEM =	1134.944

Calculamos humedad ajustada en la ecuación de GAB

$$M = \frac{M_0 C K aw}{(1-k aw)(1-k aw+Ck aw)} \quad (10)$$

$$D_{18} = (C_{14} * C_{13} * C_{12} * B_{18}) / ((1 - C_{12} * B_{18}) * (1 - C_{12} * B_{18} + C_{13} * C_{12} * B_{18}))$$

$$D_{19} = (C_{14} * C_{13} * C_{12} * B_{19}) / ((1 - C_{12} * B_{19}) * (1 - C_{12} * B_{19} + C_{13} * C_{12} * B_{19}))$$

$$D_{20} = (C_{14} * C_{13} * C_{12} * B_{20}) / ((1 - C_{12} * B_{20}) * (1 - C_{12} * B_{20} + C_{13} * C_{12} * B_{20}))$$

$$D_{21} = (C_{14} * C_{13} * C_{12} * B_{21}) / ((1 - C_{12} * B_{21}) * (1 - C_{12} * B_{21} + C_{13} * C_{12} * B_{21}))$$

$$D22 = (C\$14 * C\$13 * C\$12 * B22) / ((1 - C\$12 * B22) * (1 - C\$12 * B22 + C\$13 * C\$12 * B22))$$

$$D23 = (C\$14 * C\$13 * C\$12 * B23) / ((1 - C\$12 * B23) * (1 - C\$12 * B23 + C\$13 * C\$12 * B23))$$

**Paso 4:** se realiza el cálculo de diferencia entre el valor experimental y ajustado (error), y la sumatoria de cuadrado del error estándar medio de humedad (SEM).

$$E18 = (C18 - D18)^2$$

$$E19 = (C19 - D19)^2$$

$$E20 = (C20 - D20)^2$$

$$E21 = (C21 - D21)^2$$

$$E22 = (C22 - D22)^2$$

$$E23 = (C23 - D23)^2$$

$$SEM = E24 = \text{SUMA}(E18:E23) \text{ Función objetivo a minimizar}$$

**Paso 5:** luego vamos a Datos y Solver y hacemos. Donde marcamos la celda objetivo, se minimiza la celda de función objetivo, señalamos la celda de las variables a obtener, luego resolver y aceptar

Parámetros de Solver

Establecer objetivo:

Para:  Máx  Mín  Valor de:

Cambiando las celdas de variables:

Sujeto a las restricciones:

Convertir variables sin restricciones en no negativas

Método de resolución:

Método de resolución

Seleccione el motor GRG Nonlinear para problemas de Solver no lineales suavizados. Seleccione el motor LP Simplex para problemas de Solver lineales, y seleccione el motor Evolutionary para problemas de Solver no suavizados.

Resultados de Solver

Solver ha convergido a la solución actual. Se cumplen todas las restricciones.

Conservar solución de Solver
  Restaurar valores originales

Volver al cuadro de diálogo de parámetros de Solver
  Informes de esquema

**Solver ha convergido a la solución actual. Se cumplen todas las restricciones.**

Solver realizó 5 iteraciones para las que el objetivo no se movió de manera significativa. Intente usar un valor de convergencia más pequeño u otro punto de inicio.

**Paso 6:** Resultados de parámetros de GAB obtenidos

	A	B	C	D	E
12		Kg=	0.990		
13		C=	10.219		
14		Mo=	3.906		
15					
16					
17		<b>aw</b>	<b>M experimental</b>	<b>M ajust GAB</b>	<b>(Mexp-M ajust)^2</b>
18		0.0738	2.041	1.880	0.026
19		0.3238	4.86	4.761	0.010
20		0.4317	5.94	6.030	0.008
21		0.7275	12.271	13.448	1.386
22		0.8362	23.411	22.230	1.394
23		0.898	34.451	34.757	0.094
24				<b>SEM =</b>	<b>2.918</b>

Como se observa los valores iniciales cambiaron

**Paso 7:** Con los datos de los parámetros de GAB obtenidos se determina la humedad simulada de estabilidad, usando la función matemática de GAB, para aw desde 0 a 0.95

Luego realizamos el diseño de las curvas de isoterma respectiva de humedad experimental y humedad simulada para el modelo matemático de GAB

	A	B	C
29		<b>aw</b>	<b>M simulado GAB</b>
30		0	0.000
31		0.05	1.427
32		0.1	2.293
33		0.15	2.938
34		0.2	3.488
35		0.25	4.000
36		0.3	4.511
37		0.35	5.046
38		0.4	5.627
39		0.45	6.279
40		0.5	7.032
41		0.55	7.926
42		0.6	9.017
43		0.65	10.392
44		0.7	12.193
45		0.75	14.669
46		0.8	18.305
47		0.85	24.191
48		0.9	35.397
49		0.95	65.194

El mismo pasos se siguió para los métodos de Oswin, Hernderson y Caurie.

La precisión del ajuste de los diversos modelos se evaluó calculando el error estándar medio de humedad (SEM). El SEM se calculó mediante la expresión:

$$\% SEM = (M_{exp} - M_{ajus})^2 \quad (11)$$

Donde:

- $M_{exp}$ : valor de humedad de equilibrio experimental (g.H<sub>2</sub>O/g.m.s.)
- $M_{ajus}$ : valor de humedad de equilibrio ajustado a partir de cada modelo (g.H<sub>2</sub>O/g.m.s.) y respectivamente.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 4.1 EXTRACCIÓN DE PROTEÍNA POR SOLUBILIZACIÓN

#### 4.1.1 Extracción por solubilidad - precipitado

La solubilidad de la proteína se realizó a pH básico (10), se tomó en cuenta el tiempo de agitación que fue 2 h y la temperatura de 40°C para llegar a la máxima solubilidad. Indicando su alto contenido de aminoácidos ácidos, que tienden a ionizarse a pH alcalino. Los datos de este trabajo son consistentes con los estudios de [Elsohaimy et al. \(2015\)](#) y [Föste et al. \(2015\)](#), este último menciona que la solubilidad a una dilución de 1/10 (p/v) la solubilidad de la proteína es de 60% a pH 10 y 20 °C, las proteínas vegetales de soja, arroz, guisantes y amaranto también se disuelven mejor en un medio alcalino. Nuestra solubilidad fue optima a los reportados por dichos autores.

La separación por precipitado de pH ácido de la proteína extraída, se precipitó la solución de proteína a pH (4), menciona [Elsohaimy et al. \(2015\)](#) el mejor rendimiento de proteína precipitada se obtuvo a pH 4,5 ( $88,74 \pm 0,53$ ) y el punto isoeléctrico de la proteína de quinua se presentó cerca de otras proteínas de diferentes fuentes vegetales como las proteínas de leguminosas (pI = 4,5), proteínas de trigo (pI = 4,22) y proteínas de arroz (pI = 4,46) y [Föste et al. \(2015\)](#) menciona que el rango de pH es de (4-4,5) para la precipitación de las proteínas. Nuestro valor es cercano a lo mencionado por los autores, para un mejor rendimiento de proteína se tiene cuenta el tiempo de centrifugación.

## 4.2 CARACTERIZACIÓN DEL CONCENTRADO PROTEICO

### 4.2.1 Humedad y proteína de la quinua

En la Tabla 6 se muestra los resultados de la humedad y proteína de la quinua usada para extracción de la proteína.

**Tabla 6**

*Contenido de humedad y proteína en la harina de quinua*

Contenido	Cantidad (%)
Humedad	8,88 ± 0,396
Proteína	10,60 ± 0,141

La humedad que se encontró en la quinua usada fue de  $8,88 \pm 0,396$  %. [Gutiérrez et al. \(2021\)](#) reportan un contenido de humedad de 10,9%. La proteína determinada fue de  $10,60 \pm 0,141$ %, según [Mir et al. \(2019\)](#) reportan un contenido de proteína del 13,8 a 16,5 % en base seca con un promedio del 15% y [Quelal et al. \(2019\)](#) reportan 13,8 – 21,9 %. En comparación con los granos, la harina de semillas de quinua tiene un mayor contenido de proteína total que la cebada (11 %), el arroz (7,5 %) y el maíz (13,4 %) menciona [\(Alberto et al., 2015\)](#).

Cao et al., (2023) menciona que las semillas de quinua contienen relativamente menos proteína en comparación con las semillas de leguminosas (22,75–37,9 %).

Nuestros valores son cercanos a los reportados por dichos autores, esta variación posiblemente dependa de varios factores, como la humedad, la variedad, estado madures, el clima, suelo, etc de este producto.

#### 4.2.2 Humedad y proteína en el concentrado proteico

El Tabla 7 se muestra los resultados de la humedad y proteína del concentrado proteico que fue extraída.

**Tabla 7**

*Contenido de humedad y proteína en el concentrado proteico.*

Contenido	Cantidad (%)
Humedad	2,72 ± 0,129
Proteína	71,42 ± 0,545
Grasa	7,83± 0,510
Ceniza	2,13± 0,320

La humedad que se encontró en el concentrado proteico en base seca fue  $2,72 \pm 0,129$  %. La proteína determinada fue  $71,42 \pm 0,545\%$ , según Nazate (2016) reporta el 90% de

proteína, según [Dueñas et al. \(2019\)](#) mencionan los concentrados proteicos en la extracción, cuanto más filtrada o purificada sea la proteína es mucho mejor y es pura, los concentrados proteicos tienen una concentración de proteína al 72,81% y [Caiza \(2011\)](#) menciona su proceso de obtención implica varios pasos destinados a eliminar o reducir los componentes no proteicos para producir un producto final que contiene 70-80 proteínas.

Nuestros valores son cercanos a los reportados por dichos autores, esta variación posiblemente dependa de varios factores, como la grasa no se desengrasó la harina con la que se trabajó y algunos almidones que no precipitaron por completo.

#### **4.2.3 Solubilidad.**

Para el cálculo de la solubilidad de la proteína se usó la ecuación 7 como resultados se mostró:

$$\text{Solubilidad (\%)} = \frac{52,10}{71,42} * 100 = 72,94$$

La solubilidad del concentrado proteico en agua a pH normal de 7, fue de 72,94 %, este valor representa una buena solubilidad, según [Kaspchak et al. \(2017\)](#) mencionan que a pH ácido las proteínas muestran una baja solubilidad de 0 a 4 %, mientras que a pH básico por encima de 8,0, la solubilidad es de 78-97%. Según [Pincioli \(2011\)](#) en valores por encima o por debajo del punto isoeléctrico (pH), la proteína tiene carga negativa o positiva y puede interactuar con moléculas de agua que portan estas cargas, lo que ayuda a su disolución.

Según [Elsouhaimy et al. \(2015\)](#) mostraron en su resultado de la solubilidad del aislado de proteína de quinua que aumentó significativamente con el aumento del valor de pH y alcanzando la solubilidad máxima de 75,21% a pH 10. [Shi et al. \(2020\)](#) mostraron una solubilidad más baja se observó a pH 3,0 un valor medio de 17,7%, luego de lo cual aumentó con el pH hasta alcanzar un máximo a pH 7,0 un valor medio de 46,3%. [Shen et al. \(2021\)](#) reportan los valores máximos de solubilidad a pH 11 de las proteínas del secado por congelación, el secado por aspersión y el secado al vacío fueron 93,7, 95,3 y 61,3%, respectivamente.

En otro estudio [Vananuvat & Kinsella \(1975\)](#) determinaron una solubilidad del 63% (proteína cruda) en el aislado proteico obtenido a partir de levadura (*Kluyveromyces marxianus*) por extracción alcalina y precipitación isoeléctrica. [Cunningham et al. \(1975\)](#) reportaron una solubilidad proteica de aproximadamente 30 % a pH 7, en un aislado proteico de levadura (*Candida utilis*) obtenido por extracción alcalina y precipitación isoeléctrica.

Los resultados de solubilidad entre los trabajos suelen ser muy diferentes debido, entre otras razones, a la levadura empleada y al método seguido para la obtención del concentrado proteico.

### 4.3 ESTABILIDAD A DIFERENTES HUMEDADES RELATIVAS

En Tabla 8 se muestran los valores experimentales del promedio de las humedades de equilibrio con su desviación estándar, con sus respectivas actividades de agua y temperaturas, las humedades iniciales del concentrado proteico de quinua fueron de 2,68 %; 2,86%; 2,61% para 30°C, 40°C y 50°C respectivamente y el tiempo que demoro para terminar y obtener la humedad de equilibrio (M) para las 3 temperaturas fue aproximadamente un mes.

**Tabla 8**

*Humedad en equilibrio (M) del concentrado proteico de quinua promedio a las temperaturas 30 °C, 40 °C y 50 °C.*

Soluciones saturadas	30 °C		40 °C		50 °C	
	Aw	M (g agua/100 m.s)	Aw	M (g agua/100 m.s)	Aw	M (g agua/100 m.s)
KOH	0,0738	2,041 ±0,087	0,0626	2,001 ±0,129	0,0572	1,61 ±0,010
MgCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	0,3238	4,86 ±0,195	0,3159	4,484 ±0,006	0,3054	4,259 ±0,003
K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> )	0,4317	5,94 ±0,029	0,423	5,845 ±0,002	0,4091	5,185 ±0,090
NaNO <sub>3</sub>	0,7275	12,271 ±0,033	0,71	11,194 ±0,005	0,6904	10,57 ±0,014
KCl	0,8362	23,411 ±0,050	0,8232	22,76 ±0,046	0,812	19,64 ± 0,003
BaCl <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O	0,898	34,451 ±0,146	0,891	34,476 ±0,004	0,8823	26,02 ± 0,024

En esta tabla 8 se muestran para una temperatura constante, el contenido de humedad de equilibrio del producto aumenta con la actividad de agua ( $a_w$ ), las sales utilizadas son para crear diferentes ambientes de humedad relativa, según [Bustos \(2019\)](#) menciona el aumento en el contenido de humedad de equilibrio se debe al aumento en la humedad relativa que resulta del aumento de la presión de vapor, el contenido de humedad en el que la presión de vapor del agua está presente en los alimentos es igual a la del entorno, se logra el proceso de equilibrio, es un proceso de adsorción cuando la muestra seca gana de humedad, esta manera se logra conocer como el agua se liga al sistema, [Muhtaseb et al. \(2002\)](#) mencionan también que un aumento de la temperatura hace que el producto sea menos higroscópico. Nuestro resultado coincide con lo manifestado por los autores.

#### **4.4 PARÁMETROS DE LOS MODELOS MATEMÁTICOS**

En la Tabla 9 se muestra los valores de los parámetros ajustados con los 4 modelos matemáticos (GAB, Oswin, Henderson y Caurie), a diferentes temperaturas, los constantes de los modelos (K, Mo, C, A y B) y el error estándar de humedad (SEM).

En esta Tabla 9 el modelo que mejor describió los datos experimentales de adsorción de humedad en el rango total de estudio (0 - 0,90  $a_w$ ) fue el de GAB que mostró un SEM del 2,92%, seguido por el modelo de Oswin para las 3 temperaturas que mostraron valores bajos de SEM (3,84 % a 5,74 %), estos valores fueron menores al 10%. Los modelos de Henderson y Caurie muestran valores del SEM altos. [Igbabul et al. \(2013\)](#) manifiestan que un SEM <10% indica un buen ajuste del modelo en estudio y [Sosa & Castro \(2022\)](#) mencionan en su

estudio que modelo GAB presenta un buen ajuste para un intervalo de  $a_w$  de 0 a 0,95 se usa para casi todos los alimentos. Los modelos de GAB y Oswin nos indica un buen ajuste para las isotermas de los concentrados proteicos estudiados. Nuestros valores se asemejan a lo indicado por [Sosa & Castro \(2022\)](#) y ([Igbabul et al., 2013](#)).

**Tabla 9**

*Parámetros de ajuste de las isotermas de adsorción del concentrado proteico con los diferentes modelos matemáticos seleccionados a 30°C, 40°C y 50°C y el error estándar de humedad (SEM).*

Modelo	Constantes	Temperatura		
		30 °C	40 °C	50 °C
GAB	k	0,99	1,00	0,949
	Mo	3,906	3,84	4,481
	C	10,225	9,968	4,615
	SEM (%)	2,92	4,83	3,51
Oswin	$A_1$	6,725	6,512	6,884
	$B_1$	0,75	0,792	0,668
	SEM (%)	5,74	7,72	3,84
Henderson	$A_2$	0,2103	0,232	0,1468
	$B_2$	0,6789	0,642	0,8246
	SEM (%)	18,19	19,331	7,224
Caurie	$A_3$	0,020	0,024	0,031
	$B_3$	3,847	3,847	3,665
	SEM (%)	30,36	30,36	6,443

La ecuación GAB es la recomendada para determinar las propiedades físicas de los alimentos y es conocida como la ecuación fundamental en la caracterización de la adsorción de agua en los alimentos ( [Cassini et al., 2006](#)).

En referencia al valor de monocapa (Mo); los valores de humedad del concentrado proteico de quinua ajustado con el modelo de GAB a 30°C, 40°C y 50°C y constantes (C, k), también se muestran en la Tabla 8. El concentrado proteico de quinua presentó un contenido de humedad de monocapa de 3,906 con una desviación estándar de 0.353 en referencia a las tres temperaturas. Según [Cassini et al. \(2006\)](#) y [Sawhney et al. \(2013\)](#) mencionan en su estudio valor de Mo disminuye con el aumento de la temperatura, en un rango de temperatura dada, [Labuza, \(1968\)](#) confirma lo manifestado. La razón de la disminución del contenido de humedad de la monocapa a medida que aumenta la temperatura puede ser la disminución del número de sitios activos para retener el agua debido a cambios en las condiciones físicas y ambientales. Nuestro valor de Mo se encuentra en el rango de la actividad de agua como menciona [Labuza \(1968\)](#), esta variación posiblemente dependa de varios factores como la composición del concentrado, los cambios de la temperatura de la cámara, la excitación de las moléculas y la distancia moléculas. Esto hace que la cantidad de agua cambie dependiendo de la temperatura en una actividad de agua dada. La humedad de la monocapa es la cantidad de agua (g agua/g ms) estrechamente unida en todos los sitios activos de la fase adsorbente sólida del alimento y se considera el valor en el que el alimento es estable durante el almacenamiento.

La constante  $k$  del modelo de GAB es mostrado en la Tabla 9, los valores obtenidos son: 0,990; 1 y 0,949 a 30, 40 y 50°C respectivamente, según [Chenlo et al. \(2005\)](#) mencionan un valor de  $k$  menor a 1 indica que existe un estado menos estructurado de la proteína y cuando  $k$  es igual a 1 se presenta un estado más estructurado de la proteína en las multicapas. Nuestros valores se encuentran cerca de 1, calificándose como como estructurado, es la razón de su estabilidad. La constante  $k$  del modelo GAB mide la interacción de las moléculas de agua multicapa con el adsorbente (proteína) en el rango de energía de las moléculas monocapa y agua líquida, en otras palabras, la constante  $k$  se refiere a la energía superficial de la multicapa de adsorción ([Bustos, 2019](#)).

La constante  $C$  del modelo de GAB es mostrado en la Tabla 9, donde el valor de  $C$  disminuye con el aumento de la temperatura. El valor de la contante  $C$  para la temperatura 50°C es de 4,615 donde las interacciones entre el vapor de agua y el concentrado proteico son menores que a las temperaturas de 30 y 40 °C. [Bustos \(2019\)](#) indica que el valor de  $C$  indica la interacción de la monocapa de agua con la superficie de la membrana, es mayor cuanto mayores son las fuerzas de atracción entre los átomos y las moléculas de agua en la superficie. [Pérez et al. \(2006\)](#) manifiestan que el valor de  $C$  pueda que no tenga significado físico y se deba a la compensación matemática de los parámetros, durante el ajuste de las isothermas.

Los modelos de Oswin, Henderson y Caurie son modelos empíricos, donde sus parámetros como  $A$  teóricamente representa la cantidad de agua en la primera fracción sorbida y  $B$  la cantidad de agua en la fracción de humedad multicapa, según otros autores mencionan que no tienen un significado físico los parámetros.

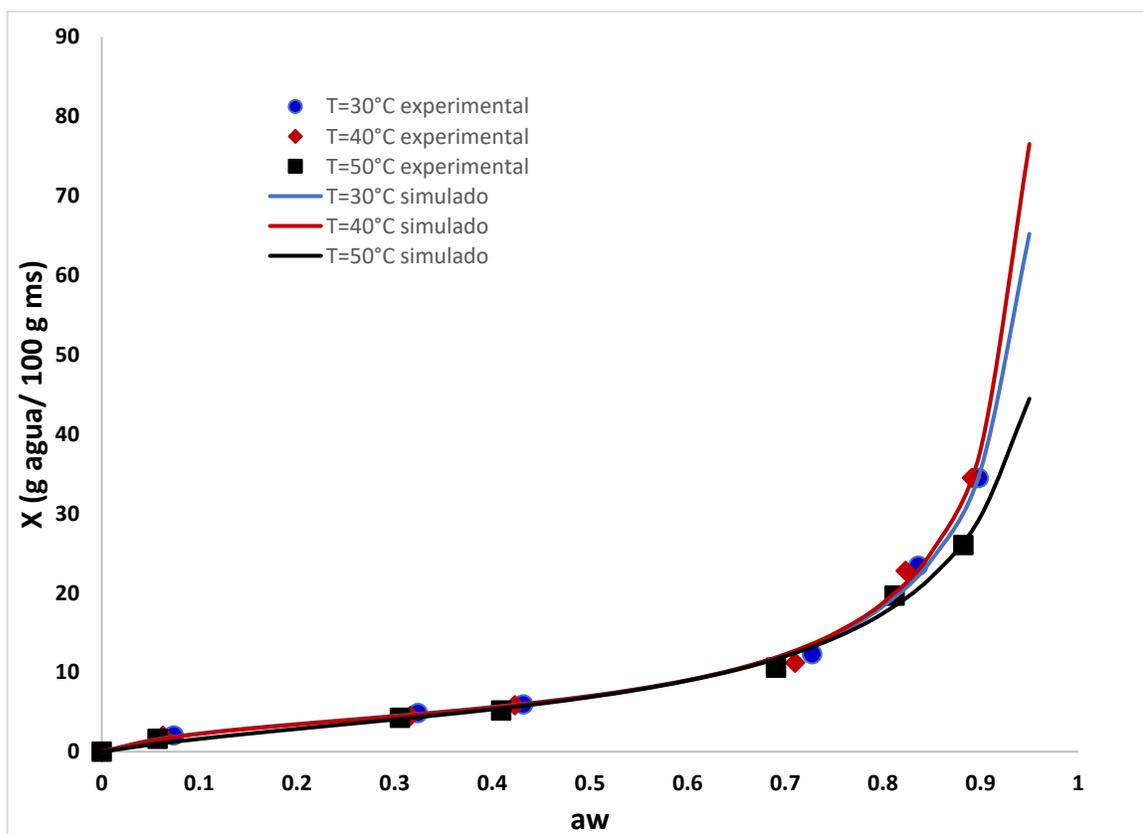
## 4.5 MODELAMIENTO DE ISOTERMAS DE ADSORCIÓN

### 4.5.1 Modelo GAB

En la Figura 19 se presenta las curvas de estabilidad de agua del concentrado proteico de quinua, experimental como simulado para el modelo GAB a temperaturas de 30°C, 40°C y 50°C respectivamente.

**Figura 19**

*Isoterma de estabilidad de agua en concentrado proteico de quinua, experimental y simulado para modelo GAB evaluado a 30°C, 40°C y 50°C.*



En la Figura 19, se aprecia una curva clásica de forma sigmoide, dentro de la clasificación de las isotermas representa del tipo II, que es una característica particular de los concentrados, aislados proteicos, productos ricos en carbohidratos, productos con bajo contenido de agua. El concentrado proteico de quinua absorbió una mínima cantidad de agua hasta una actividad de agua de 0,7 según lo que se observa en la Figura 19; la humedad de equilibrio aumentó gradualmente a partir de 0,7 de actividad del agua y observamos mayor cantidad de agua a actividad de agua mayor de 0,90. En el intervalo de las actividades agua de 0,1 y 0,70 la humedad de equilibrio fue menor a las temperaturas 30, 40 y 50 °C respectivamente, según los resultados el efecto de la temperatura no afecta en la ganancia de la humedad de equilibrio en la isoterma de adsorción. Similar resultado fue reportado por [Sandoval y Barreiro \(2002\)](#) en la isoterma para proteína texturizada de soya a temperaturas de 10, 20, 30, y 40°C respectivamente y [Sawhney et al. \(2013\)](#) en la isoterma de adsorción de polvo de concentrado proteico de suero 25, 35 y 45°C, donde también se ven el cruce de las curvas de isoterma a una aw de 0.9; lo cual si concuerda con los resultados obtenidos.

#### **4.5.2 Modelo Oswin.**

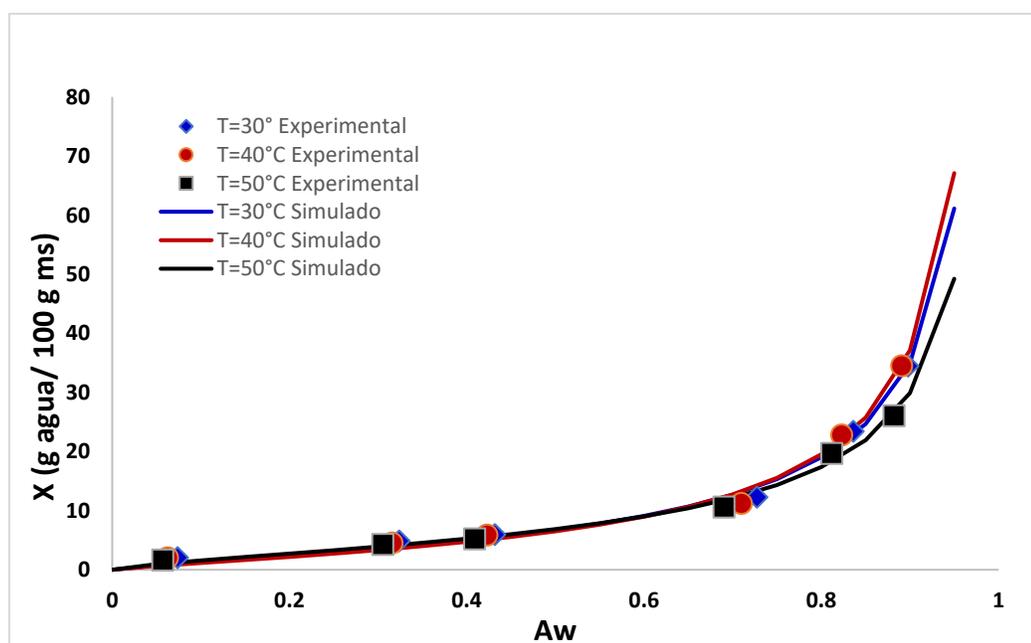
En la Figura 20 se presenta la isoterma de estabilidad de agua en concentrado proteico de quinua tanto experimental y simulado para modelo Oswin determinados a 30°C, 40°C y 50°C respectivamente. Se aprecia las isotermas similares al del modelo GAB. El valor de humedad de equilibrio del concentrado proteico de quinua muy ligeramente aumenta en función de la aw, para las tres temperaturas. El valor SEM (%) es inferior a 10, lo que indica un buen ajuste de la isoterma. Se observa en todas las isotermas que el contenido de humedad de equilibrio

aumenta ligeramente a medida que aumenta el valor de  $a_w$ , siendo este aumento más rápido para valores de  $a_w$  superiores a 0,7. Este comportamiento es común en prácticamente todos los alimentos. La independencia de la humedad de equilibrio con respecto a la temperatura también es evidente, observándose que no cambia al aumentar la temperatura para un valor fijo de  $a_w$ . Alternativamente, se puede decir que, para un valor fijo de humedad de equilibrio,  $a_w$  es igual al aumento de temperatura. Esto indica que el concentrado de proteína de quinua es higroscópicamente estable a temperaturas de almacenamiento más altas. También observamos que los valores experimentales con los simulados casi coinciden o se superponen; a niveles de  $a_w$  mayores a 0,8 observamos sólo una absorción levemente rápida, se reporta un comportamiento similar.

[Cassini et al. \(2005\)](#).

**Figura 20**

*Isoterma de estabilidad de agua en concentrado proteico de quinua, experimental y simulado para modelo Oswin evaluado a 30°C, 40°C y 50°C.*



Algunos investigadores [Mazza \(1980\)](#) explicaron este comportamiento diciendo que un aumento de temperatura provoca cambios químicos y físicos en el producto, que pueden reducir el número de sitios activos donde las moléculas de agua se unen a la superficie sólida del alimento. Otros [Mohamed et al. \(2005\)](#) afirmaron que al aumentar la temperatura de adsorción, el estado excitado de las moléculas de agua aumenta, aumentando la distancia entre las moléculas de agua y reduciendo así la fuerza de atracción entre ellas. La dependencia entre el contenido de humedad de equilibrio y la temperatura de adsorción tiene una influencia práctica en las reacciones químicas y microbiológicas involucradas en el deterioro de los alimentos [Al-Muhtaseb et al. \(2004\)](#). Un aumento de la temperatura para el mismo contenido de humedad de equilibrio en un alimento implica un aumento de  $a_w$  y, por tanto, un aumento de la tasa de deterioro ([Van den Berg & Bruin, 1978](#)).

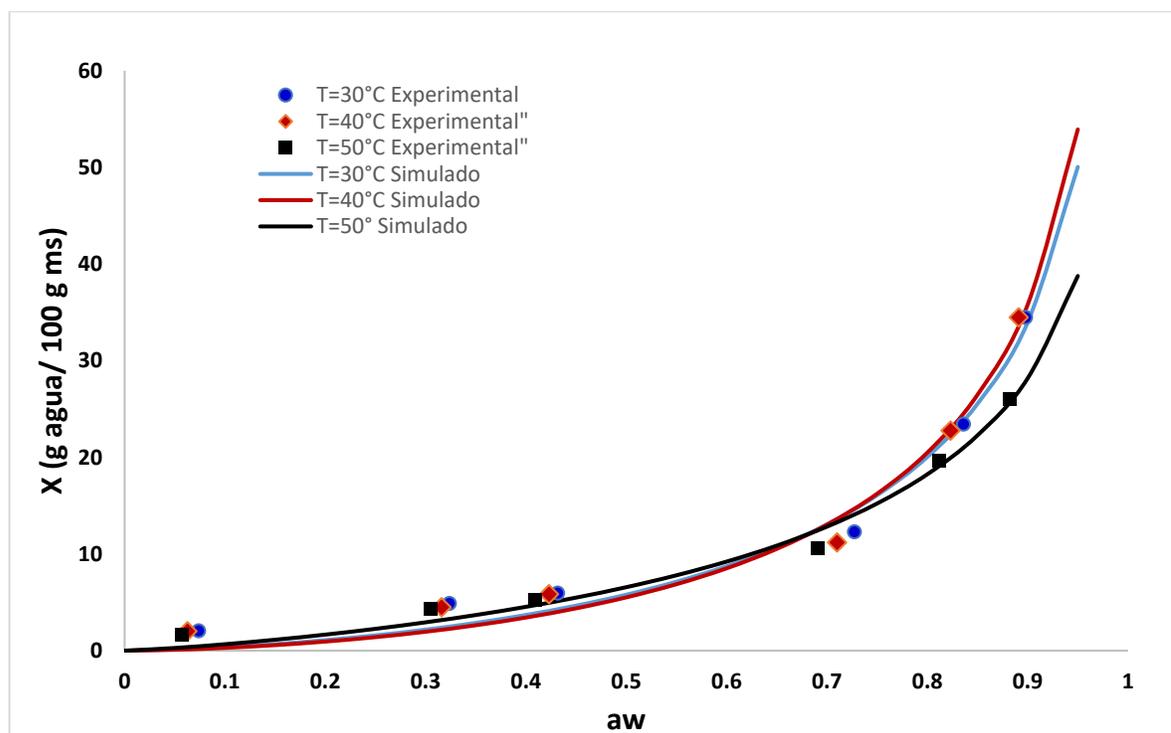
#### **4.5.3 Modelo Henderson**

En la Figura 21 se presenta la isoterma de estabilidad de agua en concentrado proteico de quinua tanto experimental y simulado para modelo Henderson evaluado a 30°C, 40°C y 50°C respectivamente. El modelo Henderson es un modelo empírico que tubo una deficiencia en el ajuste resultado un valor alto de SEM (%). En la curva se observa que algunos puntos experimentales están distantes con lo simulado y la isoterma no es función de la temperatura, las curvas se superponen desde  $a_w$  0 hasta 0.75 de  $a_w$ , a partir de  $a_w$  de 0.75 existe una pequeña diferencia para la temperatura de 50°C, existiendo un pequeño cruce en 0.65 de  $a_w$ . Según ([Nazreen et al., 2020](#)), el cruce de isotermas se da para varios tipos de alimentos ricos

en azúcares, cuanto mayor es el contenido de azúcar, menor es el cruce  $a_w$ . Este comportamiento que se observa tal vez sea por un concentrado proteico, el modelo de Henderson es un modelo empírico.

**Figura 21**

*Isoterma de estabilidad de agua en concentrado proteico de quinua, experimental y simulado para modelo Henderson evaluado a 30°C, 40°C y 50°C.*

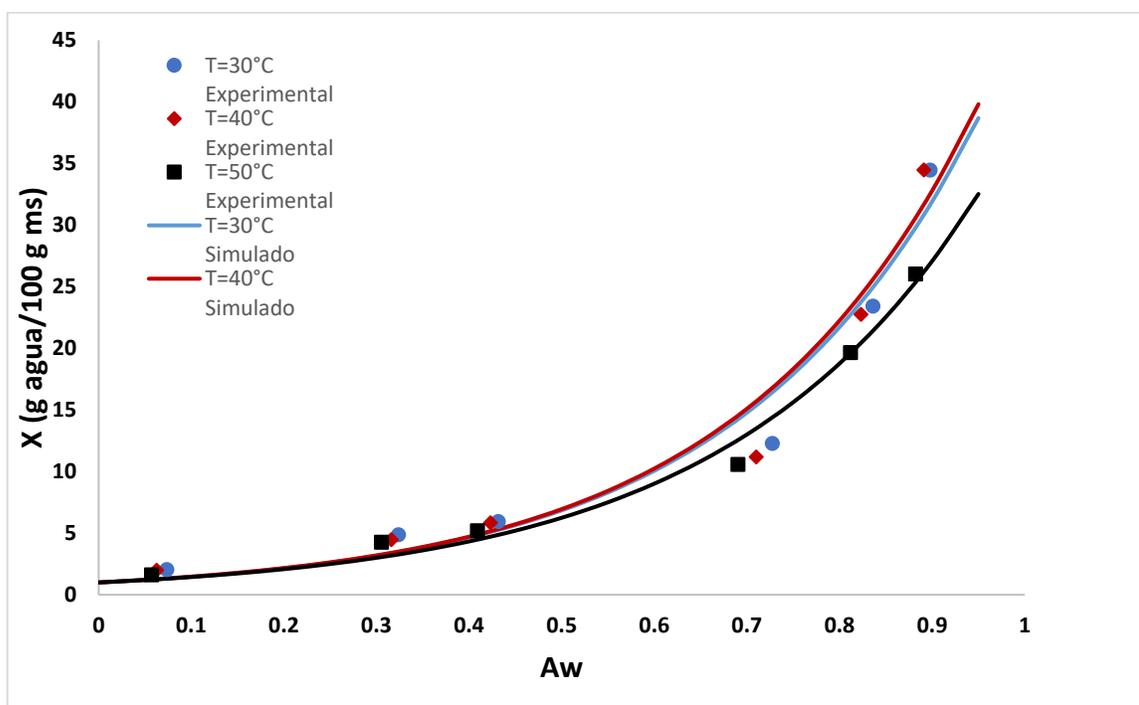


#### 4.5.4 Modelo Caurie

En la Figura 22 se presenta la isoterma de estabilidad de agua en concentrado proteico de quinua tanto experimental y simulado para modelo Caurie evaluado a 30°C, 40°C y 50°C.

**Figura 22**

*Isoterma de estabilidad de agua en concentrado proteico de quinua, experimental y simulado para modelo Caurie evaluado a 30°C, 40°C y 50°C.*



Según la Figura 22, podemos observar que los puntos experimentales son distantes del simulado a partir de aw 0.45 hacia 1, es el más deficiente para describir las isotermas de sorción es el más deficiente para describir las isotermas de sorción donde presenta valor alto de % de SEM. Según [Nazreen et al. \(2020\)](#) este tipo de isoterma se observa con frecuencia

en el caso de sólidos solubles, a valores bajos de aw, lo cual no es caso, la isoterma es de concentrado proteico.

#### 4.6 AMINOÁCIDOS ESENCIALES EN CONCENTRADO PROTEICO

En la Tabla 10 se presenta el porcentaje de aminoácidos esenciales en el concentrado proteico de quinua determinados por el cómputo químico utilizando como referencia el patrón de FAO.

**Tabla 10**

*Contenido de aminoácidos esenciales y el cómputo químico en el concentrado proteico de quinua en g/100g de proteína*

Aminoácidos	g aminoácidos /100 g proteína			
	Patrón FAO	Concentrado proteico de quinua g/100 g (teórico)	Concentrado proteico de quinua g/100 g (experimental)	% (SQ)
Isoleucina	4,0	1,30	1,28	31,88
Leucina	7,0	4,60	4,51	64,46
Lisina	5,5	17,13	16,80	305,51
Metionina	3,5	1,70	1,67	47,64
Fenilalanina	6,0	9,34	9,16	152,69
Treonina	4,0	1,47	1,44	36,05
Triptofano	1,0	N/D	N/D	N/D
Valina	5,0	2,03	1,99	39,82
Proteína (%)		72,81	71,42	

[Dueñas et al. \(2019\)](#)

Como se puede observar en la tabla 10 el porcentaje de aminoácidos esenciales determinados por el cómputo químico utilizando el patrón FAO, resulta la lisina con mayor puntuación de 305.51% en cuanto al porcentaje de SQ y el aminoácido limitante es la isoleucina con 31.88%. Nuestros resultados estuvieron de acuerdo con [Dueñas et al. \(2019\)](#) y [Elsohaimy et al.\(2015\)](#), quienes informaron un alto contenido de lisina (17,13%) y como limitante al isoleucina con 1,30 % en el concentrado proteico de quinua. De los resultados obtenidos podemos desprender que el concentrado proteico de quinua presenta concentraciones razonables de aminoácidos esenciales (excepto triptófano) que son muy importantes para la nutrición humana, estos niveles de aminoácidos esenciales podrían servir como un excelente suplemento proteico.

## V. CONCLUSIONES

1. La cantidad de proteína en el concentrado proteico de quinua fue de  $71,42 \pm 0,545$ , humedad  $2,72 \pm 0,129$  %, su solubilidad en agua de 72,94%.
2. Se determino la humedad de equilibrio (estabilidad) para las temperaturas de 30°C, 40°C y 50°C respectivamente, mostrando valores similares.
3. Los parámetros de modelos matemáticos presentaron un ajuste con menor cuadrado medio error de 2,92%; 4,83% y 3,51% a 30°C, 40°C y 50°C, respectivamente para GAB y 5,74%; 7,72% y 3,84% a 30°C, 40°C y 50°C, respectivamente para Oswin.
4. Los modelos de isoterma presentaron una curva estable para las condiciones de almacenamiento, no existiendo variación para las temperaturas.
5. Los aminoácidos esenciales en mayor cantidad en el concentrado proteico fue la lisina 16,8 g/100g de concentrado, seguido por fenilalanina 9,16 g/100.

## **VI. RECOMENDACIONES**

1. Tratándose el concentrado proteico de quinua rico en lisina, se recomienda realizar trabajos enriqueciendo con concentrado proteico de quinua.
2. Formular alimento usando concentrado proteico de quinua como para: cárnicos, bebidas, panadería, etc como fuentes nutricionales al consumidor.
3. Se deben realizar estudios con alimentos procesados que contengan proteína concentrada de quinua para permitir su comercialización y buscar alternativas tecnológicas en cuanto a conservación, materiales de empaque para una adecuada vida útil y seguridad.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Achouri, A., Nail, V., & Boye, J. I. (2012). *Sesame protein isolate: Fractionation, secondary structure and functional properties—ScienceDirect*.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0963996912000038>
- Alberto, C., Pereira, P., González, O., Isabel, A., Hernández, M., & Valencia, M. (2015). Semillas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willdenow): Composición química y procesamiento. Aspectos relacionados con otras áreas. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 5(2), 166-218.
- Al-Muhtaseb, A. H., McMinn, W. A. M., & Magee, T. R. A. (2004). Water sorption isotherms of starch powders: Part 1: Mathematical description of experimental data. *Journal of food Engineering*, 61(3), 297-307.
- Araújo, A. L. de, & Pena, R. da S. (2022). Moisture desorption behavior and thermodynamic properties of pulp and seed of jambolan (*Syzygium cumini*). *Heliyon*, 8(5), e09443.  
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09443>
- Aviara, N. A. (2020). Moisture sorption isotherms and isotherm model performance evaluation for food and agricultural products. *Sorption in 2020s*, 143.
- Azuara, E. N., & Beristain, C. I. G. (2019). Estudio termodinámico y cinético de la adsorción de agua en proteína de suero de leche. *Revista mexicana de ingeniería química*, 6(3), 359-365.
- Badui Dergal, S. (2016). *Química de los alimentos*. México, Pearson Educación.
- Bai, T., Nosworthy, M. G., House, J. D., & Nickerson, M. T. (2018). Effect of tempering moisture and infrared heating temperature on the nutritional properties of desi

- chickpea and hull-less barley flours, and their blends. *Food Research International*, 108, 430-439. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.02.061>
- Barrera, G. M., & Perez, P. S. (2014). *Formulación de una mezcla proteica a base de macA (Lepidium peruvianum Chacón), oca (Oxalis tuberosa), quinua (Chenopodium quinoa), y tocosh por el metodo de extrusión*. <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/3062>
- Berk, Z. (2018). Chapter 6—Size reduction. En Z. Berk (Ed.), *Food Process Engineering and Technology (Third Edition)* (Third Edition, pp. 165-191). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812018-7.00006-3>
- Bizot, H., Riou, N., & Multon, J. L. (1987). Guide pratique pour la détermination des isothermes de sorption et de l'activité de l'eau. *Sci. Aliments*.
- Bustos, D. S. (2019). *Análisis termodinámico de adsorción de películas proteína-polisacárido*. <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/104877>
- Caiza Ayala, J. E. (2011). *Obtención de hidrolizado de proteína de chocho (Lupinus mutabilis) a partir de harina integral* [BachelorThesis, Quito, 2011.]. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4387>
- Caiza, D. R. (2021). *Isotermas de sorción en alimentos pulverulentos y ecuaciones de ajuste: Una revisión bibliográfica de datos publicados* [BachelorThesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología. Carrera de Ingeniería en Alimentos]. <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/33611>
- Cao, H., Huang, Q., shi, J., Guan, X., Song, H., Zhang, Y., Xie, J., & Fang, Y. (2023). Effect of conventional and microwave heating treatment on antioxidant activity of quinoa

- protein after simulated gastrointestinal digestion. *Food Chemistry*, 415, 135763.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.135763>
- Cassini, A. S., Marczak, L. D. F., & Noreña, C. P. Z. (2006). Water adsorption isotherms of texturized soy protein. *Journal of Food Engineering*, 77(1), 194-199.  
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.05.059>
- Caurie, M. (1970). A new model equation for predicting safe storage moisture levels for optimum stability of dehydrated foods. *International Journal of Food Science & Technology*, 5(3), 301-307. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1970.tb01571.x>
- Chenlo, F., Moreira, R., Chaguri, L., & Santos, F. (2005). ISOTERMAS DE DESORCIÓN DE PIMIENTOS DE PADRÓN (*Capsicum annum* L. Var. Longum) DESORPTION ISOTHERMS OF PADRÓN PEPPERS (*Capsicum annum* L. Var. Longum) ISOTERMAS DE DESORCIÓN DE PEMENTOS DE PADRÓN (*Capsicum annum* L. Var. Longum). *CYTA-Journal of Food*, 5(1), 18-24.
- Choque, D. (2018). Evaluación de las isothermas de sorción de granos y harina de kiwicha (*Amaranthus caudatus*). *Revista Ion*, 31(2), 67-81.
- Cunningham, S. D., Cater, C. M., Mattil, K. F., & Vanderzant, C. (1975). Rupture and protein extraction of petroleum-grown yeast. *Journal of Food Science*, 40(4), 732-735.
- Damodaran, S., & Parkin, K. L. (2018). *Química de alimentos de Fennema*. Artmed editora.
- Desa, W. N. M., Mohammad, M., & Fudholi, A. (2019). Review of drying technology of fig. *Trends in Food Science & Technology*, 88, 93-103.
- Doporto, M. C., Dini, C., Mugridge, A., Viña, S. Z., & García, M. A. (2012). Physicochemical, thermal and sorption properties of nutritionally differentiated flours

- and starches. *Journal of Food Engineering*, 113(4), 569-576.  
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.07.021>
- Dueñas, S. A., Ordoñez Obando, D. E., Quelal Tapia, M. B., Nazate Fraga, K. F., Villacrés Poveda, C. E., & Cuaran Guerrero, J. M. (2019). *Obtención y caracterización de un hidrolizado proteico de quinua (Cheopodium quinoa Willd)*. Quito, EC: INIAP-EESC, 2019. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5734>
- Elsouhaimy, S. A., Refaay, T. M., & Zaytoun, M. A. M. (2015a). Physicochemical and functional properties of quinoa protein isolate. *Annals of Agricultural Sciences*, 60(2), 297-305. <https://doi.org/10.1016/j.aos.2015.10.007>
- Elsouhaimy, S. A., Refaay, T. M., & Zaytoun, M. A. M. (2015b). Physicochemical and functional properties of quinoa protein isolate. *Annals of Agricultural Sciences*, 60(2), 297-305. <https://doi.org/10.1016/j.aos.2015.10.007>
- FAO. (2013). *Quinoa | FAO | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. <https://www.fao.org/quinoa/es/>
- Föste, M., Elgeti, D., Brunner, A.-K., Jekle, M., & Becker, T. (2015a). Isolation of quinoa protein by milling fractionation and solvent extraction. *Food and Bioproducts Processing*, 96, 20-26. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2015.06.003>
- Föste, M., Elgeti, D., Brunner, A.-K., Jekle, M., & Becker, T. (2015b). Isolation of quinoa protein by milling fractionation and solvent extraction. *Food and Bioproducts Processing*, 96, 20-26. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2015.06.003>
- Gálvez, Aravena, E. L., & Mondaca, R. L. (2006). Isotermas de adsorción en harina de maíz (*Zea mays* L.). *Food Science and Technology*, 26, 821-827.  
<https://doi.org/10.1590/S0101-20612006000400017>

- Gálvez, Flores, I., & González, A. (2013). Propiedades funcionales de las proteínas. *Química de los alimentos*, 8.
- Greenspan, L. (1977). Humidity fixed points of binary saturated aqueous solutions. *Journal of research of the National Bureau of Standards. Section A, Physics and chemistry*, 81(1), 89.
- Gutiérrez, C., Lares, M., Sandoval, J., & Hernández, M. (2021). *Extracción de aislado proteico de quinua (chenopodium quinua: Variedad blanca junín) como alternativa para el uso en suplementos altos en proteína pdf—De búsqueda.* [https://pe.search.yahoo.com/search?fr=mcafee&type=E210PE91215G0&p=Extracci%C3%B3n+de+aislado+proteico+de+quinua+\(chenopodium+quinua%3A+Variedad+blanca+jun%C3%ADn\)+como+alternativa+para+el+uso+en+suplementos+altos+en+prote%C3%ADna+pdf](https://pe.search.yahoo.com/search?fr=mcafee&type=E210PE91215G0&p=Extracci%C3%B3n+de+aislado+proteico+de+quinua+(chenopodium+quinua%3A+Variedad+blanca+jun%C3%ADn)+como+alternativa+para+el+uso+en+suplementos+altos+en+prote%C3%ADna+pdf)
- Hssaini, L., Ouaabou, R., Charafi, J., Idlimam, A., Lamharrar, A., Razouk, R., & Hanine, H. (2022). Hygroscopic proprieties of fig (*Ficus carica* L.): Mathematical modelling of moisture sorption isotherms and isosteric heat kinetics. *South African Journal of Botany*, 145, 265-274. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2020.11.026>
- Igbabul, B. D., Ariaahu, C. C., & Umeh, E. U. (2013). Moisture adsorption isotherms of African Arrowroot Lily (*Tacca involucreta*) Tuber Mash as influenced by blanching and natural fermentation. *Journal of Food Research*, 2(3), 79.
- Kaspchak, E., Oliveira, M. A. S. de, 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.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.014>
- Kong, F., & Singh, R. P. (2016). Chemical Deterioration and Physical Instability of Foods and Beverages. En *The Stability and Shelf Life of Food* (pp. 43-76). Elsevier.  
<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100435-7.00002-2>
- Labuza, T. P. (1968). Sorption phenomena in foods. *Food Technol.*, 22, 15-19.
- Labuza, T. P. (1980). *The effect of water activity on reaction kinetics of food deterioration*.
- Labuza, T. P. (1985). *Effect of Temperature on the Moisture Sorption Isotherms and Water Activity Shift of Two Dehydrated Foods—LABUZA - 1985—Journal of Food Science—Wiley Online Library*.  
<https://ift.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2621.1985.tb13409.x>
- Lemus, R. (2023). *Importancia de las Isotermas en los Alimentos*.  
[https://www.academia.edu/32973286/Importancia\\_de\\_las\\_Isotermas\\_en\\_los\\_Alimentos](https://www.academia.edu/32973286/Importancia_de_las_Isotermas_en_los_Alimentos)
- Leonardo, L. F., Evangelista, R. R., Ribeiro Sanches, M. A., Basso, R. C., Gullón, B., Lorenzo, J. M., Carla da Silva Barretto, A., & Romero, J. T. (2020). Influence of temperature and chemical composition on water sorption isotherms for dry-cured ham. *LWT*, 123, 109112. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109112>
- Lorenzo, L. K. (2008). *Improving the Solubility of Yellow Mustard Precipitated Protein Isolate in Acidic Aqueous Solutions*. University of Toronto.
- Martinelli, L., Gabas, A. L., & Telis-Romero, J. (2007). Thermodynamic and Quality Properties of Lemon Juice Powder as Affected by Maltodextrin and Arabic Gum.

*Drying Technology*, 25(12), 2035-2045.

<https://doi.org/10.1080/07373930701728836>

Martínez, Grau, A., Chiralt, A., & Fito, P. (1998). Termodinámica y cinética de sistemas.

*Alimento entorno". Servicio de publicación, editorial AND: Venezuela.*

Martínez, Velázquez, F., Burrieza, H. P., Martínez, K. D., Paula Domínguez Rubio, A., dos

Santos Ferreira, C., del Pilar Buera, M., & Pérez, O. E. (2019). Betanin loaded nanocarriers based on quinoa seed 11S globulin. Impact on the protein structure and

antioxidant activity. *Food Hydrocolloids*, 87, 880-890.

<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.09.016>

Mathlouthi, M., & Rogé, B. (2003). Water vapour sorption isotherms and the caking of food

powders. *Food chemistry*, 82(1), 61-71.

Mazza, G. (1980). *Thermodynamic considerations of water vapor sorption by horseradish*

*roots.*

Mir, N. A., Riar, C. S., & Singh, S. (2019a). Effect of pH and holding time on the

characteristics of protein isolates from Chenopodium seeds and study of their amino

acid profile and scoring. *Food Chemistry*, 272, 165-173.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.08.048>

Mir, N. A., Riar, C. S., & Singh, S. (2019b). Effect of pH and holding time on the

characteristics of protein isolates from Chenopodium seeds and study of their amino

acid profile and scoring. *Food Chemistry*, 272, 165-173.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.08.048>

Mir, N. A., Riar, C. S., & Singh, S. (2021). Improvement in the functional properties of

quinoa (*Chenopodium quinoa*) protein isolates after the application of controlled

- heat-treatment: Effect on structural properties. *Food Structure*, 28, 100189.  
<https://doi.org/10.1016/j.foostr.2021.100189>
- Mohamed, A., Kouhila, M., Jamali, A., Lahsasni, S., & Mahrouz, M. (2005). Moisture sorption isotherms and heat of sorption of bitter orange leaves (*Citrus aurantium*). *Journal of food Engineering*, 67(4), 491-498.
- Moreira, R., Chenlo, F., Sineiro, J., Sánchez, M., & Arufe, S. (2016). Water sorption isotherms and air drying kinetics modelling of the brown seaweed *Bifurcaria bifurcata*. *Journal of applied phycology*, 28, 609-618.
- Muhtaseb, McMinn, W. A. M., & Magee, T. R. A. (2002). Moisture Sorption Isotherm Characteristics of Food Products: A Review. *Food and Bioproducts Processing*, 80(2), 118-128. <https://doi.org/10.1205/09603080252938753>
- Nayab, A. K., Valík, L., & Ačai, P. (2023). Sorption isotherm modelling of chilgoza pine nuts (*Pinus gerardiana*). *LWT*, 174, 114437.  
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114437>
- Nazate, F. (2016). *Obtención de proteína hidrolizada de quinua chenopodium quinoa willd a partir de un aislado proteico* [BachelorThesis].  
<http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/5314>
- Nazate Fraga, F. K. (2016a). *Obtención de proteína hidrolizada de quinua chenopodium quinoa willd a partir de un aislado proteico*.
- Nazate Fraga, F. K. (2016b). *Obtención de proteína hidrolizada de quinua chenopodium quinoa willd a partir de un aislado proteico* [BachelorThesis].  
<http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/5314>

- Nazreen, A. Z., Jai, J., Ali, S. A., & Mohamed Manshor, N. (2020). Moisture adsorption isotherm model for edible food film packaging—a review. *Scientific Research Journal*, 17(2), 222-245.
- Pérez, A., Beristain, C. I., Lobato-Calleros, C., Rodríguez-Huezo, M. E., & Vernon-Carter, E. J. (2006). Thermodynamic analysis of the sorption isotherms of pure and blended carbohydrate polymers. *Journal of Food Engineering*, 77(4), 753-760.
- Pincioli, M. (2011). *Proteínas de arroz: Propiedades estructurales y funcionales*. Universidad Nacional de La Plata.
- Pires, C. V., Oliveira, M. G. de A., Rosa, J. C., & Costa, N. M. B. (2006). Nutritional quality and chemical score of amino acids from different protein sources. *Food Science and Technology*, 26, 179-187.
- Quelal, M., Nazate, K., Villacrés, E., & Cuarán, J. (2019). Obtención y caracterización de un hidrolizado proteico de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd). *Enfoque UTE*, 10(2), 79-89.
- Rahman, M. S. (2007). *Handbook of food preservation*. CRC press.
- Raji, A. O., & Ojediran, J. O. (2011). Moisture sorption isotherms of two varieties of millet. *Food and Bioproducts Processing*, 89(3), 178-184.  
<https://doi.org/10.1016/j.fbp.2010.06.001>
- Ramirez, B. (2021). *Modelo cinetico e isoterma de adsorción en la deshidratación de arracacha (Arracacia Xanthorrhiza B.)*.  
<http://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/6308>

- Rivera Figueroa, M. M. (2006). *Obtención, caracterización estructural y determinación de las propiedades funcionales de un aislado proteico de quinoa orgánica (Chenopodium quinoa)*.
- Romani, S., Rocculi, P., Tappi, S., & Dalla Rosa, M. (2016). Moisture adsorption behaviour of biscuit during storage investigated by using a new Dynamic Dewpoint method. *Food Chemistry*, *195*, 97-103. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.06.114>
- Samaniego, C. M., Boag, I. F., & Robertson, G. L. (1991). Comparison of regression methods for fitting the GAB model to the moisture isotherms of some dried fruit and vegetables. *Journal of Food Engineering*, *13*(2), 115-133. [https://doi.org/10.1016/0260-8774\(91\)90014-J](https://doi.org/10.1016/0260-8774(91)90014-J)
- Sawhney, I. K., SARKAR, B. C., PATIL, G. R., & SHARMA, H. K. (2013). *Moisture Sorption Isotherms and Thermodynamic Properties of Whey Protein Concentrate Powder from Buffalo Skim Milk—Sawhney—2014—Journal of Food Processing and Preservation—Wiley Online Library*. <https://ifst.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jfpp.12148>
- Shen, Y., Tang, X., & Li, Y. (2021). Drying methods affect physicochemical and functional properties of quinoa protein isolate. *Food Chemistry*, *339*, 127823. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127823>
- Shi, D., Fidelis, M., Ren, Y., Stone, A. K., Ai, Y., & Nickerson, M. T. (2020). The functional attributes of Peruvian (Kankolla and Blanca juli blend) and Northern quinoa (NQ94PT) flours and protein isolates, and their protein quality. *Food Research International*, *128*, 108799.

- Sierra, J., & Allca, V. (2022). Isoterma de adsorción, propiedades funcionales y vida útil de la harina de chuño blanco de papa andina ccompis (*Solanum tuberosum*) proveniente de la Comunidad de Mollocco – Antabamba. *Repositorio institucional - UNAMBA*. <http://repositorio.unamba.edu.pe/handle/UNAMBA/1138>
- Sosa, J. C., & Castro, E. I. (2022). *Determinación experimental de isothermas de sorción de humedad de la tuna blanca (Napolea coccinellifera L.)*. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/36518>
- Suárez López, M. M., Kizlansky, A., & López, L. B. (2006). Evaluación de la calidad de las proteínas en los alimentos calculando el score de aminoácidos corregido por digestibilidad. *Nutrición hospitalaria*, 21(1), 47-51.
- Tavano, O. L., Amistá, M. J. D. M., Del Ciello, G., Rodrigues, M. C. M., Bono Nishida, A. M., Valadares, L. A., Siqueira, B. M., Gomes, R. A. D. S., Parolini, M. T., & Silva Junior, S. I. D. (2022). Isolation and evaluation of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) protein fractions. A nutritional and bio-functional approach to the globulin fraction. *Current Research in Food Science*, 5, 1028-1037. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2022.06.006>
- Timmermann, E. O., Chirife, J., & Iglesias, H. A. (2001). Water sorption isotherms of foods and foodstuffs: BET or GAB parameters? *Journal of food engineering*, 48(1), 19-31.
- Toğrul, H., & Arslan, N. (2020). Moisture sorption isotherms and thermodynamic properties of walnut kernels. *Journal of Stored Products Research*, 43(3), 252-264. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2006.06.006>

- Van den Berg, C., & Bruin, S. (1978). Water activity and its estimation in food systems. *Proceedings Int. Symp. Properties of Water in Relation to Food Quality and Stability, Osaka, 1978.*
- Vananuvat, P., & Kinsella, J. E. (1975). Extraction of protein, low in nucleic acid, from *Saccharomyces fragilis* grown continuously on crude lactose. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 23(2), 216-221.
- Vargas, P., Arteaga Solorzano, R., Cruz Viera, L., Vargas Zambrano, P., Arteaga Solorzano, R., & Cruz Viera, L. (2019). ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO SOBRE EL POTENCIAL NUTRICIONAL DE LA QUINUA (*CHENOPODIUM QUINOA*) COMO ALIMENTO FUNCIONAL. *Centro Azúcar*, 46(4), 89-100.
- Vega, A., & Lemus, R. (2017). Importancia de las Isotermas en los Alimentos. *Revista Indualimentos*, 8(35), 71-74.
- Wang, J.-S., Wang, A.-B., Zang, X.-P., Tan, L., Xu, B.-Y., Chen, H.-H., Jin, Z.-Q., & Ma, W.-H. (2019). Physicochemical, functional and emulsion properties of edible protein from avocado (*Persea americana* Mill.) oil processing by-products. *Food Chemistry*, 288, 146-153. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.02.098>
- Yogendrarajah, P., Samapundo, S., Devlieghere, F., De Saeger, S., & De Meulenaer, B. (2015). Moisture sorption isotherms and thermodynamic properties of whole black peppercorns (*Piper nigrum* L.). *LWT - Food Science and Technology*, 64(1), 177-188. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.05.045>
- Zhang, Z., Li, X., Jia, H., & Liu, Y. (2022). Moisture sorption isotherms and thermodynamic properties of tiger nuts: An oil-rich tuber. *LWT*, 167, 113866. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113866>

## VIII. ANEXOS

### ANEXO 1 Extracción del concentrado proteico de quinua



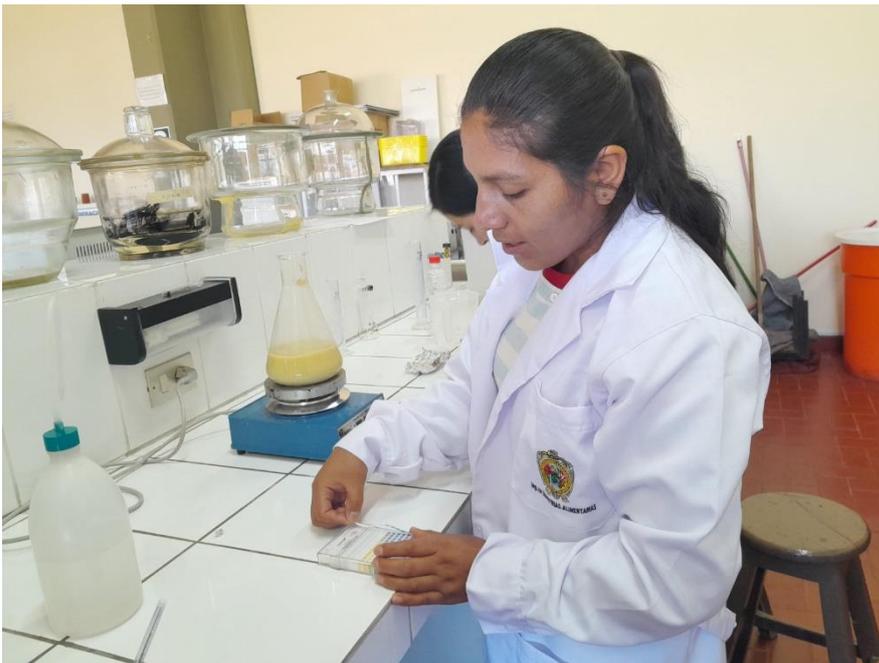
Pesado de la muestra para la extracción del concentrado proteico



Dilución de la muestra con el agua destilada



Solubilización con NaOH



Medición a pH 10 de la solubilidad



Centrifugación del precipitado



Lavado de la proteína



Liofilización del concentrado proteico secó

## ANEXO 2 Determinaciones de la proteína por el método Kjeldahl.

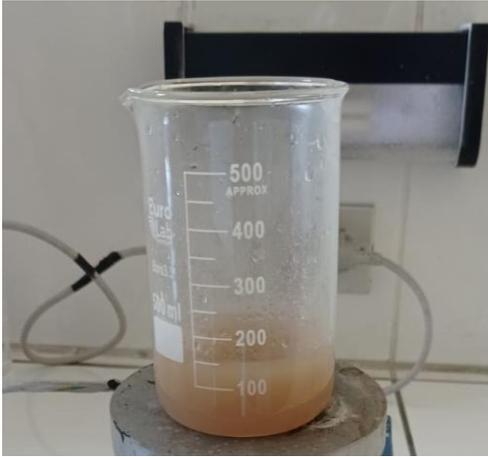


Usando el equipo digestor de proteína



Destilación de la proteína

### ANEXO 3 determinaciones de la solubilidad del concentrado proteico



Solubilidad de la proteína

### ANEXO 4 Determinación del equilibrio de humedad en los desecadores



Saturación de las sales



Los desecadores listos con las muestras para ser llevado a las incubadoras a diferentes temperaturas.



Los desecadores ya se encuentran en la incubadora a 30°C



Pesado de las muestras después de 24 horas

**ANEXO 5.** Datos de los pesos del concentrado proteico de quinua durante exposición a las sales saturadas.

<b>TEMPERATURA 30 °C</b>			
<b>sales</b>	<b>peso de papel vacío</b>	<b>Día 0 (inicial)</b>	<b>Día 4 (final)</b>
	0.1655	0.6514	0.6264
<b>Hidróxido de potasio</b>	0.1640	0.6741	0.6596
	0.1479	0.6378	0.6252
	0.1277	0.6191	0.6156
<b>Cloruro de magnesio</b>	0.1248	0.6770	0.6752
	0.1083	0.6216	0.6214
	0.1069	0.6406	0.6456
<b>Carbonato de potasio</b>	0.1476	0.6220	0.6260
	0.1481	0.6457	0.6500
	0.1097	0.6611	0.6889
<b>Nitrato de sodio</b>	0.0847	0.6360	0.6615
	0.1039	0.6775	0.6888
	0.1251	0.6658	0.6784
<b>Cloruro de potasio</b>	0.1061	0.6080	0.6425
	0.1318	0.6355	0.6642
<b>Cloruro de bario</b>	0.1361	0.6619	0.7131
	0.1094	0.6546	0.7057
	0.1052	0.7446	0.8071

---

**TEMPERATURA 40 °C**

---

<b>Sales</b>	<b>Peso de papel vacío</b>	<b>Día 0 (inicial)</b>	<b>Día 4 (final)</b>
	0.1655	0.7269	0.7067
<b>Hidróxido de potasio</b>	0.164	0.7741	0.7525
	0.1479	0.7279	0.7075
	0.1302	0.6651	0.6583
<b>Cloruro de magnesio</b>	0.1257	0.6085	0.6021
	0.11	0.6326	0.6255
	0.1069	0.6889	0.6845
<b>Carbonato de potasio</b>	0.1476	0.6723	0.6679
	0.1011	0.6349	0.6358
	0.1126	0.6966	0.7133
<b>Nitrato de sodio</b>	0.088	0.6599	0.677
	0.1071	0.6319	0.6398
	0.127	0.6844	0.716
<b>Cloruro de potasio</b>	0.108	0.6744	0.7088
	0.1341	0.6449	0.6749
	0.1376	0.6235	0.6611
<b>Cloruro de bario</b>	0.1079	0.6172	0.6664
	0.1027	0.6198	0.6216

---

---

**TEMPERATURA 50 °C**

---

<b>sales</b>	<b>peso de papel vacío</b>	<b>Día 0 (inicial)</b>	<b>Día 4 (final)</b>
	0.1295	0.632	0.6403
<b>Hidróxido de potasio</b>	0.1134	0.6168	0.6263
	0.1038	0.6213	0.6286
	0.1637	0.6741	0.6989
<b>Cloruro de magnesio</b>	0.1654	0.6844	0.7081
	0.1329	0.611	0.6331
	0.1129	0.6287	0.6602
<b>Carbonato de potasio</b>	0.0872	0.6135	0.6445
	0.1064	0.6378	0.6711
	0.1296	0.6557	0.7079
<b>Nitrato de sodio</b>	0.1402	0.6371	0.6864
	0.1444	0.6244	0.674
	0.1263	0.6266	0.6917
<b>Cloruro de potasio</b>	0.1253	0.6363	0.7007
	0.1093	0.6245	0.6882
	0.1357	0.6107	0.694
<b>Cloruro de bario</b>	0.1074	0.6415	0.7288
	0.1489	0.617	0.6323

---

## ANEXO 6 Calculo de los parámetros en Excel con Solver

calculo de constantes de **GAB** por Solver

T=30°C

x	y
aw	M exp (g agua/100 g ms)
0.0738	2.041
0.3238	4.86
0.4317	5.94
0.7275	12.271
0.8362	23.411
0.898	34.451

Kg=	0.990
C=	10.225
Mo=	3.906

$$X = \frac{X_m C k a_w}{(1 - k a_w)(1 - k a_w + C k a_w)}$$

1° hacemos el cuadro (B11 y B12)

2° Asignamos un valor 1 1 1 a K C Xm

3° Calculamos con la formula X GAB

4° Calculamos la columna E y hacemos la suma

5° Vamos a solver

6° Se obtienen las constantes K, C y Xm

7° con los parametros determinados determinamos los nuevos valores de X desde aw o hasta 0.95

8° Graficamos los valores

aw	M experimental	M ajust GAB	(Mexp-M ajust)^2
0.0738	2.041	1.88032	0.025818
0.3238	4.86	4.76131	0.009739
0.4317	5.94	6.03038	0.008168
0.7275	12.271	13.44785	1.384979
0.8362	23.411	22.22979	1.395249
0.898	34.451	34.75740	0.093883
MRS (%) =			<b>2.918</b>

## ANEXO 7 Cuantificación de las proteínas

Muestras	Harina de quinua(P1) %	Concentrado proteico(P3) %	Solubilidad de proteína(P4) %
<b>Total, de proteína</b>	<b>10,6</b>	<b>71,42</b>	<b>52,10</b>
<b>M1</b>	<b>10.5</b>	<b>70,88</b>	<b>52,20</b>
<b>M2</b>	<b>10.7</b>	<b>71,97</b>	<b>51,90</b>

$$\%Nitrogeno = \frac{ml\ de\ HCl * N * meq\ de\ Nitrogeno}{g\ de\ muestra} * 100$$

$$\%Proteina = \%Nitrogeno * Factor(6,25)$$

Volumen de Gasto: **32,40 ml; 32,90 ml** para concentrado proteico de quinua

Volumen de Gasto: **26,20 ml; 26,00 ml** para solubilidad de proteína de quinua

Volumen de Gasto: **4,8 ml; 4,9 ml** para grano de quinua

Muestra: **0,2 g**

$$\%N = \frac{32,40 \text{ ml} * 0,05 \frac{\text{g}}{\text{mol}} * 0,014 \text{ mol/ml}}{0,2 \text{ g}} * 100$$

$$\%N = \mathbf{11,34\%}$$

$$\%Proteina = 11,34\% * 6,25$$

$$\%Proteina = \mathbf{70.88\%}$$



## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS:

(Reglamento de grados y títulos, aprobado con RCU N° 314-2021-UNSCH-CU)

### **“DETERMINACION DE LAS CARACTERISTICAS DEL CONCENTRADO PROTEICO DE LA QUINUA, SOLUBILIDAD Y ANINOGRAMA E ISOTERMAS DE ESTABILIDAD DE AGUA”**

**Expositoras: Geonella Magaly CANGANA VILCATOMA**  
**Bachiller en Ingeniería en Industrias Alimentarias**

Expediente N° 2353307.

Resolución Decanal N° 144-2023-UNSCH-FIQM/D.

Fecha: 15-09-2023.

- 01 -

En la Sala de Conferencias “Pedro VILLENA HIDALGO” de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia, ubicada en la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga (H-121), siendo las once de la mañana con cinco minutos del día lunes dieciocho de setiembre del año dos mil veintitrés, se reunieron la Bachiller en Ingeniería en Industrias Alimentarias **Geonella Magaly CANGANA VILCATOMA**, los Docentes Miembros del Jurado de Sustentación Ingenieros: Dr. Saúl Ricardo CHUQUI DIESTRA, Mg. Hugo Rodolfo ORIUNDO MAMANI e Mg. Julio Pablo GODENZI VARGAS, bajo la Presidencia de la Dr. Saúl Ricardo CHUQUI DIESTRA (Presidente encargado con Memorando N° 360-2023-UNSCH-FIQM/D), Dr. Alberto Luis HUAMANI HUAMANI (Docente Asesor de la Tesis), el Mg. Fredy Rober PARIONA ESCALANTE (Secretario-Docente) y el público asistente.

Acto seguido, el Presidente del Jurado de Sustentación dispuso que el Secretario Docente dé lectura a los antecedentes tramitados para el presente Acto Público de Sustentación de la Tesis: **“DETERMINACION DE LAS CARACTERISTICAS DEL CONCENTRADO PROTEICO DE LA QUINUA, SOLUBILIDAD Y ANINOGRAMA E ISOTERMAS DE ESTABILIDAD DE AGUA”**, presentado por la Bachiller **Geonella Magaly CANGANA VILCATOMA**. A continuación, el Secretario-Docente procedió a dar lectura a la Resolución Decanal N° 144-2023-UNSCH-FIQM/D.

Luego, el Presidente del Jurado invitó a la Bachiller **Geonella Magaly CANGANA VILCATOMA**, a pasar al estrado y exponer su trabajo de Tesis en un tiempo máximo de cuarenta y cinco minutos.

Terminada la exposición de la Bachiller, el Presidente invitó a los Señores Miembros del Jurado de Sustentación a que formulen sus preguntas y señalen sus observaciones, en el siguiente orden: Mg. Julio Pablo GODENZI VARGAS, Mg. Hugo Rodolfo ORIUNDO MAMANI y Dr. Saúl Ricardo CHUQUI DIESTRA. Luego la Presidenta invitó al Dr. Alberto Luis HUAMANI HUAMANI para que, en su condición de Docente Asesor, se sirva levantar las observaciones del Jurado y efectuar las aclaraciones que considere conveniente.

Concluyo con esta etapa el Dr. Saúl Ricardo CHUQUI DIESTRA, en su condición de Presidente (e).

**UNSCH**FACULTAD DE INGENIERÍA  
**QUÍMICA Y  
METALURGIA****ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS:**

(Reglamento de grados y títulos, aprobado con RCU N° 314-2021-UNSCH-CU)

**DETERMINACION DE LAS CARACTERISTICAS DEL CONCENTRADO  
PROTEICO DE LA QUINUA, SOLUBILIDAD Y ANINOGRAMA E  
ISOTERMAS DE ESTABILIDAD DE AGUA"****Expositoras: Geonella Magaly CANGANA VILCATOMA  
Bachiller en Ingeniería en Industrias Alimentarias**

Expediente N° 2353307.

Resolución Decanal N° 144-2023-UNSCH-FIQM/D.

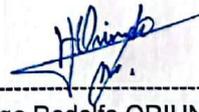
Fecha: 15-09-2023

- 02 -

Culminada la etapa de preguntas, el Presidente del Jurado invitó a la Sustentante y al público para que se sirvan abandonar la Sala de Conferencias con la finalidad de permitir al Jurado de Sustentación deliberar sobre la evaluación otorgar. Se alcanzó el siguiente resultado. **APROBADA POR UNANIMIDAD PROMEDIO QUINCE (15).**

Finalmente el Presidente del Jurado dispuso que se invite al Sustentante y público asistente a que se sirvan ingresar a la Sala de Conferencias, y anunció que la Bachiller **Geonella Magaly CANGANA VILCATOMA**, ha resultado **APROBADA POR UNANIMIDAD**, y por lo tanto a partir de la fecha la Universidad y la Facultad cuenta con una flamante **INGENIERA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS** y augura éxitos en su desempeño profesional.

Siendo las doce del medio día con cincuenta y cinco minutos se dio por concluido el acto académico de Sustentación de Tesis. En fe de lo cual firmamos:

  
-----  
Dr. Saúl Ricardo CHUQUI DIESTRA  
Presidente(e)  
-----  
Mg. Hugo Rodolfo ORIUNDO MAMAN  
Miembro  
-----  
Mg. Julio Pablo GODENZI VARGAS  
Miembro  
-----  
Mg. Fredy Rober PARIONA ESCALANTE  
Secretario Docente

**UNSCH**FACULTAD DE INGENIERÍA  
**QUÍMICA Y**  
METALURGIA**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS:**

(Reglamento de grados y títulos, aprobado con RCU N° 314-2021-UNSCH-CU)

**“DETERMINACION DE LAS CARACTERISTICAS DEL CONCENTRADO  
PROTEICO DE LA QUINUA, SOLUBILIDAD Y ANINOGRAMA E  
ISOTERMAS DE ESTABILIDAD DE AGUA”****Expositoras: María Guadalupe YARANGA AVENDAÑO**  
Bachiller en Ingeniería en Industrias Alimentarias

Expediente N° 2353307.

Resolución Decanal N° 144-2023-UNSCH-FIQM/D.

Fecha: 15-09-2023.

- 01 -

En la Sala de Conferencias “Pedro VILLENA HIDALGO” de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia, ubicada en la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga (H-121), siendo las once de la mañana con cinco minutos del día lunes dieciocho de setiembre del año dos mil veintitrés, se reunieron la Bachiller en Ingeniería en Industrias Alimentarias **María Guadalupe YARANGA AVENDAÑO**, los Docentes Miembros del Jurado de Sustentación Ingenieros: Dr. Saúl Ricardo CHUQUI DIESTRA, Mg. Hugo Rodolfo ORIUNDO MAMANI e Mg. Julio Pablo GODENZI VARGAS, bajo la Presidencia de la Dr. Saúl Ricardo CHUQUI DIESTRA (Presidente encargado con Memorando N° 360-2023-UNSCH-FIQM/D), Dr. Alberto Luis HUAMANI HUAMANI (Docente Asesor de la Tesis), el Mg. Fredy Rober PARIONA ESCALANTE (Secretario-Docente) y el público asistente.

Acto seguido, el Presidente del Jurado de Sustentación dispuso que el Secretario Docente dé lectura a los antecedentes tramitados para el presente Acto Público de Sustentación de la Tesis: **“DETERMINACION DE LAS CARACTERISTICAS DEL CONCENTRADO PROTEICO DE LA QUINUA, SOLUBILIDAD Y ANINOGRAMA E ISOTERMAS DE ESTABILIDAD DE AGUA”**, presentado por la Bachiller **María Guadalupe YARANGA AVENDAÑO**. A continuación, el Secretario-Docente procedió a dar lectura a la Resolución Decanal N° 144-2023-UNSCH-FIQM/D.

Luego, el Presidente del Jurado invitó a la Bachiller **María Guadalupe YARANGA AVENDAÑO**, a pasar al estrado y exponer su trabajo de Tesis en un tiempo máximo de cuarenta y cinco minutos.

Terminada la exposición de la Bachiller, el Presidente invitó a los Señores Miembros del Jurado de Sustentación a que formulen sus preguntas y señalen sus observaciones, en el siguiente orden: Mg. Julio Pablo GODENZI VARGAS, Mg. Hugo Rodolfo ORIUNDO MAMANI y Dr. Saúl Ricardo CHUQUI DIESTRA. Luego la Presidenta invitó al Dr. Alberto Luis HUAMANI HUAMANI para que, en su condición de Docente Asesor, se sirva levantar las observaciones del Jurado y efectuar las aclaraciones que considere conveniente.

Concluyo con esta etapa el Dr. Saúl Ricardo CHUQUI DIESTRA, en su condición de Presidente (e).



**UNSCH**

FACULTAD DE INGENIERÍA  
**QUÍMICA Y  
METALURGIA**

## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS:

(Reglamento de grados y títulos, aprobado con RCU N° 314-2021-UNSCH-CU)

### "DETERMINACION DE LAS CARACTERISTICAS DEL CONCENTRADO PROTEICO DE LA QUINUA, SOLUBILIDAD Y ANINOGRAMA E ISOTERMAS DE ESTABILIDAD DE AGUA"

**Expositoras: María Guadalupe YARANGA AVENDAÑO**  
**Bachiller en Ingeniería en Industrias Alimentarias**

Expediente N° 2353307.

Resolución Decanal N° 144-2023-UNSCH-FIQM/D.

Fecha: 15-09-2023.

- 02-

Culminada la etapa de preguntas, el Presidente del Jurado invitó a la Sustentante y al público para que se sirvan abandonar la Sala de Conferencias con la finalidad de permitir al Jurado de Sustentación deliberar sobre la evaluación a otorgar. Se alcanzó el siguiente resultado. **APROBADA POR UNANIMIDAD PROMEDIO QUINCE (15).**

Finalmente el Presidente del Jurado dispuso que se invite al Sustentante y al público asistente a que se sirvan ingresar a la Sala de Conferencias, y anunció que la Bachiller **María Guadalupe YARANGA AVENDAÑO**, ha resultado **APROBADA POR UNANIMIDAD**, y por lo tanto a partir de la fecha la Universidad y la Facultad cuenta con una flamante **INGENIERA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS** y le augura éxitos en su desempeño profesional.

Siendo las doce del medio día con cincuenta y cinco minutos se dio por concluido el acto académico de Sustentación de Tesis. En fe de lo cual firmamos:

  
-----  
Dr. Saúl Ricardo CHUQUI DIESTRA  
Presidente(e)

  
-----  
Mg. Hugo Rodolfo ORIUNDO MAMANI  
Miembro

  
-----  
Mg. Julio Pablo GODENZI VARGAS  
Miembro

  
-----  
Mg. Fredy Rober PARIONA ESCALANTE  
Secretario Docente

FACULTA DE INGENIERÍA  
QUÍMICA Y METALURGIA  
Av. Independencia s/n  
Ciudad Universitaria

## ACTA DE CONFORMIDAD

Los que suscribimos, miembros de jurado designado para el acto público de sustentación de tesis titulado “**DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL CONCENTRADO PROTEICO DE LA QUINUA, SOLUBILIDAD Y AMINOGRAMA E ISOTERMAS DE ESTABILIDAD DE AGUA**”, presentado por los Bach(s) **María Guadalupe YARANGA AVENDAÑO** y **Geonella Magaly CANGANA VILCATOMA**, el cual fue sustentado el día 18 de setiembre del 2023, en medio a la Resolución Decanal N°144-2023-UNSCH-FIQM/D, damos la conformidad al trabajo final corregido, aceptando la publicación final de la mencionada tesis y declaramos el documento APTO, para que pueda iniciar sus gestiones administrativas, que conduzcan a la expedición y entrega del Título Profesional de **Ingeniero en Industrias Alimentarias**.

Miembros del Jurado	DNI	Firma
Dr. Saúl Ricardo CHUQUI DIESTRA	32904170	
Mg. Hugo Rodolfo ORIUNDO MAMANI	28244168	
Mg. Julio Pablo GODENZI VARGAS	31653868	



## CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El Director de la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, hace CONSTAR:

Que, las Srtas. Maria Guadalupe YARANGA AVENDAÑO Geonella Magaly CANGANA VILCATOMA de la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias han remitido, con el aval y por intermedio de su asesor el Ing. Alberto Luis Huamaní Huamaní, la Tesis: *“Determinación de las características del concentrado proteico de la quinua, solubilidad y aminograma e isothermas de estabilidad de agua”*; y se precisa con el Informe de Originalidad de Turnitin, que el índice de similitud del trabajo es de 18% y que se ha generado el Recibo digital que confirma el Depósito que el trabajo ha sido recibido por Turnitin con fecha octubre 13 de 2023 e Identificador de la Entrega N° 2194593202.

Se expide la presente, para los fines pertinentes.

Ayacucho, octubre 13 de 2023.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL  
DE HUAMANGA  
E.F.P. DE INGENIERIA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS  
  
Ing. CIP/ Antonio I. Matos Alejandro  
DIRECTOR

c.c. : Archivo digital.  
Constancia N° 156

# DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL CONCENTRADO PROTEICO DE LA QUINUA, SOLUBILIDAD Y AMINOGRAMA E ISOTERMAS DE ESTABILIDAD DE AGUA.

*por* Maria Guadalupe YARANGA AVENDAÑO y Geonella Magaly  
CANGANA VILCATOMA

---

**Fecha de entrega:** 13-oct-2023 08:37a.m. (UTC-0500)

**Identificador de la entrega:** 2194593202

**Nombre del archivo:** YARANGA\_MARIA\_Y\_CANGANA\_GEONELLA\_TESIS\_FINAL\_OCTUBRE.pdf (1.95M)

**Total de palabras:** 12855

**Total de caracteres:** 62905

# DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL CONCENTRADO PROTEICO DE LA QUINUA, SOLUBILIDAD Y AMINOGRAMA E ISOTERMAS DE ESTABILIDAD DE AGUA.

## INFORME DE ORIGINALIDAD

18%

INDICE DE SIMILITUD

17%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

4%

TRABAJOS DEL  
ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="http://repositorio.unsch.edu.pe">repositorio.unsch.edu.pe</a> Fuente de Internet	2%
2	<a href="http://repositorio.utn.edu.ec">repositorio.utn.edu.ec</a> Fuente de Internet	2%
3	<a href="http://repositorio.unamad.edu.pe">repositorio.unamad.edu.pe</a> Fuente de Internet	2%
4	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	1%
5	<a href="http://repositorio.unap.edu.pe">repositorio.unap.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
6	<a href="http://repositorio.lamolina.edu.pe">repositorio.lamolina.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
7	<a href="http://ri.uaemex.mx">ri.uaemex.mx</a> Fuente de Internet	1%
8	<a href="http://repositorio.unsaac.edu.pe">repositorio.unsaac.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%

9	revistas.unicauca.edu.co Fuente de Internet	1 %
10	repositorio.unamba.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
11	dx.doi.org Fuente de Internet	<1 %
12	vsip.info Fuente de Internet	<1 %
13	Maria De La Creu Chenoll Cuadros. "Relaciones agua-solutos-matriz insoluble en algunos sistemas alimentarios.", 'Universitat Politecnica de Valencia', 2015 Fuente de Internet	<1 %
14	Submitted to Universidad Santiago de Cali Trabajo del estudiante	<1 %
15	1library.co Fuente de Internet	<1 %
16	docplayer.es Fuente de Internet	<1 %
17	Ahmed Rashad, Ali Elmaihiy. "Theoretical and Experimental Performance of Oxy-hydrogen Generators", Arabian Journal for Science and Engineering, 2017 Publicación	<1 %
18	Submitted to Universidad del Valle Trabajo del estudiante	

<1 %

19

[bibliotecadigital.fia.cl](http://bibliotecadigital.fia.cl)

Fuente de Internet

<1 %

20

[repositorio.uns.edu.pe](http://repositorio.uns.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

21

[riunet.upv.es](http://riunet.upv.es)

Fuente de Internet

<1 %

22

[www.scipedia.com](http://www.scipedia.com)

Fuente de Internet

<1 %

23

test

Fuente de Internet

<1 %

24

[www.redalyc.org](http://www.redalyc.org)

Fuente de Internet

<1 %

25

José Nicolás Saza Coaji, Javier Alexander Jiménez Forero. "Determinación de condiciones ambientales para la conservación de granos de cacao (*Theobroma cacao* L) deshidratado durante el almacenamiento.", *Revista Sistemas de Producción Agroecológicos*, 2020

Publicación

<1 %

26

[repositorio.unica.edu.pe](http://repositorio.unica.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

27

Submitted to Universidad Rafael Landívar

Trabajo del estudiante

<1 %

28

[de.slideshare.net](https://de.slideshare.net)

Fuente de Internet

<1 %

29

[saber.ucv.ve](https://saber.ucv.ve)

Fuente de Internet

<1 %

30

[tesis.ipn.mx](https://tesis.ipn.mx)

Fuente de Internet

<1 %

31

[repositorio.uncp.edu.pe](https://repositorio.uncp.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía

Activo