



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN**  
**ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA**



**CARRERA DE ALIMENTOS**

---

Modelado de la cinética de secado convectivo e isotermas de adsorción de agua de camote morado (*Ipomoea batatas*) y mashua (*Tropaeolum tuberosum*), provenientes de la provincia de Tungurahua

---

Informe Final de Integración Curricular, Modalidad Proyecto de Investigación previo a la obtención del título de Ingeniero en Alimentos, otorgado por la Universidad Técnica de Ambato, a través de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología. Este trabajo forma parte del proyecto de investigación interinstitucional entre la Universidad Técnica de Ambato y la Universidad Politécnica de Valencia: “Valorización de tubérculos andinos para la obtención de ingredientes alimentarios y su viabilidad. Concienciación de su valor nutritivo y funcional”, coordinado por Liliana Acurio, M.Sc.

**Autor:** Marcelo Fabián Vayas Velastegui

**Tutora:** Ing. M.Sc. Liliana Patricia Acurio Arcos

**Ambato-Ecuador**

**Marzo - 2023**

## **APROBACIÓN DEL TUTOR**

Ing. M.Sc. Liliana Patricia Acurio Arcos

### **CERTIFICA**

Que el presente Informe Final de Integración Curricular ha sido prolijamente revisado. Por lo tanto, autorizo la presentación de este Informe Final de Integración Curricular bajo la modalidad de Proyecto de Investigación, el mismo que responde a las normas establecidas en el Reglamento de Títulos y Grados de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

Ambato, 14 de febrero de 2023.

---

Ing. M.Sc. Liliana Patricia Acurio Arcos

C.I.180406708-8

Tutora

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Yo, Marcelo Fabián Vayas Velastegui, manifiesto que los resultados obtenidos en el presente Informe Final de Integración Curricular, modalidad Proyecto de Investigación, previo a la obtención del título de Ingeniero en Alimentos, son absolutamente originales, auténticos y personales, a excepción de las citas bibliográficas.



---

Marcelo Fabián Vayas Velastegui

C.I.180380592-6

Autor

## **APROBACIÓN DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL DE GRADO**

Los suscritos Profesores Calificadores, aprueban el presente Informe Final de Integración Curricular, modalidad Proyecto de Investigación, el mismo que ha sido elaborado de conformidad con las disposiciones emitidas por la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología, de la Universidad Técnica de Ambato.

Para constancia firman:

---

Presidente de tribunal de grado

---

Dr. Pablo Tuza Alvarado

C.I. 110406324-1

---

Mg. Lander Vinicio Pérez Aldas

C.I. 180270659-6

Ambato, 03 de marzo de 2023.

## **DERECHOS DE AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Informe Final de Integración Curricular o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Informe Final de Integración Curricular, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de éste, dentro de las reglamentaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.



---

Marcelo Fabián Vayas Velastegui

C.I.180380592-6

Autor

## **DEDICATORIA**

Este trabajo de Integración curricular va dedicado primeramente a Dios, quien ha guiado e iluminado mi vida brindándome salud y sabiduría. Dios siempre ha estado conmigo y gracias a su voluntad he logrado cumplir este sueño tan anhelado. Gracias Dios por tu bendición.

Agradezco infinitamente a toda mi familia, en especial a mi padre Ciro, quien me ha dado fortaleza para seguir adelante y motivado a ser perseverante. A mi madre Silvia, quien me ha dado ese amor y cariño preocupándose cada día por mí. Y a mis hermanos Victoria, Daniel, Layla y Michelle quienes llenan de alegría y algarabía nuestro hogar. Gracias por ayudarme durante todo este largo camino. Me han apoyado y han sido un pilar fundamental en mi vida. Siempre han hecho de mi hogar algo único y especial, lleno de amor y felicidad y me han dado la fortaleza para día a día seguir adelante. Dios les bendiga siempre.

También quiero dedicar este proyecto a una persona muy especial en mi vida, que en todo momento me ha apoyado con sus virtudes y sabiduría. Este proyecto va dedicado para la persona que más amo, Paty. Siempre ha estado de manera incondicional, ayudándome en lo que más ha podido y preocupándose por mí. Día a día me ha brindado su amor, su tiempo y con certeza puedo decir que es la razón más hermosa de toda mi vida. Siempre estuviste ahí brindándome todo el cariño con la generosidad que te caracteriza, haciendo de mis días más alegres y dándome aliento a seguir adelante para alcanzar mis metas y sueños propuestos. Eres una de las personas más nobles e importantes para mí y quien me motiva día a día a salir adelante. Te agradezco por ser como eres y quiero mi futuro contigo. Te Amo Paty.

## AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer infinitamente a la Universidad Técnica de Ambato, en especial a la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología, pues sus pasillos, aulas y libros son testigos de la formación de grandes profesionales. Además, a todos los docentes de mi querida facultad, que con paciencia, esmero y sabiduría me han inculcado conocimientos necesarios para ser una persona con ética y profesionalismo.

Expreso total gratitud hacia mi amiga tutora, la Ing. M.Sc. Liliana Patricia Acurio Arcos, a quien considero una de las mejores docentes de la Facultad, por su compromiso con la enseñanza y aprendizaje de los estudiantes. Agradezco por brindarme todos los conocimientos necesarios para llevar a cabo este proyecto de investigación y por la paciencia en el desarrollo del mismo, estando siempre pendiente de mí. Gracias por ayudarme a alcanzar esta meta.

Agradezco infinitamente a mis grandes amigos de BioSeb Organics, en especial a Fernanda, Francisco, Paola, Gabriela, Gabriel, Mercy, Diana, Manuel, Fausto, Alejandro, Alexandra, Dennise, Myrian y Jairo. Son personas muy especiales para mí, pues día a día me han ofrecido de manera incondicional su amistad. Cada una de ellas están llenas de valiosas virtudes y sabiduría. En especial quiero agradecer a Gabriel Curipallo, un gran amigo, que durante todo este tiempo me ha inculcado mucho conocimiento y me ha tenido paciencia. No solo ha hecho de mí un gran profesional, sino una gran persona. Gracias BioSeb, los llevo en el corazón, porque más que una empresa somos una familia.

Quiero agradecer también a mis amigos Alexandra y Ariel, quienes me han brindado su amistad y apoyo. Gracias por todo, sin ustedes esto no hubiera sido posible. Agradezco a mis buenos amigos de la Facultad: Vane, Andrés, Victoria, Gabriela, Nicolás, Belén, Evelyn, Carolina, Cristian, Santiago, Henry, Dayanna y Darwin, por ser parte de mi proceso de crecimiento como profesional. A Nicole, mi mejor amiga, gracias por tu amistad tan pura e incondicional. A Pame mi buena amiga de Erangel, que siempre ha cuidado de mí. A Andrea y Michelle, quienes me han acompañado desde el colegio. A mis fieles amigos Carol, Vicki, Brigitte, Cynthia, Ariel, Christian, Carla, Ricardo, Kevin, Erika, Diana, Axel, Melanie, Andrés y Jeremy, quienes me vieron crecer.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

Aprobación del tutor	ii
Declaración de autenticidad	iii
Aprobación de los miembros del tribunal de grado	iv
Derechos de autor	v
Dedicatoria	vi
Agradecimiento	vii
Glosario de términos	xvi
Resumen	xvii
Abstract	xviii
CAPÍTULO I	1
<b>MARCO TEÓRICO</b>	<b>1</b>
1.1. Antecedentes investigativos	1
1.1.1. Justificación	1
1.1.2. Fundamentación científica – técnica	3
1.1.3. Camote morado ( <i>Ipomoea batatas</i> (L.) Lam.)	5
a. Características del cultivo	6
b. Condiciones agroecológicas para el desarrollo del camote morado ( <i>Ipomoea batatas</i> (L.) Lam.)	7
c. Variaciones del camote	8
d. Composición nutricional del camote morado ( <i>Ipomoea batatas</i> (L.) Lam.)	8
1.1.4. Mashua ( <i>Tropaeolum tuberosum</i> Ruiz & Pav)	11
a. Características del cultivo de la mashua ( <i>Tropaeolum tuberosum</i> Ruiz & Pav)	12
b. Condiciones agroecológicas de la mashua ( <i>Tropaeolum tuberosum</i> Ruiz & Pav)	13



c.	Variaciones de la mashua _____	13
d.	Composición nutricional de la mashua ( <i>Tropaeolum tuberosum</i> Ruiz & Pav) _____	15
1.1.5.	Cinética e isothermas de alimentos _____	16
a.	Puntos críticos en las isothermas de alimentos _____	17
b.	Tipos de isothermas de alimentos _____	18
1.2.	OBJETIVOS _____	21
1.2.1.	Objetivo general _____	21
1.2.2.	Objetivos específicos _____	21
CAPÍTULO II _____		23
<b>METODOLOGÍA _____</b>		<b>23</b>
2.1.	Materia prima _____	23
2.2.	Secado _____	23
2.3.	Humedad _____	23
2.4.	Modelado matemático de la cinética de secado _____	23
2.5.	Isothermas de adsorción _____	24
2.6.	Cálculo de la humedad de equilibrio _____	25
2.7.	Modelado de las isothermas de adsorción _____	26
CAPÍTULO III _____		28
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN _____</b>		<b>28</b>
3.1.	Humedad y $a_w$ del Camote morado ( <i>Ipomoea batatas</i> (L.) Lam.) _____	28
3.2.	Humedad y $a_w$ de la Mashua ( <i>Tropaeolum tuberosum</i> Ruiz & Pav) _____	28
3.3.	Cinética de secado del Camote morado ( <i>Ipomoea batatas</i> (L.) Lam.) _____	30
3.4.	Cinética de secado de la Mashua ( <i>Tropaeolum tuberosum</i> Ruiz & Pav) _____	37
3.5.	Isothermas de adsorción del Camote morado ( <i>Ipomoea batatas</i> (L.) Lam.) _____	42
3.5.1.	Parámetros de la isoterma de adsorción del camote morado ( <i>Ipomoea batatas</i> (L.) Lam.) _____	43
3.6.	Isothermas de adsorción de la Mashua ( <i>Tropaeolum tuberosum</i> Ruiz & Pav) _____	45

3.6.1. Parámetros de la isoterma de adsorción de la Mashua ( <i>Tropaeolum tuberosum</i> Ruiz & Pav)	45
3.7. Comparación de las isotermas de camote morado ( <i>Ipomoea batatas</i> (L.) Lam.) y mashua ( <i>Tropaeolum tuberosum</i> Ruiz & Pav)	46
CAPÍTULO IV	48
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>48</b>
4.1. Conclusiones	48
4.2. Recomendaciones	49
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Variedades y sitios de cultivo de las raíces y tubérculos andinos.....	4
<b>Tabla 2.</b> Clasificación Taxonómica del camote morado ( <i>Ipomoea batatas</i> (L.) Lam.).....	6
<b>Tabla 3.</b> Descripción morfológica del camote morado ( <i>Ipomoea batatas</i> (L.) Lam.).....	7
<b>Tabla 4.</b> Condiciones agroecológicas para el desarrollo del camote morado ( <i>Ipomoea batatas</i> (L.) Lam.).....	8
<b>Tabla 5.</b> Variaciones del camote .....	9
<b>Tabla 6.</b> Composición nutricional del camote morado ( <i>Ipomoea batatas</i> (L.) Lam.).....	10
<b>Tabla 7.</b> Clasificación Taxonómica de la mashua ( <i>Tropaeolum tuberosum</i> Ruiz & Pav) .....	11
<b>Tabla 8.</b> Descripción morfológica de la mashua ( <i>Tropaeolum tuberosum</i> Ruiz & Pav).	12
<b>Tabla 9.</b> Condiciones agroecológicas de la mashua ( <i>Tropaeolum tuberosum</i> Ruiz & Pav) .....	13
<b>Tabla 10.</b> Variaciones de la mashua.....	14
<b>Tabla 11.</b> Composición química y nutricional de la mashua ( <i>Tropaeolum tuberosum</i> Ruiz & Pav) .....	15
<b>Tabla 12.</b> Puntos críticos en las isotermas de alimentos.....	18
<b>Tabla 13.</b> Ecuaciones por utilizar para el modelado de la cinética de secado .....	24
<b>Tabla 14.</b> Sales utilizadas como factor higroscópico .....	25
<b>Tabla 15.</b> Ecuaciones para el modelado de las isotermas de adsorción.....	26
<b>Tabla 17.</b> Modelos matemáticos de la cinética de secado del camote morado ( <i>Ipomoea batatas</i> (L.) Lam.).....	32
<b>Tabla 18.</b> Parámetros de los modelos matemáticos de las curvas de secado del Camote morado ( <i>Ipomoea batatas</i> (L.) Lam.).....	35
<b>Tabla 19.</b> Modelos matemáticos de la cinética de secado de la Mashua ( <i>Tropaeolum tuberosum</i> Ruiz & Pav) .....	39
<b>Tabla 20.</b> Modelos matemáticos aplicados en las curvas de secado de la Mashua ( <i>Tropaeolum tuberosum</i> Ruiz & Pav) .....	41
<b>Tabla 21.</b> Parámetros de la isoterma de adsorción del camote morado ( <i>Ipomoea batatas</i> (L.) Lam.) .....	44

<i>Tabla 22. Parámetros de la isoterma de adsorción de la mashua (Tropaeolum tuberosum Ruiz &amp; Pav)</i> .....	46
--	----

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> <i>Isotermas de adsorción y desorción.</i> .....	16
<b>Figura 2.</b> <i>Isoterma de adsorción de tipo I correspondiente al agar-agar</i> .....	19
<b>Figura 3.</b> <i>Isoterma de adsorción de tipo II a 25 °C correspondiente a granos de arroz cocinados rápidamente</i> .....	20
<b>Figura 4.</b> <i>Isoterma de adsorción tipo III a 32 °C correspondiente a panela granulada</i> .....	21
<b>Figura 5.</b> <i>Modelado matemático de la cinética de secado del camote morado (Ipomoea batatas (L.) Lam.)</i> .....	31
<b>Figura 6.</b> <i>Humedad experimental vs. humedad predicha con el modelo de Page</i> .....	36
<b>Figura 7.</b> <i>Modelado matemático de la cinética de secado de la Mashua (Tropaeolum tuberosum Ruiz &amp; Pav)</i> .....	38
<b>Figura 8.</b> <i>Humedad experimental vs. humedad predicha con el modelo de Thomson</i> ....	42
<b>Figura 9.</b> <i>Isotermas de adsorción del camote morado (Ipomoea batatas (L.) Lam.)</i> .....	43
<b>Figura 10.</b> <i>Isotermas de adsorción de la Mashua (Tropaeolum tuberosum Ruiz &amp; Pav)</i> .....	45
<b>Figura 11.</b> <i>Comparación de las isotermas de camote morado (Ipomoea batatas (L.) Lam.) y mashua (Tropaeolum tuberosum Ruiz &amp; Pav)</i> .....	47

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

<b>Gráfica 5a)</b> Datos experimentales del camote morado ( <i>Ipomoea batatas</i> (L.) Lam.) _____	31
<b>Gráfica 5b)</b> Modelado de Newton del camote morado ( <i>Ipomoea batatas</i> (L.) Lam.) _____	31
<b>Gráfica 5c)</b> Modelo de Page del camote morado ( <i>Ipomoea batatas</i> (L.) Lam.) _____	31
<b>Gráfica 5d)</b> Modelo de Page modificado del camote morado ( <i>Ipomoea batatas</i> (L.) Lam.) _____	31
<b>Gráfica 5e)</b> Modelo de Henderson y Pabis del camote morado ( <i>Ipomoea batatas</i> (L.) Lam.) _____	31
<b>Gráfica 5f)</b> Modelo logarítmico del camote morado ( <i>Ipomoea batatas</i> (L.) Lam.) _____	31
<b>Gráfica 5g)</b> Modelo de Thomson del camote morado ( <i>Ipomoea batatas</i> (L.) Lam.) _____	31
<b>Gráfica 5h)</b> Modelo de Fick del camote morado ( <i>Ipomoea batatas</i> (L.) Lam.) _____	31
<b>Gráfica 7a)</b> Datos experimentales de la mashua ( <i>Tropaeolum tuberosum</i> Ruiz & Pav) _____	38
<b>Gráfica 7b)</b> Modelado de Newton de la mashua ( <i>Tropaeolum tuberosum</i> Ruiz & Pav) _____	38
<b>Gráfica 7c)</b> Modelo de Page de la mashua ( <i>Tropaeolum tuberosum</i> Ruiz & Pav) _____	38
<b>Gráfica 7d)</b> Modelo de Page modificado de la mashua ( <i>Tropaeolum tuberosum</i> Ruiz & Pav) _____	38
<b>Gráfica 7e)</b> Modelo de Henderson y Pabis de la mashua ( <i>Tropaeolum tuberosum</i> Ruiz & Pav) _____	38
<b>Gráfica 7f)</b> Modelo logarítmico de la mashua ( <i>Tropaeolum tuberosum</i> Ruiz & Pav) _____	38
<b>Gráfica 7g)</b> Modelo de Thomson de la mashua ( <i>Tropaeolum tuberosum</i> Ruiz & Pav) _____	38
<b>Gráfica 7h)</b> Modelo de Fick de la mashua ( <i>Tropaeolum tuberosum</i> Ruiz & Pav) _____	38

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<i>Ecuación 1: Modelo de Newton</i> .....	24
<i>Ecuación 2: Modelo de Page</i> .....	24
<i>Ecuación 3: Modelo de Page modificado</i> .....	24
<i>Ecuación 4: Modelo de Henderson y Pabis</i> .....	24
<i>Ecuación 5: Modelo logarítmico</i> .....	24
<i>Ecuación 6: Modelo de Thomson</i> .....	24
<i>Ecuación 7: Modelo de Fick</i> .....	24
<i>Ecuación 8: Humedad de equilibrio en base seca</i> .....	25
<i>Ecuación 9: Modelo BET – Humedad de equilibrio</i> .....	26
<i>Ecuación 10: Modelo BET – Humedad de equilibrio y actividad de agua</i> .....	26
<i>Ecuación 11: Modelo GAB – Humedad de equilibrio</i> .....	26
<i>Ecuación 12: Modelo GAB – Humeadd de equilibrio y actividad de agua</i> .....	26
<i>Ecuación 13: Error medio estimado</i> .....	27
<i>Ecuación 14: Desvío medio relativo</i> .....	27

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

**R<sup>2</sup>**: Coeficiente de determinación

**SE**: Error medio estimado

**P(%)**: Desvío medio relativo

**GAB**: Van den Berg & Bruin

**BET**: Brunauer, Emmett y Teller

**pH**: Potencial de hidrógeno

**ppm**: Partes por millón

**ELN**: Extracto libre de nitrógeno

**Kcal**: Kilocalorías

**A<sub>w</sub>**: Actividad de agua

**W**: Watts

**s**: Segundos

**h**: Horas

**°C**: Grados Celsius

**We**: Humedad de equilibrio

**B.S.**: Base seca

**Po**: Peso inicial

**W<sub>0</sub>** = Humedad inicial

**ΔP**: Variación de peso (Equilibrio y peso inicial)

**W<sub>o</sub>**: Humedad en la monocapa

**C**: Constante relacionada con el calor de sorción en la monocapa

**K**: Constante relacionada con el calor de sorción en las multicapas

**n**: Número de observaciones

**°Brix**: Cociente total de materia seca disuelta en un líquido

**MR**: Razón de humedad

**a, b, c y n**: Coeficientes de ajuste característicos del alimento

**k**: Constante de secado

**D<sub>eff</sub>**: Difusividad efectiva

**t**: Tiempo

**C**: Constante de energía, constante de Guggenheim

**K**: Calor de adsorción de la multicapa



## RESUMEN

En el presente trabajo se correlacionaron los datos de la cinética de secado del camote morado (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) y la mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pav) con modelos matemáticos referenciales. Se emplearon diferentes modelos matemáticos para predecir la cinética de secado de estos tubérculos. Siendo el modelo de Page el que mejor se ajustó a los datos experimentales del camote morado, con un coeficiente de determinación de 0,992. Mientras que la mashua se adaptó al modelo de Thomson con un coeficiente de determinación de 0,998. Por otro lado, se construyeron isotermas de adsorción mediante el empleo de sales higroscópicas con  $a_w$  de entre 0,1178 a 0,8012. Las isotermas de adsorción fueron de tipo II y permitieron predecir la  $w_0$ , humedad óptima a la cual se aseguraría su estabilidad y conservación. Las curvas fueron evaluadas mediante los modelos matemáticos de GAB y BET. En la harina de mashua el modelo de BET fue el que mejor describe su isoterma de adsorción con un coeficiente de determinación de 0,997. Mientras que el camote morado se adaptó de mejor manera al modelo GAB con un coeficiente de determinación de 0,992.

**Palabras claves:** Page, Thomson, Fick, GAB, BET.

## ABSTRACT

The present work correlated data on the drying kinetics of purple sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) and mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pav) with referential mathematical models. Different mathematical models were used to predict the drying kinetics of these tubers. The Page model was the one that best fitted the experimental data of purple sweet potato, with a coefficient of determination of 0.992. While the mashua was adapted to the Thomson model with coefficient of determination of 0.998. On the other hand, adsorption isotherms were built using hygroscopic salts with  $a_w$  between 0.1178 and 0.8012. The adsorption isotherms were of type II and allowed to predict the  $w_0$ , optimal humidity at which its stability and conservation would be ensured. The curves were evaluated using the GAB and BET mathematical models. In mashua flour, the BET model was the one that best describes its adsorption isotherm with a coefficient of determination of 0.997. In contrast, purple sweet potato was better adapted to the GAB model with a coefficient of determination of 0.992.

**Keywords:** Page, Thomson, Fick, GAB, BET.

# CAPÍTULO I

## MARCO TEÓRICO

### 1.1. Antecedentes investigativos

#### 1.1.1. Justificación

El camote morado (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) es un tubérculo que se desarrolla bajo el suelo, sus estructuras vegetativas son altamente nutricionales y comestibles. Posee una alta cantidad de agua, nutrientes, vitaminas y minerales, convirtiéndolo en un alimento muy completo. Este tubérculo es cada vez más utilizado en la industria alimenticia, pues sus compuestos bioactivos y antioxidantes inciden de manera positiva en la salud de los consumidores (Bovell, 2007).

De manera similar, la mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pav.) es un tubérculo que en su composición goza de gran cantidad de carbohidratos, proteínas y vitaminas. Además, presenta una cantidad considerable de calcio, fósforo y hierro. Posee altas concentraciones de antocianina que brinda una buena capacidad antioxidante (Arteaga, Chacón, Samamé, Valverde, & Paucar, 2022; Barrera, Tapia, & Monteros, 2004).

De acuerdo con Benítez (2022), anualmente en el mundo se desperdician 1300 millones de toneladas de alimentos destinados para el consumo humano, correspondiendo entre el 40 a 50 % a los tubérculos, raíces, hortalizas, frutas y semillas. Por tal razón, es primordial buscar métodos que favorezcan la conservación y vida útil de estos alimentos.

El secado es una operación unitaria que se fundamenta en la eliminación de agua. La eliminación de ésta favorece la conservación de los alimentos, evitando su deterioro por acción de diferentes reacciones bioquímicas y por la proliferación de microorganismos (Cerron & Junchaya, 2019). Según Lizarazo (1983), el secado favorece la conservación del alimento e implica una reducción considerable de peso y volumen.

Por otro lado, el modelado matemático de la operación de secado es fundamental para estudiar el comportamiento de los alimentos y además permite optimizar este proceso. Por tal motivo, los datos de pérdida de peso de los alimentos determinados durante el secado, se debe correlacionar con modelos que permita cuantificar, predecir y describir todo este proceso.

El análisis del modelado matemático para curvas de secado parte de la ley de enfriamiento de Newton y la segunda ley de difusión de Fick (Salcedo, Contreras, García, & Fernandez, 2016). En muchos alimentos, en especial en los tubérculos, el modelado matemático empírico de Wang y Singh (1978), se ajusta muy bien a los datos experimentales. Sin embargo, el modelo de Midilli, Kucuk, y Yapar (2002), suele ser más exacto para procesos de secado (C. García, Torregroza, & Sierra, 2016).

Además, en el proceso de secado se deben considerar la temperatura y humedad relativa del medio. Cuando la humedad relativa de equilibrio y la actividad de agua ( $a_w$ ) sufren una mínima perturbación, puede conllevar a cambios o al inicio de procesos de modificación en los alimentos. Una isoterma de adsorción es la relación dada entre la actividad de agua con el contenido de humedad de un material, a temperatura constante. Ésta se obtiene cuando el proceso de equilibrio parte de una muestra húmeda o seca, y se equilibra con la humedad del aire, indicando la manera en la que el agua es ligada al sistema. Las isotermas de adsorción permiten evaluar las condiciones de almacenamiento mediante la aplicación de modelos matemáticos, analizando variables como la temperatura y humedad relativa, con lo cual, de manera controlada, se puede controlar el almacenamiento del producto deshidratado (Choque et al., 2018).

Las isotermas de adsorción se suelen ajustar a los modelos de GAB (Guggenheim – Anderson - de Boer) y BET (Brunauer – Emmet – Teller). Ambos se basan en los principios de monocapa, pero el modelo de GAB introduce un grado de libertad adicional que le otorga gran versatilidad. Sin embargo, los modelos mencionados no siempre son compatibles con el fenómeno de sorción y por consecuencia se debe analizar qué modelo presenta el mejor ajuste hacia los alimentos estudiados (Ramírez-Miranda, Cruz, Vizcarra-Mendoza, & Anaya-Sosa, 2014).

Bajo el contexto previamente planteado, la presente investigación busca generar una alternativa que permita evaluar el proceso de secado convectivo y las condiciones de almacenamiento del camote morado (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) y mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pav), con el objetivo de establecer un proceso de conservación que evite que se pierdan sus propiedades nutricionales.

### **1.1.2. Fundamentación científica – técnica**

El surgimiento de la agricultura es quizás uno de los procesos más revolucionarios en la historia de la humanidad (Martínez, 2009). Hace miles de años el hombre, consiguió uno de sus logros más representativos, la domesticación de las plantas, un proceso resultante de la combinación de la evolución natural y la selección empírica (Hernández, Vargas, Muruaga, Hernández, & Netzahualcóyotl, 2013).

Las raíces y tubérculos andinos (RTAs), son cultivos tradicionales, que ocupan nichos con variabilidad ecológica y cultural, además de roles diversos en los sistemas de cultivos (Espinosa, Vaca, Abad, & Crissman, 1997). La producción de RTAs se centra en la ecorregión andina del Ecuador, ya que en ninguna otra parte del país se presenta las condiciones adecuadas (Seminario, 2004). Esto se debe a que la zona andina, tiene un mayor nivel de humedad, albergando así una gran variedad de cultivos alimenticios (Espinosa et al., 1997).

El máximo éxito agronómico de la agricultura andina es sin lugar a duda, la papa (*Solanum tuberosum* L. o *Solanum tuberosum* subsp. *andigena* (Juz. & Bukasov) Hawkes), que ahora se cultiva y consume en todo el mundo. Luego de la papa, en cuanto a la extensión de la superficie cultivada se encuentra el camote o la batata (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.).

Entre las menos difundidas fuera de los Andes, figura un conjunto notable de otras especies que incluyen la: achira (*Canna edulis* Ker Gawl.), melloco (*Ullucus tuberosus* Caldas), mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pav), oca (*Oxalis tuberosa* Molina), papa china (*Colocasia esculenta* (L.) Schott), zanahoria blanca (*Arracacha esculenta* DC.), entre otros (Tropicos, 2023). En la Tabla 1, se puede observar la asombrosa colección de otras especies de diferentes familias botánicas.

**Tabla 1.** Variedades y sitios de cultivo de las raíces y tubérculos andinos

<b>Nombre Común</b>	<b>Especie</b>	<b>Familia</b>	<b>Variedades</b>	<b>Zona de cultivo</b>	<b>Referencia</b>
Zanahoria Blanca	<i>Arracacia xanthorrhiza</i> Bancr.	Apiaceae Lindl.	Blanca, morada y amarilla	Sur de Ecuador, la meseta de Bogotá	Barrera et al. (2004)
Achira	<i>Canna edulis</i> Ker Gawl.	Cannaceae Juss.	Blanca y morada	Desde México hasta el norte de Chile.	NRC (1989)
Ashipa	<i>Pachyrhizus tuberosus</i> (Lam.) Spreng.	Fabaceae Lindl.	-	A lo largo del litoral peruano	INIA (2009)
Miso, mauka	<i>Mirabilis expansa</i> (Ruiz & Pav.) Standl.	Nyctaginaceae Juss.	Uno nativo de raíz amarilla y flores blancas, y otro introducido de raíz blanca y flores magenta	Perú, Bolivia y Ecuador	Seminario (2004)
Maca	<i>Lepidium meyeri</i> Walp.	Brassicaceae Burnett	Trece variedades que van del blanco al negro	Crece en los Andes centrales del Perú	Gonzales, Villaorduña, Gasco, Rubio, y Gonzales (2014)
Yacón	<i>Polymnia sonchifolia</i> Poepp.	Asteraceae Bercht. y J. Presl	Qello llakjum Checche llakjum Yurac llakjum Yuac checche Culli llakjum	Ecuador, Perú, Bolivia y el norte de Argentina	Tapia, Fries, Mazar, y Rosell (2007).
Melloco, ulluco	<i>Ullucus tuberosus</i> Caldas	Basellaceae Raf.	En Bolivia: Janco, Quello Laram, Huila, Chiteque. En Puno: Chejje, Amarillo Rosada, Roja pigmentada. En Cajamarca: Camotera, Amarilla, Verde pavón, Sarampión, Grosella.	Desde Venezuela hasta el norte de Argentina	Tapia et al. (2007).
Mashua	<i>Tropaeolum tuberosum</i> Ruiz & Pav	Tropaeolaceae Juss. ex CC.	Occe año, yana año, puca año, yurac año, ckello año o sapallu año, checche año y muru año	Perú, Ecuador, Bolivia Y Colombia	Constance (1968)
Oca	<i>Oxalis tuberosa</i> Molina	Oxalidaceae R. Br.	Se reconocen tres formas básicas: Alba, flava y roseo violácea a negra	En los Andes de Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú y Bolivia	Tapia et al. (2007).

**Elaborado por:** Vayas (2023)

Los alimentos descritos en la Tabla 1 son escasos en la mesa de las familias, debido principalmente al alza de precios a causa de la pérdida y desperdicios de alimentos (PDA). Los efectos de las PDA son variados, ya sea, por condiciones de producción deficiente, falta de asistencia técnica o financiamiento, restricciones técnicas y financieras, pero principalmente por una incorrecta instalación de almacenamiento y refrigeración.

Según la Gustavsson, Cederberg, Sonesson, Otterdijk, y Meybeck (2012), se estima que, mundialmente, se pierde o desperdicia aproximadamente 1.300 millones de toneladas anuales de alimentos. Además, la ONU (2022) señala que los alimentos desperdiciados el año anterior podrían haber alimentado a 1.260 millones de personas.

Las PDA que se generan en América Latina y el Caribe se producen mayoritariamente en las primeras etapas de la cadena de valor de los alimentos, lo cual es una amenaza para los pequeños agricultores y los consumidores de menor poder adquisitivo, puesto que, al reducirse los ingresos de los productores, aumenta el precio de venta final (FAO, OPS, WFP, & UNICEF, 2019).

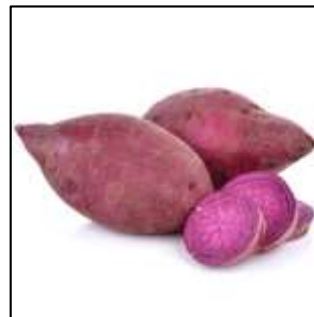
Este trabajo se ha enfocado principalmente en el análisis de la cinética de secado e isoterma de adsorción, para la determinación de parámetros que permitan llevar a cabo una mejor conservación de tubérculos como el camote morado (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) y la mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pav). Estos tubérculos poseen altos valores nutricionales y son ampliamente comercializados en la ciudad de Ambato ya que se cultivan en los diferentes cantones de la provincia de Tungurahua.

### **1.1.3. Camote morado (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.)**

En la Tabla 2 se observa la clasificación taxonómica del Camote morado (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.). En la actualidad es de gran relevancia el identificar adecuadamente la especie del tubérculo, debido a que, por la distribución geográfica u otras variables ambientales, existen diferentes taxones subordinados y especímenes.

**Tabla 2.** Clasificación taxonómica del camote morado (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.).

Parámetro	Descripción
Grupo	Dicotiledónea
Clase	Equisetopsida C. Agardh
Subclase	Magnoliidae Novák ex Takht.
Superorden	Asteranae Takht.
Orden	Solanales Juss. ex Bercht. y J. Presl
Familia	Convolvulaceae Juss.
Género	<i>Ipomoea</i> L.
Especie	<i>Ipomoea batatas</i> (L) Lam.



**Fuente:** Tropicos (2023)

### a. Características del cultivo

En la Tabla 3 se aprecia las características que presentan las partes de la planta de camote morado (*Ipomoea batatas* (L) Lam).

De manera general, la morfología de cada parte favorece la diferenciación y clasificación de cada cultivo. En la raíz, el camote suele presentar tubérculos de diferente coloración, siendo este el principal factor a considerarse para su clasificación entre las diferentes especies existentes.



**Tabla 3.** Descripción morfológica del camote morado (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.).

<b>Parte</b>	<b>Descripción</b>
Raíz:	Tuberosas que presentan gran variación de coloración de la pulpa y de la cáscara.
Tallo:	Consistencia herbácea, predomina la forma cilíndrica. La longitud oscila entre 15 a 20 cm en las variedades enanas; mientras que en las variedades comunes o rastreras pueden alcanzar hasta los 4 m. De acuerdo con el grosor se clasifican en delgados (menos de 4 mm), medianos (entre 4 a 6 mm) y gruesos (más de 6 mm).
Hojas:	El tamaño de las hojas varía con la edad de la guía, la variedad y fertilidad del suelo.
Flores:	Las flores están agrupadas en inflorescencias tipo cima, con raquis de 5 a 20 cm de largo y dos brácteas en su extremo que a veces toman aspecto foliar.
Cáliz:	Los botones florales tienen colores desde verde pálido hasta púrpura intenso. Se deben considerar las siguientes partes: pedúnculo floral: de 2 hasta 15 mm.
Fruto:	Es una cápsula redondeada de 3 a 7 mm de diámetro, con apículo terminal. En estado inmaduro presenta colores que varían desde el verde pálido hasta el púrpura. Cada cápsula tiene de 1 a 4 semillas.

**Fuente:** Vidal (2007)

**b. Condiciones agroecológicas para el desarrollo del camote morado (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.).**

Las condiciones agroecológicas son el conjunto de factores que favorecen el desarrollo del camote morado (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.). En la Tabla 4 se observa que existe un amplio rango de altitud al que se desarrolla este tubérculo. Sin embargo, la temperatura es un delimitante que hace que se desarrolle en lugares fríos, como en la región andina.

Por otra parte, el pH del suelo debe ser ácido o acercarse a la neutralidad; mientras que para la cosecha se debe esperar un tiempo de 2 a 4 meses, dependiendo de cada especie (Tapia et al., 2007; Vidal 2007).

**Tabla 4.** Condiciones agroecológicas para el desarrollo del camote morado (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.).

<b>Parámetro</b>	<b>Descripción</b>
Altitud:	0 - 2500 msnm.
Temperatura:	12 - 15°C
pH suelo:	4,2 – 7,7
Cosecha:	2 a 4 meses

**Fuente:** Vidal (2007) y Tapia et al. (2007)

### **c. Variaciones del camote**

Los factores agroecológicos juegan un papel importante en el desarrollo del camote morado. La mínima perturbación en uno de estos parámetros genera un cambio morfológico. Debido a esto, en la Tabla 5 se muestran 15 variedades diferentes. La variedad de Camote morado Ecuador presenta un tubérculo de coloración morada, con protuberancias irregulares y con la pulpa de una coloración morada y blanquecina, siendo parecida al marmoleo que presenta la carne. Esta variedad es muy similar a la del Camote Guayaco morado. No obstante, se diferencia del Camote morado Brasileño debido a que en su pulpa presenta una coloración morada en su totalidad, sin los tonos crema característicos de la variedad ecuatoriana. Además es un camote de forma más regular.

Cabe mencionar que la mayoría de las variedades se encuentran a lo largo de toda la región interandina, corroborando que las condiciones agroecológicas son propicias para su desarrollo (Cobeña, Cañarte, García, Cárdenas, & Guzmán, 2017).

### **d. Composición nutricional del camote morado (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.).**

El Camote morado Ecuador presenta una humedad relativamente menor en comparación de otras especies, siendo superado por la variedad del Camote Guayaco morado y por la Morado Brasil. Sin embargo, el camote Morado Ecuador posee un índice de grasas, proteínas fibra y minerales superior a la mayoría de las otras variedades (Tabla 6).

**Tabla 5.** Variaciones del camote

<b>Variiedad</b>	<b>Morfología</b>	<b>Localización</b>
INA	El color de la <b>hoja</b> madura es verde, mientras que la inmadura es mayormente morada. La forma de la <b>raíz</b> es obovada. El color predominante de la <b>piel</b> es anaranjado. En <b>la pulpa</b> predomina el color anaranjado oscuro.	Perú- Ecuador
Morado Ecuador	El color de la <b>hoja</b> madura es verde con borde morado, y la inmadura es ligeramente morada. La forma de la <b>raíz</b> es redonda, con defectos tipo piel de cocodrilo. El color predominante de la <b>piel</b> es morado y la <b>pulpa</b> es morada con marmoleo blanquecino.	Perú- Ecuador
CC 89-213	El color de la <b>hoja</b> madura es verde, mientras que la inmadura es verde con bordes morados. La forma de la <b>raíz</b> es oblonga, con defectos superficiales. El color de la <b>piel</b> es crema con una intensidad pálida. La <b>pulpa</b> es crema.	Perú
Jonathan	El color de la <b>hoja</b> madura es verde, mientras que la inmadura es mayormente morada. La forma de la <b>raíz</b> es oblonga. El color predominante de la <b>piel</b> es anaranjado pálido. En <b>la pulpa</b> predomina el color anaranjado pálido.	Perú
Zapallo	El color de la <b>hoja</b> madura es verde con borde morado, mientras que la inmadura es ligeramente morada. La forma de la <b>raíz</b> es redonda. El color de la <b>piel</b> es anaranjado. En <b>la pulpa</b> predomina los colores anaranjado y amarillo.	Perú
Jewell)	El color de la <b>hoja</b> madura es verde, mientras que la inmadura es verde con borde morado. La <b>raíz</b> es largo-elíptica. El color predominante de la <b>piel</b> es anaranjado con intensidad oscura. En <b>la pulpa</b> predomina el color anaranjado.	Estados Unidos, Perú
Mohc	El color de la <b>hoja</b> madura es verde, mientras que la inmadura es amarilla-verde con borde morado. La forma de la <b>raíz</b> largo-oblonga. El color predominante de la <b>piel</b> es crema pálido. En <b>la pulpa</b> predomina el color amarillo pálido.	Perú
Toquecita	El color de la <b>hoja</b> madura es verde, mientras que la inmadura es verde con morado. La <b>raíz</b> es largo-elíptica. El color predominante de la <b>piel</b> es anaranjado con intensidad intermedia. En <b>la pulpa</b> predomina el color anaranjado.	Perú, Ecuador
Satsumahikari (Japón)	El color de la <b>hoja</b> madura es verde, mientras que la inmadura es morada. La forma de la <b>raíz</b> largo-obovada. El color predominante de la <b>piel</b> es rojo-morado con intensidad intermedia. En <b>la pulpa</b> predomina el color amarillo con intensidad intermedia	Japón, Perú
Philipino	El color de la <b>hoja</b> madura es verde, mientras que la inmadura es verde con borde morado. La forma de la <b>raíz</b> largo elíptica. El color predominante de la <b>piel</b> es crema. En <b>la pulpa</b> predomina el color crema, el color secundario es rojo-morado.	Perú, Ecuador
Morado Brasil (Brasil)	El color de la <b>hoja</b> madura es verde y la inmadura es verde con borde morado. La <b>raíz</b> es elíptica. El color predominante de la <b>piel</b> es morado oscuro. En <b>la pulpa</b> predomina el color morado, el color secundario morado cubriendo la mayor parte de la corteza.	Brasil, Ecuador
Guayaco Morado	El color de la <b>hoja</b> madura es verde, mientras que la inmadura es verde con borde morado. La forma de la <b>raíz</b> es largo irregular. El color predominante de la <b>piel</b> es morado pálido. En <b>la pulpa</b> predominan los colores morado pálido y el blanco.	Manabí- Ecuador
Tena	El color de la <b>hoja</b> madura es verde, mientras que la inmadura es verde con borde morado. La forma de la <b>raíz</b> es largo irregular o curvado. El color predominante de la <b>piel</b> es crema. En <b>la pulpa</b> predomina el color anaranjado intermedio.	Napo- Ecuador
Crema	El color de la <b>hoja</b> madura es verde, mientras que la inmadura es verde con borde morado. La forma de la <b>raíz</b> es ovada, con hendiduras superficiales. El color de la <b>piel</b> es anaranjado intermedio. En <b>la pulpa</b> predomina los colores anaranjado y crema.	Manabí- Ecuador
Anaranjado	<b>Hoja</b> madura verde e inmadura verde con borde morado. Forma de la <b>raíz</b> ovalada con hendiduras superficiales. El color predominante de la <b>piel</b> es anaranjado con intensidad oscura. En <b>la pulpa</b> predomina el color es anaranjado intermedio.	Manabí- Ecuador

**Fuente:** Cobeña et al. (2017)

**Tabla 6.** Composición nutricional del camote morado (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.).

<b>Variedades</b>	<b>Humedad</b>	<b>Cenizas</b>	<b>*ELN</b>	<b>Grasas</b>	<b>Proteína</b>	<b>Fibra</b>	<b>Ca</b>	<b>P</b>	<b>Mg</b>	<b>K</b>	<b>Na</b>	<b>Cu</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>Zn</b>
<b>Unidades</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>ppm</b>	<b>ppm</b>	<b>ppm</b>	<b>ppm</b>
INA	77,45	5,40	4,77	6,82	1,8	3,76	0,09	0,02	0,04	1,71	0,06	7	108	5	142
Morado Ecuador	72,06	5,19	2,76	15,08	2,0	2,91	0,15	0,02	0,06	2,04	0,03	6	71	10	180
CC 89-213	72,74	3,83	13,66	2,57	0,8	6,4	0,13	0,02	0,02	1,51	0,03	5	69	15	13
Jonathan	75,07	4,82	14,51	0,97	1,9	2,73	0,09	0,03	0,05	1,77	0,06	5	78	10	39
Zapallo	75,82	4,96	8,46	0,16	1,6	4,63	0,11	0,02	0,04	1,78	0,04	5	87	11	160
Jewell	74,31	3,60	15,70	6,66	1,6	2,5	0,11	0,02	0,05	1,54	0,03	5	77	8	41
Mohc	69,34	4,85	20,82	0,48	1,9	2,61	0,08	0,02	0,05	2,00	0,03	6	44	7	17
Toquecita	75,39	3,69	3,23	13,92	1,1	2,67	0,09	0,02	0,04	1,54	0,03	6	86	6	53
Satsumahikari	72,10	4,31	15,75	3,10	1,6	3,14	0,11	0,02	0,05	1,43	0,04	3	77	16	79
Philipino	76,53	6,38	10,29	1,58	1,9	3,32	0,10	0,02	0,05	2,20	0,07	5	65	14	31
Morado Brasil	77,85	7,37	5,03	1,13	3,3	5,32	0,08	0,02	0,05	1,87	0,06	5	87	14	194
Guayaco Morado	72,84	4,11	15,81	1,25	2,8	3,19	0,06	0,02	0,04	1,92	0,03	5	60	5	72
Tena	69,59	3,30	11,69	10,51	1,6	3,31	0,16	0,02	0,05	1,69	0,02	4	70	13	35
Crema	72,09	5,12	0,70	16,63	1,8	3,66	0,21	0,02	0,06	1,50	0,03	5	54	9	12
Anaranjado	71,85	3,52	16,32	0,83	3,3	4,12	0,14	0,02	0,05	1,26	0,06	5	48	11	11

\*ELN: Extracto libre de Nitrógeno

**Fuente:** Cobeña et al. (2017)

#### 1.1.4. Mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pav)

La mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pav) es uno de los tubérculos menos conocidos y consumidos en el Ecuador. De acuerdo con Samaniego (2010), la producción de la mashua ha disminuido de manera considerable. Sin embargo, aún existen provincias como Tungurahua, Chimborazo, Cotopaxi, Cañar, Azuay y Bolívar, donde aún siguen siendo cultivados, comercializados y consumidos gracias a la intervención del INIAP y la FAO, quienes brindan un aporte técnico de siembra y su agro-industrialización. Además, es importante considerar su clasificación taxonómica pues existen diferentes subespecies y variedades (Tabla 7).

**Tabla 7.** Clasificación Taxonómica de la mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pav)

Parámetro	Descripción
Grupo	Dicotiledónea
Clase	Equisetopsida C. Agardh
Subclase	Magnoliidae Novák ex Takht.
Superorden	Rosanae Takht.
Orden	Bromhead de Brassicales
Familia	Tropaeolaceae Juss. ex CC.
Género	<i>Tropaeolum</i> L.
Especie	<i>Tropaeolum tuberosum</i> Ruiz & Pav.



**Fuente:** Tropicos (2023)

**a. Características del cultivo de la mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pav)**

De acuerdo con Pacheco (2015), existen pocos estudios de la diversidad de la mashua, debido a que este cultivo no suele ser muy comercial o a su vez, existen problemas al momento de la conservación.

La mashua presenta una gran diversidad de formas silvestres siendo difícil identificarlas y determinar un centro de origen. Sin embargo, el lugar de domesticación se halla comprendido entre Ecuador y Bolivia. En la Tabla 8, se evidencia la morfología de la mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pav). Dicha morfología se adapta perfectamente a los especímenes cultivados en la provincia de Tungurahua y comercializados en los principales mercados.

**Tabla 8.** Descripción morfológica de la mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pav).

<b>Parte</b>	<b>Descripción</b>
Raíz	Presenta tubérculos alargados y cónicos de entre 5 a 15 cm, con yemas profundas y además presenta de acuerdo con la variedad, diferentes coloraciones como el amarillo, blanco, gris, morado, rojo y negro. Su textura suele ser arenosa.
Tallo	Son postrados con follaje compacto cuando es madura.
Hojas	Alternas de 3-5 lóbulos, con nervaduras pronunciadas, brillantes en el haz y más claras en el revés.
Flores	Son solitarias y zigomorfas. La corola posee 5 pétalos y el número de estambres es variable, entre 5 a 13.
Cáliz	Los botones florales tienen colores característicos, desde verde pálido hasta púrpura intenso. Se deben considerar el pedúnculo floral que va de 2 y 3 mm hasta 15 mm.
Fruto	Esquizocarpo, formado de tres mericarpios uni-seminados indehiscentes.

**Fuente:** Samaniego (2010) y Villacrés, Quelal, y Álvarez (2016)

## b. Condiciones agroecológicas de la mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pav)

La mashua es un tubérculo andino y por tal razón se desarrolla bajo ciertos parámetros ambientales y agroecológicos. Las provincias de Tungurahua, Cotopaxi y Chimborazo son las 3 principales provincias productoras de mashua en el Ecuador. La provincia de Tungurahua se ubica en el centro del país, en la región sierra, siendo partícipe de la cordillera de los Andes. Se encuentra a una altura de 2620 m.s.n.m., con una temperatura promedio de 15°C. Sin embargo, existen zonas con mayor altitud, como el cantón Mocha que se encuentra a 3272 m.s.n.m. y presenta un clima frío con temperaturas promedios de 10 a 15 °C (Paredes, 2016). Además, colinda con otros cantones como Ambato, Cevallos, Tisaleo y Quero, que presentan una altitud elevada brindando condiciones propicias para su cultivo y desarrollo.

Según Reinoso (2020), los suelos de los páramos de Tamboloma, pertenecientes a la parroquia de Pilahuín, ubicada en el cantón Ambato, presentan un pH ácido de 5,64. Por tal motivo en este tipo de suelo se podría dar el desarrollo óptimo de la mashua.

**Tabla 9.** Condiciones agroecológicas de la mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pav)

Parámetro	Descripción
Altitud:	3000 a 4000 msnm.
Temperatura:	8-11 °C
pH suelo:	5,3-7,5
Cosecha:	6-9 meses

**Fuente:** Villacrés et al. (2016)

## c. Variaciones de la mashua

En la Tabla 10, se aprecia las diferentes variedades existentes de acuerdo con la morfología. La mashua presenta diferentes formas y colores, pero siempre su superficie presenta líneas diagonales y arrugas, lo cual la hace un tubérculo cilíndrico irregular.

De acuerdo con Samaniego (2010), en Ecuador se hallan distribuidos diferentes ecotipos de mashua. Sin embargo, el ecotipo mayormente cultivado en el país es la mashua amarilla tardía, conocida también como Mashua Zapallo por sus características morfológicas y atributos fisicoquímicos y nutricionales.

**Tabla 10.** Variaciones de la mashua

<b>Variedad</b>	<b>Morfología</b>	<b>Localización</b>
<i>Tropaeolum tuberosum</i> var. Pilife	De tubérculos blancos, delgados, de ápice violáceo y ojos o yemas provistos de pelos delgados.	Colombia.
<i>Tropaeolum tuberosum</i> var. Lineomaculata	De tubérculos amarillos profusamente manchados y con líneas oscuras.	Perú y Bolivia.
Mashua amarilla	De tubérculos amarillos con tonalidades púrpuras y puntos densos irregularmente distribuidos.	Pasco – Perú.
Mashua saga	De tubérculos amarillos con tonalidades púrpura y rojizas, con bandas y puntos irregularmente distribuidos sobre todo el tubérculo.	Pasco – Perú.
Mashua ojo negro	De tubérculos oscuros con tonos púrpuras rojizos o púrpuras grisáceo, presenta puntos negros.	Pasco – Perú.
Mashua zapallo	De tubérculos amarillos, con tonalidades púrpura y rojizos o purpuras grisáceos.	Pasco – Perú

**Fuente:** Tapia et al. (2007) y Manrique et al. (2013)



**d. Composición nutricional de la mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pav)**

De acuerdo con Ortega, Kliebenstein, Arbizu, Ortega, y Quiros (2006), la mashua en su composición presenta glucosinolatos, los cuales son metabolitos secundarios que le brindan al tubérculo un sabor picante y olor sulfuroso, que favorecen al rompimiento de los isotiocianatos, los cuales presentan acciones antitumorales y biopesticidas.

**Tabla 11.** Composición nutricional de la mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pav)

Composición	Parámetro	Valor	Unidad
Química	Humedad	88,7	%
	Cenizas	4,81	%
	Extracto etéreo	4,61	%
Nutricional	Proteínas	9,17	%
	Fibra	5,86	%
	Azúcar total	42,81	%
	Carbohidratos totales	75,4	%
	Azúcares reductores	35,83	%
	Almidón	46,92	%
	Vitamina C	77,37	mg/100 g
	Calcio	0,006	%
	Fósforo	0,32	%
	Magnesio	0,11	%
	Sodio	0,044	%
	Potasio	1,99	%
	Cobre	9	ppm
	Hierro	42	ppm
	Manganeso	7	ppm
Zinc	48	ppm	
Energía	440	Kcal/100g	

*Nota:* Los Datos fueron expresados en base seca de la muestra entera.

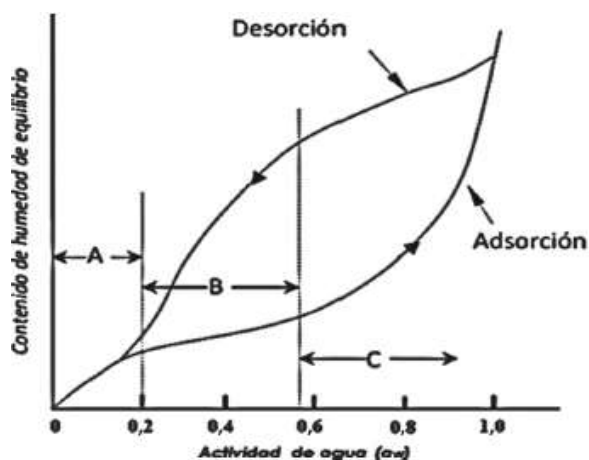
**Fuente:** Villacrés et al. (2016)

### 1.1.5. Cinética e isothermas de alimentos

Los alimentos deben caracterizarse física y químicamente para cumplir con ciertas regulaciones legales. Cada país tiene sus propias normas donde se establecen límites máximos o mínimos permisibles de los constituyentes de los alimentos. La caracterización también incluye conocer condiciones de procesamiento, calidad, inocuidad y estabilidad (Alvarado, 2012).

Uno de los análisis primordiales es la humedad, debido a que juega un rol importante en la estabilidad de los microorganismos, pues incide directamente sobre su crecimiento y supervivencia. Además, la humedad influye sobre la textura, sabor y apariencia de los alimentos; es decir, sobre el procesamiento de los alimentos que incluye su transporte, almacenamiento y acondicionamiento del agua para operaciones tales como la molienda, mezclado, secado o extrusión (Alvarado, 2012).

La adsorción – desorción se basa en la manera en la que se lleva a cabo una experimentación, partiendo de alimentos secos o alimentos húmedos respectivamente para identificar ciertas relaciones de equilibrio. En la actualidad el término sorción engloba estos fenómenos, pues el alimento o producto dependiendo de la cantidad inicial de humedad deberá absorber agua de la atmósfera o ceder la misma durante el proceso de equilibrio (Barreiro & Sandoval, 2006).



**Figura 1.** Isothermas de adsorción y desorción.

**Fuente:** Choque et al. (2018)

Las isotermas de alimentos suelen dividirse en 3 regiones. En la región A o monocapa, las moléculas de agua suelen estar energicamente ligadas a sitios específicos del sólido, los cuales suelen contener a los grupos carbonil y amino de proteínas e hidroxil de polisacáridos, que a su vez se encuentran unidos por puentes de hidrógeno y enlaces ión – dipolo. Por consecuencia, su agua no se encuentra disponible como solvente y no colabora enzimática o microbiológicamente.

Por otro lado, en la región B el agua suele encontrarse en multicapas, presente en pequeños capilares y se halla menos duramente unida. Y finalmente, en la región C se presenta de manera estructural, y aquí puede estar disponible a manera de soluciones, en grandes capilares o libre (Choque et al., 2018).

Las isotermas de sorción de humedad relacionan el contenido de humedad de equilibrio con la actividad de agua a presión y temperatura constante, y pueden ser descritas por ciertos modelos matemáticos y ecuaciones que implican varios parámetros (Krokida & Maroulis, 2001). Por consecuencia la isoterma de un alimento relaciona de manera gráfica a temperatura constante, la actividad termodinámica del agua o humedad relativa del aire con el contenido de agua en equilibrio (Alvarado, 2012).

En ciertos alimentos que presentan una  $a_w$  mayor a 0,4, la humedad tiende a aumentar, pues se eleva la actividad acuosa de las moléculas de agua, causando una menor estabilidad y ruptura en sitios de unión entre el material alimenticio y el agua, disminuyendo finalmente el contenido de humedad de monocapa (Alvarado, 2012).

#### **a. Puntos críticos en las isotermas de alimentos**

Existen ciertos puntos críticos que permiten determinar ciertos valores mínimos o máximos de ocurrencia de cambios físicos o reacciones químicas. Estos puntos vienen dados por intervalos de actividad de agua (Alvarado, 2012).

**Tabla 12.** Puntos críticos en las isotermas de alimentos

<b><math>a_w</math></b>	<b>Descripción</b>
0,2 – 0,3	La humedad de monocapa representa la humedad óptima para alimentos deshidratados, debido a que alcanzan un tiempo mayor de vida útil. Sobre la humedad de monocapa se incrementa las reacciones químicas que requieran una fase acuosa, mientras que bajo la monocapa se incrementa la velocidad de oxidación de lípidos
0,35 – 0,45	Se suelen dar cambios físicos y están controlados por temperatura de transición vítrea con la cual se identifica el contenido crítico de humedad en donde se inician estos cambios. Desde este punto el material suele estar en un estado cristalino, duro y brillante, mientras que sobre este tiende a ser suave, amorfo y opaco.
0,4 – 0,5	Los materiales suaves se tornan duros y empiezan a secarse. Estos cambios también se relacionan con la temperatura de transición vítrea. Si un alimento posee ciertos dominios de actividad acuosa se determina el equilibrio por transferencia de masa desde la parte mayor hacia la menor actividad acuosa.
0,6	En este punto suele darse el crecimiento de microorganismos. Por lo general en un intervalo de 0,6 a 0,75 de $a_w$ crecen mayoritariamente hongos.
0,6 – 0,8	Este intervalo corresponde a alimentos con una humedad intermedia y además suele destacarse porque la velocidad de reacciones químicas deteriora las que necesitan una fase acuosa, aumentan hasta un punto máximo y posteriormente disminuyen a humedades menores.
0,85	A partir de este intervalo, se da el crecimiento de bacterias patógenas y por consecuencia se acelera los daños por microorganismos. Alimentos con $a_w$ mayores a 0,85 son potencialmente perjudiciales para la salud humana debido a que son difíciles de conservar.

**Fuente:** Alvarado (2012)

### **b. Tipos de isotermas de alimentos**

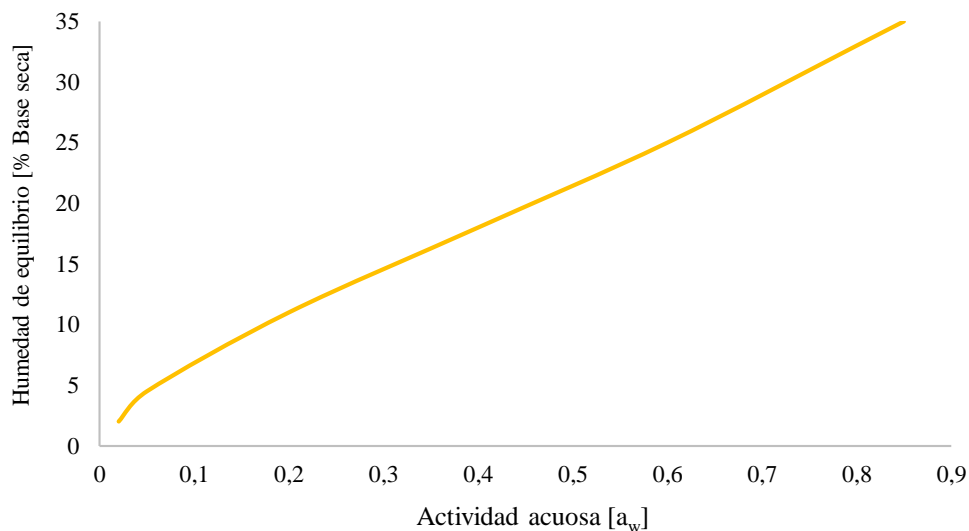
Las isotermas vienen dadas por la relación entre la cantidad de sustancia adsorbida por un adsorbente y la concentración o presión de equilibrio a temperatura constante.

Según Labuza (1968), las isothermas indican la cantidad de agua en estado estacionario contenida por los sólidos de un alimento, como función de una actividad acuosa o de la humedad relativa de almacenamiento a temperatura constante.

Las isothermas también dependen de la composición química del alimento y su estructura física. Además, si es un alimento que requiera ciertos ingredientes, se deberá considerar el estado físico químico de los mismos. En los alimentos es poco común presenciar una forma lineal, de hecho, la forma más común es la forma sigmoidea.

Existen 3 tipos de isothermas observadas en materiales alimenticios (Alvarado, 2012).

Las isothermas de tipo I suelen ser poco comunes y típicas de agentes suavizantes, pues en su composición gozan de altas cantidades de agua cuando sus actividades de agua son bajas. Suelen absorber agua mediante quimiosorción hasta sitios específicos que aumentan la energía de ligación. Cada sitio de enlace suele estar ocupado por agua y hay un leve aumento de actividad acuosa cuando se incrementa la humedad, pues los poros al estar llenos no se hinchan y los solutos no se disuelven (Alvarado, 2012).

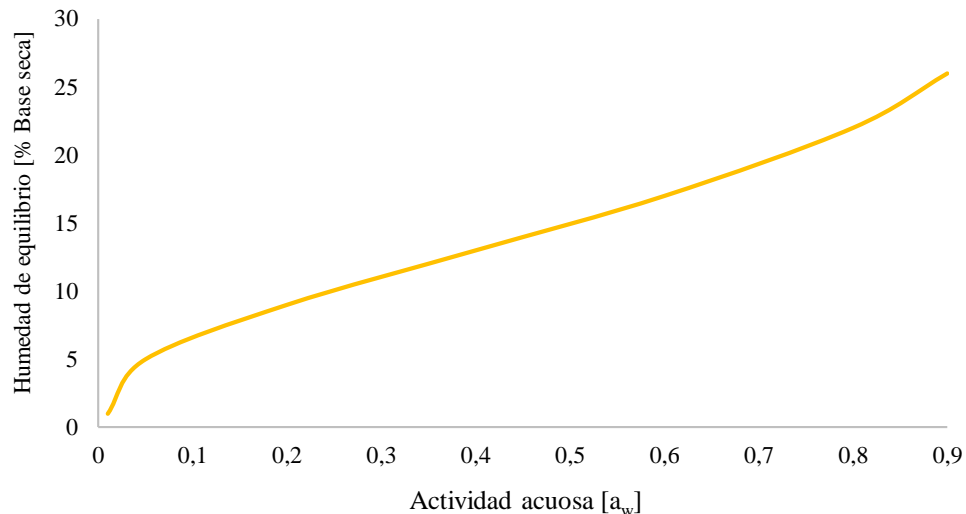


**Figura 2.** Isotherma de adsorción de tipo I correspondiente al agar-agar

**Fuente:** Duckworth (1972)

Las isotermas de tipo II suelen ser las más comunes en alimentos, estas poseen una forma sigmoidea, debido a que se presentan desviaciones en la forma, siendo resultado del efecto aditivo de la ley de Raoult, teniendo efectos de capilaridad e interacciones superficiales del agua.

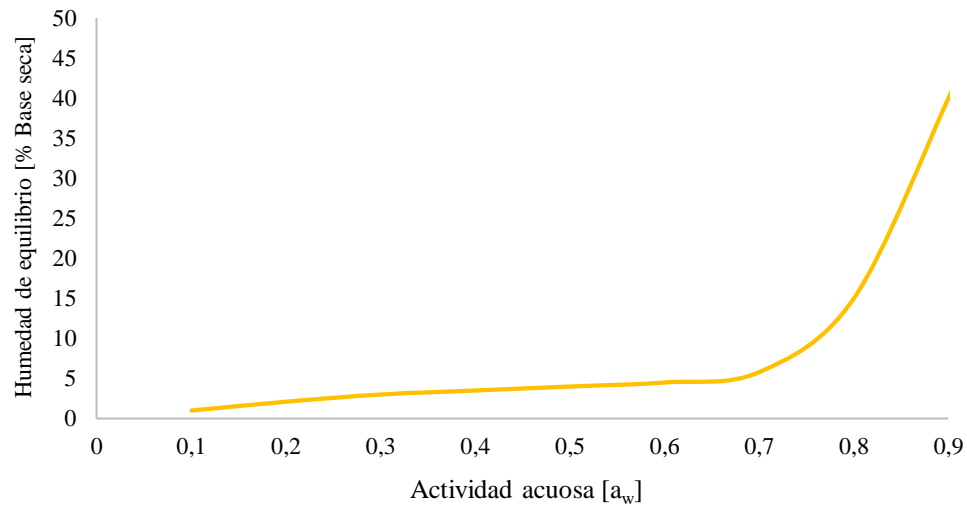
Por lo general, se distinguen 2 curvaturas, la primera en un rango de  $a_w$  de 0,2 – 0,4 y la segunda entre 0,6 - 0,7, siendo resultado del cambio de magnitud debido a la separación de los efectos físicos de los químicos. En la parte baja de estas isotermas suele existir un ordenamiento en multicapas y el llenado de poros pequeños, mientras que en la parte alta se da un hinchamiento llenando poros grandes y disolución de solutos (Alvarado, 2012).



**Figura 3.** Isoterma de adsorción de tipo II a 25 °C correspondiente a granos de arroz cocinados rápidamente

**Fuente:** Karon y Adams (1949)

Finalmente, las isotermas de tipo III son representadas por alimentos en los cuales se hallen en sus componentes altas cantidades de compuestos cristalinos como sales y azúcares. Suelen ganar humedad lentamente hasta el punto en donde los cristales empiezan a disolverse en el agua adsorbida en la superficie del cristal, en donde este punto suele ser conocido como punto deliquescente (Alvarado, 2012).



**Figura 4.** Isoterma de adsorción tipo III a 32 °C correspondiente a panela granulada

**Fuente:** Lara, Poaquiza, y Acuña (2008).

## 1.2. OBJETIVOS

### 1.2.1. Objetivo general

- Modelado de la cinética de secado convectivo e isotermas de adsorción de agua de camote morado (*Ipomoea batatas*) y mashua (*Tropaeolum tuberosum*), provenientes de la provincia de Tungurahua.

### 1.2.2. Objetivos específicos

- Construir la curva de cinética de secado convectivo de camote morado (*Ipomoea batatas*) y mashua (*Tropaeolum tuberosum*), provenientes de la provincia de Tungurahua.
- Correlacionar los datos de la curva de cinética de secado convectivo con modelos matemáticos referenciales.

- Construir la isoterma de adsorción de agua de la harina obtenida posterior al proceso de secado convectivo, utilizando soluciones salinas saturadas como factores higroscópicos.
- Correlacionar los datos de la isoterma de adsorción con modelos matemáticos referenciales.



## **CAPÍTULO II**

### **METODOLOGÍA**

#### **2.1. Materia prima**

La materia prima se adquirió en los diferentes cantones de la provincia de Tungurahua. Al llegar al laboratorio se realizó un control de calidad visual y se seleccionaron aquellas matrices que gozaron de las mejores características. Posteriormente se lavaron con corriente de agua fría y se secaron al sol por 5 días, contados a partir del día de cosecha.

#### **2.2. Secado**

Las matrices se pelaron y se cortaron en rodajas de aproximadamente 2 mm de espesor. Estas rodajas se sometieron a un pretratamiento con un microondas (750 W/20 s).

Posteriormente las rodajas se secaron en un deshidratador por convección forzada (Gander mtn – CD 160) a 65°C durante 8 h. Se tomaron valores de la variación de peso de las muestras cada 10 minutos, durante las 2 primeras horas, y posteriormente cada 30 minutos.

#### **2.3. Humedad**

El contenido de humedad se determinó empleando una balanza de humedad marca Ken (modelo MLS 50-3).

#### **2.4. Modelado matemático de la cinética de secado**

Para analizar la cinética de secado, los datos obtenidos durante el secado se acoplaron a los modelos de Newton (Ecuación 1), Page (Ecuación 2), Page modificado (Ecuación 3), Henderson y Pabis (Ecuación 4), Logarítmico (Ecuación 5), Thomson (Ecuación 6) y Fick (Ecuación 7), citados por Montes et al. (2008) y Ocampo (2006) (Tabla 13).

**Tabla 13.** Ecuaciones por utilizar para el modelado de la cinética de secado

<b>Modelo</b>	<b>Ecuación</b>	
Newton	$MR = Exp(-kt)$	Ecuación 1
Page	$MR = Exp(-kt^n)$	Ecuación 2
Page modificado	$MR = Exp(-kt)^n$	Ecuación 3
Henderson y Pabis	$MR = a[Exp(-kt)]$	Ecuación 4
Logarítmico	$MR = a[Exp(-kt)] + c$	Ecuación 5
Thomson	$MR = 1 + at + bt^2$	Ecuación 6
Fick	$MR = \frac{X - X_e}{X_o - X_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)^2} Exp\left[-(2n-1)^2 \frac{\pi^2 D_{eff}}{L^2} \times t\right]$	Ecuación 7

## 2.5. Isotermas de adsorción

Se empleó el método gravimétrico estático propuesto por Spiess y Wolf (1987) y Wolf, Spiess, y Jung (1985), citado por Agama (2018).

Recipientes con 2 g de muestra se colocaron en depósitos herméticos con humedad relativa controlada (entre 11 y 80% mediante el uso de sales sobresaturadas – Tabla 13) a  $20^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ . Las sales actuaron como factores higroscópicos, cediendo o retirando humedad al ambiente, hasta alcanzar el estado de equilibrio másico (humedad relativa constante) (Acurio, Casa, Igual, Martínez, & Camacho, 2013).

Los valores de actividad de agua reportados en la Tabla 13 se determinaron utilizando el medidor de actividad de agua AquaLab (modelo 4TE).

**Tabla 14.** Sales utilizadas como factor higroscópico

Nomenclatura	Sal	( <i>a<sub>w</sub></i> )
LiCl	Cloruro de Litio	0,1178
CH <sub>3</sub> CO <sub>2</sub> K	Acetato de potasio	0,2982
MgCl <sub>2</sub>	Cloruro de magnesio	0,3425
NaBr	Bromuro de sodio	0,5732
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Sulfato de amonio	0,8012

**Fuente:** Labuza (1984), citado por Aguilera y Alvarado (2001).

Las muestras se pesaron por 2 meses, primero cada 15 días y después cada 30 días, en una balanza analítica de precisión 0,0001 g marca Ohaus (modelo Adventure-Pro), hasta llegar a peso constante ( $\Delta P = \pm 0,0005$  g).

Las soluciones salinas utilizadas fueron de grado reactivo y el método de preparación fue el reportado por Spiess y Wolf (1987).

## 2.6. Cálculo de la humedad de equilibrio

La humedad de equilibrio  $w_e = \left( \frac{g_{H_2O}}{g_{Materia\ seca}} \right)$  se calculó por diferencia de peso, mediante la Ecuación 8.

$$w_{e(B.S.)} = \frac{P_0 \times w_0 + \Delta P}{P_0 \times (1 - w_0)} \quad \text{Ecuación 8}$$

**Donde:**

$w_e$  = Es la humedad en equilibrio ( $g_{H_2O}/g_{materia\ seca}$ )

$P_0$  = Es el peso inicial de la muestra

$w_0$  = Es la humedad inicial de la muestra

$\Delta P$  = Es la variación de peso (equilibrio y peso inicial).

## 2.7. Modelado de las isotermas de adsorción

Los datos experimentales se ajustaron a dos modelos empleados para caracterizar el fenómeno de sorción de agua en alimentos: BEt y GAB (Tabla 15) (Chirife & Iglesias, 1978).

**Tabla 15.** Ecuaciones para el modelado de las isotermas de adsorción

Modelo	Ecuación	N° Ec.
	$w_e = \frac{w_0 \times C \times a_w}{(1 - a_w) \times (1 + (C - 1) \times a_w)}$	Ecuación 9
Brunauer, Emmett y Teller (BET)	$\frac{a_w}{(1 - a_w) \times w_e} = \frac{1}{w_0 \times C} + \frac{C - 1}{w_0 \times C} \times a_w$	Ecuación 10
	<b>Donde:</b> $w_e$ : Es la humedad de equilibrio (g <sub>agua</sub> /g <sub>sólidos secos</sub> ) $w_0$ : Es la humedad en la monocapa (g <sub>agua</sub> /g <sub>sólidos secos</sub> ) $a_w$ : Es la actividad de agua $C$ : constante relacionada con el calor de sorción	
	$w_e = \frac{w_0 \times C \times K \times a_w}{(1 - (K \times a_w)) \times (1 + (C - 1) \times (K \times a_w))}$	Ecuación 11
Van den Berg & Bruin (GAB)	$\frac{a_w}{w_e} = \frac{1}{w_0 \times C \times K} + \frac{C - 2}{w_0 \times C} \times a_w + \frac{K \times (1 - C)}{w_0 \times C \times} \times a_w^2$	Ecuación 12
	<b>Donde:</b> $w_e$ : Es la humedad de equilibrio (g <sub>agua</sub> /g <sub>sólidos secos</sub> ) $w_0$ : humedad en la monocapa (g <sub>agua</sub> /g <sub>sólidos secos</sub> ) $a_w$ : Es la actividad de agua $C$ : Es la constante relacionada con el calor de sorción en la monocapa $K$ : Es la constante relacionada con el calor de sorción en las multicapas	

**Fuente:** Chirife y Iglesias (1978), citado por Agama (2018)

La calidad de ajuste de los modelos propuestos se evaluó por medio del coeficiente de determinación ( $R^2$ ), el que debe ser superior a 0,85 para conseguir un buen modelado de los datos experimentales. Además se evaluó el error medio estimado (Ecuación 13) y el porcentaje de desvío medio relativo (Ecuación 14) (Montes Montes et al., 2008).

$$SE = \sqrt{\left(\frac{\sum(V_{exp} - V_p)^2}{GRL}\right)} \quad \text{Ecuación 13}$$

**Donde**

**SE**= Error medio estimado

**V<sub>exp</sub>**= Humedad experimental

**V<sub>p</sub>**= Humedad predicho (calculado a partir de cada modelo)

**GRL**= Número de observaciones

$$P = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|V_{exp} - V_p|}{V_{exp}} \quad \text{Ecuación 14}$$

**Donde**

**P**= Porcentaje de desvío medio relativo

**V<sub>exp</sub>**= Humedad experimental

**V<sub>p</sub>**= Humedad predicho (calculado a partir de cada modelo)

**n**= Número de observaciones

## CAPÍTULO III

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Humedad y $a_w$ del Camote morado (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.)

El camote morado (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) utilizado en el presente estudio posee una humedad de 66,7% (Tabla 16), valor que se puede considerar superior frente al camote morado cultivado en México y Centroamérica (60,8%). Sin embargo, presenta una humedad inferior si se compara con otras especies como el camote amarillo (72,44%) y blanco (68,54%) (Fierros & García, 2019). Esta diferencia de humedad puede deberse a las diferentes condiciones de cultivo de cada una de las muestras (Pinto, 2014).

Por otro lado, Albán y Figueroa (2011), señalan que este tubérculo presenta un pH de  $6,41 \pm 0,1$  y una actividad de agua ( $a_w$ ) de 0,984 a 30°C. Mientras que la harina de camote morado presenta una  $a_w$  de  $0,387 \pm 0,007$ , y una humedad del  $7,05\% \pm 0,16$  (Tabla 16). Esto evidencia que la harina de este tubérculo es ligeramente ácida y presenta una baja actividad de agua, lo que evita la proliferación de microorganismos.

De acuerdo con Salazar et al. (2018), el camote morado presenta valores de °Brix que oscilan entre un rango de 7 a 12°. Por ende, la elaboración de alimentos con camote morado puede tener amplia relevancia, pues al contener un índice glucémico bajo, libera lentamente el azúcar hacia el torrente sanguíneo, ayudando así en la estabilización de la glucosa en la sangre (Vidal, Zaucedo, & Ramos, 2018).

#### 3.2. Humedad y $a_w$ de la Mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pav)

La mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pav) es un tubérculo que posee una alta cantidad de almidón y un adecuado balance de nutrientes, vitaminas y minerales. De acuerdo con Rivera (2010), la mashua posee un porcentaje de humedad del 73,2%. Sin embargo, el tubérculo comercializado en la provincia de Tungurahua presentó un valor de 84,41 % (Tabla 16). Esta diferencia se relaciona con las condiciones agroecológicas de cultivo de cada matriz.

Según González, Moreno, y López (2020), la harina de mashua posee una humedad promedio de 10,46%, próximo al 7,14% que presentó la harina obtenida en el presente estudio. Este valor favorecerá la conservación, pues evitará la proliferación de bacterias, hongos y moho. Huatuco (2020), indica que los hongos alimentarios requieren una humedad entre el 10 y el 18% para su desarrollo.

La mashua en estado fresco posee un pH de 6,65 y una  $a_w$  de 0,989, estos valores permiten la proliferación de hongos y otros microorganismos perjudiciales para la salud del consumidor. Sin embargo, la harina obtenida a partir de este tubérculo presentó una  $a_w$  de 0,445, un valor que se puede considerar bajo, considerando que los microorganismos proliferan a  $a_w$  superiores a 0,6. Además, este valor bajo de  $a_w$  contribuye a retardar otras reacciones de degradación como la oxidación de las grasas, pues dicha reacción se da con valores de  $a_w$  de entre 0,6 a 0,7 (Puerta, 2013).

De acuerdo con Acosta y Castro (2020), la mashua posee de  $7,4 \pm 0,1^\circ$ Brix; sin embargo la materia prima utilizada en el presente estudio presentó  $7,6^\circ$ Brix. La mashua recién cultivada posee un sabor amargo, razón por la que normalmente se la expone al sol para favorecer la transformación bioquímica de polisacáridos como almidón y azúcares complejos en azúcares simples tales como la fructosa y glucosa (Arteaga et al., 2022; Cornejo, 2016).

**Tabla 16.** Humedad y actividad de agua del Camote morado (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) y Mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pav), antes y después del proceso de secado

Estado	Propiedad	Camote morado ( <i>Ipomoea batatas</i> (L.) Lam.)	Mashua ( <i>Tropaeolum tuberosum</i> Ruiz & Pav)
Fresco	Humedad %	66,66	84,41
	Actividad de agua	0,983	0,989
	pH	6,39	6,65
	$^\circ$ Brix	11,67	7,67
Seco	Humedad %	6,71	7,14
	Actividad de agua	0,384	0,445

### 3.3. Cinética de secado del Camote morado (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.)

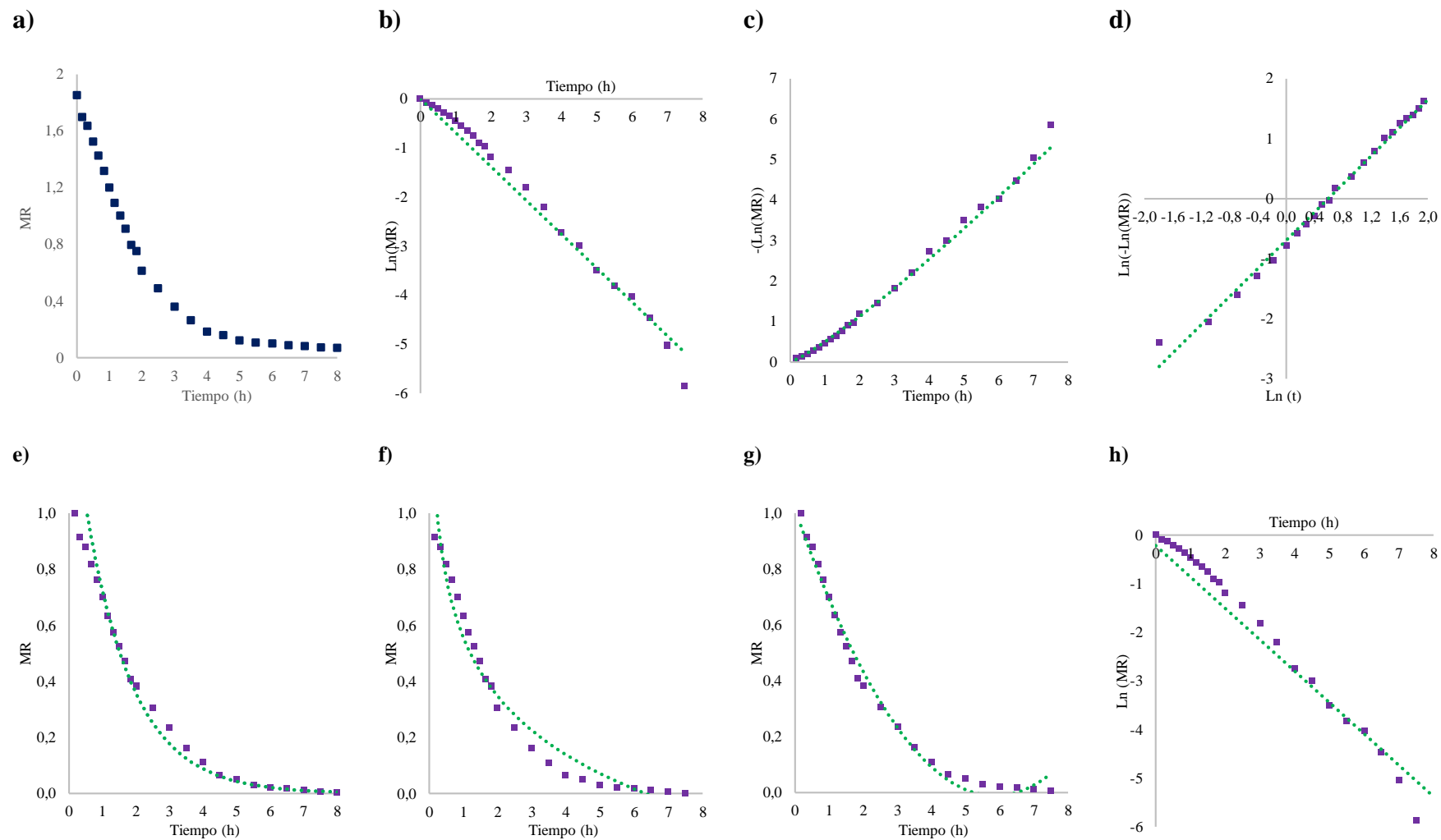
La Figura 5.a. evidencia la pérdida de humedad del camote morado (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) frente al tiempo. Durante las primeras 3,5 horas se observa un descenso drástico de humedad, con una tasa de pérdida de 0,087 kg H<sub>2</sub>O/kg s.s.×h. A partir de este tiempo se observó una tendencia completamente diferente, con una tasa de pérdida de humedad de 0,007 kg H<sub>2</sub>O/kg s.s.×h. Este cambio de comportamiento puede relacionarse con la pérdida del agua libre del camote morado, pues al ser la forma de agua predominante en su estructura, se libera con facilidad durante las primeras horas del secado (E. García & Fernández, 2012).

Los datos obtenidos en la cinética de secado se ajustaron a los modelos matemáticos descritos en la Tabla 13. En las Figuras 5.b. a 5.h. se muestra las tendencias resultantes del ajuste con cada modelo. Se denota que el modelo matemático que mejor se adapta a los datos experimentales es el modelo de Page con un coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>) de 0,9923 (Tabla 17). Por otro lado, el modelo que menos se ajusta es el de Fick con un coeficiente de determinación del 0,9611. Sin embargo, cabe resaltar que todos los modelos evidenciaron valores de R<sup>2</sup> superiores a 0,95. Aunque el coeficiente de determinación R<sup>2</sup> en primera instancia señale un adecuado ajuste, debe tomarse a consideración otro tipo de variables para obtener conclusiones válidas sobre el grado de ajuste en relación al conjunto de observaciones (Rodríguez, 2005).

El error medio estimado (SE) mide cuanto se apartan los valores experimentales de la media. Se considera que mientras más pequeño sea este valor, los datos experimentales se adaptan de mejor manera al modelo; y un valor elevado en este parámetro indica que existe una dispersión muy notoria (Montes et al., 2008). En este caso se observó que el modelo con un valor más bajo de SE fue el de Page (0,02), seguido por los modelos de Thomson (0,116), Newton (0,134) y Logarítmico (0,929) (Tabla 18).

Además, se analizó el desvío medio relativo (P), que señala la dispersión de datos de un conjunto respecto a su media (Montes et al., 2008). Este parámetro evidencia que el modelo de Page (0,026) es el que mejor se ajusta, seguido de los modelos de Newton (0,528), Thomson (3,94), y Logarítmico (4,232).





a) Datos experimentales; b) Modelado de Newton; c) Modelo de Page; d) Modelo de Page modificado; e) Modelo de Henderson y Pabis; f) Modelo logarítmico; g) Modelo de Thomson; h) Modelo de Fick

**Figura 5.** Modelado matemático de la cinética de secado del camote morado (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.)

**Tabla 17.** Modelos matemáticos de la cinética de secado del camote morado (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.)

Modelo	Ecuación	R <sup>2</sup>
Newton	$MR = \text{Exp}(-0,6908 \times t)$	0,9819
Page	$MR = \text{Exp}(-0,4985 \times t^{1,173})$	0,9923
Page modificado	$MR = \text{Exp}(-0,5524 \times t)^{1,173}$	0,9923
Henderson y Pabis	$MR = 1,4597 \times \text{Exp}(-0,704 \times t)$	0,988
Logarítmico	$MR = (1,082 \times \text{Exp}(-0,5177 \times t)) + 0,0394$	0,9586
Thomson	$MR = 1,0131 - 0,3497 \times t + 0,0298 \times t^2$	0,9903
Fick	$MR = \frac{8}{\pi^2} \times \text{Exp}\left(\frac{-\pi^2 \times 2,619 \times 10^{-7}}{4 \times 0,002^2} \times t\right)$	0,9611

Del ajuste matemático a los diferentes modelos empleados se obtuvieron diferentes constantes o parámetros empíricos del comportamiento cinético. Como por ejemplo la constante  $k$ , conocida como la constante de secado que suele expresarse en unidades de  $\text{h}^{-1}$  o  $\text{min}^{-1}$ . Existe evidencia científica que esta constante tiene relación con el contenido de humedad inicial del alimento o material, el tipo de producto y las condiciones del aire caliente que actúa en el proceso de secado (temperatura, humedad y velocidad) (Collazo, Morejón, Fernández, & Vázquez, 2018). Además Vega, Tello, y Lemus (2007), indican que en los modelos matemáticos de Newton, Page y Henderson y Pabis, son muy similares los valores del coeficiente difusional y la constante  $k$  por lo cual podrían ser consideradas como pseudo-difusividades.

La constante  $k$  es menor en el modelo de Page (0,4985) seguido de los modelos de Newton (0,6908), Henderson y Pabis (0,704) y Page modificado (0,7061). En el modelo de Page, se ha determinado que  $k$  se encuentra en función de la temperatura del aire de secado y el contenido de humedad inicial. Por tal razón, si la constante  $k$  es menor, se adaptará de menor manera al modelo matemático por la menor dependencia con la temperatura y humedad inicial (Vega et al., 2007).

Por otro lado, hay evidencia científica de que el parámetro  $n$  presenta valores superiores en procesos de secado en los que las frutas no fueron peladas previamente; es decir aparentemente su valor incrementa cuando la muestra presenta una resistencia térmica a la deshidratación (Karathanos & Belessiotis, 1999). Así mismo, Azzouz, Guizani, Jomaa, y Belghith (2002), en un estudio realizado en uvas, observaron que  $n$  depende de la velocidad de secado del aire. Adicionalmente, Senadeera, Bhandari, Young, y Wijesinghe (2003), demostraron que este parámetro se mantiene constante con la variación de temperatura de secado; esta experimentación se realizó en peras, porotos y papas.

Las constantes  $a$ ,  $b$ ,  $c$  son los coeficientes de ajuste y son características del alimento analizado y no dependen del tipo de geometría de la matriz alimentaria (Montes et al., 2008; Torregraza, Montes, Ávila, & Remolina, 2014).

De acuerdo con Mondragón (2013), el parámetro  $a$  es constante y suele ser independiente al contenido de humedad inicial, mientras que  $b$  y  $c$  suelen estar relacionados entre sí y dependen de la humedad inicial. Además, la constante  $b$  suele depender de la temperatura y del contenido de sólidos, mientras que  $c$  solo depende del contenido de sólidos. Sin embargo, en ciertos casos se ha demostrado que existe una dependencia de todas estas variables con la temperatura del aire.

Finalmente, el modelo de Fick, que se obtiene de la integración de la segunda ley de Fick (aplicable para tiempos de secado largos y matrices con una geometría plana en una dimensión), permite obtener el valor de la difusividad efectiva ( $D_{\text{eff}}$ ) que se expresa en  $\text{m}^2/\text{s}^{-1}$  (Montes et al., 2008). Este modelo a su vez toma a consideración que el transporte de agua va del interior del sólido hacia la superficie del mismo. Mediante el análisis del modelo de Fick, se determinó que la difusividad efectiva del camote morado tiene un valor de  $2,619 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ , menor que el reportado por Solano y Vidaurre (2017), donde señala que a temperaturas de 40 a 90°C el camote morado (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) posee una  $D_{\text{eff}}$  de entre  $1,36 \times 10^{-7}$  a  $1,39 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ .

La papa presenta una difusividad efectiva de  $1,33 \times 10^{-7}$  a  $1,46 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$  (Solano & Vidaurre, 2017), el loche o calabaza de  $1,49 \times 10^{-7}$  a  $1,57 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$  (Solano & Vidaurre, 2017) y en ciertos productos cárnicos como el pescado se observan valores de  $8,10 \times 10^{-11}$  a  $3,4 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$  (Jason, 1958), salami con  $0,37 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$  (Diaferia, Busolli, Zanardi, & Palmia, 1998) y cerdo salado un valor de  $6,45 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$  (Clemente, 2008). De esto se puede notar que la difusividad efectiva presenta valores sumamente bajos, en especial en productos de origen animal.

Finalmente, se observó que el modelo de Fick presentó valores de SE y P relativamente altos (2,23 y 10,87, respectivamente). La dispersión de los datos experimentales en este modelo puede deberse a que el camote morado (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.), al ser un alimento rico en almidón, tiende a gelatinizarse y por consecuencia a disminuir el valor de difusividad a temperaturas de secado por sobre los 50°C (Solano & Vidaurre, 2017).

**Tabla 18.** Parámetros de los modelos matemáticos de las curvas de secado del Camote morado (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.).

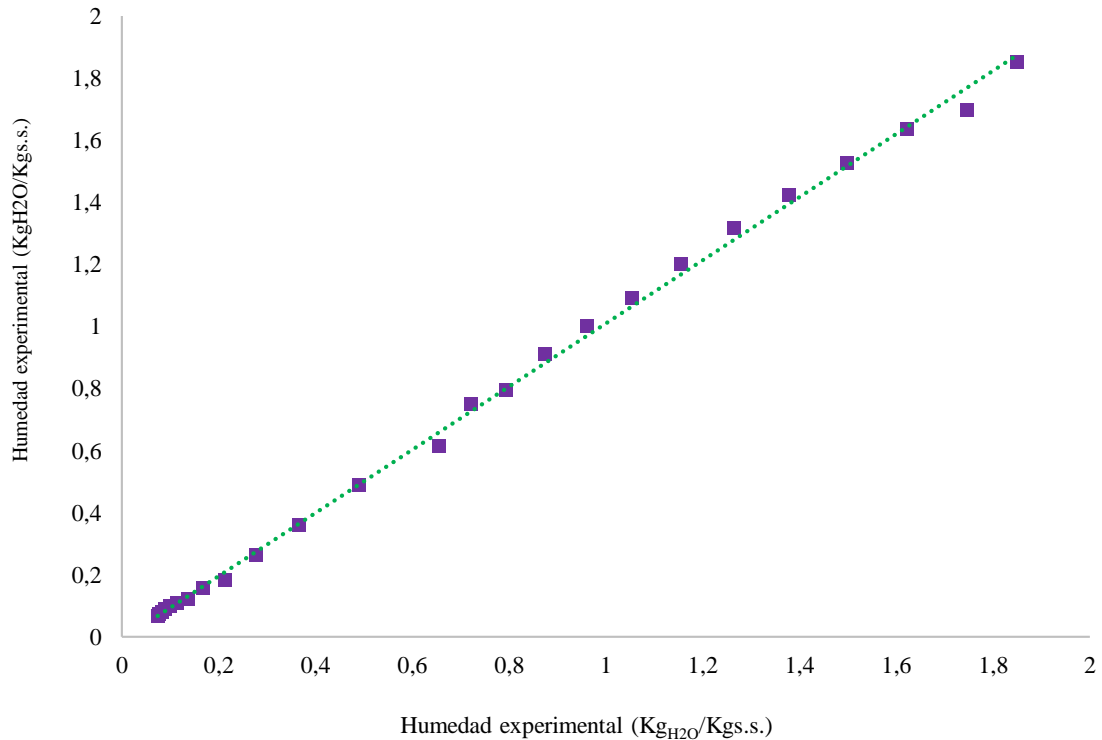
Parámetro	Henderson y Pabis	Thompson	Newton	Logarítmico	Page	Page modificado	Fick
R <sup>2</sup>	0,988	0,9903	0,9819	0,9586	0,9923	0,9923	0,9611
n					1,173	1,173	
k	0,704		0,6908	0,5177	0,4985	0,5524	
a	1,4597	0,3497		1,082			
b		0,0298					
c				0,0394			
D <sub>eff</sub>							2,619×10 <sup>-7</sup>
SE	5,0432	0,1169	0,1341	0,9293	0,0270	4,0505	2,2316
P	18,6275	3,9400	0,52819	4,2325	0,0265	11,9376	10,8766

**R<sup>2</sup>:** Coeficiente de determinación; **k:** Constante de secado; **a, b, c y n:** Coeficientes de ajuste; **D<sub>eff</sub>:** Difusividad; **SE:** Error medio estimado; **P (%):** Desvío medio relativo.

Aunque el modelo de Page y Page modificado presentan valores similares en el coeficiente de determinación ( $R^2$ ), el analizar el error medio estimado (SE) y el desvío medio relativo (P), permite seleccionar a Page como el mejor modelo de ajuste para el camote morado (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.).

En la Figura 6 se observa la comparación entre la humedad experimental y la humedad predicha obtenida a partir del modelo de Page (ambas en  $\text{Kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{Kg}_{\text{s.s.}}$ ). El coeficiente de determinación  $R^2$  indica un valor de 0,9983, lo que evidencia que este modelo se adapta perfectamente a los datos experimentales descritos por la cinética de secado del camote morado (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.).

Resultados similares se presentaron en tomillo, (*Thymus vulgaris* L) ( $R^2 = 0,999$ ) (Rocha et al., 2012), cacao blanco (*Theobroma grandiflorum*) ( $R^2 = 0,999$ ) (Giraldo et al., 2010), y papa (*Solanum tuberosum* var. Yaramango) ( $R^2 = 0,999$ ) (Vásquez & Ita, 2021); siendo el modelo de Page el que mejor describe el secado en todos estos casos.



**Figura 6.** Humedad experimental vs. humedad predicha con el modelo de Page

### 3.4. Cinética de secado de la Mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pav)

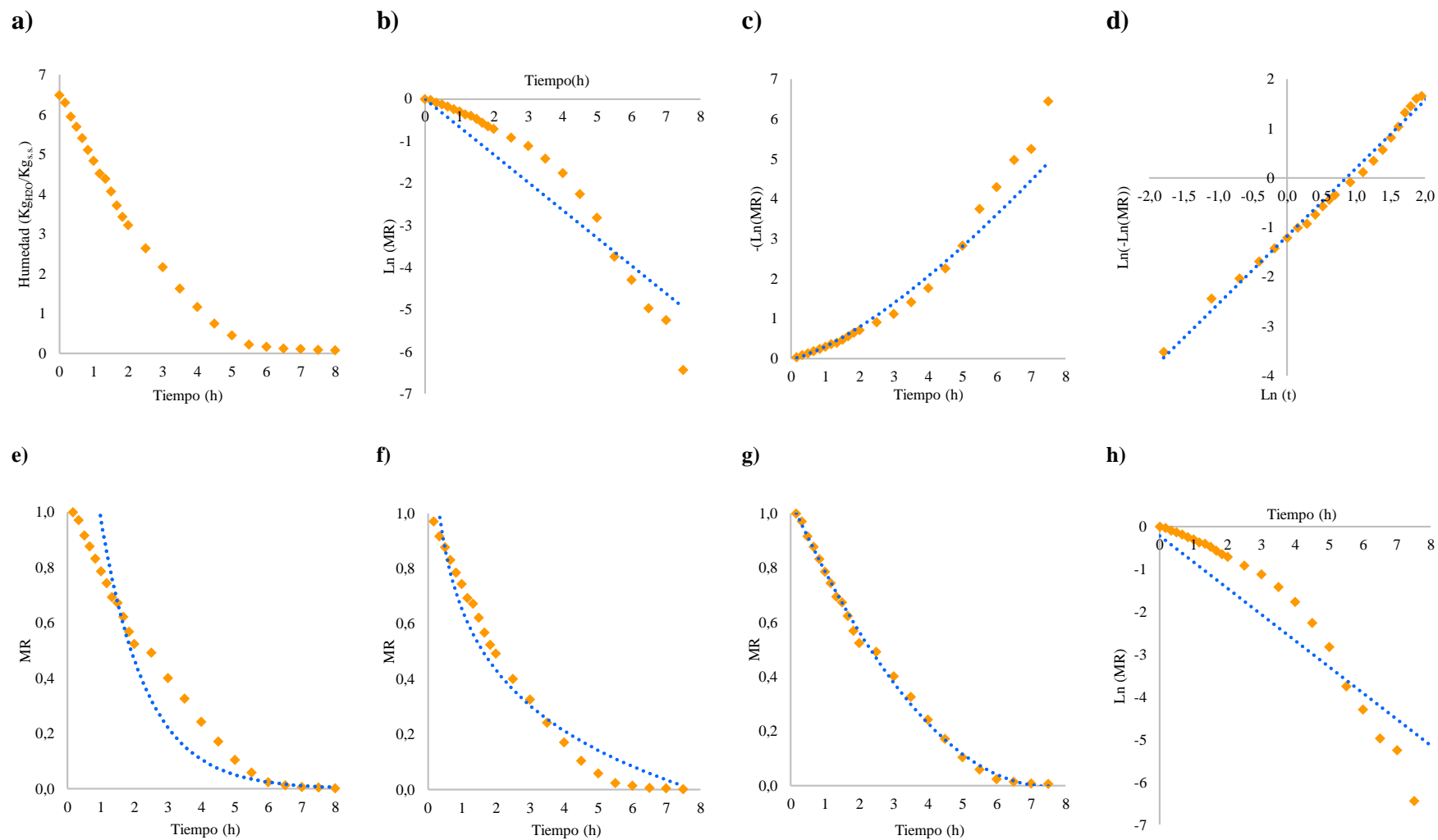
En la Figura 7, se observa la cinética de secado de la mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pav). A partir de las 2,5 horas existe un descenso considerable de humedad, debido a que el alimento libera sin mayor esfuerzo el agua libre (Giraldo et al., 2010).

De acuerdo con la Figura 7, la cinética de secado de la mashua se ajusta al modelo matemático de Thomson, Page y Page modificado, pues los datos experimentales se acercan en gran proporción hacia las líneas de tendencia de cada modelo.

De acuerdo con Apaza (2018), el mejor modelo que describe la cinética de secado de la mashua cultivada en Perú, es el modelo de Page. Aunque se esté trabajando con la misma variedad de mashua, las condiciones ambientales especificadas en la Tabla 9 puede incidir en la cantidad de agua y otras condiciones en su composición.

Según García, Pérez, y Dávila (2012), el promedio de secado para tubérculos como el ñame, ocumo y mapuey, a temperaturas de 60 °C, se lleva a cabo en un tiempo de 120 min. Sin embargo, se debe considerar que a mayor temperatura el tiempo de secado será menor (Jiménez, 2018).

En la Tabla 19 se puede observar los coeficientes de determinación ( $R^2$ ) para cada uno de los modelos matemáticos. Los modelos que mejor se adaptan al modelado experimental son el modelo de Thomson, Page y Page modificado con un  $R^2$  de 0,9977, 0,989 y 0,989 respectivamente. Sin embargo, todos los modelos aplicados presentan un buen ajuste.



**a)** Datos experimentales; **b)** Modelado de Newton; **c)** Modelo de Page; **d)** Modelo de Page modificado; **e)** Modelo de Henderson y Pabis; **f)** Modelo logarítmico; **g)** Modelo de Thomson; **h)** Modelo de Fick

**Figura 7.** Modelado matemático de la cinética de secado de la Mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pav)



**Tabla 1916.** Modelos matemáticos de la cinética de secado de la Mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pav)

<b>Modelo</b>	<b>Ecuación</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
Newton	$MR = \text{Exp}(-0,6602 \times t)$	0,8962
Page	$MR = \text{Exp}(-0,3078 \times t^{1,375})$	0,989
Page modificado	$MR = \text{Exp}(-0,4245 \times t)^{1,375}$	0,989
Henderson y Pabis	$MR = 2,0259 \times \text{Exp}(-0,738 \times t)$	0,9244
Logarítmico	$MR = (1,192 \times \text{Exp}(-0,3136 \times t)) - 0,1465$	0,9363
Thomson	$MR = 1,047 - 0,2788 \times t + 0,0185 \times t^2$	0,9977
Fick	$MR = \frac{8}{\pi^2} \times \text{Exp}\left(-\frac{\pi^2 \times 2,4953 \times 10^{-7}}{4 \times 0,002^2} \times t\right)$	0,8627

Los parámetros descritos en la Tabla 20 indican más a fondo el ajuste de cada modelo. Las constantes  $a$  y  $b$  presentan valores característicos de cada producto. De acuerdo con Mondragón (2013), en el modelo de Thomson, el parámetro  $a$  suele ser independiente al contenido de humedad inicial, mientras que  $b$  depende de la humedad inicial, temperatura y del contenido de sólidos.

El modelo matemático de Thomson presentó el coeficiente de determinación, seguido del modelo de Page y Page modificado. Al comparar el modelo matemático de Thomson ( $R^2 = 0,9977$ ,  $SE = 0,3123$  y  $P = 3,9984$ ) con el modelo matemático de Page ( $R^2 = 0,989$ ,  $SE = 0,1957$  y  $P = 0,1234$ ), se nota que los valores del error medio estimado (SE) y el desvío medio relativo (P) son ligeramente más elevados en el modelo de Thomson, por ende se considera que es el mejor que mejor ajuste presenta.

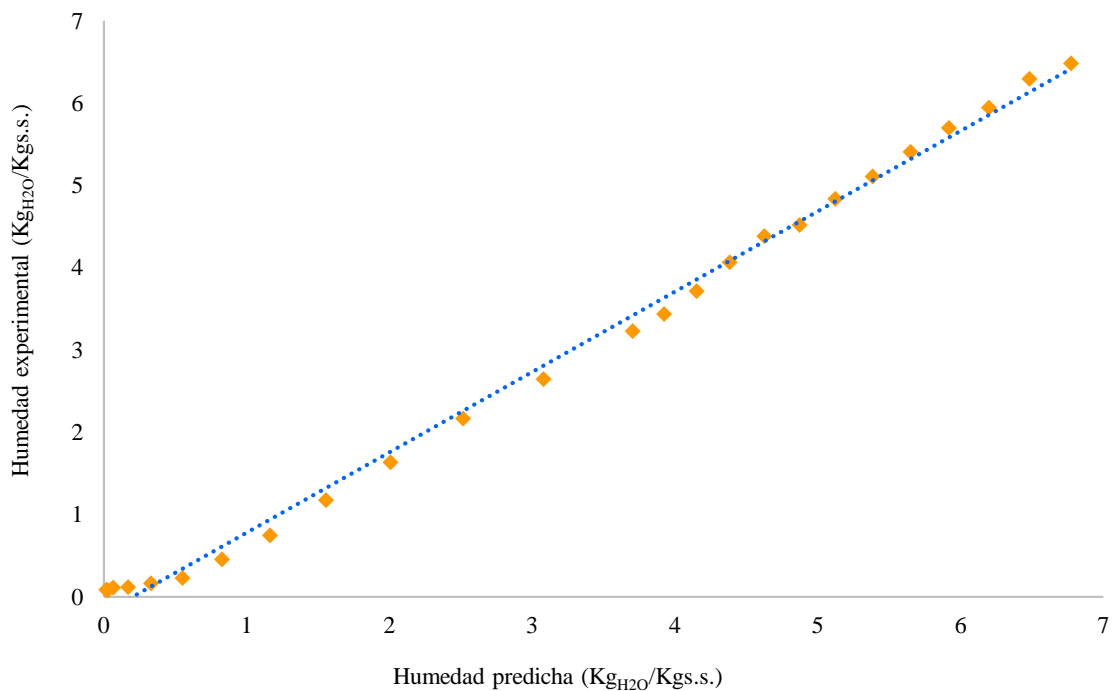
El modelo de Thomson, es un modelo matemático semi-empírico, que en su origen fue empleado para determinar el secado de cualquier grano. Este modelo considera la capa espesa del grano la cual se constituye de varias capas delgadas del grano de poco espesor y colocadas una sobre otra. A su vez considera ciertas variables como las condiciones de entrada de aire de secado a la primera capa del grano, las condiciones iniciales de humedad, temperatura, propiedades higroscópicas y físicas del producto y del aire como fundamento de las condiciones de operación (Parra, Roa, & Oliveros, 2008).

**Tabla 20.** Modelos matemáticos aplicados en las curvas de secado de la Mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pav)

Parámetro	Henderson y Pabis	Thomson	Newton	Logarítmico	Page	Page modificado	Fick
R <sup>2</sup>	0,9244	0,9977	0,8962	0,9363	0,989	0,989	0,8627
n					1,375	1,375	
k	0,738		-0,6602	0,3136	0,3078	0,4245	
a	2,059	-0,2788		1,192			
b		0,0185					
c				0,1465			
D <sub>eff</sub>							2,4953×10 <sup>-7</sup>
SE	23,8585	0,3123	1,0140	3,5523	0,1957	5,5820	4,1564
P	22,1583	3,9984	1,0855	4,0482	0,1234	0,1184	5,5741

**R<sup>2</sup>:** Coeficiente de correlación; **k:** Constante de secado; **a, b, c y n:** Coeficientes de ajuste; **D<sub>eff</sub>:** Difusividad; **SE:** Error medio estimado; **P (%):** Desvío medio relativo.

Los datos experimentales de la cinética de secado de la mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pav) se adaptan a los valores calculados utilizados en el modelo de Thomson (Figura 8), con un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0,9958. Además resultados similares se presentaron al analizar la cinética de secado de broza de café ( $R^2$  de 0,93), (Parra et al., 2008), y menta de los Andes ( $R^2$  de 0,94) (Monares, 2015).



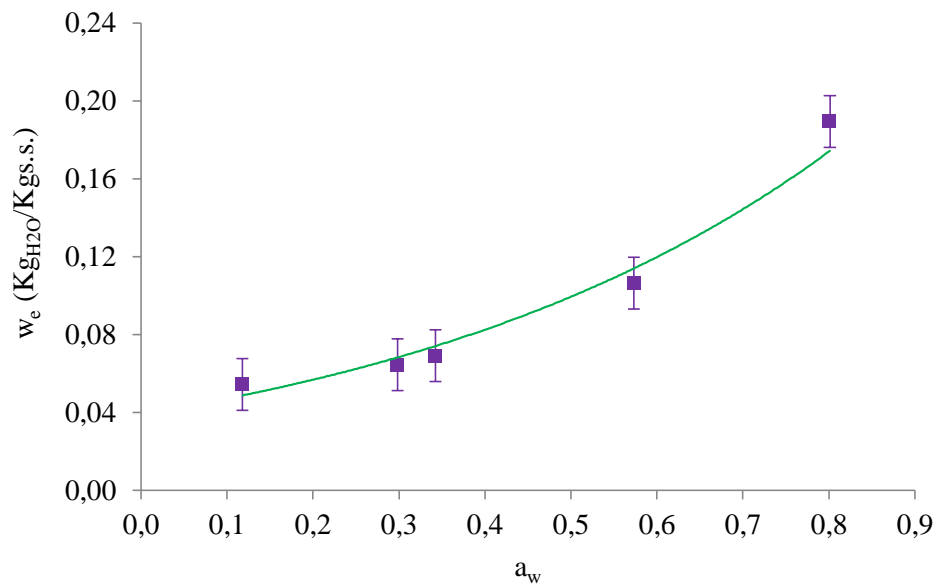
**Figura 8.** Humedad experimental vs. humedad predicha con el modelo de Thomson

### 3.5. Isotermas de adsorción del Camote morado (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.)

La Figura 9 representa la isoterma de adsorción del Camote morado, que presenta una forma de tipo II. La isoterma evidencia que la harina de camote morado se debe almacenar a una humedad relativa máxima del 30%.

El modelo más empleado para determinar el contenido de humedad de la monocapa es el modelo de BET. Este modelo ofrece dos constantes, la constante de energía  $C$  y el contenido de humedad de la monocapa  $w_0$ . Sin embargo, la ecuación de BET se ajusta intervalos de  $a_w$  de 0 a 0,55 (Alvarado, 2012).

Por otro lado, la aplicación del modelo GAB favoreció la representación adecuada de los datos en un intervalo de  $a_w$  de 0 a 0,8. En este modelo el parámetro  $K$  asume que las moléculas en multicapas poseen ciertas interacciones con el adsorbente en valores energéticos similares a los que tienen las moléculas de la monocapa (Labuza, 1968).



**Figura 9.** Isotermas de adsorción del camote morado (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.)

### 3.5.1. Parámetros de la isoterma de adsorción del camote morado (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.)

El coeficiente de determinación ( $R^2$ ) en el modelo GAB es superior al modelo de BET con un valor de 0,9917. Sin embargo, el error medio estimado (SE) y desvío medio relativo (P) son mayores en el modelo de GAB. Esto puede deberse a que ciertas propiedades de sorción de los alimentos se ven comprometidas por la composición, procesamiento, temperatura y humedad relativa, afectando así el ajuste a los modelos (Alvarado, 2012).

El parámetro de  $C$  en el modelo de GAB hace referencia a la constante de Guggenheim, la cual es característica del producto y se relaciona con el calor de adsorción de la monocapa, mientras que  $K$  se relaciona con el calor de adsorción de la multicapa (Ramírez, Cruz, Vizcarra, & Sosa, 2014).

De acuerdo con Ramírez et al. (2014), la constante  $C$  del modelo BET oscila entre 50 a 200 para isotermas de tipo II y el valor de  $K$  debe oscilar entre 0 y 1 (Alvarado, 2012). En el presente estudio, la constante  $C$  presenta un valor superior, lo que puede deberse a la baja temperatura de secado, ya que esta constante tiene un relación inversamente proporcional con la temperatura (Ayala, 2011). Mientras que el valor de  $K$  (0,9371) se encuentra dentro del rango estipulado.

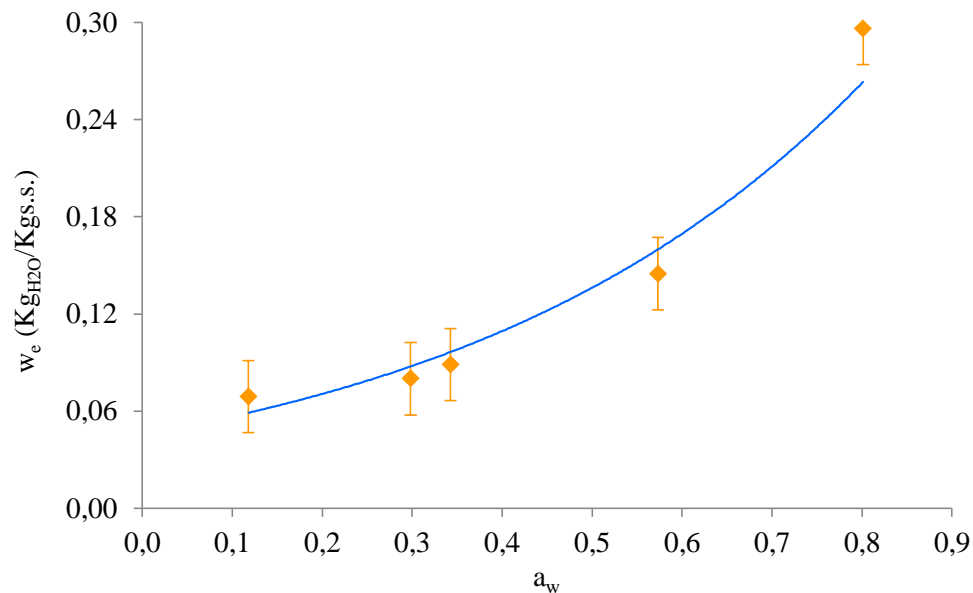
La humedad de la monocapa  $w_0$  nos permite determinar la humedad a la cual se lograría la estabilidad máxima del alimento durante su almacenamiento (Ramírez et al., 2014). Además, según Alvarado (2012), en un intervalo de  $a_w$  de 0,2 a 0,3 la humedad de la monocapa representa la óptima humedad para alimentos que hayan sido deshidratados, alcanzando una vida útil prolongada. En el modelo de GAB, se determinó un valor  $w_0$  de 0,0479 Kg  $H_2O$ /Kg  $s.s.$ . Sin embargo, hay que considerar que por debajo de la humedad en la monocapa aún se pueden producir reacciones de oxidación lipídica. Esta reacción, es desfavorable, pues cambia el sabor de las harinas haciendo que se tornen rancias, en especial aquellas que provengan de origen animal (Montaño, 1998).

**Tabla 21.** Parámetros de la isoterma de adsorción del camote morado (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.)

Parámetro	Modelo GAB	Modelo BET
$R^2$	0,9917	0,982
$C$	384,7	17,8784
$w_0$	0,0479	0,0391
$K$	0,9371	-
SE	0,022	0,0158
P (%)	19,9996	19,979

### 3.6. Isotermas de adsorción de la Mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pav)

En la Figura 10 se observa la isoterma de adsorción de la harina de mashua. A una  $a_w$  de 0,1178 presenta una humedad de equilibrio en base seca de alrededor de 0,0689 Kg  $H_2O$ /Kg  $s.s.$ . Por otro lado, la sal de  $(NH_4)_2SO_4$  al poseer una  $a_w$  más elevada (0,8012) produce que el valor de humedad en equilibrio llegue a un valor de 0,296 Kg  $H_2O$ /Kg  $s.s.$ . Bajo estas condiciones de almacenamiento la harina se humectaría a tal punto de llegar a las condiciones que favorezcan el desarrollo de microorganismos.



**Figura 10.** Isotermas de adsorción de la Mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pav)

#### 3.6.1. Parámetros de la isoterma de adsorción de la Mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pav)

El coeficiente con mayor ajuste es el proporcionado por el modelo BET ( $R^2 = 0,9969$ ); mientras que ambos presentaron valores similares de SE y P (BET: 0,0039 y 19,9993; GAB: 0,0047 y 19,998, respectivamente); nótese la similitud. La constante  $C$  del modelo BET arrojó un valor de 196,95, que se encuentra dentro del intervalo observado en alimentos (50 a 200) (Alvarado, 2012). Y la humedad de monocapa  $w_0$  presentó un valor de 0,0596 Kg  $H_2O$ /Kg  $s.s.$  (Tabla 22).

**Tabla 22.** Parámetros de la isoterma de adsorción de la mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pav)

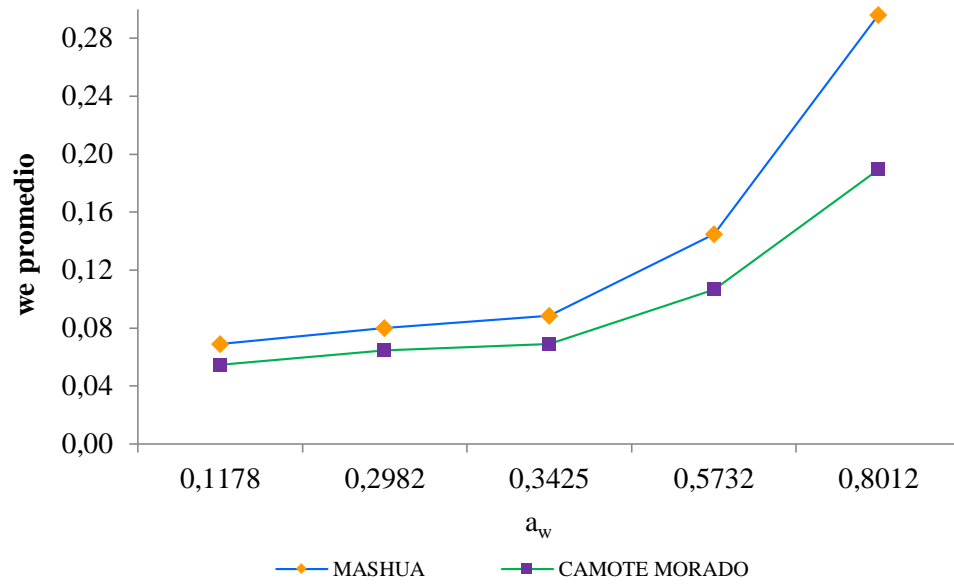
Parámetro	Modelo GAB	Modelo BET
R <sup>2</sup>	0,9819	0,9969
C	474,5741	196,9552
w <sub>0</sub>	0,0588	0,0596
K	1,006	-
SE	0,0047	0,0039
P	19,9989	19,9993

### 3.7. Comparación de las isotermas de camote morado (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) y mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pav)

En la Figura 11 se observa una comparación de la isoterma de adsorción del camote morado y la mashua. Se evidencia un comportamiento similar en el intervalo de la  $a_w$  de 0,1178 a 0,3425. Sin embargo, a valores superior de  $a_w$  de 0,4, la humedad en equilibrio de cada tubérculo muestra una tendencia diferente. Esto podría deberse a que al aumentar la  $a_w$ , las moléculas de agua tienden a excitarse causando una desestabilidad o ruptura de los sitios de unión entre el agua y el alimento.

Además, las harinas de camote morado y mashua son ricas en carbohidratos, que al estar en ambientes altamente húmedos se solubilizan. Es decir, esta comparación evidencia que para evitar el deterioro de las mismas, se deben almacenar en ambientes que garanticen una humedad de equilibrio de 0,065 a 0,08 y una  $a_w$  cercana a 0,2938 (Alvarado, 2012; Barrera et al., 2004).





**Figura 11.** Comparación de las isotermas de camote morado (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) y mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pav).

## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1. Conclusiones

- Las curvas de cinética de secado convectivo experimental del camote morado (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) y mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pav.), mostraron una clara disminución de la humedad en base seca frente al tiempo. Se observó que al cabo de 120 minutos se produjo la tasa de disminución más considerable de humedad. En esta fase la humedad del camote morado disminuyó desde 1,85 hasta 0,067 (Kg H<sub>2</sub>O/Kg s.s.), mientras que en la mashua el valor descendió de 6,482 hasta 0,075 (Kg H<sub>2</sub>O/Kg s.s.), respectivamente.
- Se correlacionaron los datos de las curvas de cinética de secado convectivo con los modelos matemáticos propuestos referenciales. Los datos experimentales del camote morado se ajustaron al modelo matemático de Page con un coeficiente de determinación de 0,9923 y un error medio estimado SE y desvío medio relativo P menor (0,0270 y 0,0265 respectivamente). Por otro lado, los datos de la cinética de secado de la mashua fueron ajustados al modelo de Thomson, con un coeficiente de determinación de 0,9977, un error medio estimado de 0,3123 y un desvío medio relativo de 3,9984.
- Se construyeron las isotermas de adsorción de agua de la harina de camote morado y mashua. La humedad en equilibrio del camote morado varió de 0,0545 a 0,1895 (Kg H<sub>2</sub>O/Kg s.s.) en el intervalo de actividad de agua de 0,1178 a 0,8012; mientras que en la mashua la humedad en equilibrio osciló entre 0,0689 a 0,2962 (Kg H<sub>2</sub>O/Kg s.s.) Tanto la harina de mashua como la del camote morado describen una isoterma de adsorción de tipo II. Además, en ambas isotermas, se observa un mayor incremento de humedad de equilibrio a partir de una a<sub>w</sub> de 0,4.

- Se correlacionaron los datos de las isotermas de adsorción de la harina de mashua y camote morado con los modelos matemáticos de GAB y BET. En la harina de mashua el modelo que mejor describe la isoterma de adsorción es el de BET, con un coeficiente de determinación de 0,9969. El calor neto de adsorción (C) presentó un valor de 196,95 y se determinó un valor de humedad de la monocapa de 0,0596 (Kg H<sub>2</sub>O/Kg s.s.). Los datos de la isoterma de adsorción del camote morado se adaptaron de mejor manera al modelo de GAB, con un coeficiente de determinación de 0,9917. Y en este caso presentó un valor de la constante de Guggenheim de 384,7, un calor de adsorción de la multicapa de 0,9371 y una humedad de equilibrio en la monocapa de 0,0479 (Kg H<sub>2</sub>O/Kg s.s.).

#### **4.2. Recomendaciones**

- Se recomienda repetir el estudio pero en un sistema que adapte una balanza analítica directamente al deshidratador, para evitar que el calor se disipe durante la toma de medidas.
- Ciertas sales higroscópicas como el NaBr y (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> generan una atmósfera con una elevada humedad relativa, por lo cual se recomienda utilizar envases herméticos para evitar la contaminación cruzada.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, E., & Castro, A. (2020). Deshidratación osmótica de mashua amarilla (*Tropaeum tuberosum*) con jarabe invertido de sacarosa y jugo de maracuyá. *Revista de la UNCP*, 17(1), 41-47.
- Acurio, L., Casa, F., Igual, M., Martínez, N., & Camacho, M. (2013). *Efecto de la deshidratación en las propiedades ópticas y mecánicas de diferentes variedades de berenjena. Estudio de las condiciones de almacenamiento*. Paper presented at the Congreso iberoamericano de ingeniería de alimentos -Cibia9, Valencia, España.  
[https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/38245/CIBIA%209\\_CONGRESO%20IBEROAMERICANO%20DE%20INGENIER%20CDA%20DE%20ALIMENTOS\\_LIBRO%20DE%20ACTAS\\_1.pdf?sequence=1#page=192](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/38245/CIBIA%209_CONGRESO%20IBEROAMERICANO%20DE%20INGENIER%20CDA%20DE%20ALIMENTOS_LIBRO%20DE%20ACTAS_1.pdf?sequence=1#page=192)
- Agama, A. (2018). *Estudio de las condiciones óptimas de almacenamiento de papilla para niños de 6 a 36 meses a base de harina de papa nativa (*Solanum tuberosum* ssp.), variedades Yema de Huevo y Santa Rosa con sabor a mora (*Rubus glaucus*) y taxo*. Universidad Técnica de Ambato, Ambato - Ecuador. Recuperado de <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/27135/1/AL%20656.pdf>
- Aguilera, L., & Alvarado, J. (2001). *Métodos para medir propiedades físicas en industrias de alimentos*. Zaragoza - España: Editorial Acribia, S.A. .
- Albán, C., & Figueroa, A. (2011). *Elaboración de Sopa Instantánea a Partir de Harina de Camote (*Ipomoea Batatas*)*. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil - Ecuador. Recuperado de <http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/15968/3/corregido%20paginas.pdf>
- Alvarado, J. (2012). *Propiedades termodinámicas relacionadas con el agua constitutiva de alimentos* (P. Alvarado Ed. Vol. 1). Ecuador.

- Apaza, V. (2018). *Modelado matemático de la cinética del secado de mashua (Tropaeolum tuberosum)*. Universidad Peruana Unión, Juliaca - Perú. Recuperado de [https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/1588/Raul\\_Tesis\\_Licenciatura\\_2018.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/1588/Raul_Tesis_Licenciatura_2018.pdf?sequence=3&isAllowed=y)
- Arteaga, D., Chacón, L., Samamé, V., Valverde, D., & Paucar, L. (2022). Mashua (*tropaeolum tuberosum*): Composición nutricional, características químicas, compuestos bioactivos y propiedades beneficiosas para la salud. *I2(1)*, 95 - 101. <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/agroindscience/article/view/4371/4817>
- Ayala, A. (2011). Estimación de isotermas de adsorción y calor isostérico en harina de yuca. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, *9(1)*, 88-96.
- Azzouz, S., Guizani, A., Jomaa, W., & Belghith, A. (2002). Moisture diffusivity and drying kinetic equation of convective drying of grapes. *Journal of Food engineering*, 323-330.
- Barreiro, J., & Sandoval, A. (2006). *Operaciones de conservación de alimentos por bajas temperaturas* (Vol. Primera edición). Caracas - Venezuela: Editorial Equinoccio.
- Barrera, V., Brito, B., Caicedo, C., Córdova, J., Espín, S., Espinosa, P., . . . Villacrés, E. (2004). *Raíces y Tubérculos Andinos: Alternativas para la conservación y uso sostenible en el Ecuador* (V. Barrera, C. Tapia, & A. Monteros Eds. Vol. 4). Quito - Ecuador; Lima - Perú: Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) - Estación Experimental Santa Catalina; Centro Internacional de la Papa (CIP).
- Barrera, V., Tapia, C., & Monteros, A. (2004). *Raíces y tubérculos andinos: Alternativas para la conservación y el uso sostenible en el Ecuador*. In I.-E. e. S. Catalina (Ed.). Recuperado de <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/3264/1/iniapscCD55p91.pdf>

- Benítez, R. (2022). Pérdidas y desperdicios de alimentos en América Latina y el Caribe. <https://www.fao.org/americas/noticias/ver/es/c/239393/>
- Bovell, A. (2007). Sweet potato: a review of its past, present, and future role in human nutrition. *Advances in food and nutrition research*, 52, 1-59. doi:[https://doi.org/10.1016/S1043-4526\(06\)52001-7](https://doi.org/10.1016/S1043-4526(06)52001-7)
- Cerron, S., & Junchaya, J. (2019). *Influencia de la temperatura del aire en la velocidad de secado de quinua germinada en un secador de bandejas*. Universidad Nacional del Centro de Perú, Huancayo - Perú. Recuperado de <https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/5682/INFORME%20DE%20TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Chirife, J., & Iglesias, H. (1978). Equations for fitting water sorption isotherms of foods. Part 1 - a review. *Journal of Food Technology*, 159-174.
- Choque, D., Ligarda, C., Ramos, B., Taipe, F., Peralta, D., & Solano, A. (2018). Evaluación de isothermas de sorción de granos y harina de amaranto (*Amaranthus caudatus*). 31(2), 67 - 81. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-100X2018000200067](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-100X2018000200067)
- Clemente, G. (2008). *Efecto de la contracción en la cinética de secado de músculos de jamón*. Universitat Politècnica de València, Valencia, España. Recuperado de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/2623/tesisUPV1952.pdf>
- Cobeña, G., Cañarte, E., García, A., Cárdenas, F., & Guzmán, A. (2017). *Manual técnico del camote* (Hums Ed.). Portoviejo - Ecuador: INIAP.
- Collazo, L., Morejón, Y., Fernández, L., & Vázquez, Y. (2018). Modelos matemáticos y experimentales para el análisis del secado solar de semillas. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 27(1), 89-98.

- Constance, L. (1968). Flores silvestres de Chile. [Flores Silvestres de Chile., C. Munoz Pizarro]. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*, 95(1), 109-110. doi:10.2307/2483814
- Cornejo, C. (2016). *Evaluacion de variables cuantitativas y cualitativas de tuberculos frescos y asoleados de diez clones de oca (Oxalis tuberosa Molina) en el Centro Experimental K' Iphak' Iphani*. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz - Bolivia. Recuperado de <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/10529/T-2350.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Diaferia, C., Busolli, C., Zanardi, S., & Palmia, F. (1998). *Sorption isotherms and difusión coefficient of water in salami*. Paper presented at the Proceedings of 44th International Congress of Meat Science and Technology, Barcelona, España.
- Duckworth, R. (1972). *The properties of water around the surfaces of food colloids* (Vol. 5): PIFST.
- Espinosa, P., Vaca, R., Abad, J., & Crissman, C. (1997). *Raíces y tubérculos andinos cultivos marginados en el Ecuador: Situación actual y limitaciones para la producción*. Quito - Ecuador: Abya - Yala.
- FAO, OPS, WFP, & UNICEF. (2019). *Panorama de la seguridad alimentaria y nutricional en América Latina y el Caribe 2019*. Santiago - Chile.
- Fierros, C., & García, R. (2019). *Caracterización fisicoquímica de Ipomoea batatas cosechados en Charo, Municipio de Morelia, Mich.* Paper presented at the XVI encuentro, participación de la mujer en la ciencia, Charo - México.
- Garcia, A., Pérez, E., & Dávila, R. (2012). Características físicas, químicas y funcionales de las harinas obtenidas por secado del ñame, ocumo y mapuey. *Agronomía Tropical*, 62(1-4), 51-68.

- García, C., Torregroza, A., & Sierra, M. (2016). Drying kinetics of Cassava chips (*Manihot esculenta crantz*) in microwave. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad de Zulia*, 39(3), 98 - 103.
- García, E., & Fernández, I. (2012). Determinación de la humedad de un alimento por un método gravimétrico indirecto de desecación. from UPV <https://docs.google.com/viewerng/viewer?url=https://riunet.upv.es:443/bitstream/handle/10251/16339/Determinaci%C3%B3n+de+humedad.pdf?sequence%3D1&isAllowed=y>
- Giraldo, A., Arévalo, A., Ferrreira, A., Ferreira, P., Valdes, J., & Pavlak, C. (2010). Datos experimentales de la cinética del secado y del modelo matemático para pulpa de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) en rodajas. *Food, Science and Technology*, 30, 179 - 182.
- Gonzales, G., Villaorduña, L., Gasco, M., Rubio, J., & Gonzales, C. (2014). Maca (*Lepidium meyenii* Walp), una revisión sobre sus propiedades biológicas. *Revista peruana de medicina experimental y salud pública*, 31(1), 100 - 110.
- González, V., Moreno, G., & López, S. (2020). Caracterización nutricional y funcional de la harina de mashua. *Conciencia Digital*, 3(3), 199 - 214.
- Gustavsson, J., Cederberg, C., Sonesson, U., Otterdijk, R., & Meybeck, A. (2012). *Pérdidas y desperdicio de alimentos en el mundo. Alcance, causas y prevención.* Paper presented at the Save Food, Düsseldorf, Alemania. <https://www.fao.org/3/i2697s/i2697s.pdf>
- Hernández, V., Vargas, M., Muruaga, J., Hernández, S., & Netzahualcóyotl, M. (2013). Origen, domesticación y diversificación del frijol común: Avances y perspectivas. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 36(2), 95-104.
- Huatuco, D. (2020). *Recuento de hongos en insumos y presencia de micotoxinas en alimento balanceado provenientes de establecimientos porcinos de la provincia de Coronel Portillo, Ucayali.* Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima



- Perú. Recuperado de [http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/15865/Huatuco\\_cd.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/15865/Huatuco_cd.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- INIA. (2009). *Ashipa o chuin*. Paper presented at the Hoja Divulgativa N° 3 - 2009, Pucallpa - Perú.
- Jason, A. (1958). A study of evaporation and diffusion processes in the drying of fish muscle. In: *Fundamental Aspects of Dehydration of Foodstuffs. Society Chemical Industry*, 103 - 135.
- Jiménez, C. (2018). Segunda ley de la termodinámica. <https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/10186/Segunda%20Ley%20Termodinamica.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Karathanos, V. T., & Belessiotis, V. G. J. J. o. A. E. R. (1999). Application of a thin-layer equation to drying data of fresh and semi-dried fruits. *74(4)*, 355-361.
- Karon, M., & Adams, M. (1949). *Hygroscopic equilibria of rice and rice fractions* (Vol. 26): Cereal Chemistry.
- Krokida, M., & Maroulis, Z. (2001). Structural properties of dehydrated products during rehydration. *International journal of food science and technology*, *36(5)*, 529 - 538.
- Labuza, T. (1968). *Sorption phenomena in foods* (Vol. 22): Food Technology.
- Labuza, T. (1984). Shelf life dating of foods. *Food & Nutrition Press*.
- Lara, N., Poaquiza, D., & Acuña, O. (2008). *Panela granulada: Isotermas de sorción de humedad, modelos de ajuste y calor de sorción*. Paper presented at the II Congreso ecuatoriano de ingeniería en alimentos y XI jornadas de ciencia y tecnología de alimentos, Universidad Técnica Particular de Loja.

- Lizarazo, L. (1983). El secado de los granos. In (pp. 8): Ica: Instituto Americano de cooperación para la agricultura.
- Manrique, I., Arbizu, C., Vivanco, F., Gonzales, R., Ramírez, C., Chávez, O., . . . Elils, D. (2013). *Tropaelum tuberosum* Ruiz & Pav.: Catálogo de la colección de germoplasma de mashua conservada en el Centro Internacional de la Papa (CIP): International Potato Center.
- Midilli, A., Kucuk, H., & Yapar, Z. (2002). A new model for single layer drying. *Drying Technology*, 1503-1513.
- Monares, H. (2015). *Deshidratación de la punamuña (satureja boliviana) en secador de bandeja*. Universidad Nacional José María Arguedas, Andahuaylas, Perú. Recuperado de <https://repositorio.unajma.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14168/215/21-2015-EPIA-Monares%20Espinoza-%20deshidratacion%20de%20la%20punamu%c3%b1a%20en%20secador%20de%20bandeja.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Mondragón, R. (2013). *Estudio de la cinética de secado de gotas de nanofluidos, y caracterización microestructural y mecánica de los gránulos obtenidos*. Universitat Jaume I, Recuperado de [https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/664050/2013\\_Tesis\\_Mondragon%20Cazorla\\_Rosa.pdf;jsessionid=C833EC09DBA93E204792E4C2034C9112?sequence=1](https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/664050/2013_Tesis_Mondragon%20Cazorla_Rosa.pdf;jsessionid=C833EC09DBA93E204792E4C2034C9112?sequence=1)
- Montaño, D. (1998). *Efecto de la oxidación de lípidos en harina de subproductos de atún sobre el crecimiento del camarón blanco (Penaeus vannamei Bone) en condiciones de laboratorio*. Universidad Autónoma de Nuevo León, Nuevo León - México.

- Montes, E., Torres, R., Andrade, R., Pérez, O., Marimón, J., & Meza, I. (2008). Modelado de la cinética de secado de ñame (*Dioscorea rotundata*) en capa delgada. *Ingeniería e Investigación*, 28(2), 45 - 52.
- NRC. (1989). *Lost crops of the Incas: little-known plants of the Andes with promise for worldwide cultivation*: National Academies Press.
- Ocampo, A. (2006). Modelo cinético del secado de la pulpa de mango. *Revista EIA*(5), 119 - 128.
- ONU. (2022, 29/09/2022). Hacer frente a la pérdida y el desperdicio de alimentos: una oportunidad de ganar por partida triple. Recuperado de <https://www.fao.org/newsroom/detail/FAO-UNEP-agriculture-environment-food-loss-waste-day-2022/es#:~:text=Seg%C3%BAn%20estima%20la%20FAO%2C%20los,de%20personas%20hambrientas%20cada%20a%C3%B1o.>
- Ortega, O., Kliebenstein, D., Arbizu, C., Ortega, R., & Quiros, C. (2006). Glucosinolate survey of cultivated and feral mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón) in the Cuzco region of Peru. *Economic botany*, 60(3), 254 - 264.
- Pacheco, E. (2015). *Caracterización morfológica y molecular de mashua (Tropaeolum tuberosum Ruiz y Pavón) de los departamentos de Cusco y Cajamarca*. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima - Perú. Recuperado de <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/2095/F30-P3234-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Paredes, S. (2016). *Elementos turísticos potenciales del caserío Yanahurco como complemento en la oferta turística del cantón Mocha provincia de Tungurahua*. Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencias Humanas y de la Educación, Ambato - Ecuador. Recuperado de <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/20114/1/Tesis%20final%20Sandro%20Paredes%20Firmas.pdf>

- Parra, A., Roa, G., & Oliveros, C. (2008). SECAFÉ Parte I: Modelamiento y simulación matemática en el secado mecánico de café pergamino. *Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental*, 12, 415-427.
- Pinto, M. (2014). *El cultivo de camote y el clima en el Ecuador*. Quito: INAMHI Recuperado de <https://www.inamhi.gob.ec/meteorologia/articulos/agrometeorologia/El%20%20cultivo%20del%20camote%20y%20el%20clima%20en%20el%20Ecuador.pdf>
- Puerta, G. (2013). La humedad controlada del grano preserva la calidad del café. *Centro Nacional de Investigaciones de Café*.
- Ramírez-Miranda, M., Cruz, M., Vizcarra-Mendoza, M., & Anaya-Sosa, I. (2014). Determinación de las isothermas de sorción y las propiedades termodinámicas de harina de maíz nixtamalizada. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 13(1), 165-178.
- Ramírez, M., Cruz, M., Vizcarra, M., & Sosa, A. (2014). Determinación de las isothermas de sorción y las propiedades termodinámicas de harina de maíz nixtamalizada. *Revista mexicana de ingeniería química*, 13(1), 165-178.
- Reinoso, D. (2020). *Influencia de la cobertura vegetal y relieve sobre el almacenamiento de carbono en el suelo del ecosistema páramo*. Universidad Técnica de Ambato, Cevallos - Ecuador. Recuperado de <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/31454/1/011%20Tesis%20maestr%c3%adas%20Cambio%20Clim%c3%a1tico%20-%20Reinoso%20Daniel.pdf>
- Rivera, G. (2010). *Elaboración y valoración nutricional de tres productos alternativos a base de mashua para escolares del proyecto ruma kawsay*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba - Ecuador. Recuperado de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/728>

- Rocha, R., Melo, E., Corbín, J., Berbert, P., Donzeles, S., & Tabar, J. (2012). Cinética del secado de tomillo. *Revista Brasileira de engenharia agrícola e ambiental*, 16, 675-683.
- Rodríguez, E. (2005). Errores frecuentes en la interpretación del coeficiente de determinación lineal. *Anuario jurídico y económico escurialense*(38), 315-331.
- Salazar, D., Acurio, L., Pérez, L., Valencia, A., Arancibia, M., Guanoquiza, A., . . . Álvarez, F. (2018). Efecto de la inclusión de camote morado (*Ipomoea batata*) en la elaboración de mermelada de naranjilla (*Solanum quitoense*). *Agroindustrial Science*.
- Salcedo, J., Contreras, K., García, A., & Fernandez, A. (2016). Modelado de la cinética de secado del afrecho de yuca (*Manihot esculenta* Crantz). *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 15(3), 883 - 891.
- Samaniego, L. (2010). *Caracterización de la mashua (Tropaeolum tuberosum C.) en el Ecuador.*, Universidad Técnica Equinoccial, Cotopaxi. Recuperado de [http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/4870/1/41732\\_1.pdf](http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/4870/1/41732_1.pdf)
- Seminario, J. (2004). Aspectos etnobotánicos y productivos del chago, miso o mauka (*Mirabilis espana* [Ruíz y Pavón] Standley). *Raíces Andinas: Contribuciones al conocimiento y a la capacitación VI*, 367376.
- Senadeera, W., Bhandari, B., Young, G., & Wijesinghe, B. (2003). Influence of shapes of selected vegetable material son drying kinetics during fluidized bed drying. *Journal of Food Engineering*, 277 - 283.
- Solano, M., & Vidaurre, J. (2017). Variación de la difusividad térmica del loche (*cucurbita moschata* Duch.), la papa (*solanum tuberosum* L.) y el camote (*ipomoea batatas* L.) durante el calentamiento. *Revista científica institucional TZHOECOEN*, 9(4), 7-15.

- Spiess, W., & Wolf, W. (1987). Critical evaluation of methods to determine moisture sorption isotherms. In water activity. *Theory and Applications to food*, 215-234.
- Tapia, M., Fries, A., Mazar, I., & Rosell, C. (2007). *Guía de campo de los cultivos andinos*: FAO/ANPE.
- Torregroza, A., Montes, E., Ávila, A., & Remolina, J. (2014). Modelado de las cinéticas de secado de tres variedades de yuca industrial. *DYNA*, 81, 184 - 192.
- Tropicos. (2023). Ipomoea batatas (L.) Lam. <https://www.tropicos.org/name/8500721>
- Vásquez, A., & Ita, R. (2021). *Optimización del proceso de hidratación asistido con ultrasonido en papa (solanum tuberosum)*. Universidad Nacional del Santa, Chimbote, Perú. Recuperado de <https://repositorio.uns.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14278/3657/15173.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Vega, A., Tello, C., & Lemus, R. (2007). Simulación matemática del proceso de secado de la gracilaria chilena (*Gracilaria Chilensis*). *Revista chilena de ingeniería*, 15(1), 55-64.
- Vidal, A., Zaucedo, A., & Ramos, M. (2018). Propiedades nutrimentales del camote (*Ipomoea batatas L.*) y sus beneficios en la salud humana. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 19(2).
- Vidal, I. (2007). *Niveles de producción y productividad de tres tipos de camote morado (Ipomoea batatas L.) Bajo zona de Pangoa*. Universidad Nacional del Centro del Perú, Satipo - Perú. Recuperado de <https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/4005/Vidal%20Chanca.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Villacrés, E., Quelal, M., & Álvarez, J. (2016). *Redescubriendo la oca y la mashua: Desarrollo de nuevos snacks* (E. a. española Ed.). Valencia - España: INIAP - Estación experimental de Santa Catalina.

Wang, C., & Singh, R. (1978). A single layer drying equation for rough rice. *American Society of Agricultural*.

Wolf, W., Spiess, W., & Jung, G. (1985). Standardization of isotherm measurements (Cost project 90 and 90 bis). *Properties of Water in Foods*, 661-679.