UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

"PROPIEDADES TERMODINÁMICAS E ISOTERMAS DE SORCIÓN DE AGUA DE GRANOS DE QUINUA (*Chenopodium quinoa*)"

TESIS

PRESENTADO POR:

BRISLYN MAROLAY OSMAYO HUACAN

ASESOR:

JHONY MAYTA HANCCO

Para optar el título profesional de

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

MOQUEGUA-PERÚ

2023

UNAM
UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

Folio N° ...17...

ACTA DE SUSTENTACIÓN

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA — UNAM — FEDATARIO

I. Modalidad:

Tesis : [X]

Trabajo de Suficiencia Profesional : [ ]

Otro: ..... : [ ]

II. Documento de aprobación de la modalidad de titulación del bachiller:
RESOLUCIÓN DE COMISIÓN ORGANIZADORA N° 0969 - 2019 - UNAM

Fecha: 17/10/2019

III. Documento de aprobación para la sustentación:
RESOLUCIÓN DE FACULTAD N° 087 - 2023 - FACIA - UNAM

Fecha: 19/06/2023

IV. El Jurado ha dictaminado la (el) TESIS,
TITULADO: "PROPIEDADES TERMODINÁMICAS E ISOTERMAS DE SORCIÓN DE AGUA DE GRANOS DE QUINUA (Chenopodium quinoa)"

Bachiller: BRISLYN MAROLAY OSMAYO HUACAN

Asesor Principal: Dr. JHONY MAYTA HANCCO

Co-Asesor: .....

V. Se dictamina:

Como: APROBADO por UNANIMIDAD la sustentación de manera:

Presencial [X] Virtual [ ]

Con nota: CATORCE (14) por lo que; Sí [ ] No [ ]

Opta el Título Profesional de **INGENIERO AGROINDUSTRIAL.**

Siendo las 18:25 horas, del 22 de JUNIO del año 2023 se procede con la firma en conformidad de lo dictaminado por el Jurado.

Presidente	Primer Miembro	Segundo Miembro
HONORATO CCALLI PACCO	Frick Manuel Saldana Villa	César Augusto Vega Almeida
(Nombres y Apellidos)	(Nombres y Apellidos)	(Nombres y Apellidos)

Miembro Accesitario	Asesor Principal	Bachiller	Co-Asesor
(Nombres y Apellidos)	JHONY MAYTA HANCCO	BRISLYN MAROLAY OSMAYO HUACAN	(Nombres y Apellidos)
	(Nombres y Apellidos)	(Nombres y Apellidos)	

RESUMEN

La presente investigación tuvo por objetivo el estudio del comportamiento de sorción de agua de dos variedades (Pasankalla y Blanca de Juli) de granos de quinua (*Chenopodium quinoa*) por el método de punto de rocío mediante un analizador de sorción de vapor (VSA), así como la determinación de las propiedades termodinámicas a diferentes temperaturas (20, 30 y 40 °C) y actividad de agua (0.1-0.9). Los datos del contenido de humedad en equilibrio fueron ajustados a diez modelos matemáticos, siendo el modelo de Halsey modificado y Smith fueron los que mejor se ajustaron al comportamiento de sorción para la quinua Pasankalla y los modelos Chung-Pfost modificado, Halsey modificado y Smith para la quinua Blanca de Juli de acuerdo con parámetros estadísticos (R^2, MRE%, SSE). Las isotermas de sorción de los granos de quinua fueron clasificados como tipo II por presentar una forma sigmoidal. De acuerdo con el análisis termodinámico se observó en todos los casos los valores de la entalpía y entropía de sorción decrecieron al incremento del contenido de humedad en equilibrio. La energía libre de Gibbs disminuyó con el incremento de la temperatura y el contenido de humedad en equilibrio. La teoría de compensación entalpía-entropía fue confirmada por la correlación entre las mismas, así mismo, se determinó que el mecanismo de sorción es controlado por la entalpía.

ABSTRACT

The objective of this research was to study the water sorption behavior of two varieties (Pasankalla and Blanca de Juli) of quinoa grains (Chenopodium quinoa) by the dew point method using a vapor sorption analyzer (VSA), as well as the determination of thermodynamic properties at different temperatures (20, 30 and 40 °C) and water activity (0.1-0.9). The equilibrium moisture content data were fitted to ten mathematical models and the modified Halsey and Smith models were those that best fitted the sorption behavior for Pasankalla quinoa and the modified Chung-Pfost, modified Halsey and Smith models for Blanca de Juli quinoa according to statistical parameters (R2, MRE%, SSE). The sorption isotherms of the quinoa grains were classified as type II because of their sigmoidal shape. According to the thermodynamic analysis, in all cases the values of sorption enthalpy and entropy decreased with increasing moisture content at equilibrium. The Gibbs free energy decreased with increasing temperature and moisture content at equilibrium. The enthalpy-entropy trade-off theory was confirmed by the correlation between them, and it was determined that the sorption mechanism is controlled by enthalpy.

NOMENCLATURA

a_w	Actividad de agua
A, B y C	Constantes
BJ	Quinua variedad Blanca de Juli
HRE	Humedad relativa (%)
PK	Quinua variedad Pasankalla
b.s.	Base seca
MRE%	Error medio relativo (%)
RD	Distribución residual
SEE	Error estándar
R^2	Coeficiente de determinación
Q_s	Calor isostérico de sorción o entalpía diferencial (*kJ/kg*)
ΔS	Entropía de sorción o diferencial de entropía (*kJ/kg K*)
H_L	Entalpía de vaporización de agua (*kJ/kg*)
T_{hm}	Temperatura media harmónica (*K*)
T_β	Temperatura isocinética (*K*)
ΔG	Energía libre de Gibbs (*kJ/kg*)
X_e	Contenido de humedad en equilibrio (% b.s.)
VSA	Analizador de sorción de vapor

ÍNDICE

Pág.

ÍNDICE DE FIGURAS 5
I. INTRODUCCIÓN 7
1.1. Objetivos 9
1.1.1. Objetivo General 9
1.1.2. Objetivos Específicos 9
1.2. Hipótesis 10
1.2.1. Hipótesis General 10
1.2.2. Hipótesis Específicas 10
II. MARCO TEÓRICO 11
2.1. Quinua 11
2.1.1. Producción y Consumo 12
2.1.2. Composición química y nutricional 12
2.1.3. Contenido de agua en los alimentos 14
2.1.4. Actividad de agua 15
2.1.5. Humedad de equilibrio 17
2.2. Isotermas de sorción 18
2.3. Tipos de isotermas de sorción 19
2.4. Métodos de determinación de isotermas de sorción 20
2.4.1. Métodos estáticos 20
2.4.2. Métodos dinámicos 22
2.5. Efecto de la temperatura en las isotermas de sorción 23
2.6. Efecto de la composición del alimento 24
2.7. Aplicaciones de las isotermas de sorción de humedad 24
2.8. Modelos matemáticos de isotermas de sorción 25
2.8.1. Modelo de Henderson modificado 25
2.8.2. Modelo de Halsey modificado 25
2.8.3. Modelo de Oswin modificado 26
2.8.4. Modelo de Chung Pfost 26
2.8.5. Modelo Smith 27
2.8.6. Modelo de Harkins-Jura 27

2.8.7. Modelo de GAB modificado 27
2.9. Propiedades termodinámicas 28
2.9.1. Calor isostérico de sorción 28
2.9.2. Entropía de sorción 29
2.9.3. Energía libre de Gibbs (G) 30
2.9.4. Teoría de Compensación entalpía-entropía 30
III. MATERIALES Y MÉTODOS 32
3.1. Preparación de la muestra 32
3.2. Determinación de humedad y actividad de agua 32
3.3. Determinación de isotermas de sorción 33
3.4. Análisis de datos 33
3.4.1. Modelamiento de isotermas de sorción y análisis estadístico 33
3.5. Determinación del calor isostérico total de sorción (Qs) 35
3.6. Entropía diferencial 36
3.7. Energía libre de Gibbs 36
3.8. Teoría de Compensación entalpía-entropía 36
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 38
4.1. Humedad y actividad de agua 38
4.2. Isotermas de sorción 38
4.3. Propiedades termodinámicas 44
4.3.1. Entalpía de sorción 44
4.3.2. Entropía de sorción 45
4.3.3. Energía libre de Gibbs 46
4.3.4. Teoría de compensación entalpía-entropía 47
V. CONCLUSIONES 49
VI. RECOMENDACIONES 49
VII. REFERENCIAS 50
VIII. ANEXOS 58

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Sección longitudinal media de la semilla de quinua en el pericarpio (PE), cáscara de la semilla (SC), eje del hipocótilo (H), cotiledón (C), endospermo (EN), radícula (R), funículo (F), brote del apéndice (SA) y perisperma (P). Barra = 500 µm. 11
Figura 2. (a) Cultivo de quinua roja y (b) granos de quinua de la variedad Pasankalla 11
Figura 3. Zonas del contenido de agua en el alimento y sus cambios en función a la actividad de agua (Badui, 2006) 15
Figura 4. Actividad de agua en alimentos a diferentes contenidos de humedad (Roos et al., 2018) 17
Figura 5. Tipos de isotermas de sorción (Caballero-Cerón et al., 2015) 20
Figura 6. Diagrama esquemático de un desecador con solución salina saturada para crear un entorno de HR controlada (Bhandari & Adhikari, 2009) 21
Figura 7. Efecto de la temperatura sobre las isotermas de sorción (Caballero-Cerón et al., 2015) 24
Figura 8. Isotermas de sorción de humedad de granos de quinua PK a 20, 30 y 40°C y curvas estimadas (a y c) adsorción y (b y d) desorción de tamaño #12 (a y b) y #14 (c y d). 40
Figura 9. Isotermas de sorción de humedad de granos de quinua BJ a 20, 30 y 40°C y curvas estimadas (a y c) adsorción y (b y d) desorción de tamaño #12 (a y b) y #14 (c y d). 40
Figura 10. *Qs* de granos de quinua PK (a y b) y BJ (c y d) de tamaño grande (a y c) y tamaño mediano (c y d) en función del contenido de humedad en equilibrio 44
Figura 11. ΔS de granos de quinua PK (a y b) y BJ (c y d) de tamaño grande (a y c) y tamaño mediano (c y d) en función del contenido de humedad en equilibrio 45
Figura 12. ΔG de granos de quinua PK grande (a y b) y mediana (c y d) obtenidas por adsorción (a y c) y desorción (b y d) 46
Figura 13. ΔG de granos de quinua BJ grande (a y b) y mediana (c y d) obtenidas por adsorción (a y c) y desorción (b y d) 47
Figura 14. Compensación entalpía-entropía del proceso de sorción de granos de quinua PK y BJ grande (a y c) y mediana (c y d). 48

ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Producción regional de la quinua en Perú (en t)..... 12
Tabla 2. Contenido de macronutrientes de diferentes variedades de quinua (g/100g)..... 13
Tabla 3. Contenido vitaminas de quinua (mg/100g peso seco)..... 13
Tabla 4. Contenido de minerales de quinua (mg/100g)..... 14
Tabla 5. Contenido de aminoácidos esenciales de quinua y requerimiento de la FAO/OMS en mg/g proteína..... 14
Tabla 6. Isotermas de sorción de agua en alimentos. 19
Tabla 7. aw de sales a diferentes temperaturas 22
Tabla 8. Modelos matemáticos..... 34
Tabla 9. Contenido de humedad y actividad de agua de dos variedades de quinua de diferente diámetro..... 38
Tabla 10. Parámetros del modelo ajustado a X_e y de granos de quinua variedad Pasankalla y sus respectivos coeficientes de determinación (R^2), error relativo medio (MRE), error estándar estimado (SEE) y distribución residual (RD)..... 42
Tabla 11. Parámetros del modelo ajustado a X_e y de granos de quinua variedad Blanca de Juli y sus respectivos coeficientes de determinación (R^2), error relativo medio (MRE), error estándar estimado (SEE) y distribución residual (RD)..... 43
Tabla 12. Teoría de compensación entalpía-entropía (teoría isocinética) de granos de quinua variedad Pasankalla (PK) y Blanca de Juli (BJ) 48

I. INTRODUCCIÓN

En el Perú, el 80% de la quinua se cultiva en la región altoandina, ubicada a una altitud de 2500-4000 msnm, a estas altitudes, el aire presenta presiones de saturación, densidades, humedades y temperaturas más bajas que las regiones amazónicas o costeras, influyendo así estas condiciones climatéricas en el contenido de humedad de los granos de quinua que alcanzan a 9-10% al momento de la cosecha (Pumacahua-Ramos et al., 2016). Sin embargo, las regiones donde se exporta la quinua se ubican a una altitud menor a 1500 msnm y si no son almacenadas adecuadamente pueden absorber agua a niveles indeseados, provocando el deterioro microbiano y otras reacciones adversas (Castellión et al., 2010; Pumacahua-Ramos et al., 2016). Estas reacciones son debidas principalmente a la alta porosidad del grano en la capa exterior que permite ganar o perder fácilmente la humedad y lograr el equilibrio higroscópico (Bustos-Vanegas et al., 2018; Castellión et al., 2010).

Según los requisitos de calidad de los granos de quinua establecidos en la Norma Técnica Peruana (NTP) 205.062:2021, la humedad debe ser inferior a 13.5% (expresado en base seca) (INDECOPI, 2009). Las humedades de equilibrio (X_e) de los alimentos son influenciadas por la temperatura (Quirijns et al., 2005), humedad relativa de equilibrio (*HRE*) (Caballero-Cerón et al., 2015), composición del alimento (Labuza & Altunakar, 2008) y tamaño de partícula (Araújo & Pena, 2020). En general, la determinación de X_e en alimentos son útiles para estimar el tiempo de vida útil, diseño de envases, almacenes y permiten modelar procesos de rehidratación y la estabilidad de alimentos deshidratados (Arslan & Toğrul, 2006; Castro-Muñoz & Nieves-Segura, 2018; Pumacahua-Ramos et al., 2016).

Estudios de modelamiento de isotermas de sorción de agua en granos de quinua a diferentes temperaturas por el método isopiéstico fueron realizados por Rohvein et al. (2004), Tolaba et al. (2004), Miranda et al. (2012), Pumacahua-Ramos et al. (2016), Bustos-Vanegas et al. (2018) y Arslan-Tontul (2021) obteniéndose diferentes modelos teóricos y empíricos de ajuste. El método isopiéstico es el más utilizado en la determinación de X_e en alimentos debido a su bajo costo y fácil uso (Wolf et al., 1985). Sin embargo, este método requiere grandes cantidades de muestra para completar la isoterma y a elevados niveles de *HRE* (>75%) se produce el crecimiento de hongos en las muestras, causando pérdida de datos experimentales (Yu et al., 2008) y prolongando los tiempos (40-45 días) en la determinación del X_e (Bingol et al., 2012) debido a la inestabilidad de las HRE_s en las cámaras

termostatizadas que contienen soluciones salinas saturadas (Basu et al., 2006). Una alternativa idónea para la obtención de isotermas de sorción (adsorción y desorción) de agua de alimentos en menor tiempo (2-7 días) es el método de punto de rocío (Bingol et al., 2012) que utiliza un tamaño de muestra pequeño (mg) y que mide los cambios de la humedad relativa en pasos controlados por tiempo, mientras que el peso de la muestra es continuamente medido hasta alcanzar el equilibrio para cada humedad relativa evaluada (Caballero-Cerón et al., 2015). A la fecha de la redacción de esta investigación, no se han encontrado reportes de estudios de isotermas de sorción de agua en granos de quinua por el método del punto de rocío.

El comportamiento del agua y los requerimientos de energía de calor y transferencia de masa en un alimento pueden ser estudiados usando un enfoque termodinámico, mediante el estudio de las propiedades termodinámicas, las cuales relacionan la concentración de agua en el alimento con su presión parcial, siendo de mucha importancia en el análisis de calor y transferencia de masa durante la deshidratación y determina el punto de estabilidad con un óptimo contenido de humedad (Aviara et al., 2004; Aviara & Ajibola, 2002; McMinn & Magee, 2003; Thys et al., 2010). Estas proporcionan valores teóricos mínimos de energía requerida para remover una determinada cantidad de agua del alimento.

Por otro lado, el estudio del estado del agua libre o ligada en la superficie de un alimento se realiza mediante el cálculo del calor isostérico de sorción (Q_s) (Miranda et al., 2012) y es útil para establecer las condiciones óptimas de almacenamiento, garantizar la estabilidad (Al-Muhtaseb et al., 2004; McMinn & Magee, 2003) y requerimientos de energía en la deshidratación (Miranda et al., 2012). Valores de Q_s fueron reportados, 2400-3663 kJ/kg para la semillas de la variedad BJ y 2400-3393 kJ/kg para semillas *PK* fueron reportados por Pumacahua-Ramos et al. (2016), 2443-3221 kJ/kg reportados en quinua semillas de quinua lavada (Rohvein et al., 2004), 2410-3400 kJ/kg (adsorción) y 2415-3880 kJ/kg (desorción) en granos de quinua chilena (Miranda et al., 2012), 2430-39000 (adsorción) y 2430-130000 (desorción) en semillas de quinua (Bustos-vanegas et al., 2018) y 2425-2796 en granos de quinua (Arslan-Tontul, 2021).

La entropía de sorción (ΔS) o diferencial de entalpía de un alimento juega un rol importante en los estudios de sorción de humedad, ya que es proporcional al número de sitios de sorción disponibles en la superficie del alimento (Al-Muhtaseb et al., 2004; Arslan-Tontul, 2021). Valores de ΔS fueron reportados, con valores 350-1.5kJ/kgK (desorción) y 100-0.7 kJ/kgK

(adsorción) en semillas de quinua (Bustos-vanegas et al., 2018) y 0.887-0.1 kJ/kgK en granos de quinua (Arslan-Tontul, 2021).

La teoría de compensación entalpía-entropía es importante en las propiedades termodinámicas, ya que permite determinar si existe una relación lineal entre la entalpía y la entropía, así mismo, podemos conocer si el proceso de sorción es dominado por la entalpía o la entropía (Thys et al., 2010). la temperatura media harmónica (T_{hm}) y la temperatura isocinética (T_β) son determinadas para identificar si la teoría se cumple. Valores de T_{hm} (303.86 K) y T_β (364.43 K en adsorción y 348.81 Ken desorción) fue reportado por Bustos-Vanegas et al. (2018) en semillas de quinua.

La presente investigación hace el uso de tecnología emergente (*VSA*), que permite acortar tiempo de construcción de isotermas (de meses a días), logrando obtener isotermas con mayor exactitud y precisión para el adecuado modelamiento y cálculo de propiedades termodinámicas, logrando superar las limitantes del método clásico. Así mismo, este estudio apertura nuevas investigaciones con los datos obtenidos, como son: diseño de equipos de secado de quinua, diseño de empaques, diseño de almacenes, entre otros.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo General

- Evaluar las isotermas de sorción de agua y propiedades termodinámicas de dos variedades de quinua (Blanca de Juli y Pasankalla) de diferente tamaño de partícula a diferentes condiciones de temperatura y humedad relativa.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Obtener humedades de equilibrio (X_e) de granos de quinua de diferente tamaño de partícula (Tamiz #13 y Tamiz #14) a diferentes temperaturas mediante la técnica del punto de rocío.
- Realizar el modelamiento matemático de las isotermas de sorción de agua (adsorción y desorción) de los granos de quinua mediante el uso de modelos matemáticos (dependientes de la temperatura).
- Determinar las propiedades termodinámicas de calor isostérico de sorción (Q_s), diferencial de entropía (ΔS), energía libre de Gibbs (ΔG) y teoría de compensación de entalpía y entropía, del proceso de sorción de los granos de quinua.

1.2. Hipótesis

1.2.1. Hipótesis General

- Las isotermas de sorción de agua y propiedades termodinámicas de dos variedades de quinua (Blanca de Juli y Pasankalla) de diferente tamaño de partícula disminuyen por el incremento de la temperatura y humedad relativa.

1.2.2. Hipótesis Específicas

- Las humedades en equilibrio (X_e) de los granos de quinua de diferente tamaño de partícula, disminuyen con el incremento de la temperatura y humedad de relativa.
- El modelamiento matemático está influenciado por los datos experimentales.
- Los valores de las propiedades termodinámicas disminuyen con el incremento de la temperatura, condiciones de la muestra y se determinan por leyes físicas.

1.2.3. Variables

- **Independientes**:

  Variedades de quinua (Blanca de Juli y Pasankalla)

  Tamaño de partícula (grande y mediano)

  Temperatura (20, 30 y 40 ºC)

- **Dependientes**:

  Humedad de equilibrio

  Modelos de ajuste

  Propiedades termodinámicas

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Quinua

La quinua (*Chenopodium quinoa*) es un grano tradicionalmente cultivado en los Andes de América del Sur a una altitud de ~4000 msnm (Ramos-Diaz et al., 2019). Este grano presenta una estructura compleja (Figura 1) y es un alimento de gran interés debido a su característica nutricional completa (Abugoch, 2009). Así mismo es considerada una semilla dicotiledónea (que tiene dos cotiledones que es de estructura similar a una hoja) con almidón, aunque no es un cereal, tiene la denominación de pseudocereal (Bhathal et al., 2017). Existen diferentes variedades de quinua y pueden distinguirse por el color de la panoja y los granos, por ejemplo, la variedad Pasankalla (Figura 2).

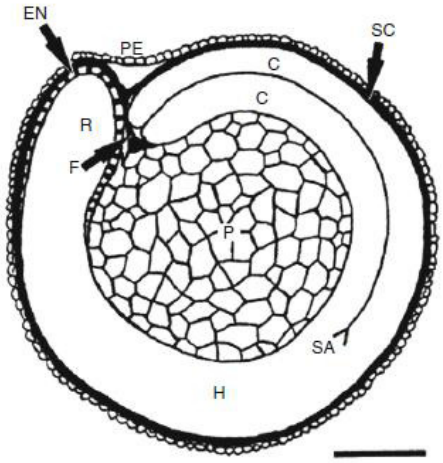


Figura 1. Sección longitudinal media de la semilla de quinua en el pericarpio (PE), cáscara de la semilla (SC), eje del hipocótilo (H), cotiledón (C), endospermo (EN), radícula (R), funículo (F), brote del apéndice (SA) y perisperma (P). Barra = 500 µm.
Fuente: Abugoch (2009)



(a) (b)

Figura 2. (a) cultivo de quinua roja y (b) granos de quinua de la variedad Pasankalla

2.1.1. Producción y Consumo

Según los reportes del Centro de Investigación de Economía y Negocios globales (CIEN, 2021), el Perú es el primer país exportador de quinua a nivel mundial, con una producción de 51000 **t**, siendo los países de destino USA (35%), Canadá (9 %) y Países Bajos (7%) y otros (49%) (CIEN, 2021).

En el Perú, las regiones productoras de quinua son Puno, Ayacucho y Apurímac con una 42.5%, 18% y 12.9%, respectivamente (MINAGRI, 2020).

Tabla 1. Producción regional de la quinua en Perú (en t)

Región	2018	2019	2020	Participación (%)
Puno	38858	39539	39618	45.2
Ayacucho	21213	15832	23150	18
Apurímac	9262	11308	11877	12.9
Cusco	4242	4218	6758	4.8
Arequipa	3942	8461	6117	8
Junín	3074	3470	4233	4
La Libertad	1756	1489	1242	1.7
Huancavelica	1305	1934	2002	2.2
Cajamarca	908	1059	496	0.6
Huánuco	560	553	626	1.2
Resto	891	1551	938	1.5
Total	**86011**	**89414**	**97057**	**100**

Fuente: MINAGRI (2020)

2.1.2. Composición química y nutricional

Los granos de quinua no contienen gluten, por lo que puede ser consumido por las personas que padecen de la enfermedad celíaca y por las personas alérgicas al trigo. La fracción de aceite de las semillas tiene una alta proporción de ácidos grasos insaturados como ácido linoleico, oleico, palmítico y linolénico. El grano de quinua presenta una composición de macronutrientes variable (Tabla 2) y es una fuente de proteína de mayor calidad en comparación a otros cereales (Wu, 2015). Asimismo, es rico en vitaminas y minerales (Abugoch, 2009). En las Tablas 3 y 4 se reporta el contenido de vitaminas y minerales en granos de quinua.

Tabla 2. Contenido de macronutrientes de diferentes variedades de quinua (g/100g)

Variedad	Humedad	Proteína	Grasa	Cenizas	Fibra dietaría	Azúcares
Salcedo INIA	10.6	12.36	5.8	2.93	3.55	64.76
Blanca de Juli	12.72	12.89	4.52	2.45	3.09	77.13
Huancayo	10.9	11.89	6.2	2.61	3.82	64.58
Amarillo Marangani	10.8	11.24	6.2	3.14	5.98	62.64
INIA 427 Amarilla Sacaca	11.3	11.28	6.09	2.92	4.78	63.63
INIA 415 Pasankalla	10.4	16.81	6.16	3.1	5.86	57.67
INIA 420 Negra Collana	11.5	13.99	6	2.57	10.27	55.67
INIA 4313 Altiplano	10.7	13.98	6.9	2.59	5.03	60.8
INIA 431 Altiplano	11.3	16.07	6	3.48	5.11	58.04

Fuente: Soto et al. (2015)

Tabla 3. Contenido vitaminas de quinua (mg/100g peso seco)

Vitamina	Cantidad
Tiamina	0.2 - 0.4
Ácido fólico	0.0781
Riboflavina	0.2 – 0.3
Niacina	0.5 – 0.7

Fuente: FAO (2013)

Tabla 4. Contenido de minerales de quinua (mg/100g)

Mineral	Semilla de quinua entera	Quinua descascarillada
Calcio	86.3	55.1
Fósforo	411	404.9
Potasio	732	656
Magnesio	502	467.9
Hierro	15	14.2
Manganeso	No reportado	No reportado
Cobre	No reportado	No reportado
Zinc	4	4

Fuente: Abugoch (2009)

La proteína de la quinua tiene una composición balanceada de aminoácidos esenciales (Tabla 5) que superan los requerimientos de la FAO/OMS (Abugoch et al., 2008; Lescano, 1994).

Tabla 5. Contenido de aminoácidos esenciales de quinua y requerimiento de la FAO/OMS en mg/g proteína

Aminoácidos Esenciales	Cantidad	Requerimiento de la FAO/OMS
Histidina	25.8	18
Isoleucina	43.3	25
Leucina	73.6	55
Lisina	52.5	51
Metionina y Cisteína	27.3	25
Fenilalanina y Tirosina	80.3	47
Treonina	43.9	27
Triptófano	38.5	7
Valina	50.6	32

Fuente: Abugoch et al. (2008)

2.1.3. Contenido de agua en los alimentos

En general, el agua es la molécula más abundante en los alimentos y posee diferentes funciones, tales como la determinación de los atributos físicos de la carne y vegetales; cumple la función de plastificador actuando junto a polímeros como proteínas, almidones y fibras; otra función es de solvente o medio de dispersión en una amplia variedad de alimentos como leche, jugos y otras bebidas (Roos et al., 2018). El agua en los tejidos animales y

vegetales no está distribuida uniformemente, por ello se emplean términos de “agua libre” y “agua ligada”, siendo considerada el agua ligada como el agua no congelable a –20 °C y el agua libre es llamada el agua congelable, la cual se volatiliza con facilidad, se congela primero, siendo el principal responsable de la actividad de agua (Badui, 2006).

En la Figura 3 se muestran tres zonas hipotéticas en las que se puede dividir el contenido de agua de un alimento, siendo la zona III considerada como agua libre, siendo la que se encuentra en los macro capilares y siendo parte de las soluciones que disuelven la sustancias de bajo peso molecular y es la más abundante; la zona II, es el agua que se encuentra en micro capilares y diferentes capas más estructuradas, es denominada el agua ligada (junto con la monocapa); en la zona I corresponde a la capa mono-molecular y es la más difícil de eliminar (Badui, 2006).

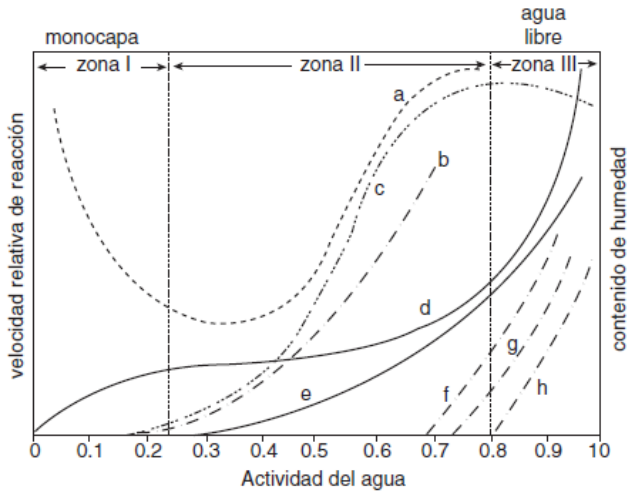


Figura 3. Zonas del contenido de agua en el alimento y sus cambios en función a la actividad de agua (Badui, 2006)

2.1.4. Actividad de agua

La actividad de agua (a_w) también llamada humedad relativa en equilibrio (*HRE*) se define como la razón de la presión parcial de vapor del agua (P) de un alimento sobre la presión de vapor del agua pura (P') a una temperatura dada, siendo esta una propiedad intrínseca, siendo útil para evaluar propiedades metabólicas de microorganismos, así mismo está relacionada con las propiedades físicas, químicas y biológica de los alimentos (Badui, 2006; Barbosa-Cánovas et al., 2020; Rokcland & L., 1987; Saltmarch & Labuza, 1980; Toller, 1980).

La a_w es adimensional y los valores se encuentran en un rango de 0 a 1. La ecuación que representa la actividad de agua es:

$$a_w = \frac{P}{P'} = \frac{ERH}{100} \quad (1)$$

Dónde: *P* es la presión parcial de vapor de agua en una solución o de un alimento, y *P'* es la presión parcial del vapor de agua pura a la misma temperatura, y *ERH* es la humedad relativa de equilibrio (%).

La a_w comprendida entre 0 a 0.25 corresponde al agua fuertemente ligada, en esta región existe una capa mono molecular de agua fija a los grupos polares de ciertos compuestos, especialmente los grupos NH_3 y COO— de las proteínas y de los grupos OH— de los almidones y probablemente también el agua de cristalización de las sales y azucares, considerando el contenido de agua de los alimentos, esta agua presenta de 3 a 10 gramos por 100 gramos de peso seco desengrasado (Cheftel & Cheftel, 1976), es también conocida como agua de monocapa. El agua ligada es retenida débilmente por las fuerzas de adsorción a los sólidos del alimento, formando los geles coloidales como en presencia de almidón, pectinas o gomas. Aun es más difícil de evaporar el agua ligada químicamente en forma de hidratos (Potter & Hotchkiss, 1995). La a_w entre 0.2 a 0.8 es agua débilmente ligada en forma de multicapa que esta interaccionando con la monocapa por puentes de hidrógeno, también llamada "multicapa". La a_w >0.8 es agua disponible y de gran movilidad. Esta se puede intercambiar con el agua multicapa (Damodaran et al., 2008).

La a_w no está directamente correlacionada con el contenido de agua del alimento, esta se relaciona a la cantidad de sólidos solubles y su tamaño molecular en el alimento, así la leche condensada contiene más de 30% de agua y azúcares de tamaño pequeño pero tiene la misma a_w que la harina o el arroz que contienen alrededor de 12% de humedad (Figura 4); la a_w influye en muchas características en los alimentos que se refleja en su calidad (Roos et al., 2018):

- a_w ~0.2 - 0.3 o valores inferiores, las reacciones que requieren agua no ocurren.
- a_w ~0.2 – 0.3 o valores inferiores, la oxidación lipídica incrementa.
- a_w ~0.35 – 0.4, glutinosidad y apelmazamiento son observados.
- a_w ~0.4 – 0.5, pérdida de crocantes al ganar humedad.
- a_w ~0.5, inicio de endurecimiento (ejemplo las pasas) al perder humedad.

- a_w ~0.6, inicio del crecimiento microbiano.
- a_w ~0.65 – 0.85, incremento de velocidad de reacción en actividad enzimática de sistemas amorfos, oxidación lipídica.
- a_w ~0.85 inicio de crecimiento de bacterias patógenas.

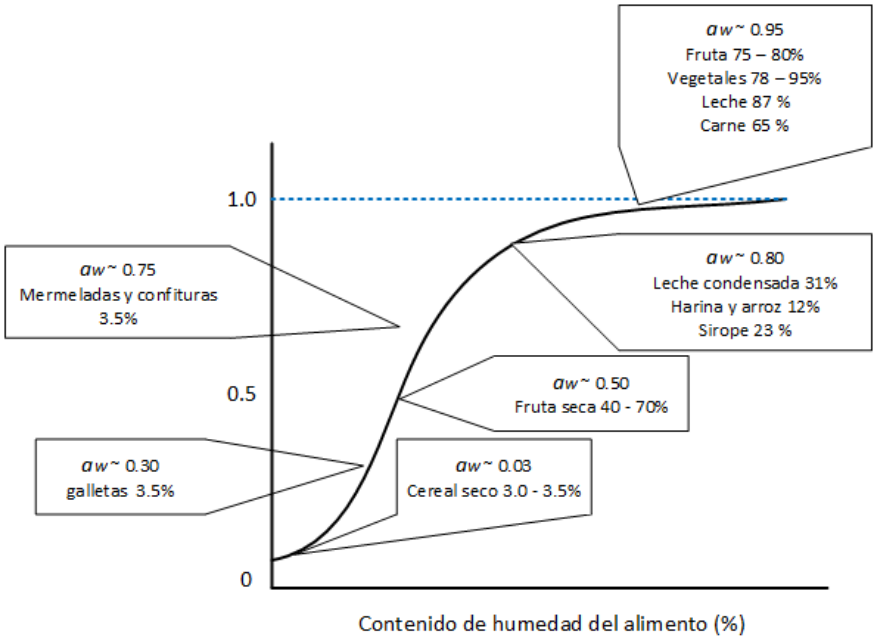


Figura 4. Actividad de agua en alimentos a diferentes contenidos de humedad (Roos et al., 2018)

La a_w puede ser determinada por la temperatura del punto de rocío de la atmósfera en equilibrio con el alimento. Una a_w>0.8, indica un sistema húmedo y a_w<0.7 indica un sistema seco (Roos et al., 2018).

2.1.5. Humedad de equilibrio

El contenido de humedad de equilibrio (X_e) es resultado de dos pasos que envuelven la transferencia de vapor de agua entre el alimento y el espacio que lo rodea. En el primer paso, el vapor de agua debe ser transferido a través de la superficie del alimento en forma de adsorción o desorción, dependiendo si el vapor de agua está ingresando o saliendo de la muestra. El segundo paso envuelve la difusión, o absorción, el vapor de agua dentro o fuera de la estructura interior del tejido del alimento. Estos dos procesos requieren un tiempo considerable para ser logrados, especialmente el proceso de difusión. Un método clásico para determinar la humedad en equilibrio de una muestra a una actividad de agua específica es primero pesar la muestra y llevarla a una cámara cerrada manteniendo controlada la actividad de agua con la que se desea trabajar para alcanzar el equilibrio. Dependiendo si la

muestra tiene una actividad de agua inicial mayor o menor a la actividad de agua a trabajar, este alcanzará el equilibrio (humedad en equilibrio) ganando o perdiendo humedad. Esta pérdida o ganancia de humedad al llegar al equilibrio se realiza mediante el pesado de la muestra (Figura & Teixeira, 2007).

Macias Esparza et al. (1990), Mencionan que el contenido de humedad en equilibrio (en base seca o base húmeda) que un producto alcanza, cuando este es sometido durante un tiempo prolongado en determinadas condiciones de temperatura y humedad del aire. La humedad en equilibrio se determina de acuerdo con las siguientes ecuaciones:

$$P_{ms} = P_{mh} * \left(\frac{100 - H_{ip}}{100} \right) \quad (2)$$

$$X_e = \frac{P_{m_{Xe}} - P_{m_s}}{P_{m_{Xe}}} * 100 \quad (3)$$

Donde:

P_{ms} es el peso de la muestra seca (g), P_{mh} es el peso de la muestra húmeda (g), H_{ip} es la humedad inicial del producto, X_e es el contenido de humedad en equilibrio y P_{mXe} es el peso de la muestra cuando alcanzó el equilibrio.

2.2. Isotermas de sorción

La relación entre el contenido de humedad de equilibrio (X_e) y la a_w es conocida como isoterma de sorción (Badui, 2006).

Las isotermas de sorción de agua pueden ser generadas mediante el proceso de adsorción (iniciando con un sistema seco el cual la actividad de agua es cercana a 0) o proceso de desorción (iniciando con un sistema húmedo el cual la actividad de agua es mayor a 0.97). Así, cuando el alimento es expuesto a condiciones donde la presión de vapor de agua es mayor que la presión del agua en el alimento ocurre la adsorción. Cuando las condiciones son invertidas, la presión de vapor de agua alrededor del alimento se convierte en la fuerza impulsora de la desorción (Labuza & Altunakar, 2008).

Existen más de 270 modelos matemáticos que permiten predecir el comportamiento de sorción de humedad en los alimentos (Van den Berg & Bruin, 1981). Estos modelos son clasificados en teóricos o semiempíricos que están basados en la cinética de sorción de una

monocapa o multicapa, las constantes de estos modelos son las propiedades físicas del material o alimento, siendo estos Langmuir, BET y GAB, así como modelos empíricos que son basados en ajuste de curvas asistidos por computadora basado en regresión no lineal, a diferencia de los teóricos, las constantes no representan las propiedades físicas del material o alimento (Labuza & Altunakar, 2008). En la Tabla 6, se muestran algunos modelos de isotermas de sorción de mejor ajuste.

Tabla 6. Isotermas de sorción de agua en alimentos.

Alimento	Temperatura (ºC)	a_w	Mejor modelo de ajuste
Berries	4, 13, 29	0.11–0.87	GAB
Champiñones	4, 13, 29	0.12–0.75	GAB
	30–70	0.20–0.80	Chung-Pfost
Granos de cacao	25, 30, 35	0.08–0.94	BET ($a_w < 0,5$)
			Harkins-Jura ($a_w > 0,5$)
Almidón de papa	30–60	0.11–0.83	GAB, Halsey
	30–60	0.05–0.95	GAB, Ferro-Fontan, Peleg
Harina de semilla de calabaza	10, 25, 40	0.11–0.85	GAB
Avellanas	25	0.11–0.90	GAB
Arroz con cáscara	0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35	0.259–0.935	Chung-Pfost modificado Henderson modificado
Quinua[1]	40, 50, 60, 70	0.278-0.823	GAB
Quinua[2]	15, 25, 35	0.2-0.94	BET, Henderson, Peleg, Smith
Quinua[3]	20, 30, 40	0.089-0.851	GAB
Semillas de quinua[4]	20, 40, 60	0.118-0.937	Iglesias-Chifire, Oswin
Semillas de quinua[5]	15, 25, 35, 50	0.11-0.96	Halsey modificado

Fuente: Basu et al., (2006)

[2]Arslan-Tontul, (2021), [5]Bustos-vanegas et al. (2018), [4]Miranda et al. (2012), [1]Pumacahua-Ramos et al. (2016), [3]Tolaba et al. (2004).

2.3. Tipos de isotermas de sorción

En la Figura 5 se observa distribuciones de cinco tipos de isotermas. La isoterma tipo I son típicas cuando las moléculas de agua son adsorbidas por materiales generalmente como una sola monocapa; la isoterma tipo II, son vistas en materiales solubles, son isotermas

sigmoideas con una tendencia asintótica cuando su actividad de agua es cercana a 1; la isoterma tipo III, es conocida como isoterma Flory-Higgins y corresponden a productos con altas concentraciones de azúcar; la isoterma tipo IV describen a sólidos hidrofílicos inflamables; y la isoterma tipo V representan adsorción de moléculas de agua como multicapas (Basu et al., 2006; Caballero-Cerón et al., 2015).

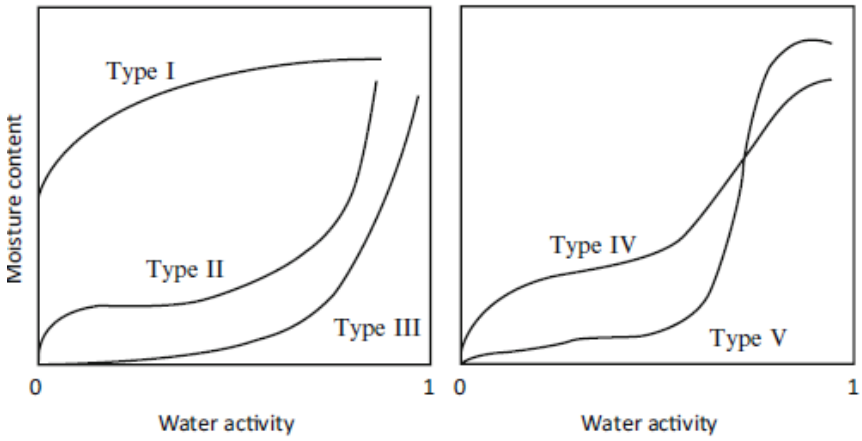


Figura 5. Tipos de isotermas de sorción (Caballero-Cerón et al., 2015)

La mayoría de isotermas de sorción en alimentos presentan una forma sigmoidal (generalmente del Tipo II y III), pero difieren basado en la composición química y el estado fisicoquímico de los constituyentes del alimento (Labuza & Altunakar, 2008).

2.4. Métodos de determinación de isotermas de sorción

2.4.1. Métodos estáticos

En los métodos estáticos, las muestras son colocadas en recipientes sellados herméticamente (vasos, campanas, etc.) y están en contacto con aire a una humedad relativa y temperatura constante hasta alcanzar un equilibrio entre la muestra y el aire (Caballero-Cerón et al., 2015). Estos métodos se clasifican en 3 categorías: (1) gravimétrico, (2) manométrico, y (3) higrométrico. El método gravimétrico consiste en la medición del cambio de masa que pueden ser medidos en sistemas dinámicos y estáticos continua y discontinuamente. Los métodos manométricos, incluyen sensores de manómetros para medir la presión de vapor del agua en equilibrio con un material alimenticio con un contenido de humedad conocido. Los métodos higrométricos, miden la humedad relativa de equilibrio del aire en contacto con el material alimenticio con un contenido de humedad conocido. Los higrómetros de punto de rocío detectan la condensación del vapor de agua de enfriamiento. Los higrómetros

electrónicos miden el cambio de la conductancia o capacitancia de los higrosensores (Basu et al., 2006).

El sistema de medición consiste de un contenedor hermético (frascos de vidrio o desecadores), una base de plástico o vidrio (usualmente una placa Petri) y frascos de pesaje en los que se colocan las muestras (Fig. 6); los frascos herméticamente sellados son colocados en un ambiente a una temperatura constante o una incubadora; soluciones de sales saturadas, ácido sulfúrico, o soluciones de glicerol son usadas para el control de la humedad relativa, las soluciones saturadas son preferibles, como están son térmicamente estables y muestran un corta variación en la HR a la variación de la temperatura (Tabla 7).

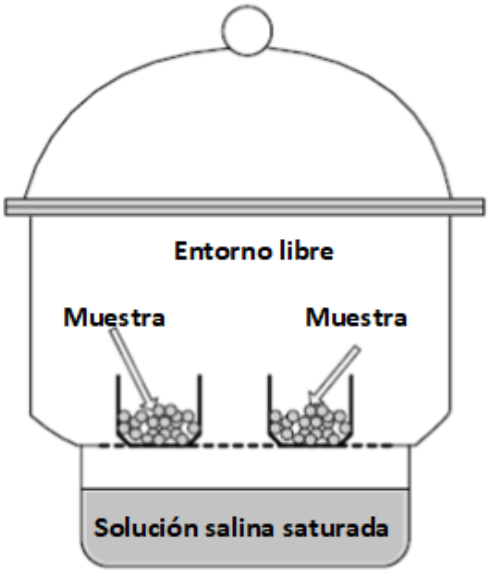


Figura 6. Diagrama esquemático de un desecador con solución salina saturada para crear un entorno de HR controlada (Bhandari & Adhikari, 2009)

Los métodos estáticos son sencillos de operar y permiten análisis de muestras múltiples simultáneamente, sin embargo, los tiempos de análisis son largos, las muestras deben ser removidas para su pesaje cual modifica su humedad en equilibrio, requiriendo grandes cantidades de muestra para completar la isoterma. Así mismo largos tiempo de análisis puede resultar en el crecimiento de hongos en muestras con humedad relativa a 75%, causando pérdida de datos experimentales (Yu et al., 2008).

Tabla 7. a_w de sales a diferentes temperaturas

Sal	Temperatura (°C)		
	25	30	35
Cloruro de Litio (LiCl)	0.111	0.112	0.113
Acetato de Potasio (CH_3COOK)	0.252	0.244	0237
Cloruro de Magnesio ($MgCl_2$)	0.325	0.322	0.319
Carbonato de Potasio (K_2CO_3)	0.434	0.432	0.431
Nitrato de Magnesio ($Mg(NO_3)_2$)	0.524	0.511	0.499
Bromuro de Sodio (NaBr)	0.573	0.559	0.545
Ioduro de Potasio (KI)	0.686	0.676	0.669
Cloruro de Estroncio ($SrCl_2$)	0.707	0.691	0.676
Cloruro de Sodio (NaCl)	0.755	0.753	0.752
Cloruro de Amonio (NH_4Cl)	0.777	0.763	0.754
Sulfato de Amonio ($(NH_4)_2SO_4$)	0.807	0.801	0.798
Cloruro de Potasio (KCl)	0.843	0.836	0.830
Cloruro de Bario ($BaCl_2$)	0.904	0.901	0.898
Nitrito de Potasio (KNO_2)	0.931	0.917	0.906
Sulfato de Potasio (K_2SO_4)	0.976	0.974	0.972

Fuente: Caballero-Cerón et al. (2015)

2.4.2. Métodos dinámicos

En los métodos dinámicos, las muestras son colocadas en una micro balanza con una corriente de aire con humedad relativa conocida y temperatura constante. La exposición constante a un flujo de aire y pequeñas muestras (en peso), reducen el tiempo de determinación de varios días a horas, haciendo posible medir puntos a actividades de agua altas sin tener riesgo al crecimiento de hongos o cambios fisicoquímicos de la muestra. Los equipos automatizados más usados están basados en el método gravimétrico y usan sensores de puntos de rocío (Caballero-Cerón et al., 2015) .

2.4.2.1. Método dinámico de sorción de vapor

En este método, el peso de la muestra es constantemente almacenada a una humedad relativa constante. Los cambios de humedad relativa son programados en pasos controlados por

tiempo, valores de humedad relativa, mientras el peso es continuamente medido hasta alcanzar el equilibrio para cada humedad relativa evaluada. El equipo consiste en dos cámaras simétricas que se mantienen a la misma humedad relativa y temperatura, una para la muestra y la otra vacía usada como referencia. El tamaño de la muestra es pequeño (en miligramos), reduciendo el tiempo de equilibrio de días a horas para cada punto de la isoterma de sorción (Caballero-Cerón et al., 2015).

2.4.2.2. Método dinámico de isoterma de punto de rocío

En este método, los cambios del peso de la muestra y la actividad de agua debido a un flujo continuo de una corriente de vapor saturado (adsorción) o aire seco (desorción) sobre la muestra son medidos directamente. El flujo de aire se detiene después de cambios de actividad de agua de 0.015 aproximadamente, entonces el peso y a_w son medidos para cada punto. El equilibrio termodinámico puede no ser alcanzado durante la evaluación, y los resultados pueden diferir de otros métodos, particularmente para muestras con bajo ratio de difusión de agua. Este método es usado para evaluar la tiempo-dependencia de los cambios de fase. El método DDI está diseñado para obtener isotermas de sorción completas (adsorción y desorción) de una muestra en un periodo aproximado de 24 h, obteniendo una isoterma de alta resolución (mayor a 50 puntos por isoterma), siendo estas isotermas usadas para obtener información adicional en la sorción de las moléculas de agua, así como los cambios de fase debido a los cambios de contenido de humedad (Caballero-Cerón et al., 2015).

2.5. Efecto de la temperatura en las isotermas de sorción

La temperatura influye la movilidad de las moléculas de agua en el alimento, tanto como la dinámica cambia entre vapor y las fases absorbidas. Asimismo, la energía de enlace entre las moléculas disminuye cuando la temperatura incrementa, así una reducción en la capacidad de adsorción de las moléculas de agua es observada, ocasionando cambios en la isoterma de sorción (Quirijns et al., 2005). El incremento de la temperatura incrementa la a_w al mismo contenido de humedad en equilibrio (Figura 7), reflejando una reducción en el número total de sitios activos para la adsorción de agua como un resultado del cambio físico químico debido al incremento de la temperatura (Caballero-Cerón et al., 2015).

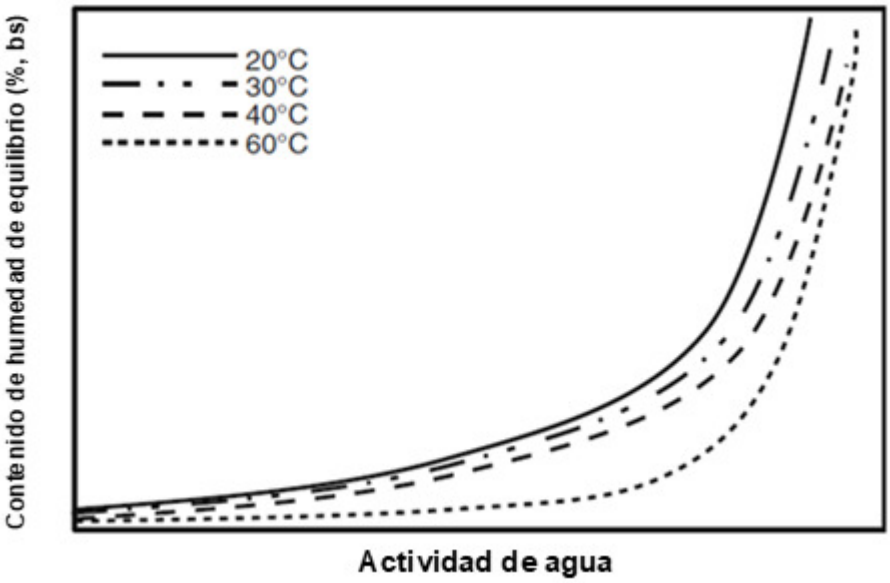


Figura 7. Efecto de la temperatura sobre las isotermas de sorción (Caballero-Cerón et al., 2015)

2.6. Efecto de la composición del alimento

La relación del contenido de humedad en equilibrio (X_e) y a_w son dependientes de la composición del alimento y como el agua interactúa con los componentes de este, por ejemplo, muchos sitios polares están disponibles para el enlace de moléculas de agua. Mientras las moléculas solubles tal como el azúcar, sales, o fibras solubles se unen a las moléculas del agua, contribuyendo a la reducción de la presión de vapor, los sólidos insolubles (aceites, fibras insolubles) sin sitios de unión no se unen, por lo que los valores más altos de a_w son alcanzados al mismo X_e (Caballero-Cerón et al., 2015).

2.7. Aplicaciones de las isotermas de sorción de humedad

Las isotermas de sorción son usados para predecir la estabilidad de alimentos sensibles a los cambios de humedad durante el almacenamiento, incluyendo predicción de la actividad microbiana, evaluación de cambios químicos debido a la ganancia o pérdida de humedad, reacciones enzimáticas, oxidación lipídica y pardeamiento no enzimático (Labuza & Altunakar, 2008). Los cambios físicos en el alimento pueden tener lugar durante el proceso de adsorción de humedad, incluyendo pegajosidad, apelmazamiento, entre otras alteraciones causadas por los cambios de a_w, conociendo el valor del contenido de humedad o actividad de agua que conlleva cambios indeseables (físicos y microbiológicos) en la calidad del producto, es definido como el punto crítico de sorción de humedad, y puede ayudar mejorar

el transporte y almacenamiento de alimentos para prevenir cambios en el producto (Arslan & Toğrul, 2006; Caballero-Cerón et al., 2015; Moreira et al., 2008).

2.8. Modelos matemáticos de isotermas de sorción

2.8.1. Modelo de Henderson modificado

El modelo de Henderson, presentaba dos parámetros empíricos que en muchos de los casos, no presentaba una buena predicción del comportamiento de sorción en los alimentos, es por ello que este fue modificado por otro autores, adicionando una nueva constante y la temperatura (Thompson et al., 1968):

$$X_e = \left[\frac{\ln(1 - a_w)}{-A(t + B)} \right]^{\frac{1}{C}} \quad (4)$$

Donde X_e es contenido de humedad en equilibrio, t es la temperatura (°C), A, B y C son constantes.

Diversos investigadores afirman que el modelo modificado de Henderson permite estimar valores adecuados de X_e de varios alimentos para un amplio rango de temperatura y a_w (ASAE, 2001; Jayas & Mazza, 1993; Ondier et al., 2011).

2.8.2. Modelo de Halsey modificado

Halsey desarrolló una ecuación que considera la condensación de la multicapa a una distancia relativamente grande de la superficie. Asumió que la magnitud del parámetro B caracteriza el tipo de interacción entre el vapor y el sólido. Si B es grande, la atracción entre el sólido y el vapor es muy específica y no se extiende muy alejado de la superficie. Si B es pequeño, las fuerzas de atracción predominantes son las de Van der Waals y son capaces de actuar a grandes distancias de la superficie (Zeymer, 2017). La ecuación fue modificada de forma empírica para describir la dependencia de isoterma a la temperatura, proponiendo una ecuación de tres parámetros (Chirife & Iglesias, 1978):

$$X_e = \left[\frac{\exp(A - Bt)}{-\ln(a_w)} \right]^{\frac{1}{C}} \quad (5)$$

Donde X_e es contenido de humedad en equilibrio, t es la temperatura, A, B y C son constantes.

Esta fue aplicada a diversos productos, mostrando un buen ajuste, y es una ecuación más sencilla que las ecuaciones habituales de cuatro parámetros que se encuentran en la literatura para caracterizar el efecto de la temperatura en las isotermas (Chirife & Iglesias, 1978).

2.8.3. Modelo de Oswin modificado

El modelo de Oswin estaba basado en una expresión matemática para curvas de formato sigmoidal y mostraba buenos resultados para isotermas de sorción de productos amiláceos, carnes y vegetales (Zeymer, 2017). Con la finalidad de expresar el modelo en función de la temperatura, se realizaron ajustes para establecer el modelo de Oswin manteniendo una expresión matemática para una curva sigmoidal (Chen & Morey, 1989):

$$X_e = (A + Bt)\left[\frac{a_w}{1 - a_w}\right]^{\frac{1}{C}} \quad (6)$$

Donde X_e es contenido de humedad en equilibrio, t es la temperatura, A, B y C son constantes.

El modelo de Oswin modificado, presentó resultados satisfactorios en diversos alimentos (ASAE, 2001; Jayas & Mazza, 1993; Ondier et al., 2011).

2.8.4. Modelo de Chung Pfost

Chung & Pfost (1967a, 1967b) desarrollaron una ecuación basada en la teoría potencial y una ecuación de estado simplificada, resultando la siguiente ecuación:

$$\ln a_w = \exp\left[\frac{-A}{R_0 t_{ab}} \exp(-BX_{sd})\right] \quad (7)$$

Sin embargo, se menciona que las constantes A y B eran dependientes de la temperatura en maíz desgranado (Bala, 2016). Y posteriormente el modelo fue modifica por Chung y Pfost en 1976 (Zeymer, 2017):

$$X_e = A - B\ln\left[-(t + C)\ln a_w\right] \quad (8)$$

Donde X_e es contenido de humedad en equilibrio, t es la temperatura, A, B y C son constantes.

La ecuación es recomendada para cereales y granos (Bala, 2016).

2.8.5. Modelo Smith

Smith, (1947) estudió el comportamiento de sorción de humedad en polímeros de alto peso molecular y desarrolló la siguiente ecuación:

$$X_e = A - B\ln(1 - a_w) \quad (9)$$

Becker y Sallans, citado por Zeymer (2017), menciona que la ecuación de Smith se ajusta mejor a datos experimentales de humedades en granos y cereales en condiciones de actividad de agua de 0.5-0.9, es decir, para actividades de agua elevadas, donde se encuentra los límites de actividad de agua para la conservación del alimento. Nellist, citado por Bala & Woods (1992), modificó la ecuación de Smith para explicar mejor sus datos sobre la humedad de equilibrio de las semillas de centeno, incluyendo el efecto de la temperatura:

$$X_e = A - Bt - C\ln(1 - a_w) \quad (10)$$

Donde X_e es contenido de humedad en equilibrio, t es la temperatura, A, B y C son constantes.

2.8.6. Modelo de Harkins-Jura

El modelo está basado en una teoría potencial, la cual lleva la siguiente expresión (Harkins, 1945):

$$X_e = \frac{\exp(A - Bt)}{C - \ln a_w} \quad (11)$$

Donde X_e es contenido de humedad en equilibrio, t es la temperatura, A, B y C son constantes.

Silva, citado por Zeymer (2017), ajusto el modelo en datos experimentales en almendras, verificando el buen ajuste del modelo.

2.8.7. Modelo de GAB modificado

La ecuación de GAB fue modificada por Jayas & Mazza (1993), mediante la incorporación del efecto de la temperatura, sin embargo, se introdujeron otras constantes, y dado que las demás ecuaciones utilizadas habitualmente para la descripción de los datos de las isotermas son ecuaciones de tres parámetros, modificaron la constante C o k, o ambas, para incorporar el efecto de la temperatura:

$$X_e = \frac{AB\left(\frac{C}{t}\right)a_w}{(1-Ba_w)\left(1-Ba_w+\left(\frac{C}{t}\right)a_w\right)} \quad (12)$$

Donde X_e es contenido de humedad en equilibrio, t es la temperatura, A, B y C son constantes.

El modelo modificado de GAB, mostró buenos resultados en avena y arroz (Jayas & Mazza, 1993; Ondier et al., 2011).

2.9. Propiedades termodinámicas

Las propiedades termodinámicas de sorción permiten entender las interacciones moleculares entre las moléculas de agua y el sorbente (Caballero-Cerón et al., 2015). El análisis de los datos de isotermas de sorción aplicando los principios termodinámicos puede proveer información de importancia sobre requerimiento de energía para la deshidratación del alimento, microestructura del alimento, fenómenos físicos en la superficie del alimento, propiedades del agua y parámetros de cinética de sorción (McMinn & Magee, 2003).

La adsorción o desorción del agua en un alimento implica energía. Este fenómeno se produce en la interfaz gas/sólido de los alimentos, pero son las propiedades termodinámicas del agua las que regulan este fenómeno (Pumacahua-Ramos et al., 2016).

2.9.1. Calor isostérico de sorción

El calor isostérico de sorción o entalpía diferencial (Q_s) es una medida de la energía requerida para la evaporación o condensación del agua de los alimentos (Pumacahua-Ramos et al., 2016) y se encuentra por encima de la entalpía de vaporización del agua (ΔH_{vap}) asociado al proceso de sorción (McMinn & Magee, 2003; Miranda et al., 2012). Esta energía es variable en los alimentos debido a la unión química que forman las moléculas de agua con componentes como grasas, proteínas, carbohidratos principalmente (Pumacahua-Ramos et al., 2016).

$$\left[\frac{d(\ln a_w)}{d\left(\frac{1}{T}\right)}\right] = \frac{q_s}{R} \qquad (13)$$

y

$$q_s = Q_s - \Delta H_{vap} \qquad (14)$$

Donde q_s es el calor isostérico de sorción y Q_s es el calor isostérico total de sorción.

Asumiendo que el calor isostérico de sorción es independiente de la temperatura, se puede graficar $\ln(a_w)$ versus 1/T, para un contenido específico de humedad, Δh_d puede ser determinado por medio de la pendiente ($-\frac{q_s}{R}$) (McMinn & Magee, 2003; Miranda et al., 2012).

2.9.2. Entropía de sorción

La entropía de sorción (ΔS) puede ser definido como el grado de orden o desorden existente en el sistema adsorbente-adsorbato (McMinn & Magee, 2003; Pavón-García et al., 2015; Pérez-Alonso et al., 2006) y los cambios de entropía (reordenamiento espacial en la interface agua-soluto) se asocian con fuerzas de enlace o repulsión en el alimento, cuanto más desordenado o aleatorio es un sistema, mayor es el valor de la entropía y este cambio solo depende del estado inicial y final del alimento y no del camino específico por el que el alimento cambia (Ramirez-Miranda et al., 2014; Telis et al., 2000). El valor positivo de ΔS que el estado final es mas desordenado que el inicial, siendo este concepto usado mas en disolución y cristalización ($\Delta S < 0$ describe un sistema estructurado) (Ramirez-Miranda et al., 2014).

Arslan y Toğrul (2006), indican que la entropía diferencial a cualquier temperatura es equivalente al trabajo perdido y provee de una medida de energía que no está disponible para realizar trabajo, debido a que el calor isostérico de sorción es el total de la energía para el trabajo. La entropía diferencial a cada contenido de humedad es obtenida de la intercepción lineal de $\ln(a_w)$ versus $\left(\frac{1}{T}\right)$ de la siguiente ecuación:

$$-\ln a_w = \frac{q_s}{RT} - \frac{\Delta S}{R} \qquad (15)$$

Donde Q_s es el calor isostérico de sorción, R es la constante universal de los gases, T es la temperatura (K) y ΔS es la entropía diferencial.

2.9.3. Energía libre de Gibbs (*G*)

La energía libre de Gibbs también es conocida como calor de vaporización, es un indicativo de la afinidad del sorbente al agua y dando un criterio si la sorción del agua ocurre como un proceso espontaneo (G < 0) o no espontaneo (G > 0) (Thys et al., 2010), y su variación es utilizado como un estándar que caracteriza la viabilidad y espontaneidad de los procesos termodinámicos (López-Vidaña et al., 2020). La energía libre de Gibbs, es la energía total requerida para transferir moléculas de agua del estado vapor a la superficie del sólido y viceversa (Aviara & Ajibola, 2002) y disminuye su valor cuando el contenido de humedad aumenta (Taitano et al., 2012). Altos valores de la energía libre de Gibbs muestran alta espontaneidad de la adsorción de agua en el alimento debido a las propiedades hidrofílicas (Taitano et al., 2012).

La energía libre de Gibbs, se calcula mediante la ecuación (Kaya & Kahyaoglu, 2006):

$$G = -RT \ln a_w \qquad (16)$$

donde G es la energía libre de Gibbs, R es la contante universal de los gases y T la temperatura.

2.9.4. Teoría de Compensación entalpía-entropía

La relación de la entalpía diferencial (Δh_d) y la entropía diferencial de sorción (ΔS_d) está dado por McMinn & Magee, (2003):

$$\left(-\ln a_w\right)_X = \frac{q_s}{RT} - \frac{\Delta S}{R} \qquad (17)$$

Graficando ln(a_w) versus 1/T, para un contenido de humedad determinado (X), la q_s puede ser determinado mediante la pendiente q_s/R y ΔS por la intersección $\Delta S/R$.

Aplicando la ecuación 17 a diferentes contenidos de humedad permite determinar la dependencia de Δq_s y ΔS con la humedad (McMinn & Magee, 2003).

La teoría de la compensación propone una relación lineal entre q_s y ΔS (Thys et al., 2010):

$$q_s = T_\beta \Delta S + \Delta G_\beta \quad (18)$$

Donde T_β (K) es la temperatura isocinética y ΔG_β (kJ/kg) es la energía libre a T_β. La temperatura isocinética, es evaluada por medio de la pendiente de la recta, representando la temperatura a la cual todas las reacciones de sorción tendrán lugar a la misma velocidad. Desde el punto de vista termodinámico, el cambio de energía libre (ΔG) puede ser utilizado como indicador de la afinidad del sorbente por el agua, dando un criterio si la sorción de agua es un proceso espontaneo ($\Delta G < 0$) o no espontaneo ($\Delta G > 0$) (Thys et al., 2010).

Para corroborar el cumplimiento de la teoría de compensación, T_β es comparada con la temperatura media armónica (T_{hm}), definido por (Thys et al., 2010):

$$T_{hm} = \frac{n}{\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{1}{T}\right)} \quad (19)$$

Donde n el número total de isotermas usadas y T es la temperatura (K). La teoría de compensación solo puede ser aplicada si $T_\beta \neq T_{hm}$ (McMinn & Magee, 2003; Thys et al., 2010).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Preparación de la muestra

El presente trabajo de investigación se realizó en el Laboratorio de Análisis de Productos Agroindustriales de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, Moquegua, Perú.

Los granos de quinua utilizados en este estudio fueron de las variedades Blanca de Juli y Pasankalla y, fueron compradas de la empresa Agroindustrias Andinas Altiplano SRL de la ciudad de Juliaca, Perú. Los granos fueron seleccionados por tamaño en tamices británicos 10, 12, 14 y 16 ASTM con un tamizador vibracional Analysette 18 (Fritsch GmbH, Idar-Oberstein, Alemania) con una amplitud de 2 mm a intervalos de 5 s por un tiempo total de 5 min. Previo al análisis, las muestras fueron almacenadas en frascos de vidrio hermético a 4 ± 1 °C hasta su análisis, para mantenimiento y uniformidad del contenido de humedad del producto.

3.2. Determinación de humedad y actividad de agua

El contenido de humedad inicial de los granos de quinua se obtuvo por gravimetría según la metodología utilizada por Pumacahua-Ramos et al. (2016), llevando las muestras (2 g) a una estufa (Memmert, UN55, Alemania) a 105 °C durante 24 h. Siendo la humedad expresada en base seca mediante la siguiente formula:

$$X_{bs} = \frac{P_i - P_f}{P_f} \times 100 \qquad (20)$$

Dónde X_{bs} es el contenido de humedad en base seca, P_i es el peso inicial de la muestra y P_f es el peso final de la muestra.

La actividad de agua de las dos variedades de quinua se determinó mediante un medidor de actividad de agua (Pre Aqualab, Decagon, USA) a 25 °C (temperatura de lectura) por triplicado. Se realizó pruebas de verificación con un patrón desechable de a_w por duplicado: patrón de 8.5 mol/L de LiCl, para a_w= 0.500, debido a que debe ser verificado según la actividad de agua del producto a analizar.

3.3. Determinación de isotermas de sorción

Las isotermas de sorción de los granos de quinua fueron determinados por el método de punto de rocío mediante un analizador de sorción de vapor (Aqualab, VSA, 1122, Decagon, WA, USA). Se realizó una prueba estándar de isoterma usando una muestra de celulosa microcristalina proporcionada por Decagon (datos no mostrados). La calibración se realizó de acuerdo con las recomendaciones realizadas por el fabricante del equipo usando patrones desechables de a_w: un patrón de 6,0 mol/L de NaCl, para una a_w = 0,76; y uno de 13,41 mol/L de LiCl, para una a_w = 0,25 (ambos a 25°C). Cada isoterma se generó en el intervalo de 0,05 ≥ aw ≤ 0,95 a temperatura ambiental (25 °C). Se utilizará el método DVS (del inglés dynamic vapor sorption), con paso de aw de 0,1, tolerancia de 0,1% de variación de masa (weight trigger) y timeout desactivado (tiempo de trabajo indeterminado). Se utilizaron los puntos de equilibrio para la generación de isotermas, siendo los demás descartados.

3.4. Análisis de datos

3.4.1. Modelamiento de isotermas de sorción y análisis estadístico

Los datos experimentales obtenidos por el contenido de X_e vs a_w (%) se usaron para construir isotermas de sorción en una hoja de cálculo de Excel. Se utilizaron 10 ecuaciones de isotermas recomendadas por la bibliografía para ajustar los datos de X_e de los granos de quinua (Tabla 8), ya que son las ecuaciones frecuentemente usadas para representar la higroscopicidad de granos en un amplio rango de temperaturas (Zeymer, 2017). El ajuste se realizó mediante análisis de regresión no lineal con el programa Statistica 10 para Windows. El análisis de regresión no lineal se realizó con el algoritmo de Levenberg-Marquardt, siendo este un método de búsqueda para minimizar la suma de cuadrados de las diferencias entre los datos predichos y experimentales (Bustos-vanegas et al., 2018).

Tabla 8. Modelos matemáticos

Modelo	Ecuación	Referencia
Henderson modificado	$X_e = \left[\frac{\ln(1-a_w)}{-A(t+B)}\right]^{\frac{1}{C}}$	(Ondier et al., 2011)
Chung-Pfost modificado	$X_e = A - B\ln\left[-(t+C)\ln a_w\right]$	(Jayas & Mazza, 1993)
Halsey modificado	$X_e = \left[-\frac{\exp(A+Bt)}{\ln a_w}\right]^{\frac{1}{C}}$	(Jayas & Mazza, 1993; Ondier et al., 2011)
Oswin modificado	$X_e = (A+Bt)\left(\frac{a_w}{1-a_w}\right)^{-\frac{1}{C}}$	(Jayas & Mazza, 1993; Ondier et al., 2011)
GAB modificado	$X_e = \frac{AB\left(\frac{C}{t}\right)a_w}{(1-Ba_w)\left[1-Ba_w+B\left(\frac{C}{t}\right)a_w\right]}$	(Jayas & Mazza, 1993; Ondier et al., 2011)
Harkins-Jura	$X_e = \frac{\exp(A+Bt)}{C-\ln a_w}$	(Harkins &Jura, 1994)
Smith	$X_e = A - Bt - C\ln(1-a_w)$	(Smith, 1947)
Copace	$X_e = \exp(A - Bt + Ca_w)$	(Corrêa et al., 1995)
Sigma-Copace	$X_e = \exp\left[A - Bt + C\exp(a_w)\right]$	(Corrêa et al., 1995)
Sigma-Copace II	$X_e = \frac{1}{At^B + a_w^C}$	(Corrêa et al., 1995)

Dónde: X_e es el contenido de humedad en equilibrio (g/g ms), A, B y C son constantes, a_w es la actividad de agua, t es la temperatura en °C.

Los criterios usados para determinar la mejor ecuación para los datos X_e y a_w fueron el coeficiente de determinación (R^2), porcentaje de error medio relativo (MRE%) (Ecuación 21), error estándar de humedad (SEE) (Ecuación 22). Los valores de MRE ≤ 10% es indicativo que el modelo es adecuado en la predicción de las humedades de equilibrio (Aguerre et al., 1986). El criterio MRE fue utilizado para la selección del modelo adecuado en la determinación de las propiedades termodinámicas de los granos de quinua. Los valores

mínimos de SEE y el valor máximo de R^2 reportan el mejor modelo. Por otro lado, las diferencias entre el valor predicho por la ecuación dada y el valor experimental de X_e son usados para producir gráficos de los residuales. Estos gráficos se evaluaron por su tendencia aleatoria (A) o tendenciosa (T).

$$MRE\% = \frac{100}{N}\sum_{i=1}^{n}\frac{|Y-\hat{Y}|}{Y} \quad (21)$$

$$SEE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(Y-\hat{Y})^2}{df}} \quad (22)$$

Dónde: Y es el contenido de humedad experimental (g/100 g ms), $\hat{Y}$ es el contenido de humedad predicho (g/100 g ms), N es el número de datos, df son los grados de libertad de la regresión del modelo (n - 3).

3.5. Determinación del calor isostérico total de sorción (Q_s)

Q_s representa la suma del calor isostérico neto (q_s) y H_L es la entalpía de vaporización del agua pura.

$$Q_s = q_s + H_L \quad (23)$$

La entalpia de vaporización del agua pura se calculó utilizando la siguiente ecuación (Pumacahua-Ramos et al., 2016):

$$H_L = 2501 - 2.361 * T(°C)(R^2 = 0.998) \quad (24)$$

Donde T es la temperatura en °C.

q_s se calculó utilizando la ecuación gráfica de Clausius-Clapeyron (Arslan & Toğrul, 2006):

$$q_s = -R\left[\frac{d(\ln a_w)}{d(1/T)}\right] \quad (25)$$

Dónde: R es la constante general de gases (0.462 kJ/kg K) y T es la temperatura (K). Graficando $\ln(a_w)$ vs 1/T (Ec. 16) para diferentes contenidos de humedad de equilibrio y ajustando a una recta, se obtiene la pendiente ($\frac{q_s}{R}$).

Adicionalmente, se utilizó el modelo de Mullet y Tsami para estimar el calor isostérico de los granos de quinua (Pumacahua-Ramos et al., 2016):

$$Q_s = c_r \exp\left(-b_r * X_e\right) + H_L \quad (26)$$

$$Q_s = k_1 \exp\left(-k_2 * X_e\right) * X_e^{k_3} + H_L \quad (27)$$

donde c_r, b_r, k_1, k_2 y k_3 son constantes

3.6. Entropía diferencial

La entropía diferencial fue obtenida ajustando la ecuación usada por McMinn & Magee, (2003):

$$\ln a_w = -\frac{q_s}{RT} + \frac{\Delta S}{R} \quad (28)$$

La entalpía y entropía diferencial de sorción se calculó graficando $\ln a_w$ vs $\frac{1}{T}$, para un determinado contenido de humedad y entonces se determinó la pendiente ($-\frac{q_s}{R}$) y el coeficiente lineal ($\frac{\Delta S}{R}$).

3.7. Energía libre de Gibbs

La energía libre de Gibbs se calculó usando la siguiente ecuación (Pérez-Alonso et al., 2006):

$$G = RT \ln a_w \quad (29)$$

Donde R es la constante de los gases, T es la temperatura (K).

3.8. Teoría de Compensación entalpía-entropía

La teoría de compensación fue usada para evaluar el efecto de la temperatura en el comportamiento de la sorción, graficando q_s vs ΔS en una relación lineal entre las mismas (Thys et al., 2010):

$$q_s = T_\beta \Delta S + \Delta G_\beta \quad (30)$$

La temperatura isocinética (T_β) fue hallado de la pendiente de la recta y la energía libre se halló por la intersección de la recta.

La temperatura media harmónica (T_{hm}) se determinó usando la siguiente ecuación (Thys et al., 2010):

$$T_{hm} = \frac{n}{\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{1}{T}\right)} \qquad (31)$$

Donde n es el número total de isotermas usadas en el experimento o puntos experimentales.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Humedad y actividad de agua

Los granos de quinua de mayor proporción posterior al tamizado (tamices #10, #12, #14 y #16) fueron con los tamices #12 y #14 para ambas variedades de quinua, por lo que se tomaron como tamaños a trabajar.

El contenido de humedad de los granos de quinua fue menor a 11.2% (Tabla 9), otros autores reportaron humedades cercanas en la quinua, tales como, 12% (b.s) en semillas de quinua (Miranda et al., 2012), 11.81% y 11.16% en quinua Blanca de Juli y Pasankalla (Pumacahua-Ramos et al., 2016); lo que muestra una similitud respecto a los valores de humedad de quinua reportados por los autores mencionados. Estos valores se encuentran dentro del valor establecido NTP 205.062 (< 13%).

Por otro lado, los valores de actividad de agua mostraron estar por debajo de 0.4, siendo menores a lo indicado por el *Codex Alimentarius* (CODEX, 2018), que mencionan que se produce un crecimiento fúngico en la quinua a una actividad de agua mayor a 0.7.

Tabla 9. Contenido de humedad y actividad de agua de dos variedades de quinua de diferente diámetro.

	Diámetro (mm)	**Variedad**	
		PK	**BJ**
Humedad (g/100 g)	1.4 - 1.69	11.01 ± 0.49	11.17 ± 1.11
	1.7 – 2.00	10.25 ± 1.08	11.03 ± 0.62
a_w (adimensional)	1.4 - 1.69	0.37 ± 0.01	0.39 ± 0.01
	1.7 – 2.00	0.38 ± 0.01	0.39 ± 0.01

Los datos representan los promedios ± desviación estándar.

4.2. Isotermas de sorción

En general, las isotermas de sorción de agua de granos de quinua (PK y BJ) presentaron una correlación positiva entre X_e y a_w y negativa entre X_e y T (Figura 8 y 9). Este fenómeno también fue observado en muestras de semillas de quinua (Bustos-vanegas et al., 2018; Miranda et al., 2012; Rohvein et al., 2004), y granos de quinua (Arslan-Tontul, 2021; Pumacahua-Ramos et al., 2016), atribuido al incremento de la temperatura de las moléculas

de agua que alcanzan altos niveles de energía, siendo termodinámicamente menos estables, favoreciendo la ruptura a la conexión entre el agua y los sitios de sorción, reduciendo así el contenido de humedad de la quinua (lo que indica baja higroscopicidad a temperaturas altas).

Los granos de quinua BJ y PK mostraron una alta higroscopicidad, ya que, en condiciones de actividades de agua altas ($a_w > 0.7$), los granos de quinua llegaron a absorber valores mayores a 14 g de agua/100 g de materia seca. Al respecto, Arslan-Tontul (2021) observó que la alta higroscopicidad en los granos de quinua podría reducir la estabilidad de su estructura durante el almacenamiento, transporte y procesamiento del grano, incluso un pequeño incremento del contenido de humedad puede causar la ruptura del grano al expandirse o contraerse.

Las isotermas mostradas en las Figuras 8 y 9 muestran un comportamiento sigmoidal, que es característico al tipo de isoterma tipo II atribuido generalmente a alimentos, en este tipo de isoterma se observan dos regiones de inflexión, una en torno a una a_w de 0.2 a 0.4 y otra de 0.6 a 0.7. En este sentido, Labuza & Altunakar (2008) encontraron las mismas regiones de inflexión, atribuyendo este resultado a los cambios de magnitud de los efectos físicos y químicos, es decir, la formación de multicapas y el llenado de poros pequeños en la región inferior, seguidos por el hinchamiento, el llenado de poros grandes y la disolución del soluto en la región superior. Es común reportar este tipo de isotermas en cereales, granos y semillas (Miranda et al., 2012). Varios investigaciones mostraron el mismo comportamiento sigmoidal en las isotermas de granos de quinua (Arslan-Tontul, 2021; Bustos-vanegas et al., 2018; Miranda et al., 2012; Pumacahua-Ramos et al., 2016; Rohvein et al., 2004; Tolaba et al., 2004).

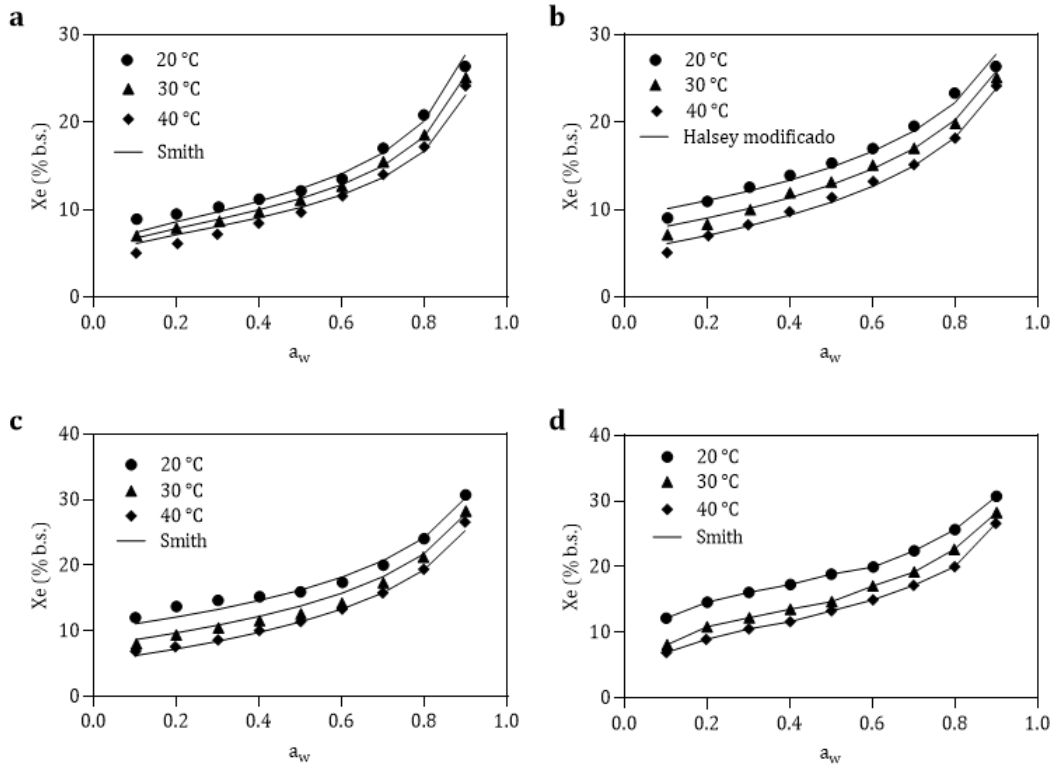


Figura 8. Isotermas de sorción de humedad de granos de quinua PK a 20, 30 y 40°C y curvas estimadas (a y c) adsorción y (b y d) desorción de tamaño #12 (a y b) y #14 (c y d).

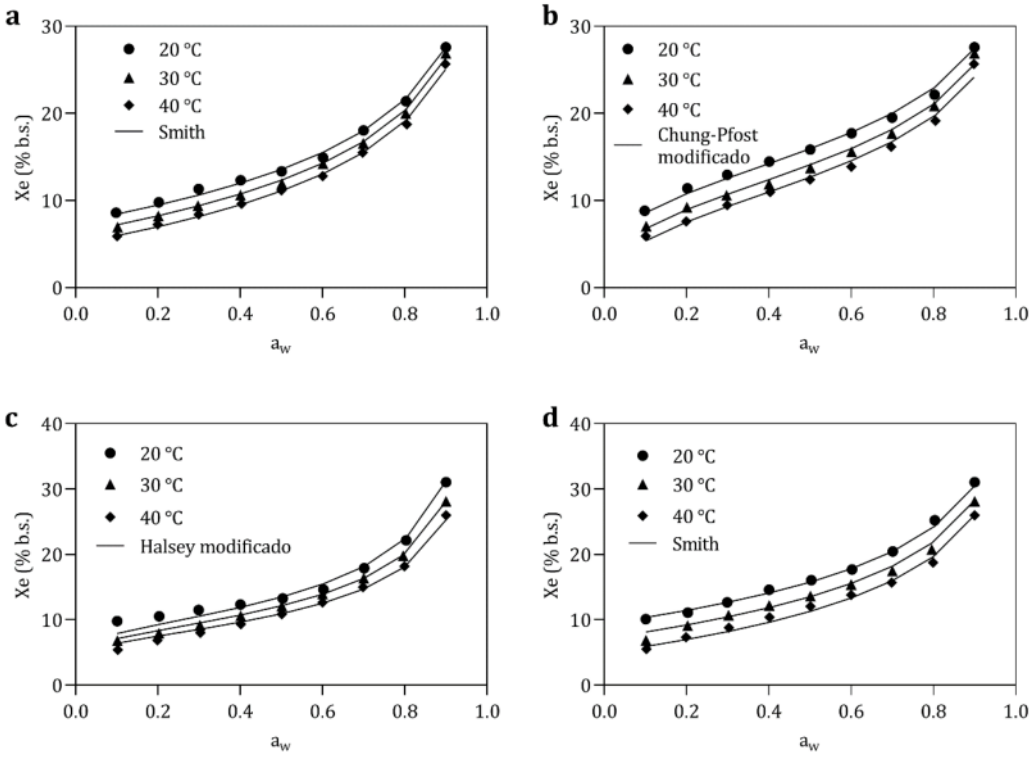


Figura 9. Isotermas de sorción de humedad de granos de quinua BJ a 20, 30 y 40°C y curvas estimadas (a y c) adsorción y (b y d) desorción de tamaño #12 (a y b) y #14 (c y d).

Los resultados del análisis de regresión no lineal para el ajuste de los datos experimentales en las diez ecuaciones aplicadas se muestran en las Tablas 10 y 11 para los granos de quinua PK y BJ. En la variedad PK, los modelos de Halsey modificado y Smith fueron los que mejor se ajustaron a los datos experimentales, lo que también, es reportado por Pumacahua-Ramos et al. (2016), donde, se muestra que los modelos de Halsey y Smith son adecuados para la predicción del comportamiento de sorción en quinua variedad PK. En la variedad BJ, los modelos Haley modificado, Chung-Pfost modificado y Smith fueron los que mejor se ajustaron a los datos experimentales, cabe resaltar que modelos usados en esta investigación son dependientes de la temperatura, Pumacahua-Ramos et al. (2016) también reportó que los modelos de Halsey y Smith son modelos idóneos para la predicción de sorción de humedad en granos de quinua variedad BJ. Investigadores reportaron que el modelo de Smith predice el comportamiento de sorción en granos de quinua (Arslan-Tontul, 2021; Miranda et al., 2012), otros reportaron que el modelo de GAB se ajusta mejor a los datos experimentales de sorción en quinua (Rohvein et al., 2004; Tolaba et al., 2004). Los modelos usados en la presente investigación son modelos modificados, los cuales también son dependientes de la temperatura, Kaleemullah & Kailappan (2004) y Basunia & Abe (2005) demostraron que estos modelos son los más adecuados para describir las relaciones entre el contenido de humedad en equilibrio, la humedad relativa y la temperatura, y estos son comúnmente usados para el ajuste de isotermas de sorción en granos y semillas.

Rohvein et al. (2004) y Tolaba et al. (2004) indicaron que las diferencias mostradas en los ajustes de las ecuaciones por otros autores, puede ser atribuido al uso de solo una ecuación en la evaluación de modelos en las isotermas de sorción, la variedad analizada, el proceso previo al estudio (lavado) y la composición química de la quinua.

Tabla 10. Parámetros del modelo ajustado a X_e y de granos de quinua variedad Pasankalla y sus respectivos coeficientes de determinación (R^2), error relativo medio (MRE), error estándar estimado (SEE) y distribución residual (RD)

Tamaño de grano de quinua (mm)	Parámetros	Henderson modificado	Chung-Pfost modificado	Halsey modificado	Oswin modificado	GAB modificado	Harkins-Jura	Smith	Copace	Sigma-Copace	Sigma-Copace II
ADSORCIÓN											
Mayor a 1.7 hasta 2 o #ASTM 12	A	0.0002	0.1678	6.3375	17.1221	6.7440	3.0481	12.9926	2.0390	1.2913	0.1000
	B	4.9353	-4.1969	-0.0436	-0.2169	0.8128	0.0183	0.2949	0.0185	0.0186	0.1000
	C	1.8474	109.3237	2.3186	2.9359	1976.6472	0.4557	8.3084	1.7514	0.9623	1.0522
	R^2	0.9313	0.9579	0.9865	0.9751	0.9554	0.9465	0.9936	0.9563	0.9818	0.0000
	MRE (%)	11.0763	9.0063	5.3437	6.4941	9.6128	9.6411	2.9213	8.2542	5.8272	74.6397
	SEE	1.6005	1.2523	0.7085	0.9636	1.2893	1.4122	0.4865	1.2759	0.8237	13.2102
	RD	T	T	R	T	R	T	T	R	T	T
Mayor a 1.4 hasta 1.69 o #ASTM 14	A	0.0001	90.6748	8.2553	23.7312	8.4259	3.6003	19.9162	2.5719	1.8976	3.0000
	B	-7.5421	-11.8520	-0.0703	-0.3772	0.7773	0.0266	0.4869	0.0269	0.0269	0.0100
	C	2.1920	0.1603	2.6204	3.3690	3060.8807	0.6180	8.7320	1.5061	0.8417	1.1414
	R^2	0.9015	0.9547	0.9706	0.9513	0.8877	0.9037	0.9854	0.9276	0.9583	0.0000
	MRE (%)	11.4354	8.1083	6.6756	7.7702	13.1233	10.8984	4.4272	8.4282	6.9567	76.3041
	SEE	2.0878	1.4160	1.1409	1.4676	2.2300	2.0642	0.8030	1.7900	1.3593	15.5699
	RD	T	T	R	R	T	T	R	T	T	T
DESORCIÓN											
Mayor a 1.7 hasta 2 o #ASTM 12	A	0.0001	102.5431	8.1480	21.3579	9.8205	3.5122	17.2134	2.4367	1.7889	3.0000
	B	-5.2378	-9.5336	-0.0648	-0.3186	0.6836	0.0239	0.3993	0.0240	0.0240	0.0100
	C	2.1861	0.1686	2.6967	3.4340	460.3196	0.6646	8.0959	1.4971	0.8251	1.0844
	R^2	0.9698	0.9939	0.9695	0.9823	0.9316	0.9698	0.9886	0.9763	0.9768	0.0000
	MRE (%)	6.1882	2.7947	7.2612	4.9578	10.2087	5.9676	4.2563	5.4491	5.9132	77.8897
	SEE	1.0580	0.4748	1.0619	0.8088	1.5912	1.0573	0.6484	0.9371	0.9268	14.4984
	RD	T	T	R	T	R	T	R	R	T	T
Mayor a 1.4 hasta 1.69 o #ASTM 14	A	4.092E-05	108.9790	9.9223	26.9303	9.6288	3.9215	22.6331	2.8065	2.2171	3.0000
	B	-10.1850	-12.8377	-0.0840	-0.4403	0.7338	0.0281	0.5282	0.0281	0.0281	0.1000
	C	2.5294	0.1631	3.0008	3.8707	-1.16E+10	0.8467	8.4104	1.3128	0.7337	1.1675
	R^2	0.9510	0.9902	0.9717	0.9745	0.8609	0.9426	0.9871	0.9592	0.9683	0.0000
	MRE (%)	6.3590	3.3178	5.9704	5.3475	13.5894	6.5073	4.2553	6.1781	5.5984	79.1407
	SEE	1.4368	0.6414	1.0926	1.0356	2.4210	1.5551	0.7371	1.3108	1.1558	16.8007
	RD	T	T	R	T	T	T	R	T	T	T

Tabla 11. Parámetros del modelo ajustado a X_e y de granos de quinua variedad Blanca de Juli y sus respectivos coeficientes de determinación (R^2), error relativo medio (MRE), error estándar estimado (SEE) y distribución residual (RD)

Tamaño de grano de quinua (mm)	Parámetros	Henderson modificado	Chung-Pfost modificado	Halsey modificado	Oswin modificado	GAB modificado	Harkins-Jura	Smith	Copace	Sigma-Copace	Sigma-Copace II
ADSORCIÓN											
Mayor a 1.7 hasta 2 o #ASTM 12	A	6.815E-05	0.1591	6.1362	15.4690	7.7469	2.9342	9.9853	1.9078	1.1784	10.0000
	B	42.7005	21.2889	-0.0174	-0.0920	0.7865	0.0072	0.1237	0.0073	0.0073	0.1000
	C	1.9162	285.5254	2.3882	3.0314	1229.8709	0.4977	8.7196	1.6941	0.9321	1.0608
	R^2	0.9484	0.9721	0.9915	0.9863	0.9747	0.9576	0.9970	0.9667	0.9861	0.0000
	MRE (%)	9.7107	7.0986	4.2086	4.6852	6.3172	8.7024	1.9877	6.5135	4.3380	76.2842
	SEE	1.4480	1.0658	0.5880	0.7467	1.0147	1.3137	0.3506	1.1631	0.7508	14.2841
	RD	T	T	T	R	R	T	R	T	T	T
Mayor a 1.4 hasta 1.69 o #ASTM 14	A	0.0001	0.1505	5.9312	16.5287	7.3102	2.9322	10.9799	1.9332	1.1598	10.0000
	B	25.6195	9.7623	-0.0236	-0.1306	0.8202	0.0102	0.1697	0.0104	0.0104	0.1000
	C	1.7809	197.6083	2.2405	2.8330	1513.0681	0.4175	9.2871	1.8085	0.9941	1.0703
	R^2	0.9257	0.9484	0.9910	0.9759	0.9505	0.9405	0.9866	0.9455	0.9754	0.0000
	MRE (%)	11.6339	9.5395	4.3676	5.9999	8.7390	10.3096	4.1040	8.5062	5.7012	76.2395
	SEE	1.8756	1.5628	0.6530	1.0684	1.5298	1.6775	0.7965	1.6053	1.0783	14.6123
	RD	T	T	R	T	T	T	T	T	T	T
DESORCIÓN											
Mayor a 1.7 hasta 2 o #ASTM 12	A	3.790E-05	0.1634	7.3732	17.7776	8.1882	3.2399	12.4900	2.1638	1.5141	0.1000
	B	20.6143	8.4377	-0.0245	-0.1267	0.7692	0.0091	0.1624	0.0091	0.0091	0.0010
	C	2.2067	266.2065	2.6943	3.4428	-3.04E+10	0.6722	8.3717	1.4846	0.8212	1.0872
	R^2	0.9659	0.9912	0.9767	0.9864	0.9320	0.9625	0.9883	0.9694	0.9739	0.0000
	MRE (%)	6.2414	2.9233	6.1774	4.3145	10.3222	6.0159	4.4027	5.5719	6.0550	78.6102
	SEE	1.1492	0.5840	0.9503	0.7250	1.6233	1.2047	0.6730	1.0891	1.0063	15.1525
	RD	T	R	T	R	T	T	T	T	T	T
Mayor a 1.4 hasta 1.69 o #ASTM 14	A	8.323E-05	0.1502	7.1300	19.5223	7.9609	3.2656	13.8547	2.2222	1.5239	0.1000
	B	8.6075	0.7238	-0.0333	-0.1840	0.7985	0.0132	0.2234	0.0133	0.0133	0.1000
	C	2.0181	178.2415	2.5011	3.1786	-1.87E+08	0.5589	9.1675	1.6136	0.8894	1.0954
	R^2	0.9618	0.9831	0.9876	0.9891	0.9102	0.9637	0.9931	0.9713	0.9836	0.0000
	MRE (%)	7.2719	5.1746	5.0394	3.7901	13.2422	6.6522	3.5308	6.0001	5.5583	78.4189
	SEE	1.3461	0.8951	0.7668	0.7178	2.0650	1.3124	0.5715	1.1665	0.8832	15.6641
	RD	T	T	T	R	T	T	R	T	T	T

4.3. Propiedades termodinámicas

4.3.1. Entalpía de sorción

La Figura 10, muestra los valores del calor isostérico de sorción (*Qs*) en función del contenido de humedad de granos de quinua PK (Figura 10a y 10b) y BJ (Figura 10c y 10d), mostrando una clara disminución de *Qs* con el incremento del contenido de X_e. Arslan-Tontul, (2021), Bustos-vanegas et al. (2018), Miranda et al. (2012) y Pumacahua-Ramos et al. (2016), también observaron una disminución de *Qs* mientras se incrementaba los valores de X_e y los atribuyeron a que en la fase inicial de sorción, hay sitios polares muy activos en la superficie del producto, los cuales están cubiertos por moléculas de agua formando la monocapa, resultando en una fuerte interacción agua-sólido, y esta interacción disminuye conforme al contenido de humedad aumenta. Bustos-vanegas et al. (2018), también observó que *Qs* del proceso de desorción fue más alto que para el proceso de adsorción, sin embargo, ambos procesos tienden a un equilibrio en común en valores X_e altos, indicando que el proceso de adsorción requiere menos energía que el proceso de desorción en humedades bajas. Por otro lado, se puede observar que los granos de quinua BJ requiere menos energía (> 10 000 kJ/kg en la desorción y > 6000 kJ/kg en la adsorción) que los PK a bajas humedades en equilibrio. Pumacahua-Ramos et al. (2016), mostró un comportamiento similar e indicó que la quinua BJ absorben y/o pierden en mayor cantidad que la PK (Pumacahua-Ramos et al., 2016).

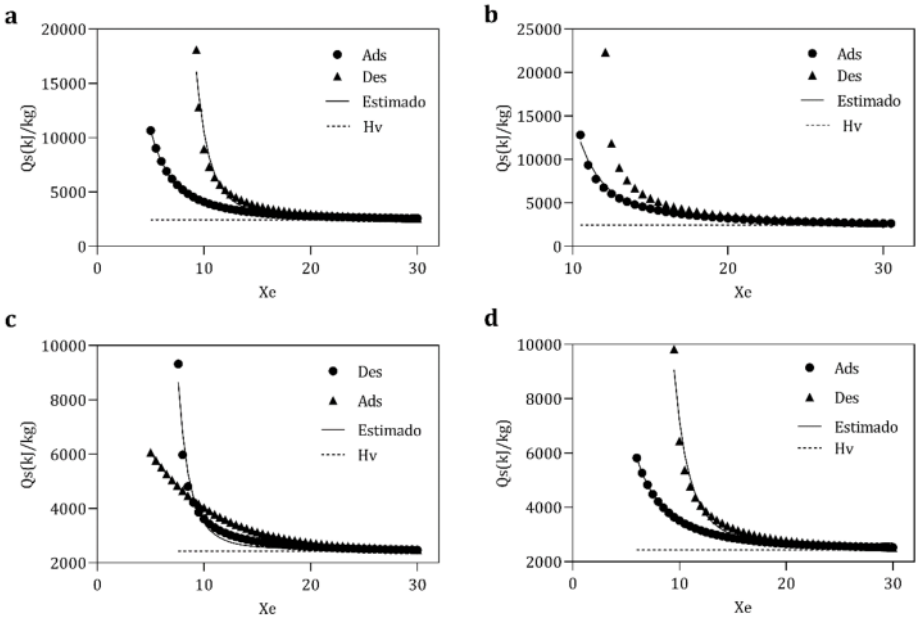


Figura 10. *Qs* de granos de quinua PK (a y b) y BJ (c y d) de tamaño grande (a y c) y tamaño mediano (c y d) en función del contenido de humedad en equilibrio

4.3.2. Entropía de sorción

La Figura 11 muestra la variación de la entropía de sorción con el contenido de humedad en equilibrio, mostrando un comportamiento similar a lo indicado en *Qs*, señalando una disminución de ΔS conforme el incremento de X_e, siendo más evidente en contenidos de humedad bajo (< 12 %) en ambas variedades, así mismo se observa que los valores de ΔS son más altos en la desorción para ambas variedades, siendo los valores de ΔS similares en un X_e mayor a 15%. Arslan-Tontul, (2021) y Bustos-vanegas et al. (2018), también notaron una disminución de ΔS con el incremento de X_e, debido a que en valores altos de X_e, la presencia de las moléculas de agua en la superficie de la quinua, disminuyen la capacidad de la unión de las moléculas de agua en los sitios activos de las macromoléculas, también, indican que, la entropía de sorción es proporcional al número de los sitios de sorción a un nivel de energía específica, lo que indica el estado de la movilidad de las moléculas de agua, por tanto, la movilidad de las moléculas de agua es más alto en la desorción que en la adsorción.

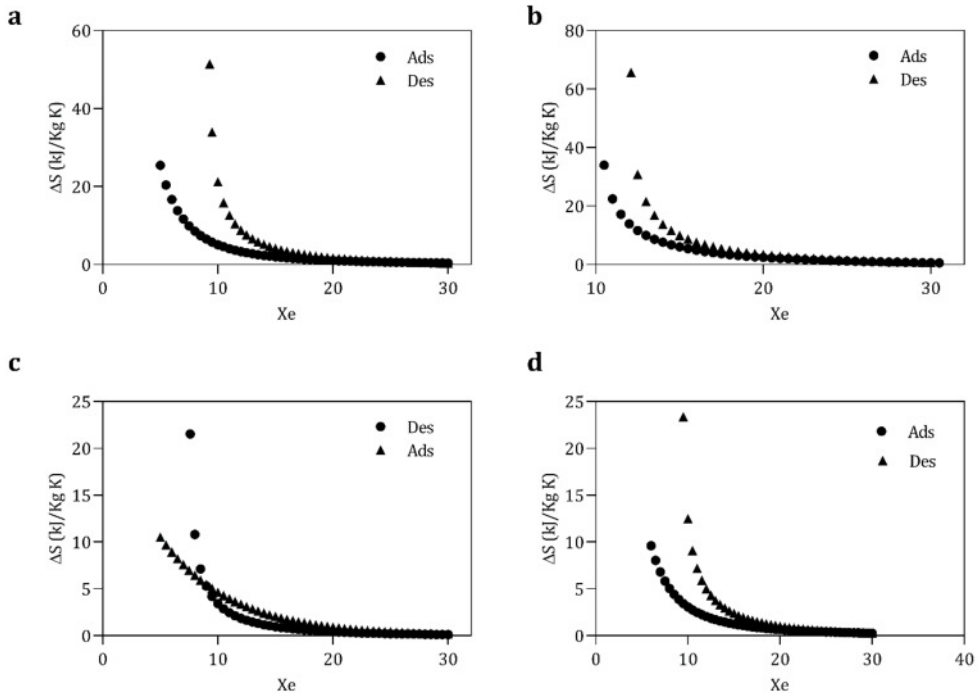


Figura 11. ΔS de granos de quinua PK (a y b) y BJ (c y d) de tamaño grande (a y c) y tamaño mediano (c y d) en función del contenido de humedad en equilibrio

4.3.3. Energía libre de Gibbs

La Figura 12 y 13 muestran la energía libre de Gibbs (ΔG) de granos de quinua PK y BJ. Se observa que los valores de ΔG disminuyen con el incremento de X_e, además, se observa una diminución de ΔG en el incremento de temperatura de sorción en ambas variedades de quinua. Arslan-Tontul, (2021) y Bustos-vanegas et al. (2018), también notaron que los valores de ΔG disminuyen al incremento de X_e, siendo atribuido esto a materiales alimenticios hidrófilos (que absorbe agua con facilidad) que presentan más niveles de energía debido a la alta afinidad de adsorción de agua. También observaron el aumento de las temperaturas de sorción también ha disminuido el nivel de energía en el contenido de humedad constante de los granos de quinua. Esto revela que la energía de enlace requerida fue baja a altas temperaturas.

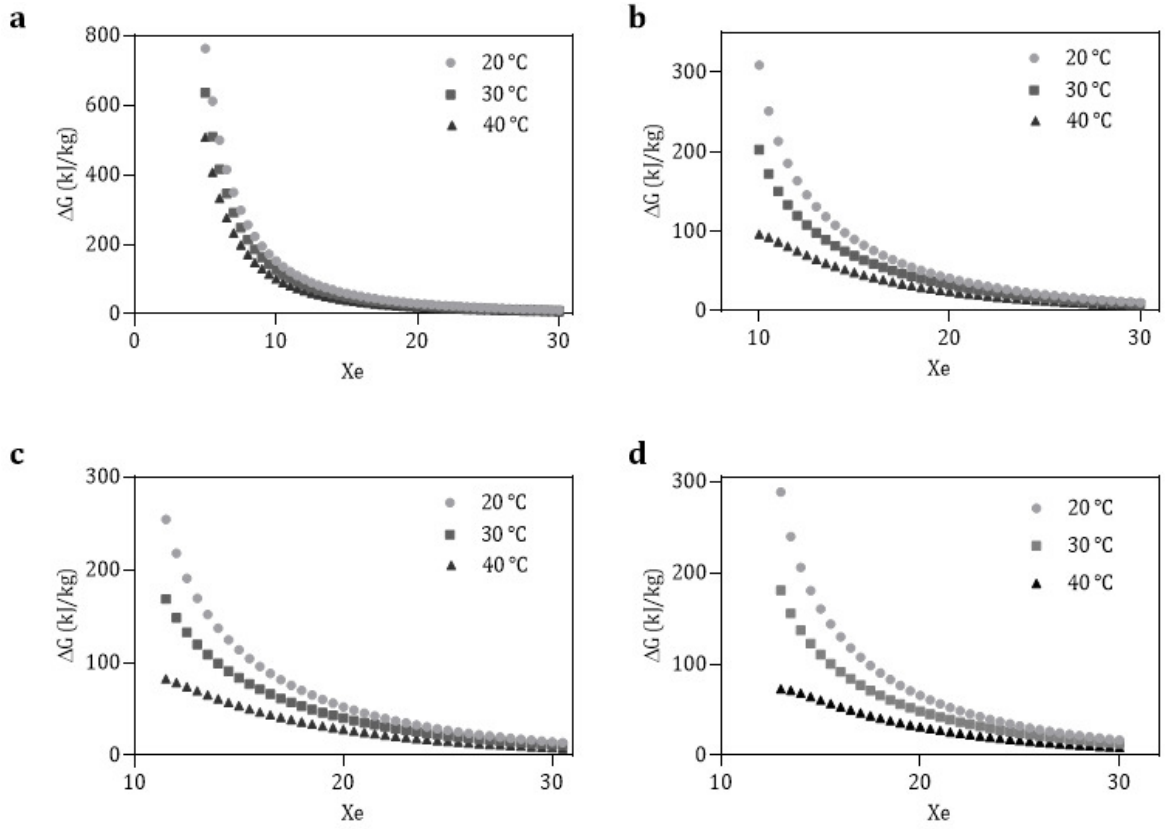


Figura 12. ΔG de granos de quinua PK grande (a y b) y mediana (c y d) obtenidas por adsorción (a y c) y desorción (b y d)

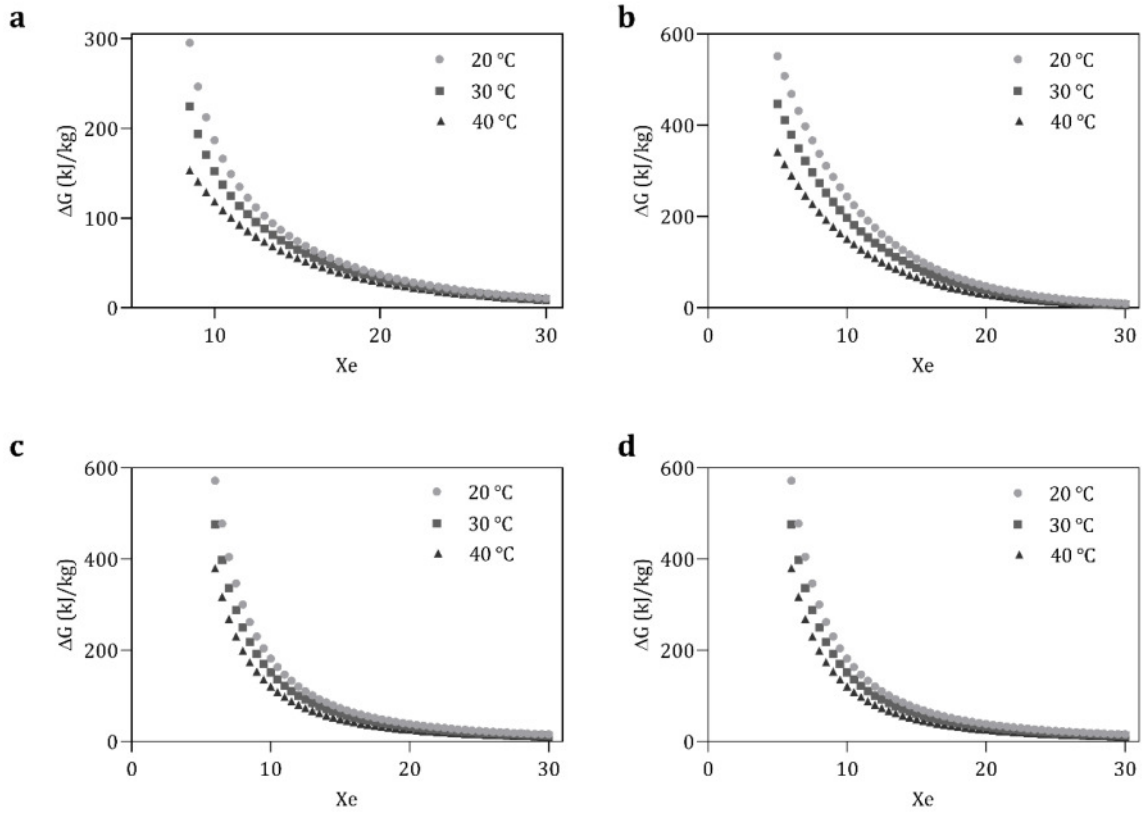


Figura 13. *ΔG* de granos de quinua BJ grande (a y b) y mediana (c y d) obtenidas por adsorción (a y c) y desorción (b y d)

4.3.4. Teoría de compensación entalpía-entropía

La Figura 14 muestra la relación entalpía (*qs*) - entropía (*ΔS*) con el proceso de sorción de agua de los granos de quinua PK y BJ, en el que se puede observar una fuerte correlación entre las propiedades termodinámicas (entalpía y entropía). Así mismo, los valores mostrados en la Tabla 12 confirman el cumplimiento de la teoría ya que los valores de la temperatura media harmónica (T_{hm}) y temperatura isocinética (T_β) son diferentes, y T_β es mayor que T_{hm} en todos los procesos de sorción de la quinua (PK y BJ), lo que indica que todos los procesos de sorción fueron controlados por la entalpía. Bustos-vanegas et al. (2018), también hallaron una fuerte correlación entre *qs – ΔS*, así mismo, observaron que los valores de T_β fueron mayores a T_{hm}, indicando que el mecanismo de sorción estaba controlado por la entalpía.

Tabla 12. Teoría de compensación entalpía-entropía (teoría isocinética) de granos de quinua variedad Pasankalla (PK) y Blanca de Juli (BJ)

Variedad	Tamaño	Proceso	T °C	T_{hm} (K)	T_{β} (K)	Control de proceso	Espon.	Se cumple teoría
PK	1.7 mm	Adsorción	20, 30 y 40	302.93	323.14 ± 0.00	Entalpía	No	Si
	1.7 mm	Desorción	20, 30 y 40	302.93	305.12± 0.26	Entalpía	No	Si
	1.4 mm	Adsorción	20, 30 y 40	302.93	306.15 ± 0.24	Entalpía	No	Si
	1.4 mm	Desorción	20, 30 y 40	302.93	303.79 ± 0.18	Entalpía	No	Si
BJ	1.7 mm	Adsorción	20, 30 y 40	302.93	322.43 ± 3.61	Entalpía	No	Si
	1.7 mm	Desorción	20, 30 y 40	302.93	345.68 ± 0.00	Entalpía	No	Si
	1.4 mm	Adsorción	20, 30 y 40	302.93	352.70 ± 0.00	Entalpía	No	Si
	1.4 mm	Desorción	20, 30 y 40	302.93	317.98 ± 1.37	Entalpía	No	Si

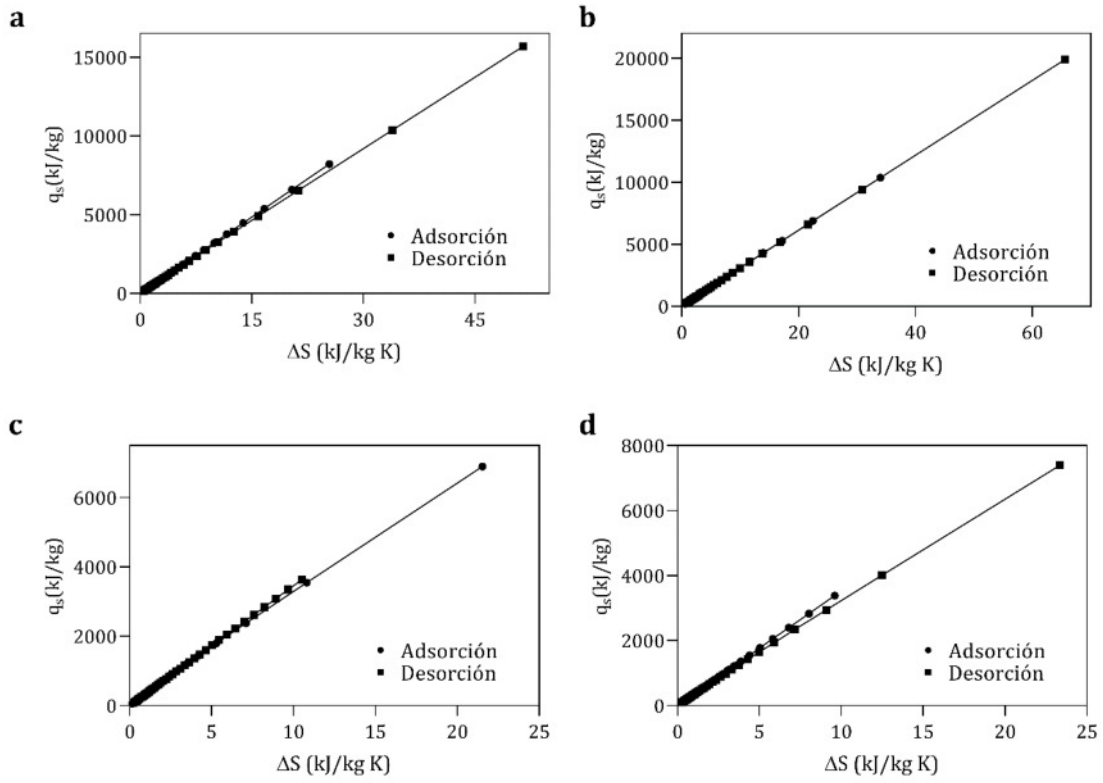


Figura 14. Compensación entalpía-entropía del proceso de sorción de granos de quinua PK y BJ grande (a y c) y mediana (c y d).

V. CONCLUSIONES

- Se lograron obtener las humedades en equilibrio de los granos de quinua PK y BJ de tamaño #12 y #14, mostrando una disminución con el incremento de temperatura a diferentes actividades de agua.
- Las isotermas de sorción de los granos de quinua PK y BJ pueden ser caracterizados por isotermas tipo II. Siendo los modelos Halsey modificado (adsorción en tamaño #12), y Smith (desorción, tamaño #12, adsorción y desorción #14) para la quinua PK y lo modelos Chung-Pfost modificado (desorción, tamaño #12), Halsey (adsorción, tamaño #14) y Smith (adsorción, tamaño #12 y desorción, tamaño #14) para la quinua BJ los que obtuvieron el mejor ajuste.
- De acuerdo con los cálculos termodinámicos, el incremento del contenido de humedad lleva a una disminución a del calor isostérico de sorción y entropía de sorción y la energía libre de Gibbs. Los valores de calor isostérico de sorción de los granos de quinua PK fueron más altos que la quinua BJ, lo que indica que la quinua BJ tiende a ganar y/o perder más rápido humedad. así mismo la teoría de compensación entalpía-entropía fue confirmada todos los procesos de sorción de los granos de quinua, llegando a la conclusión que el mecanismo de sorción de los granos de quinua está controlado por la entalpía.

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda el mantenimiento del flujo de energía para el uso del VSA, ya que este al ser un equipo electrónico, necesita un flujo ininterrumpido de energía, debido a que este trabaja por tiempos largos (5-7 días).
- Se recomienda evaluar las isotermas de quinua en semilla, ya que, de estas, se podrá conocer cuál es su comportamiento en los procesos de sorción y obtener mejores condiciones de almacenamiento, y si existe diferencia entre las semillas y los granos perlados.
- Se recomienda extender la presente investigación a aplicaciones en la determinación de empaques para su almacenamiento como vida útil, basado en datos obtenidos en isotermas de sorción.

VII. REFERENCIAS

Abugoch James, L. E. (2009). Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.): Composition, chemistry, nutritional, and functional properties. In *Advances in Food and Nutrition Research* (1st ed., Vol. 58, Issue 09). Elsevier Inc. https://doi.org/10.1016/S1043-4526(09)58001-1

Abugoch, L., Romero, N., Critián, A. T., Silva, J., & Rivera, M. (2008). Study of some physico-chemical and functional properties of quinoa (Chenopodium quinoa Willd. *Protein Iso-Lates. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 56, 4745– 4750.*, *56*, 4745–4750.

Aguerre, R. J., Suárez, C., & Viollaz, P. E. (1986). Enthalpy-Entropy Compensation in Sorption Phenomena: Application to the Prediction of the Effect of Temperature on Food Isotherms. *Journal of Food Science*, *51*(6), 1547–1549. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1986.tb13856.x

Al-Muhtaseb, A. H., McMinn, W. A. M., & Magee, T. R. A. (2004). Water sorption isotherms of starch powders. Part 2: Thermodynamic characteristics. *Journal of Food Engineering*, *62*(2), 135–142. https://doi.org/10.1016/S0260-8774(03)00202-4

Araújo, A. L. de, & Pena, R. da S. (2020). Effect of particle size and temperature on the hygroscopic behaviour of cassava flour from dry group and storage time estimation. *CYTA - Journal of Food*, *18*(1), 178–186. https://doi.org/10.1080/19476337.2020.1717635

Arslan-Tontul, S. (2021). Moisture sorption isotherm and thermodynamic analysis of quinoa grains. *Heat and Mass Transfer/Waerme- Und Stoffuebertragung*, *57*(3), 543–550. https://doi.org/10.1007/s00231-020-02978-8

Arslan, N., & Toğrul, H. (2006). The fitting of various models to water sorption isotherms of tea stored in a chamber under controlled temperature and humidity. *Journal of Stored Products Research*, *42*(2), 112–135. https://doi.org/10.1016/j.jspr.2005.01.001

ASAE. (2001). Moisture Relationship of Plant-based Agricultural Products. *ASAE STANDARDS*.

Aviara, N. A., & Ajibola, O. O. (2002). Thermodynamics of moisture sorption in melon seed and cassava. *Journal of Food Engineering*, *55*(2), 107–113. https://doi.org/10.1016/S0260-8774(02)00023-7

Aviara, N. A., Ajibola, O. O., & Oni, S. A. (2004). Sorption Equilibrium and Thermodynamic Characteristics of Soya Bean. *Biosystems Engineering*, *87*(2), 179–190. https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2003.11.006

Badui, D. S. (2006). Salvador Badui Dergal. In *Química de los alimentos*.

Bala, B. K. (2016). Drying and Storage of Cereal Grains. In *Drying and Storage of Cereal Grains*. https://doi.org/10.1002/9781119124207

Bala, B. K., & Woods, J. L. (1992). Thin layer drying models for malt. *Journal of Food Engineering*, *16*(4), 239–249. https://doi.org/10.1016/0260-8774(92)90001-M

Barbosa-Cánovas, G. V., Fontana, A. J., Schmidt, S. J., & Labuza, T. P. (2020). Water Activity in Foods: Fundamentals and Applications. In *Water Activity in Foods: Fundamentals and Applications*. https://doi.org/10.1002/9781118765982

Basu, S., Shivhare, U. S., & Mujumdar, A. S. (2006). Models for sorption isotherms for foods: A review. *Drying Technology*, *24*(8), 917–930. https://doi.org/10.1080/07373930600775979

Basunia, M. A., & Abe, T. (2005). Adsorption isotherms of barley at low and high temperatures. *Journal of Food Engineering*, *66*(1), 129–136. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.03.006

Bhandari, B. R., & Adhikari, B. P. (2009). Water activity in food processing and preservation. In *Drying technologies in food processing* (p. 319). https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2008.12.004

Bhathal, S. K., Kaur, N., & Gill, J. (2017). Effect of processing on the nutritional composition of quinoa (Chenopodium quinoa Willd) . *Agricultural Research Journal*, *54*(1), 90. https://doi.org/10.5958/2395-146x.2017.00015.1

Bingol, G., Prakash, B., & Pan, Z. (2012). Dynamic vapor sorption isotherms of medium grain rice varieties. *LWT - Food Science and Technology*, *48*(2), 156–163.

https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.02.026

Bustos-vanegas, J. D., Corrêa, P. C., Zeymer, J. S., Baptestini, F. M., & Campos, R. C. (2018). MOISTURE SORPTION ISOTHERMS OF QUINOA SEEDS : THERMODYNAMIC ANALYSIS. *Engenharia Agricola*, *1809–4430*, 941–950. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v38n6p941-950/2018

Caballero-Cerón, C., Guerrero-Beltrán, J. A., Mújica-Paz, H., Torres, J. A., & Welti-Chanes, J. (2015). Moisture Sorption Isotherms of Foods: Experimental Methodology, Mathematical Analysis, and Practical Applications. In *Water Stress in Biological, Chemical, Pharmaceutical and Food Systems, Food Engineering Series* (pp. 345–351). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2578-0

Castellión, M., Matiacevich, S., Buera, P., & Maldonado, S. (2010). Protein deterioration and longevity of quinoa seeds during long-term storage. *Food Chemistry*, *121*(4), 952–958. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.01.025

Castro-Muñoz, R., & Nieves-Segura, N. (2018). Sorption isotherms and isosteric heat estimation of purple cactus pear (Opuntia stricta) juice embedded in gelatin–maltodextrin matrix. *Journal of Food Process Engineering*, *41*(7), 1–7. https://doi.org/10.1111/jfpe.12848

Cheftel, J., & Cheftel, H. (1976). *Introducción a la bioquímica de los alimentos (1 ed., Vol. 1)* (Acribia (ed.)).

Chen, C., & Morey, R. V. (1989). *Comparison of Four EMC/ERH Equations*. *32*(June), 983–990.

Chirife, J., & Iglesias, H. A. (1978). Equations for fitting water sorption isotherms of foods:Part 1- a review. *International Journal of Food Science & Technology*, *13*(4), 319–327. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1978.tb00809.x

Chung, D. S., & Pfost, H. B. (1967a). Adsorption and Desorption of Water Vapor by Cereal Grains and Their Products Part I: Heat and Free Energy Changes od Adsorption and Desorption. *Transactions of Tha ASAE*, *10*(4), 549–552.

Chung, D. S., & Pfost, H. B. (1967b). Adsorption and Desorption of Water Vapor by Cereal

Grains and Their Products Part II: Development of the General Isoterm Equation. *Transactions of the ASAE*, *10*(4), 0556–0557. https://doi.org/10.13031/2013.39728

CIEN. (2021). *Panorama del sector Agroindustrial : Quinua*. 1–6.

CODEX. (2018). *DRAFT TWO SECTIONS OF THE STANDARD FOR QUINOA*.

Corrêa, Martins, D. S. R., & Melo, E. C. (1995). *Umigrãos: Programa para o cálculo do teor de umidade de equilíbrio para os principais produtos agrícolas*. UFV: Vicosa.

Damodaran, S., Parkin, K. L., & Fennema, O. R. (2008). *Fennema's Food Chemistry Fourth Edition* (C. Press (ed.)).

FAO. (2013). *Quinua 2013 Año internacional*. https://www.fao.org/quinoa-2013/what-is-quinoa/nutritional-value/es/?no_mobile=1

Figura, L. O., & Teixeira, A. A. (2007). *Food Physics*. Springer.

Harkins, W. D. (1945). A general theory of the reaction loci in emulsion polymerization. *The Journal of Chemical Physics*, *13*(9), 381–382. https://doi.org/10.1063/1.1724054

INDECOPI. (2009). NTP 205.062:2009. QUINUA (Chenopodium quinua Willd). Requisitos. In *Indecopi- Cnb: Vol. 1° Edicion* (p. 21).

Jayas, D. S., & Mazza, G. (1993). Comparison of Five, Three-parameter Equations for the Description of Adsorption Data of Oats. *Transactions of the ASAE*, *36*(1), 119–125. https://doi.org/10.13031/2013.28322

Kaleemullah, S., & Kailappan, R. (2004). Moisture sorption isotherms of red chillies. *Biosystems Engineering*, *88*(1), 95–104. https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2004.01.003

Kaya, S., & Kahyaoglu, T. (2006). Influence of dehulling and roasting process on the thermodynamics of moisture adsorption in sesame seed. *Journal of Food Engineering*, *76*(2), 139–147. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.04.042

Labuza, T. P., & Altunakar, B. (2008). Water Activity Prediction and Moisture Sorption Isotherms. In *Water Activity in Foods: Fundamentals and Applications* (pp. 109–154).

https://doi.org/10.1002/9780470376454.ch5

Lescano, J. (1994). *Genética y mejoramiento de cultivos andinos Quinua, Kañihua, Tarwi, Kiwicha, Papa amarga, Olluco, Mashua y Oca. Puno: Programa Interinstitucional de Waruwaru, convenio INADE/PELT-COTESU*.

López-Vidaña, E. C., Castillo Téllez, M., Pilatowsky Figueroa, I., Santis Espinoza, L. F., & Castillo-Telléz, B. (2020). Moisture sorption isotherms, isosteric heat, and Gibbs free energy of stevia leaves. *Journal of Food Processing and Preservation*, *45*.

Macias Esparza, B., García Bernal, H. R., & Galvis V., J. A. (1990). Determinación de la humedad de equilibrio en panela. *Agronomía Colombiana*, *7*(1-2 SE-), 70–75. https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/21010

McMinn, W. A. M., & Magee, T. R. A. (2003). Thermodynamic properties of moisture sorption of potato. *Journal of Food Engineering*, *60*(2), 157–165. https://doi.org/10.1016/S0260-8774(03)00036-0

MINAGRI. (2020). *ANÁLISIS DE MERCADO 2015-2020 QUINUA*.

Miranda, M., Vega-Gálvez, A., Sanders, M., López, J., Lemus-Mondaca, R., Martínez, E., & Di Scala, K. (2012). Modelling the Water Sorption Isotherms of Quinoa Seeds (Chenopodium quinoa Willd.) and Determination of Sorption Heats. *Food and Bioprocess Technology*, *5*(5), 1686–1693. https://doi.org/10.1007/s11947-011-0610-y

Moreira, R., Chenlo, F., Torres, M. D., & Vallejo, N. (2008). Thermodynamic analysis of experimental sorption isotherms of loquat and quince fruits. *Journal of Food Engineering*, *88*(4), 514–521. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.03.011

Ondier, G. O., Siebenmorgen, T. J., Bautista, R. C., & Mauromoustakos, A. (2011). *Equilibrium Moisture Contents of Pureline, Hybrid, and Parboiled Rice*. *54*(3), 1007–1013.

Pavón-García, L. M. A., Gallardo-Rivera, R., Román-Guerrero, A., Carrillo-Navas, H., Rodríguez-Huezo, M. E., Guadarrma-Lezama, A. Y., & Pérez-Alonso, C. (2015). MOISTURE SORPTION PROPERTIES AND STORAGE STABILITY CONDITIONS OF A NUTRACEUTICAL SYSTEM MICROENCAPSULATED BY

SPRAY DRYING. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, *14*(3), 601–613. http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62029966013

Pérez-Alonso, C., 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. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.08.002

Potter, N., & Hotchkiss, J. (1995). *Ciencia de los alimentos* (Acribia (ed.)).

Pumacahua-Ramos, A., Gomez, J., Telis- Romero, J., Villa-Vélez, H., & Lopes, J. (2016). Isotherms and isosteric heat of sorption of two varieties of Peruvian quinoa. *Scientia Agropecuaria*, *7*(4), 409–417. https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2016.04.06

Quirijns, E. J., Van Boxtel, A. J. B., Van Loon, W. K. P., & Van Straten, G. (2005). Sorption isotherms, GAB parameters and isosteric heat of sorption. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *85*(11), 1805–1814. https://doi.org/10.1002/jsfa.2140

Ramirez-Miranda, M., Cruz y Victoria, M. T., Vizcarra-Mendoza, M. G., & Anaya-Sosa, I. (2014). Determinacion De Las Isotermas De Sorcion Y Las Propiedades Termodinamicas De Harina De Maiz Nixtamalizada. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, *13*(1), 165–178. http://www.scielo.org.mx/pdf/rmiq/v13n1/v13n1a13.pdf

Ramos-Diaz, J. M., Rinnan, Å., & Jouppila, K. (2019). Application of NIR imaging to the study of expanded snacks containing amaranth, quinoa and kañiwa. *Lwt*, *102*(November 2018), 8–14. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.12.029

Rohvein, C., Santalla, E., & Gely, M. C. (2004). Note: Estimation of sorption isotherm and the heat of sorption of quinoa (chenopodium quinoa willd.) seeds. *Food Science and Technology International*, *10*(6), 409–413. https://doi.org/10.1177/1082013204049513

Rokcland, L., & L., B. (1987). *Water activity: Theory and applications to food*. Macerl Dekker.

Roos, Y. H., Finley, J. W., & John, M. (2018). Yrjo H. Roos, John W. Finley, and John M. deMan 1. In *Principles of Food Chemistry*.

Saltmarch, M., & Labuza, P. (1980). ISOTHERMS Crystalline. *Journal of Food Science*,

45, 1231–1236.

Smith, S. E. (1947). The Sorption of Water Vapor by High Polymers. *Journal of American Chemical Society*, 646–651.

Soto, E., Mercado, W., Estrada, R., Repo, R., Díaz, F., & Díaz, G. (2015). El mercado y la producción de quinua en el Perú. In *Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura*.

Taitano, L. Z., Singh, R. P., Lee, J. H., & Kong, F. (2012). Thermodynamic analysis of moisture adsorption isotherms of raw and blanched almonds. *Journal of Food Process Engineering*, *35*(6), 840–850. https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.2010.00632.x

Telis, V. R. N., Gabas, A. L., Menegalli, F. C., & Telis-Romero, J. (2000). Water sorption thermodynamic properties applied to persimmon skin and pulp. *Thermochimica Acta*, *343*(1–2), 49–56. https://doi.org/10.1016/s0040-6031(99)00379-2

Thompson, T. L., Peart, R. M., & Foster, G. H. (1968). Mathematical Simulation of Corn Drying — A New Model. *Transactions of the ASAE*, *11*(4), 0582–0586. https://doi.org/10.13031/2013.39473

Thys, R. C. S., Noreña, C. P. Z., Marczak, L. D. F., Aires, A. G., & Cladera-Olivera, F. (2010). Adsorption isotherms of pinhão (Araucaria angustifolia seeds) starch and thermodynamic analysis. *Journal of Food Engineering*, *100*(3), 468–473. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.04.033

Tolaba, M. P., Peltzer, M., Enriquez, N., & Pollio, M. L. (2004). Grain sorption equilibria of quinoa grains. *Journal of Food Engineering*, *61*(3), 365–371. https://doi.org/10.1016/S0260-8774(03)00143-2

Toller, J. (1980). Influence of water activity on microorganisms in foods. *Food Technology*.

Van den Berg, C., & Bruin, S. (1981). *Water activity and its estimation in food systems: theoretical aspects. In water activity: influences on food quality*. Academic Press.

Wolf, W., Spiess, W. E. L., & Jung, G. (1985). Standardization of Isotherm Measurements (Cost-Project 90 and 90 BIS). *Properties of Water in Foods*, 661–679. https://doi.org/10.1007/978-94-009-5103-7_40

Wu, G. (2015). Nutritional Properties of Quinoa. In *Quinoa: Improvement and Sustainable Production* (pp. 193–210). https://doi.org/10.1002/9781118628041.ch11

Yu, X., Martin, S. E., & Schmidt, S. J. (2008). Exploring the problem of mold growth and the efficacy of various mold inhibitor methods during moisture sorption isotherm measurements. *Journal of Food Science*, *73*(2), 69–81. https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00628.x

Zeymer, J. (2017). *EQUILÍBRIO HIGROSCÓPICO E ANÁLISE TERMODINÂMICA DA SORÇÃO DE ÁGUA EM GRÃOS DE ARROZ EM CASCA*. Universidade Federal de Viçosa.

VIII. ANEXOS

8.1. Datos de isotermas de sorción de granos de quinua variedad Pasankalla tamaño 1.7 mm obtenidas por el VSA

ADSORCIÓN					
20		30		40	
a_w	X_e	a_w	X_e	a_w	X_e
0.104	8.91	0.104	7.02	0.102	5.05
0.200	9.50	0.200	7.89	0.203	6.12
0.302	10.28	0.304	8.69	0.299	7.19
0.400	11.19	0.400	9.74	0.399	8.43
0.501	12.13	0.500	11.08	0.502	9.68
0.601	13.51	0.601	12.70	0.602	11.56
0.700	17.01	0.701	15.47	0.700	14.00
0.799	20.82	0.800	18.53	0.800	17.17
0.898	26.35	0.900	25.08	0.900	24.15

DESORCIÓN					
20		30		40	
a_w	X_e	a_w	X_e	a_w	X_e
0.104	9.04	0.104	7.14	0.102	5.08
0.200	10.93	0.200	8.35	0.203	7.02
0.302	12.57	0.304	9.99	0.299	8.26
0.400	13.91	0.400	11.91	0.399	9.77
0.501	15.32	0.500	13.16	0.502	11.39
0.601	17.00	0.601	15.09	0.602	13.21
0.700	19.53	0.701	17.01	0.700	15.15
0.799	23.30	0.800	19.83	0.800	18.17
0.898	26.35	0.900	25.08	0.900	24.15

8.2. Datos de isotermas de sorción de granos de quinua variedad Pasankalla tamaño 1.4 mm obtenidas por el VSA

ADSORCIÓN					
20		30		40	
a_w	X_e	a_w	X_e	a_w	X_e
0.100	12.02	0.103	8.01	0.101	6.87
0.200	13.70	0.199	9.38	0.197	7.59
0.300	14.64	0.302	10.46	0.301	8.62
0.401	15.21	0.401	11.55	0.400	10.05
0.500	15.94	0.501	12.63	0.501	11.42
0.601	17.37	0.600	14.21	0.601	13.33
0.701	20.02	0.701	17.36	0.699	15.78
0.799	24.06	0.797	21.26	0.798	19.40
0.900	30.72	0.900	28.26	0.898	26.57

DESORCIÓN					
20		30		40	
a_w	X_e	a_w	X_e	a_w	X_e
0.100	12.15	0.103	8.12	0.101	6.92
0.200	14.59	0.199	10.85	0.197	8.91
0.300	16.09	0.302	12.21	0.301	10.53
0.401	17.29	0.401	13.51	0.400	11.63
0.500	18.84	0.501	14.70	0.501	13.29
0.601	19.96	0.600	17.07	0.601	14.95
0.701	22.41	0.701	19.18	0.699	17.14
0.799	25.66	0.797	22.66	0.798	19.99
0.900	30.72	0.900	28.26	0.898	26.57

8.3. Datos de isotermas de sorción de granos de quinua variedad Blanca de Juli tamaño 1.7 obtenidas por el VSA

ADSORCIÓN					
20		30		40	
a_w	X_e	a_w	X_e	a_w	X_e
0.098	8.60	0.102	6.93	0.101	5.88
0.202	9.78	0.201	8.21	0.199	7.23
0.299	11.30	0.297	9.38	0.299	8.39
0.401	12.30	0.400	10.62	0.403	9.61
0.501	13.34	0.501	11.95	0.500	11.17
0.601	14.92	0.601	14.22	0.601	12.79
0.700	18.05	0.699	16.56	0.698	15.49
0.803	21.39	0.802	19.98	0.805	18.73
0.900	27.59	0.900	26.90	0.899	25.66

DESORCIÓN					
20		30		40	
a_w	X_e	a_w	X_e	a_w	X_e
0.098	8.82	0.102	7.03	0.101	5.92
0.202	11.38	0.201	9.21	0.199	7.59
0.299	12.94	0.297	10.60	0.299	9.46
0.401	14.47	0.400	11.87	0.403	10.97
0.501	15.84	0.501	13.71	0.500	12.38
0.601	17.71	0.601	15.60	0.601	13.87
0.700	19.52	0.699	17.67	0.698	16.17
0.803	22.14	0.802	20.86	0.805	19.13
0.900	27.59	0.900	26.90	0.899	25.66

8.4. Datos de isotermas de sorción de granos de quinua variedad Blanca de Juli tamaño 1.4 obtenidas por el VSA

ADSORCIÓN					
20		30		40	
a_w	X_e	a_w	X_e	a_w	X_e
0.101	9.79	0.101	6.80	0.102	5.39
0.203	10.51	0.203	7.91	0.199	6.86
0.299	11.49	0.302	9.15	0.303	7.99
0.401	12.31	0.401	10.59	0.402	9.31
0.503	13.27	0.501	12.07	0.501	10.84
0.602	14.61	0.600	13.95	0.600	12.64
0.701	17.89	0.700	16.36	0.699	14.98
0.803	22.15	0.796	19.77	0.799	18.18
0.900	31.06	0.900	28.12	0.900	25.98

DESORCIÓN					
20		30		40	
a_w	X_e	a_w	X_e	a_w	X_e
0.101	10.07	0.101	6.85	0.102	5.52
0.203	11.09	0.203	9.09	0.199	7.32
0.299	12.65	0.302	10.68	0.303	8.77
0.401	14.58	0.401	12.17	0.402	10.40
0.503	16.05	0.501	13.60	0.501	12.06
0.602	17.69	0.600	15.39	0.600	13.80
0.701	20.45	0.700	17.45	0.699	15.69
0.803	25.20	0.796	20.75	0.799	18.75
0.900	31.06	0.900	28.12	0.900	25.98

8.5. Análisis fisicoquímico de quinua Pasankalla

PERÚ | Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego

inia

CERTIFICADO DE ANALISIS FISICO QUIMICO N° 037/23

SOLICITANTE	: BRYSLYN MAROLAY OSMAYO HUANCAN
PROCEDENCIA	: UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL
TESIS	: "ISOTERMAS DE SORCION DE AGUA DE GRANOS DE QUINUA: PROPIEDADES TERMODINAMICAS"
PRODUCTO	: QUINUA PERLADA DE LA VARIEDAD PASANKALLA
ANALISIS SOLICITADO	: FISICO QUIMICO
FECHA DE MUESTREO	: 03-05-23
FECHA DE RECEPCION	: 03-05-23 (LABORATORIO)
FECHA DE ENSAYO	: 03-05-23
FECHA DE EMISION	: 05-05-23

RESULTADOS:
De acuerdo al Informe de los Análisis de Laboratorio que obra en los archivos los resultados son:

DETERMINACIONES FISICO QUIMICAS

ENSAYOS	RESULTADOS	ESPECIFICACION
Humedad (%)	12.24	13 Máx.
Proteína (%)	14.54	10 Min.
Cenizas (%)	2.07	3.5 Máx.
Grasas (%)	6.40	4.0 Min.
Fibra cruda (%)	5.25	4.0 Min.
Carbohidratos %	59.50	Por diferencia
Enedrgia Kcal/100g	353.6	Por Calculo

. METODO DE ENSAYO

Humedad	NTP 205.002:1979 (Revisada el 2016) (1979) CEREALES Y MENESTRAS. Determinación del contenido de humedad. Método usual
Análisis físicos	NTP 205.062:2021. GRANOS ANDINOS. Quinua. Requisitos
Ceniza	NTP 205.004:2017. CEREALES Y MENESTRAS. Determinación de cenizas
Grasa	AOAC 2003.06-2006, Crude Fat in Feeds, Cereal Grains, and Forages
Fibra cruda	NTP 205.003:2017/CT 1:2018. CEREALES Y MENESTRAS. Determinación de la fibra cruda. CORRIGENDA TÉCNICA 1. 1ª Edición
Proteina	NTP 205.005:2018. CEREALES Y MENESTRAS. Cereales. Determinación de proteínas totales (método de Kjeldahl)

CONCLUSIÓN: La muestra analizada se encuentra dentro de los límites permisibles.

- Los resultados Fisico Quimicos y Fisico Organolépticos están **conformes**.

El presente Informe de Ensayo es válido solo para el producto, en la fecha de análisis y el documento en su papel original, tendrá validez por 90 días a partir de la fecha de emisión.

Puno, 05 de mayo del 2023

INIA
ESTACIÓN EXPERIMENTAL ILLPA - PUNO
Ing° JORGE CONDORI ROJAS
Jefe Laboratorio Análisis
SALCEDO

www.inia.gob.pe
Rinconada de Salcedo s/n
Puno. Puno. Perú
T: (051) 363-812

8.6. Análisis fisicoquímico de quinua Blanca de Juli

PERÚ | Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego

CERTIFICADO DE ANALISIS FISICO QUIMICO N° 036/23

SOLICITANTE	: BRYSLYN MAROLAY OSMAYO HUANCAN
PROCEDENCIA	: UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL
TESIS	: "ISOTERMAS DE SORCION DE AGUA DE GRANOS DE QUINUA: PROPIEDADES TERMODINAMICAS"
PRODUCTO	: QUINUA PERLADA DE LA VARIEDAD BLANCA DE JULI
ANALISIS SOLICITADO	: FISICO QUIMICO
FECHA DE MUESTREO	: 03-05-23
FECHA DE RECEPCION	: 03-05-23 (LABORATORIO)
FECHA DE ENSAYO	: 03-05-23
FECHA DE EMISION	: 05-05-23

RESULTADOS:
De acuerdo al Informe de los Análisis de Laboratorio que obra en los archivos los resultados son:

DETERMINACIONES FISICO QUIMICAS

ENSAYOS	RESULTADOS	ESPECIFICACION
Humedad (%)	11.65	13 Máx.
Proteína (%)	12.35	10 Min.
Cenizas (%)	2.70	3.5 Máx.
Grasas (%)	5.00	4.0 Min.
Fibra cruda (%)	7.05	4.0 Min.
Carbohidratos %	61.25	Por diferencia
Enedrgia Kcal/100g	387.35	Por Calculo

. METODO DE ENSAYO

Humedad	NTP 205.002:1979 (Revisada el 2016) (1979) CEREALES Y MENESTRAS. Determinación del contenido de humedad. Método usual
Análisis físicos	NTP 205.062:2021. GRANOS ANDINOS. Quinua. Requisitos
Ceniza	NTP 205.004:2017. CEREALES Y MENESTRAS. Determinación de cenizas
Grasa	AOAC 2003.06-2006, Crude Fat in Feeds, Cereal Grains, and Forages
Fibra cruda	NTP 205.003:2017/CT 1:2018. CEREALES Y MENESTRAS. Determinación de la fibra cruda. CORRIGENDA TÉCNICA 1. 1ª Edición
Proteina	NTP 205.005:2018. CEREALES Y MENESTRAS. Cereales. Determinación de proteínas totales (método de Kjeldahl)

CONCLUSIÓN: La muestra analizada se encuentra dentro de los límites permisibles.

- Los resultados Fisico Quimicos y Fisico Organolépticos están **conformes**.

El presente Informe de Ensayo es válido solo para el producto, en la fecha de análisis y el documento en su papel original, tendrá validez por 90 días a partir de la fecha de emisión.

Puno, 05 de mayo del 2023

INIA - ESTACIÓN EXPERIMENTAL ILLPA - PUNO
Ing° JORGE CANAHUA ROJAS
Jefe Laboratorio de Análisis
S A L C E D O

www.inia.gob.pe

Rinconada de Salcedo s/n
Puno, Puno. Perú
T: (051) 363-812

FORMATO DE AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UNAM

Formulario de autorización para la publicación electrónica en la página web del Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Moquegua, de conformidad con la Ley N° 30035 Ley que regula el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto y Resolución de Comisión Organizadora N° 041-2022-UNAM que aprueba el Reglamento que regula el Repositorio Institucional Digital de la UNAM.

1. DATOS DEL AUTOR

Nombres y Apellidos : Brislyn Marolay Osmayo Huacán
DNI/Carnet de Extranjería/Pasaporte N° : 48412127
Correo electrónico : brislyn.oh@gmail.com
Teléfono/Celular : 994779664

2. GRADO, TITULO O ESPECIALIZACIÓN (Marque con una X)

Bachiller	Título Profesional	Magister	Doctor	Segunda Especialidad
X				

3. TIPO DE PUBLICACIÓN (Marque con una X)

a) Articulo ( )
b) Tesis de pregrado (X)
c) Tesis de Maestría ( )
d) Tesis de Doctorado ( )
e) Monografía ( )
f) Reporte de caso científico o hallazgos ( )
g) Libro ( )
h) Parte de un libro ( )
i) Revisión ( )
j) Conferencia ( )
k) Presentación ( )
l) Artículo preliminar ( )
m) Articulo antes de ser publicado ( )
n) Artículo de prensa ( )
o) Documentos internos ( )
p) Imagen ( )
q) Documentos técnicos ( )
r) Ponencias presentadas en eventos científicos (Jornada, Congreso, Simposio Conferencias, etc.) ( )
s) Informes de suficiencia profesional ( )
t) Patentes producidas por académicos/as ( )

4. TIPO DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (Marque con una X)

a) Tesis **(X)**
b) Trabajo de Investigación **( )**
c) Trabajo de suficiencia profesional **( )**
d) Trabajo académico **( )**

5. DATOS DE LA PUBLICACION

a) Título : Propiedades termodinámicas e isotermas de sorción de granos de quinua (*Chenopodium quinoa*)
b) Campo del conocimiento OCDE (Indicar el código de clasificación OCDE de la obra : https://catalogos.concytec.gob.pe/vocabulario/ocde_ford.html) : 2.11.01
c) Fecha de publicación : .....

6. DATOS DEL ASESOR:

a) Nombres y Apellidos : Jhony Mayta Hancco
b) DNI/Pasaporte/Cédula : 01325181
c) ORCID : 0000-0002-5014-4681

FIRMA : .....

DOCUMENTO DE IDENTIDAD : 48412127
NOMBRES Y APELLIDOS : Brislyn Marolay Osmayo Huacan

LICENCIAS

Licencia Estándar

Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional Digital de la UNAM.

Con la autorización de depósito da mi trabajo de investigación, otorgo a la Universidad Nacional de Moquegua, una Licencia No Exclusiva para reproducir. distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi trabajo de investigación (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios provistos por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Institucional Digital de la UNAM, Colección de Tesis, entre otros, en el Perú y en el extranjero, por el tiempo y veces que considere necesarias, y libre de remuneraciones.

En virtud de dicha Licencia, la UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA, podrá reproducir mi trabajo de investigación en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con los propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que el trabajo de investigación es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, o coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicho trabajo de investigación no infringe derechos de autor de terceras personas.

La UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA consignara el nombre del/los autor/es del trabajo de investigación, y no le hará ninguna modificación más de la permitida en la presente licencia.

Autorizo el depósito (marque con una X).

(X) **SI autorizo que se deposite inmediatamente.**

FIRMA : .....

DOCUMENTO DE IDENTIDAD : 48412127
NOMBRES Y APELLIDOS : Brislyn Marolay Osmayo Huacan
FECHA : 11 de Julio del 2023.



DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN / TESIS / TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Yo, Brislyn Marolay Osmayo Huacan,
bachiller de la Escuela Profesional de: Ingeniería Agroindustrial,
de la Universidad Nacional de Moquegua, identificado(a) con DNI Nº 48412127, autor(a) del Trabajo de Investigación / Tesis / Trabajo de suficiencia profesional, denominado:
Propiedades fisicoquímicas e isotermas de sorción de agua de granos de quinua (chenopodium quinoa)

Declaro bajo juramento que:

1. El trabajo de investigación es auténtico, siendo resultado de mi trabajo personal, que no se ha copiado, que no se ha utilizado ideas, formulaciones, citas integrales e ilustraciones diversas, sacadas de cualquier tesis, obra, artículo, memoria, etc., (en versión digital o impresa), sin mencionar de forma clara y exacta su origen o autor, tanto en el cuerpo del texto, figuras, cuadros, tablas u otros que tengan derechos de autor. Por tanto, el trabajo de investigación no ha sido plagiado total ni parcialmente.
2. El trabajo de investigación no ha sido autoplagiada, es decir, no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
3. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados y por tanto los resultados que se presentan en el trabajo de investigación constituirán aporte a la realidad investigada.

Soy consciente de que, el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, es objeto de sanciones universitarias y/o legales, por lo que asumo cualquier responsabilidad que pudiera derivarse de irregularidades en el trabajo de investigación, así como de los derechos sobre la obra presentada.

Moquegua, 12 Julio del 2023



Huella digital

Nombres y Apellidos:
DNI:

Document Information

Analyzed document	Tesis_isotermas de quinua.docx (D172055554)
Submitted	7/13/2023 6:54:00 PM
Submitted by	Jhony Mayta Hancco
Submitter email	jmaytah@unam.edu.pe
Similarity	8%
Analysis address	jmaytah.unampe@analysis.urkund.com

Sources included in the report

SA	**Universidad Nacional de Moquegua / Expediente 2 (Proyecto de investigacion) firmado.docx** Document Expediente 2 (Proyecto de investigacion) firmado.docx (D86341816) Submitted by: ogi@unam.edu.pe Receiver: ogi.unampe@analysis.urkund.com	19
SA	**INFORME FINAL-lmsv David.pdf** Document INFORME FINAL-lmsv David.pdf (D63927145)	2
SA	**ART CIENTÍFICO - Ramírez Bernardino-Env��ado por FIQ a EDUNAC.docx** Document ART CIENTÍFICO - Ramírez Bernardino-Env��ado por FIQ a EDUNAC.docx (D42044389)	1
SA	**Tesis - Isotermas de sorción de humedad de la muestra seca de tuna blanca final.docx** Document Tesis - Isotermas de sorción de humedad de la muestra seca de tuna blanca final.docx (D141799564)	2
SA	**BORRADOS TESIS_CARLOS CHOQUECOTA.pdf** Document BORRADOS TESIS_CARLOS CHOQUECOTA.pdf (D141410586)	7
SA	**1595306824_505__LUNA_MATA_MATAMOROS_MEJÍA_.docx** Document 1595306824_505__LUNA_MATA_MATAMOROS_MEJÍA_.docx (D77129382)	1
SA	**Adsorción Arina de maíz.pdf** Document Adsorción Arina de maíz.pdf (D10354725)	3
SA	**Suero de leche.pdf** Document Suero de leche.pdf (D10354726)	1
SA	**isoter4mas de adsorcion.pdf** Document isoter4mas de adsorcion.pdf (D10354636)	4
SA	**Dialnet-IsotermasDeAdsorcionYDesorcionDeAguaEnLecheDescrem-4250118.pdf** Document Dialnet-IsotermasDeAdsorcionYDesorcionDeAguaEnLecheDescrem-4250118.pdf (D10354688)	1