

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

**FACULTAD DE INGENIERIA PESQUERA Y DE
ALIMENTOS**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE ALIMENTOS

**EFFECTO DE SECADO SOBRE LA ACTIVIDAD
ANTIOXIDANTE DE LA HARINA DE MASHUA
(*Tropaeolum tuberosum* R & P)**

TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE INGENIERO DE ALIMENTOS

RAÚL AMÍLCAR CUYA AYALA

Callao, Octubre del 2009

PERÚ

d. Publ. 16063
d. Ejemplar: 39190

**EFFECTO DE SECADO SOBRE LA ACTIVIDAD
ANTIOXIDANTE DE LA HARINA DE MASHUA
(*Tropaeolum tuberosum* R & P)**

*A la Virgen del Carmen, quien
ilumina y guía mi vida, como
la de todo ser humano*

*A mi familia por estar conmigo
siempre y en todo momento*

AGRADECIMIENTOS

- A mi patrocinadora; M.Sc. Ing: Dániza Guerrero Alva, por enseñarme el gusto por la investigación; agradecerle el compartir su valiosa experiencia, sus consejos y el gran apoyo brindado en todo momento; por lo cual se pudo culminar gratamente este trabajo.
- Al M.Sc. Ing: José Cáceres Paredes, por sus apropiados consejos para la mejora del trabajo.
- Al Dr. David Vivanco Pezantes, por su predisposición permanente e incondicional en aclarar mis dudas y por sus substanciales sugerencias durante la redacción de la Tesis.
- A la Ing. Ana Lancho Ruiz, por sus apropiados consejos y compartir su valiosa experiencia y por el apoyo brindado en todo momento.
- A mis hermanos Luz, José, Carlos y Evy por su apoyo, por darme la estabilidad emocional y económica; para poder llegar hasta este logro, que definitivamente no hubiese podido ser realidad sin ustedes.
- A mis padres, pareja y mis hijos, por su comprensión durante los años que le dediqué a este trabajo.
- A todas aquellas personas que de alguna u otra manera han hecho posible la realización del presente trabajo de investigación

INDICE GENERAL

INDICE DE CONTENIDO

INDICE DE TABLAS

INDICE DE FIGURAS

INDICE DE APÉNDICES

	Pag.
CAPITULO I: EL PROBLEMA	1
1.1 Formulación y definición del problema	1
1.2 Importancia y justificación	1
1.3 Importancia y justificación tecnológica	2
CAPITULO II: OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo general	3
2.2 Objetivos específicos	3
CAPITULO III: MARCO TEORICO	4
3.1 Antecedentes de la mashua	4
3.1.1 Aspectos generales	4
3.1.2 Información de la especie	4
3.1.3 Descripción botánica	5
3.1.4 Variedades nativas	5
3.1.5 Usos	5
3.1.6 Valor nutritivo	6
3.1.7 Capacidad antioxidante y los metabolitos secundarios de la mashua	8
3.1.7.1 Contenido de compuestos fenólicos totales	8
3.1.7.2 Antocianinas totales	8
3.1.7.3 Carotenoides totales	9
3.1.7.4 Capacidad antioxidante hidrofílica	10
3.1.7.5 Relaciones entre contenido de antocianinas, compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante	12
3.2 Aspectos generales sobre actividad antioxidante	13
3.3 Secado	17

3.3.1	Aspectos generales sobre secado	17
3.3.2	Curvas de velocidad de secado	19
3.3.3	Secado durante el periodo de velocidad constante	20
3.3.4	Secado durante el periodo de velocidad decreciente	21
3.3.5	Secado en bandeja	21
3.4	Propiedades físicas y químicas de los alimentos secos	22
3.4.1	Actividad de agua	22
3.4.2	Isotermas de sorción de humedad	22
3.4.2.1	Tipos de sorción	23
a.	Quemisorción	23
b.	Fisorción	23
3.4.2.2	Clasificación de isoterma de sorción	23
3.4.2.3	Cálculo de monocapa	24
a.	Modelo de GAB	25

CAPITULO IV: VARIABLES E HIPOTESIS

4.1	Variables	27
4.1.1	Independiente	27
4.1.2	Dependiente	27
4.1.3	Intervenientes	27
4.1.3.1	Análisis químico proximal	27
4.1.3.2	Análisis físico-químico	27
4.1.4	Indicadores	28
4.1.4.1	Metodología para cuantificar la actividad antioxidante hidrofílica	28
4.1.4.2	Metodología para determinar la isoterma de desorción	28
4.1.4.3	Metodología para determinar las curvas de secado	29
4.1.4.4	Metodología para calcular el periodo de secado de velocidad constante	30
4.1.4.5	Metodología para calcular el periodo de secado de velocidad decreciente	32
a.	Difusión líquida de la humedad en el secado	32

CAPITULO V: METODOLOGIA Y PROCEDIMIENTO

5.1	Tipo de investigación	36
5.2	Nivel de investigación	36
5.3	Diseño de investigación	36

5.3.1	Descripción general del proceso de secado	36
a.	Selección	36
b.	Clasificación	38
c.	Lavado	38
d.	Desinfectado	38
e.	Cortado	38
f.	Acondicionamiento	38
g.	Secado	39
h.	Envasado de rodajas secas	39
i.	Molienda	39
j.	Tamizado	39
k.	Envasado y sellado	39
l.	Almacenaje	40
5.4	Población	40
5.4.1	Característica de la mashua	40
5.4.2	Delimitación	40
5.4.3	Ubicación espacio- temporal	40
5.5	Muestra	40
5.5.1	Tamaño	40
5.5.2	Cálculo del tamaño	41
5.6	Lugar de ejecución	41
5.7	Equipos, reactivos y materiales	41
5.7.1	Equipos	41
5.7.2	Reactivos	42
5.7.3	Materiales	42
CAPITULO VI: PRUEBA DE HIPÓTESIS		43
6.1	Técnica de análisis de datos	43
6.1.1	Análisis estadístico	43
a.	Análisis estadístico para evaluar la actividad antioxidante de diferentes cultivares	43
b.	Análisis estadístico para evaluar la actividad antioxidante de la harina de mashua	44

CAPITULO VII: RESULTADOS Y DISCUSION	45
7.1 Resultados del contenido de actividad antioxidante hidrofílica de diferentes cultivares de mashua	45
7.2 Caracterización de la mashua con mayor contenido de actividad antioxidante hidrofílica	48
7.2.1 Composición química de la mashua cultivar “zapallo amarillo”	49
7.3 Efecto de la temperatura de secado en bandeja sobre la actividad antioxidante hidrofílica de la mashua	50
7.4 Resultados de la isoterma de desorción de la mashua	55
7.4.1 Calidad de ajuste de las curvas obtenidas con la ecuación de GAB para las tres temperaturas de trabajo	56
7.4.2 Resultados de las constantes obtenidas con la ecuación de GAB para las tres temperaturas de trabajo	57
7.5 Resultados del proceso de secado en bandeja	58
CAPITULO VIII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	64
8.1 Conclusiones	64
8.2 Recomendaciones	65
CAPITULO IX: FUENTE INFORMACIÓN	66
CAPITULO X: APÉNDICES	75

INDICE DE TABLAS

Tabla	Pag.
1. Composición química de la mashua	7
2. Contenido total de carotenoides (TCT) y capacidad antioxidante lipofílico (LAC) en 11 genotipos de mashua (<i>Tropaeolum tuberosum</i> Ruiz & Pavón)	9
3. Capacidad antioxidante hidrofílica promedio de 30 genotipos de mashua obtenidas mediante el método del DPPH (515nm)	11
4. Sales utilizadas y su correspondiente actividad de agua para las tres temperaturas de trabajo	28
5. Resultados de actividad antioxidante hidrofílica de diferentes cultivares de mashua	46
6. Composición química de la mashua cultivar “zapallo amarillo”	49
7. Resultados del contenido de la actividad antioxidante hidrofílica de la mashua fresca y seca	51
8. Calidad de ajuste de la ecuación de GAB obtenidas para las tres temperaturas de trabajo	56
9. Resultados de las constantes de la isoterma de desorción de la mashua obtenida con la ecuación de GAB para las tres temperaturas de trabajo	58
10. Resultados de los tiempos de predicción, experimental y humedad de equilibrio obtenidas para las tres temperaturas de secado	63

INDICE DE FIGURAS

Figura		Pág
1.	Curva típica de velocidad de secado constante: a) gráfica de los datos de humedad libre en función del tiempo, b) curva de secado en función del contenido de humedad libre	19
2.	Clasificación de isoterma de sorción de humedad	24
3.	Flujo de operaciones para el secado en bandeja de la mashua	37
4.	Cultivares de mashua	45
5.	Resultados del contenido de actividad antioxidante hidrofílica de diferentes cultivares de mashua	47
6.	Mashua cultivar Zapallo Amarillo	48
7.	Resultados del contenido de la actividad antioxidante hidrofílica de la mashua fresca y seca	52
8.	Isoterma de desorción de la mashua modelado con la ecuación de GAB. a) 40°C, b) 50°C y c) 60°C	55
9.	Curva de secado de la mashua para las tres temperaturas utilizadas	59
10.	Diagrama de esparcimiento y modelada de la velocidad de secado en función al contenido de humedad libre de las rodajas de mashua. a) 40°C, b) 50°C y c) 60°C	61

APENDICES

Apéndice

1. Metodología para determinar la actividad antioxidante hidrofílica o lipofílica utilizando el método DPPH.
2. Resultado del contenido de humedad de la mashua “zapallo amarillo” fresca.
3. Características físicas de la mashua “zapallo amarillo” fresca.
4. Secuencia del programa para determinar las constantes de la ecuación de GAB, de la isoterma de desorción.
5. Isoterma de desorción experimental y modeladas con la ecuación de GAB para las tres temperaturas de trabajo.
 - 5.1 Resultados de la isoterma de desorción de la mashua experimental y modelada con la ecuación de GAB para 40°C.
 - 5.2 Resultados de la isoterma de desorción de la mashua experimental y modelada con la ecuación de GAB para 50°C.
 - 5.3 Resultados de la isoterma de desorción de la mashua experimental y modelada con la ecuación de GAB para 60°C.
6. Datos teóricos, experimentales y cálculos realizados para determinar las curvas y tiempo de secado.
 - 6.1 Datos teóricos y experimentales, determinados para la mashua “zapallo amarillo”.
 - 6.2 Cálculos realizados para determinar el tiempo de secado del periodo de velocidad constante.
 - 6.3 Representación gráfica para describir el mecanismo que gobierna la migración del agua de las rodajas de mashua en el periodo decreciente,
 - a) 40°C, b) 50°C y c) 60°C.
 - 6.4 Representación gráfica para hallar el coeficiente de difusividad líquida (D_L),
 - a) 40°C, b) 50°C y c) 60°C.
 - 6.5 Cálculos realizados para determinar el tiempo de secado del periodo de velocidad decreciente por el método de difusividad.
7. Cálculos realizados para determinar las curvas de secado.
 - 7.1 Cálculos realizados para determinar la curva y curva de velocidad de secado experimental para 40°C.
 - 7.2 Cálculos realizados para determinar la curva y curva de velocidad de secado estimada para 40°C.

- 7.3 Cálculos realizados para determinar la curva y curva de velocidad de secado experimental para 50°C.
- 7.4 Cálculos realizados para determinar la curva y curva de velocidad de secado estimada para 50°C.
- 7.5 Cálculos realizados para determinar la curva y curva de velocidad de secado experimental para 60°C.
- 7.6 Cálculos realizados para determinar la curva y curva de velocidad de secado estimada para 60°C.
8. Análisis de variancia y la prueba de Tukey para evaluar el contenido de actividad antioxidante hidrofílica de diferentes cultivares de mashua.
 - 8.1 Análisis de variancia para evaluar los contenidos de actividad antioxidante hidrofílica de diferentes cultivares de mashua.
 - 8.2 Prueba de comparación de los contenidos de actividad antioxidante hidrofílica, de diferentes cultivares de mashua
9. Análisis de variancia y la prueba de tukey para evaluar el efecto de la temperatura de secado en bandeja sobre la actividad antioxidante hidrofílica.
 - 9.1 Análisis de variancia para evaluar si existe diferencias entre las medias del contenido de actividad antioxidante hidrofílica de la mashua, para las tres temperaturas de secado.
 - 9.2 Prueba de comparación del contenido de actividad antioxidante hidrofílica, determinado con diferentes temperaturas de secado.
10. Determinación de la curva estándar de Trolox a 515 nm en metanol DPPH.

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue determinar el cultivar de mashua que contenga mayor actividad antioxidante hidrofílica (AAH) entre: “kello”, “yana ñawi”, “zapallo amarillo” y “cheqchi” en estado fresco; evaluar el efecto de la temperatura de secado sobre la pérdida de AAH de la mashua seleccionado en el objetivo anterior y simular la curva y el tiempo del proceso de secado de la mashua. De acuerdo a los resultados estadísticos, el cultivar “zapallo amarillo” resultó con mayor contenido de AAH. Para evaluar la pérdida de AAH del cultivar “zapallo amarillo”, se sometió a un proceso de secado, en un secador de tipo bandeja con los siguientes parámetros: temperaturas de bulbo seco a $40\pm 1^{\circ}\text{C}$, $50\pm 1^{\circ}\text{C}$ y $60\pm 1^{\circ}\text{C}$, espesor de la rodaja 2 mm y velocidad de aire de $1,4\pm 0,5$ m/s; de acuerdo a los métodos estadísticos aplicados a los resultados, el análisis de variancia con un nivel de significación de $p < 0,05$, indica que existe alta significación entre los tres niveles de temperatura sobre la pérdida de AAH, y el análisis comparativo de medias (prueba de Tukey $p < 0,05$), confirma dicha significación; resultando la menor pérdida de AAH correspondiente al tratamiento a 40°C . Cuando se modeló los datos obtenidos se observó que durante el proceso de secado puede distinguirse dos periodos de secado: periodo de velocidad constante, donde la velocidad de secado disminuye linealmente con la humedad libre de la mashua y una segunda etapa más lenta, periodo de velocidad decreciente, donde la velocidad de secado se modeló con las ecuaciones de Fick. De acuerdo a los tiempos de secado, al comparar los tiempos experimentales con los valores predichos con los modelos supuestos, se confirmó la validez y constituye por tanto una herramienta útil para el cálculo del tiempo de secado.

CAPITULO I

EL PROBLEMA

1.1 FORMULACIÓN Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La pérdida de actividad antioxidante hidrofílica natural, durante el procesado de los alimentos se ha vuelto un problema, debido a su baja resistencia contra el oxígeno, catálisis iónico de metal, temperaturas altas, luz, secado y grado higrométrico; por ello se debe determinar los parámetros óptimos de secado para minimizar la pérdida de los compuestos bioactivos (Gregory, 1996; citado por Erenturk *et al.*, 2004, Pocorny y Schmidt, 2001).

1.2 IMPORTANCIA Y JUSTIFICACIÓN

Las Plantas Andinas y Amazónicas constituyen una parte de nuestro patrimonio regional. Nos toca a nosotros, los peruanos como parte de esta comunidad tan diversa, investigar sus bondades que contienen estas plantas. El auge por los productos naturales en los países desarrollados significa que la atención del mundo está dirigida hacia la biodiversidad andina y amazónica. Su aprovechamiento debe ser en beneficio de todos, especialmente de nuestros pueblos. Mucho de nosotros desconocemos el potencial de estos recursos y por ello es indiferente y le damos poca importancia a lo poco que se conoce. Son nuestros pueblos o comunidades nativas los que ancestralmente conocen sus diversas cualidades que hasta ahora la aprovechan (Palma, 2003).

La mashua es un tubérculo andino utilizado tradicionalmente por los pobladores urbano rurales de los andes sudamericanos, donde es cultivada y apreciada por su alto valor nutricional y medicinal así como por sus propiedades anafrodisiacas, fungicidas, bactericidas y nematocidas (Espinoza *et al.*, 2002). No se tiene variedades claramente establecidas, pero existe gran variabilidad de ecotipos en cuanto a forma y coloración siendo los más cultivados: los cultivares “zapallo amarillo”, “yana ñawi”, “amarillo” y “cheqchi” (Caceda y Rossel, 1991; Echegaray, 1998).

Estudios recientes indican que la mashua contiene alto contenido de ácido ascórbico, compuestos fenólicos, antocianinas, así como un importante contenido de actividad antioxidante hidrofílica (Campos *et al.*, 2006; Chirinos *et al.*, 2007; Collazos *et al.*, 1993 y Temoche *et al.*, 2004).

1.3 IMPORTANCIA Y JUSTIFICACIÓN TECNOLÓGICA

Considerando la existencia de diferentes métodos de secado, el presente trabajo se evaluó, en que medida, la actividad antioxidante hidrofílica de la mashua es afectada por la aplicación de un proceso de secado convectivo por aire caliente en un secador de tipo bandeja.

El secador de bandeja, normalmente se usa para secar frutas y verduras, y es escogido debido a su simplicidad y por su bajo costo (Nindo *et al.*, 2003).

CAPITULO II

OBJETIVOS

2.1 GENERAL

Determinar la actividad antioxidante hidrofílica de la mashua en estado fresco y seco, utilizando la tecnología de secado convectivo por aire caliente de tipo bandeja.

2.2 ESPECIFICOS

- Determinar el cultivar de mashua que contenga mayor actividad antioxidante hidrofílica, entre los cuatro cultivares de mashua: “kello”, “yana ñawi”, “zapallo amarillo” y “cheqchi”, en estado fresco, que se emplearan en el presente trabajo de investigación.
- Evaluar el efecto de la temperatura de secado convectivo por aire caliente en tipo bandeja, sobre la retención de la actividad antioxidante hidrofílica de la mashua, seleccionado en el objetivo anterior.
- Simular la curva y el tiempo del proceso de secado de la mashua.

CAPITULO III

MARCO TEORICO

3.1 ANTECEDENTES DE LA MASHUA

3.1.1 ASPECTOS GENERALES

La mashua (*Tropaeolum tuberosum* Radon & Pavón), es uno de los tubérculos más importantes después de la papa, olluco y oca y se cultiva en los valles húmedos de la zona andina de Perú, Colombia, Argentina, Ecuador y Bolivia (National Research Council, 1989). Según Meza *et al.* (1997) mencionan que, la planta hereditaria es de la Meseta Peruano-Boliviano. Pero ahora puede encontrarse en lugares tan lejanos como Canadá, Europa y Nueva Zelanda (National Research Council, 1989). Entre los tubérculos andinos, la mashua es de mayor rendimiento, entre 9 y 70 TM/ha (Caicedo, 1999). Crece en alturas de 3000 a 4000 msnm, pero la planta produce sus mejores cosechas y alto rendimiento entre 3500 y 3800 msnm (Hernández y León, 1992). Superando los rendimientos de la papa (de dos por uno) además de crecer en suelos pobres y sin fertilizantes (Tineo, 1993).

3.1.2 INFORMACION DE LA ESPECIE

Nombre botánico : *Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavon

Familia : Tropaeolacea

Nombres comunes:

Quechua : mashua, añu, apiñu, apiña-mama

Aymara : isau, issanu, kkayacha

Español : mashua (mafua, mauja, maxua).

Perú : mashuar, añu, anyu

Colombia : cubios, navios, navo

Bolivia : isaño, isañu, apilla

Inglés : mashua, anu.

(National Research Council, 1989)

3.1.3 DESCRIPCIÓN BOTÁNICA

Es una planta herbácea de 20 a 80 cm de alto, de tallos aéreos, cilíndricos y delgados de 2 a 4 mm de diámetro, ramificados de color púrpura. Tiene hojas de color verde oscuro brillante en el haz y verde claro en el envés, las flores son solitarias de diferentes colores que van de anaranjadas o rojizas (Hernández y León, 1992).

3.1.4 VARIEDADES NATIVAS

Existen más de 100 variedades que han sido reconocidos (National Research Council, 1989). No existen estudios profundos sobre la variación en *Tropaeolum tuberosum*, algunos autores los clasifican de acuerdo al color, tipo y distribución de colores (Meza *et al.*, 1997).

Espinoza (1977) citado por Delgado (1978) menciona que, a los clones de mashua lo diferencian de acuerdo al color del tubérculo en idioma quechua:

Occe añu	Plomizo
Yana añu	Negrusco
Puca añu	Rojizo
Muru añu	Morado
Chhecce añu	Gris
Zapallo añu	Amarillo
Yurac añu	Blanco

Existe gran variabilidad de ecotipos en cuanto a la forma y coloración, siendo los más cultivados los ecotipos “kello”, “yana ñawi”, “zapallo amarillo” y en menor proporción el “cheqchi” (Cáceda y Rossel, 1991; Echegaray, 1998).

3.1.5 USOS

La mashua se cultiva con el objeto de aprovechar los tubérculos como alimento, con fines medicinales y ornamentales (Chacón, 1960).

Más allá de su utilidad como repelentes de muchos insectos, nemátodos y otros patógenos. La mashua se destina una cierta cantidad para el consumo animal y otra cantidad se destina para el consumo humano, y se utiliza como ingredientes en sopas, guisos, encurtidos, mermelada, postres (Ortega, 1992).

En Nueva Zelanda, aparte de consumir sus tubérculos en sopas y estofados, también son consumidas las hojas jóvenes y las flores (National Research Council, 1989).

Por su valor diurético y nutritivo es consumida con agrado por adultos y niños del área rural sancochada en una pachamanca, o en el horno, adquiere un sabor especial semejante al camote (Salas, 1998).

Actualmente la mashua es muy escasa debido a que tiene poco valor comercial, ya que no es muy apetecido por el hombre porque tiene un sabor picante cuando está cruda, debido a los isotiocianatos (aceite de mostaza); en cocido pierde esta característica (Hernández y León, 1992).

Esta especie se considera única, dentro de los alimentos se le incluye propiedades de reprimir el deseo sexual (Tapia, 1984).

3.1.6 VALOR NUTRITIVO

La mashua es muy nutritiva y contiene cerca de 20% de sólido y proteína alrededor de 16% en materia seca, y que podría ser usada como alimento de cerdos y terneros, y que podría volverse un alimento valioso y barato debido a su alto rendimiento. Sin embargo la proteína es altamente variable, dependiendo mucho de la variedad (National Research Council, 1989).

La mashua contiene una cantidad elevada de aminoácidos esenciales como lisina, aminoácido limitante en muchos cereales y leguminosas (Espinoza *et al.*, 2002).

Estudios realizados en la alimentación de cerdos demostraron que, aquellos alimentados con mashua tuvieron un aspecto vigoroso, piel y pelo con mejor aspecto y un mayor apetito (Bateman, 1961).

La mashua cuyo nombre botánico es *Tropaeolum tuberosum* Radon & Pavon, presenta la composición química que se indica en la Tabla 1.

Tabla 1. Composición química de la mashua (en 100g de parte comestible)

Componentes	Base húmeda (B H)			Base seca (B S)	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	Rango	Promedio	Promedio	Rango	Promedio
Humedad (%)	79,10-88,8	87,4	86	78,3-92,4	-
Carbohidratos (g)	-	9,8	11	-	78,6
Proteína (g)	1,13-2,65	1,5	1,6	6,9-15,7	11,4
Grasa (g)	-	0,7	0,6	0,1-1,4	4,3
Cenizas (g)	0,56-1,08	0,6	0,8	4,2-6,5	5,7
Fibra (g)	-	0,9	0,8	7,8-8,6	-
Azúcares (g)	5,37-9,33	-	-	-	-
Potasio (mg)	1,28-1,76	-	-	-	-
Fósforo (mg)	0,61-0,83	29	42	-	300
Calcio (mg)	-	12	7	-	50
Hierro (mg)	-	1,0	1,2	-	8,6
Vitamina. A (mg)	-	-	15	-	214
Tiamina (mg)	-	0,10	0,06	-	0,46
Riboflavina. (mg)	-	0,12	0,08	-	0,57
Niacina (mg)	-	0,67	0,6	-	4,3
Vitamina C (mg)	-	77,5	67	-	476

- Fuentes:
- (1) Tapia (1984)
 - (2) Collazos *et al.* (1993)
 - (3) Meza *et al.* (1997)
 - (4) King (1986), citado por Ramallo (1999)
 - (5) National Reserach Council (1989)

3.1.7 CAPACIDAD ANTIOXIDANTE Y LOS METABOLITOS SECUNDARIOS DE LA MASHUA

3.1.7.1 CONTENIDO DE COMPUESTOS FENÓLICOS TOTALES

Campos *et al.* (2006) señalan que en los tubérculos de mashua, el contenido de compuestos fenólicos totales, se encuentran en un rango de 0,92 a 3,37 mg g⁻¹. Los genotipos ARB-5241, DP-02-24 y AGM-5109 tienen alto contenido de compuestos fenólicos con 3,37; 3,05 y 2,75 mg g⁻¹ respectivamente. Los genotipos de mashua de color púrpura, presentaron alto contenido de compuestos fenólicos totales, mientras que los genotipos de mashua color amarillo presentaron bajo contenido de compuestos fenólicos totales. El contenido de compuestos fenólicos totales de ARB-5241 fue comparado con las fresas, usado como una referencia (3,35 mg g⁻¹).

Chirinos *et al.* (2007) encontraron diferencias significativas en el contenido de compuestos fenólicos totales entre los 10 cultivares de mashua, para cada etapa de maduración ($p < 0,05$). Entre los cultivares de color púrpura, ARB-5241 muestra un progresivo incremento durante todo el proceso de maduración, mientras el cultivar AGM-5109 presentó valores casi constantes y los compuestos fenólicos totales de DP-02-24 incrementó hasta los 6 meses seguido por un decrecimiento hasta 7,5 meses. En los cultivares de colores amarillos, los compuestos fenólicos totales, muestran un modelo de decrecimiento ligero durante la maduración.

3.1.7.2 ANTOCIANINAS TOTALES

Las antocianinas totales del genotipo de la mashua pigmentadas se encuentran en un rango de 0,5 a 2,05 mg g⁻¹. La mayor cantidad de antocianinas totales se encontró en el genotipo DP-02-24 y se encuentra dentro del rango reportado para las fresas, 1,38 – 3,85 mg g⁻¹. Las antocianinas totales de los tubérculos de mashua parecen tener un componente significativo de compuestos fenólicos totales en los genotipos pigmentados. Por ejemplo, la relación de las antocianinas totales entre el contenido de compuestos fenólicos totales, el rango de la fracción se encuentra entre 0,3 y 0,67 (Campos *et al.*, 2006).

Tabla 2. Contenido total de carotenoide (TCT) y capacidad antioxidante lipofílico (LAC) en 11 genotipos de mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón)

Genotipo	Color Pulpa /cáscara ^a	Humedad (%) ^b	TCT ($\mu\text{g/g}$) ^b	LAC ($\mu\text{g TE/g}$) ^b
AVM-5562	Y/Y	92 \pm 1,6 ^c	14 \pm 3 ^{d,e}	217 \pm 37,7 ^{c,f}
DP-02-07	Y/Y	90 \pm 1,0 ^{c,d}	21 \pm 3 ^{d,e}	221 \pm 13,0 ^{e,f}
DP-02-15	Y/Y	90 \pm 1,9 ^{c,d,e}	17 \pm 1 ^{d,e}	186 \pm 9,6 ^{d,e}
M6COL2C	Y/Y	90 \pm 1,6 ^{c,d,e}	23 \pm 6 ^c	279 \pm 15,0 ^f
DP-02-23	Y/Y	90 \pm 1,6 ^{c,d,e}	13 \pm 6 ^{d,e}	93 \pm 22,85 ^c
AGM-5109	P/Y	89 \pm 1,2 ^{c,d,e}	18 \pm 0 ^{d,e}	128 \pm 56,1 ^{d,e}
DP-02-23	Y/Y	87 \pm 2,8 ^{c,d}	21 \pm 4 ^{d,e}	224 \pm 24,7 ^{e,f}
DP-02-24	P/P	87 \pm 1,3 ^{c,d}	ND	ND
ARB-5576	Y/Y	87 \pm 1,4 ^{c,d}	25 \pm 9 ^e	218 \pm 12,8 ^{e,f}
ARB-5241	P/Y	85 \pm 1,7 ^c	10 \pm 1 ^{c,d}	202 \pm 19,3 ^{d,e,f}
ARV-5566	Y-P/Y	86 \pm 0,6 ^c	1 \pm 0 ^c	225 \pm 44 ^{e,f}

^aP, púrpura; Y, amarillo.

^bPromedio \pm SD (n=3). Los promedios dentro de cada columna con la misma letra de superíndice no son significativamente diferentes ($p>0,05$). ND, no detectado

Fuente: Campos *et al.* (2006)

3.1.7.3 CAROTENOIDES TOTALES

Campos *et al.* (2006) mencionan que los tubérculos de mashua contienen carotenoides totales que se encuentran en un rango de 1 a 25 $\mu\text{g } \beta\text{-caroteno g}^{-1}$. Los genotipos ARB-5576, M6COL2C y DP-02-07 tienen alto contenido de carotenoides con 25, 23 y 21 $\mu\text{g g}^{-1}$ respectivamente. Los contenidos de carotenoides de los tubérculos de mashua son relativamente elevados, comparado con la papa comercial y nativas; también es comparado con el contenido de papaya (4,08 $\mu\text{g g}^{-1}$). Sin embargo, el contenido de carotenoides totales de la mashua es reducido respecto a tomate (56-210 $\mu\text{g g}^{-1}$), mango (74,3 $\mu\text{g g}^{-1}$) y zanahoria (90 \pm 16 $\mu\text{g g}^{-1}$).

Los altos valores de carotenoides totales fueron siempre observados en los cultivares con bajo contenido fenólico. Un incremento gradual en el contenido de carotenoides fue observado durante el desarrollo del tubérculo entre los cultivares amarillos y el cultivar púrpura AGM-5109, los valores altos se obtienen en maduración completa. A lo largo de la maduración los cultivares amarillos incrementan en un rango de 1,25 a 3,8 para ARB 5576 y DP-0215, respectivamente. Los cultivares púrpuras DP-02-24 y ARB-5241 presentaron valores casi constantes durante el desarrollo del tubérculo (Chirinos *et al.*, 2007).

Navas *et al.* (1993) mencionan que las variedades amarillas contienen alto contenido de vitamina A.

3.1.7.4 CAPACIDAD ANTIOXIDANTE HIDROFÍLICA

La capacidad antioxidante hidrofílica de los tubérculos de mashua, se encuentra en un rango de 955 a 9800 μg Eq. Trolox /g, expresado en base húmeda (bh), determinado con el método 2,2-azinobis 3-ethyl benzothiazoline-6-sulfonic acid (ABTS). Los genotipos ARB-5241, DP-02-24 y ARV- 5366 muestran alto contenido de capacidad antioxidante hidrofílica con valores de 9 800, 9 309 y 7 867 μg Eq. Trolox /g (bh) por ABTS, respectivamente. Nuestros resultados indican que el genotipo de mashua ARB-5241 es comparado con arándano (cultivar premier de capacidad antioxidante hidrofílica con un valor de 9 575 μg Eq. Trolox /g (bh) por ABTS), que es considerado una de las frutas con alto contenido de capacidad antioxidante (Campos *et al.*, 2006 y Ríos, 2004).

Los 30 genotipos de mashua evaluados poseen alta capacidad antioxidante. Los genotipos que presentaron valores altos son: ACH con 2 453,73 μg Eq. Trolox /g (bh) determinado con DPPH y 4 798,51 μg Eq. Trolox /g (bh) determinado por ABTS; DP-0224 con 2 156,59 μg Eq. Trolox /g (bh) determinado por DPPH y 4 006,63 μg Eq. Trolox /g (bh) determinado por ABTS y MP-033 presentó 1 637,50 μg Eq. Trolox /g (bh) hallado con DPPH y 3 389,3 μg Eq. Trolox /g (bh) obtenido con ABTS, todos de coloración morada. Para todos los casos la capacidad antioxidante cuantificada por el método del ABTS resultaron ser mayores que con el DPPH, llegando a ser hasta un 72% mayor (Temoche *et al.*, 2004).

En la Tabla 3, se presenta la capacidad antioxidante hidrofílica promedio de 30 genotipos de mashua obtenidas mediante el método DPPH (515nm).

Tabla 3. Capacidad antioxidante hidrofílica promedio de 30 genotipos de mashua obtenidas mediante el método del DPPH (515nm). M: Genotipo morado, B: Genotipo blanco, N: Genotipo naranja

Genotipo	Capacidad antioxidante ($\mu\text{g Eq. Trolox/g, bh}$)	Capacidad antioxidante ($\mu\text{g Eq. Trolox/g, bs}$)
ACH (M)	2 452,70 \pm 141,58	11 955,93 \pm 690,15
DP-0224 (M)	2 156,60 \pm 52,52	14 826,95 \pm 361,06
MP-033 (M)	1 637,50 \pm 76,33	12 824,93 \pm 597,80
06 (M)	1 603,0 \pm 143,04	11 986,75 \pm 1 069,60
AGM-5118 (M)	1 446,90 \pm 6,44	12 102,08 \pm 53,87
ARB-5241 (M)	1 430,90 \pm 47,35	10 334,72 \pm 342,00
07 (B)	1 477,60 \pm 172,94	11 050,58 \pm 1 293,37
21 (B)	1 418,90 \pm 32,26	8 411,55 \pm 191,25
18 (B)	338,50 \pm 67,14	1 727,62 \pm 342,67
02 (N)	435,00 \pm 7,66	2 801,31 \pm 49,34
03 (N)	255,30 \pm 8,96	2 470,22 \pm 86,66
04 (N)	171,40 \pm 3,24	1 189,23 \pm 22,47
05 (N)	279,10 \pm 7,49	1 821,07 \pm 48,89
08 (N)	284,20 \pm 11,29	1 490,87 \pm 59,24
09 (N)	356,10 \pm 14,71	2 723,71 \pm 112,52
10 (N)	581,50 \pm 27,85	4 081,57 \pm 195,51
11 (N)	479,30 \pm 11,43	3 805,95 \pm 90,78
12 (N)	284,20 \pm 14,12	1 732,87 \pm 98,64
13 (N)	493,90 \pm 9,81	4 115,66 \pm 81,71
14 (N)	360,30 \pm 5,36	2 654,35 \pm 39,47
16 (N)	1 301,90 \pm 29,39	6 880,84 \pm 155,31
19 (N)	188,70 \pm 28,47	1 310,89 \pm 197,79
22 (N)	288,40 \pm 52,80	1 854,84 \pm 339,58
23 (N)	203,80 \pm 11,99	1 403,46 \pm 82,57
24 (N)	457,90 \pm 34,58	3 695,33 \pm 279,05
26 (N)	211,10 \pm 4,42	1 257,62 \pm 26,32
27 (N)	163,50 \pm 5,62	1 641,03 \pm 56,38
28 (N)	274,50 \pm 9,22	1 993,05 \pm 66,96
29 (N)	450,20 \pm 3,08	3 862,80 \pm 26,45
30 (N)	368,00 \pm 39,23	1 926,36 \pm 205,38

Fuente: Temoche *et al.* (2004)

3.1.7.5 RELACIONES ENTRE EL CONTENIDO DE ANTOCIANINAS, COMPUESTOS FENÓLICOS Y LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE

La capacidad antioxidante hidrofílica de la mashua, está relacionada con el contenido de antocianinas totales y de compuestos fenólicos totales. La baja correlación de antocianinas totales con capacidad antioxidante hidrofílica ($r = 0,48$, $p = 0,11$); y la alta correlación entre contenido de compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante hidrofílica ($r = 0,84$, $p = 0,00$), la mayoría son probablemente debido a la presencia de diferentes compuestos fenólicos en los tubérculos de mashua (Campos *et al.*, 2006).

Entre los cultivares de color púrpura, ARB-5241 fue el único que presentó una alta correlación entre antocianinas y capacidad antioxidante ($r = 0,89$; $p < 0,01$). Los cultivares de color púrpura DP-02-24 y AGM-5109, presentaron una relación pobre, indicando que, otros compuestos fenólicos pueden predominar, el efecto antioxidante. Una significativa correlación fue observada entre la capacidad antioxidante y compuestos fenólicos totales, para los cultivares DP-0224, ARB-5241, AGM-5109, M6COL2C, DP-0215 Y DP-0203 ($0,691 < r < 0,911$, $p < 0,01$). Estas diferencias en el coeficiente de correlación, sugiere una importante diferencia entre los cultivares que podrían ser relacionado para diferentes perfiles de antioxidante y compuestos fenólicos. (Chirinos *et al.*, 2007).

Ríos (2004) menciona que el genotipo ARB-5241 presentó una alta capacidad antioxidante hidrofílica, a pesar de no reportar un alto contenido en antocianinas, pero si mayor contenido en fenólicos totales. Sin embargo, los genotipos DP-0215 y M6COL2C los cuales presentaron un bajo contenido de compuestos fenólicos en comparación al genotipo AGM-5109 de coloración morada, presentaron una capacidad antioxidante hidrofílica similar.

Chirinos *et al.* (2007) mencionan que la baja y/o correlación negativa de otros cultivares pueden indicar diferencias, en los promedios y perfiles de compuestos fenólicos y/o la presencia de otros compuestos bioactivos, que puede contribuir a la capacidad antioxidante incluyendo ácido ascórbico y glucosinolatos.

Moyer *et al.* (2002) citado por (Ríos, 2004) menciona que, al evaluar 32 genotipos de grosellas (*Ribes*) observaron una baja relación, entre el contenido de compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante hidrofílica, lo que se debería al alto contenido de ácido ascórbico que presenta esta fruta, lo cual contribuye a la capacidad antioxidante más no al contenido de compuestos fenólicos.

Navas *et al.* (1993); Collazos *et al.* (1993) y Meza *et al.* (1997) mencionan que, la mashua presenta un contenido inusual de ácido ascórbico, de aproximadamente 75; 77,5 y 67mg/ 100g respectivamente. Expresado en base húmeda.

3.2 ASPECTOS GENERALES SOBRE ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE

Durante los últimos años, existe un interés sostenido y creciente en el uso de los antioxidantes para el tratamiento de enfermedades y la importancia del rol de los antioxidantes de la dieta en la prevención del desarrollo de algunas patologías (Cañas y Buschiazzo, 2000). La patogénesis de muchas enfermedades crónicas es el involucramiento del estrés oxidativo y antioxidante (Frei, 1999).

Las Especies Oxigénicas Reactivas (ROS), son Radicales Libres (RL), es decir especies moleculares activas, dotadas de un electrón desapareado en un nivel energético superior y por tanto dotadas de propiedades paramagnéticas, lo que les confiere una alta e indiscriminada reactividad (González *et al.*, 2001).

Los radicales libres son compuestos altamente tóxicos, que en condiciones normales se generan en los sistemas biológicos, como productos finales del proceso de la respiración celular (Desmachelier, 1997).

La producción del radical libre ocurre continuamente dentro de las células, como una función normal de las células. Sin embargo, el exceso de producción del radical libre que se origina de las fuentes endógenas o exógenas, generan un estado denominado estrés oxidativo (Young & Woodside, 2001; Wang *et al.*, 1996). Durante este proceso se producen daños químicos (oxidación) de moléculas estructurales, entre ellos lípidos, proteínas, glúcidos, ácidos nucleicos, etc. Y con ello originan muchas enfermedades (Sánchez *et al.*, 2002 y Wang *et al.*, 1996).

Ante el estrés oxidativa, el organismo responde con la defensa antioxidante, pero en determinadas ocasiones puede ser insuficiente, desencadenando diferentes procesos fisiológicos y fisiopatológicos. En la actualidad son muchos los procesos relacionados con la producción de radicales libres como son: mutagénesis, cáncer, arteriosclerosis, infarto de miocardio, diabetes, enfermedades inflamatorias, trastornos del sistema nerviosos central, envejecimiento, enfermedades crónicas, enfermedad de la arteria coronaria, obesidad, cataratas, varios desórdenes neurodegenerativos, alzheimer, etc. (Wen-Chi *et al.*, 2001; Frei, 1999; Lee & Shibamoto, 2002; Gonzáles *et al.*, 2001).

No cabe duda que todos los sistemas biológicos en ambientes oxigenados han desarrollado mecanismos de defensa, tanto a nivel fisiológico como bioquímico. Entre ellos destacan, a nivel bioquímico, la defensa antioxidante que puede ser enzimático o no enzimático, así como sistemas reparadores de moléculas (Gonzáles *et al.*, 2001).

Los antioxidantes, son pequeñas moléculas que se encuentran presentes dentro y fuera de la célula (Frei, 1999). Los antioxidantes enzimáticos son: superóxido dismutasa (SOD), catalasa (CAT), glutatión peroxidasa (GPx) y DT-diaforasa; los antioxidantes no enzimático son: vitamina E, vitamina C, β -caroteno, ferritina, ceruloplasmina, selenio, glutatión reducido (GSH), manganeso, ubiquinona, zinc, ácido úrico, flavonoides, polifenoles, isoflavones, catequinas, etc. (Gonzáles *et al.*, 2001; Frei, 1999; Cañas y Buschiazzo, 2000).

En el organismo, se produce un equilibrio entre oxidantes / antioxidantes, cuando este equilibrio se rompe a favor de los oxidantes, se produce un estrés oxidativa el cual esta implicado en muchos procesos fisiopatologicos (enfermedades, envejecimiento celular, etc.). Por tanto, es de vital importancia el consumo de alimentos que contengan antioxidantes naturales para mantener el equilibrio entre oxidantes y antioxidantes (Gonzáles *et al.*, 2001).

Los antioxidantes previenen el daño del tejido, inducido por radicales libres, previniendo la formación de radicales, secuestrándole, o previniendo su descomposición y protegiendo contra el daño oxidativa (Young and Woodside, 2001; Lee and Shibamoto, 2002). Esto sugiere, que la ingesta elevada de nutrientes antioxidantes de fuentes dietéticas ofrecen ventajas para la salud (Cañas y Buschiazzo, 2000).

Hay muchos resultados epidemiológicos que revelan una asociación entre las persona que tienen una dieta rica en frutas y hortalizas, hay una disminución en el riesgo de contraer estas enfermedades (Wen-Chi *et al.*, 2001). Pero no indican las frutas y hortalizas que debemos ingerir. Por consiguiente, es necesario identificar, la biodisponibilidad relativa, absorción y bioactividad de las principales frutas y hortalizas más benéficas (Halvorsen *et al.*, 2002). Además, no hay un antioxidante universal. Diferentes compuestos actúan en diferentes líneas de defensa contra las Species Oxigénicas Reactivas (ROS). Estos pueden basarse en su modo de acción como antioxidantes y/o su localización dentro de la célula. Muchos antioxidantes se saben que operan sinérgicamente para proporcionar una barrera efectiva contra la oxidación (Young & Lowe, 2001; Young & Woodside, 2001).

Altas concentraciones de vitamina C pueden prevenir mutaciones inducidas por la oxidación en células humanas (Lutsenko *et al.*, 2002). Vitamina C realmente secuestra al oxígeno reactivo y especies de nitrógeno y por eso puede prevenir el daño oxidativa de macromoléculas como ADN, lípidos y proteínas (Carr & Frei, 1999).

Fennema (2000) menciona que, debido a su estructura química, los compuestos fenólicos resultan ser eficaces donadores de electrones o átomos de hidrogeno, atribuyéndole a esta conformación estructural el alto potencial antioxidante.

La efectividad de los carotenoides como antioxidante depende de su interacción con otros co-antioxidantes, especialmente las vitaminas E y C. Sin embargo, los carotenoides pueden perder su efectividad como antioxidantes a altas concentraciones (Young & Lowe, 2001; Paolini *et al.*, 2001).

Los antioxidantes de las frutas y hortalizas protegen contra las enfermedades relacionadas con el estrés oxidante, los resultados de los ensayos de investigación con compuestos únicos como las vitaminas E, C y β -caroteno no ha apoyado este efecto de protección (Carr & Frei, 1999; Frei, 1999; Paolini *et al.*, 2001). La razón de estos ensayos clínicos ineficientes sería que los efectos protectores de frutas y hortalizas provienen de la acción de compuestos antioxidantes menos conocidos o de una acción conjunta de antioxidantes de los alimentos (Shi *et al.*, 2001).

En el caso de los alimentos debe tenerse en cuenta que la actividad antioxidante es dependiente de una multitud de factores, incluidas las propiedades coloidales de los substratos, las condiciones y etapas de oxidación, así como la posible localización de los antioxidantes y substratos en las distintas fases presentes en el alimento (Gonzales, 2001). También deberíamos esperar una acción conjunta de los numerosos antioxidantes presentes en la dieta, desde las estructuras físicas excesivamente complejas que conforma un individuo (Halvorsen *et al.*, 2002).

Shi *et al.* (2001) indican que, es necesaria una variedad de antioxidantes para mantener el nivel adecuado de redox en un sistema biológico no-homogéneo, lo que sería similar a las coordinadas reacciones redox que ocurren durante la cadena respiratoria en la mitocondria.

Prior & Cao (2000) realizaron estudios, y cuantificaron, detalladamente los antioxidantes naturales, una cantidad bien conocida, como el β -caroteno, α -tocoferol, y vitamina C. Sin embargo, los datos actuales sugieren que solo conocemos una parte relativamente pequeña de antioxidantes naturales de muchos alimentos.

Halvorsen *et al.* (2002) mencionan que, sería más sencillo probar los efectos protectores de uno o una cantidad limitada de antioxidantes, quizás nunca encontremos una asociación si son bioactivos o trabajan sinérgicamente numerosos y quizás cientos de antioxidantes dietarios, como los carotenoides, ácidos polifenólicos, sulfuros, flavonoides, lignanos, etc. Así, la cantidad total que donan electrones (es decir, reductores) en la dieta proveniente de las combinaciones de antioxidantes individuales que ocurrirían en los alimentos, sería un mejor concepto que los antioxidantes dietarios individuales.

Pocorny & Schmidt (2001) mencionan que, existe una desventaja de los antioxidantes naturales por su baja resistencia contra el oxígeno, particularmente bajo la exposición a la luz, temperaturas altas y secado. Los cambios de antioxidantes continúan durante el almacenamiento de los alimentos.

3.3 SECADO

3.3.1 ASPECTOS GENERALES SOBRE SECADO

El secado es una de las técnicas ampliamente utilizada para la conservación de alimentos. El secado al sol de frutas, granos, vegetales, carnes y pescados han sido ampliamente utilizado, desde los albores de la humanidad, proporcionando al hombre una posibilidad de subsistencia en época de carencia de alimentos (Fito *et al.*, 2001 citado por Vega *et al.* 2005).

Son ampliamente conocidas las ventajas de los alimentos secados, ya que al reducir el contenido de humedad, se previene el crecimiento de microorganismos y se minimizan las demás reacciones que los deterioran (Doymaz & Pala, 2003). También el secado de los alimentos reduce su peso y en muchos casos el volumen, lo que incluye en una reducción importante, de los costos de empaque, almacenamiento y transporte. Los productos secos además permiten ser almacenados a temperatura ambiente por largos periodos de tiempo (Barbosa y Vega, 2000).

Actualmente el aire caliente, sigue siendo el método de deshidratación más usado en la industria alimentaria y productos químicos (Hatamipour & Mowla, 2002). Pero antes de abordar el estudio del secado por aire caliente de un producto y poder predecir la humedad de equilibrio que este alcanzará en función de las condiciones del aire de secado, es necesario conocer su isoterma de desorción, que puede ser descrita por varios modelos matemáticos que utilizan dos o tres parámetros, sin embargo lo interesante es aplicar aquellas ecuaciones en las que utilicen parámetros que tengan explicación física (Vega *et al.*, 2005).

La estabilidad del producto, es fuertemente afectada por las condiciones de secado (Chou & Chua, 2001). El daño térmico incurrido en un producto durante el secado es directamente proporcional a la temperatura y tiempo (Lin *et al.*, 1998). La temperatura alta y secado por mucho tiempo esta asociado a menudo con el daño que afecta adversamente la textura, color, sabor y valor nutritivo de los productos (Zanoni *et al.*, 1999).

La pérdida de la calidad nutritiva, durante el procesado y el almacenamiento de alimentos se ha vuelto un problema importante; desde el descubrimiento de las vitaminas básicas y sus formularios, se han hecho los esfuerzos para su optimización de los nutrientes durante el manejo de post-cosecha, proceso comercial, distribución, almacenamiento y preparación (Gregory, 1996; citado por Erenturk *et al.*, 2004).

La vitamina C (ácido ascórbico) es normalmente seleccionada como un índice de la calidad nutritiva, debido a su naturaleza lábil comparada con otros nutrientes en los alimentos. La degradación de ácido ascórbico depende de varios factores que incluyen al oxígeno, catálisis de ion de metal, luz, temperatura y grado higrométrico (Rojas & Gerschenson, 2001). La solubilidad de la vitamina C en el agua y la sensibilidad al calor se comparó, con la mayoría de los otros nutrientes, que puede causar los problemas durante la preservación de alimentos. La oxidación de ingredientes de los alimentos como vitaminas, pigmentos y los compuestos del aroma son las causas más importantes de pérdida de calidad durante el procesado de alimentos y son la reacción del deterioro principal (Anderson & Lingnert, 1997 citado por Erenturk *et al.*, 2004).

En los alimentos originales, las gotitas de lípidos, lisosomas o membranas son protegidos por las capas de proteínas hidratadas, contra el acceso de oxígeno del aire. Debido a la deshidratación, la capa protectora es deteriorada. Por tanto, los lípidos y estructuras no lipídicas son expuestas al oxígeno, siendo la oxidación de lípidos (incluido los esteroides) y estructuras no lipídicas más rápidos que en alimentos originales ricos en agua. Altas concentraciones de radicales libres implican mayor pérdida de los antioxidantes. Los cambios en la actividad antioxidante relacionados con la remoción de agua son muy relativos, si la evaporación del agua es moderada y el tiempo de remoción es mínima; los antioxidantes no son dañados usualmente durante el secado (Pocorny & Schmidt, 2001).

El estudio de la cinética de secado es esencial para diseñar un correcto proceso de secado, que permita además obtener un producto de calidad. Por otro lado, un buen modelo matemático, que describa el proceso de secado puede considerarse como una herramienta muy eficiente para salvar obstáculos, tales como, daños al producto, consumo excesivo de energía, desgaste del equipo o la disminución del rendimiento (Olivas *et al.*, 1999 citado por Vega *et al.*, 2005).

3.3.2 CURVAS DE VELOCIDAD DE SECADO

En la Fig. 1b, se muestra la curva de la velocidad de secado para condiciones de secado constante. Empezando en el tiempo cero, el contenido inicial de humedad libre corresponde al punto A. Al principio, el sólido suele estar a una temperatura inferior de la que tendrá al final, y la velocidad de evaporación va en aumento. Al llegar al punto B, la temperatura de la superficie alcanza su valor de equilibrio. Por otra parte, si el sólido está bastante caliente al principio de la operación, la velocidad de secado puede iniciarse en un punto A'. Este periodo inicial de ajuste en estado no estacionario suele ser bastante corto y por lo general se pasa por alto en el análisis de los tiempos de secado.

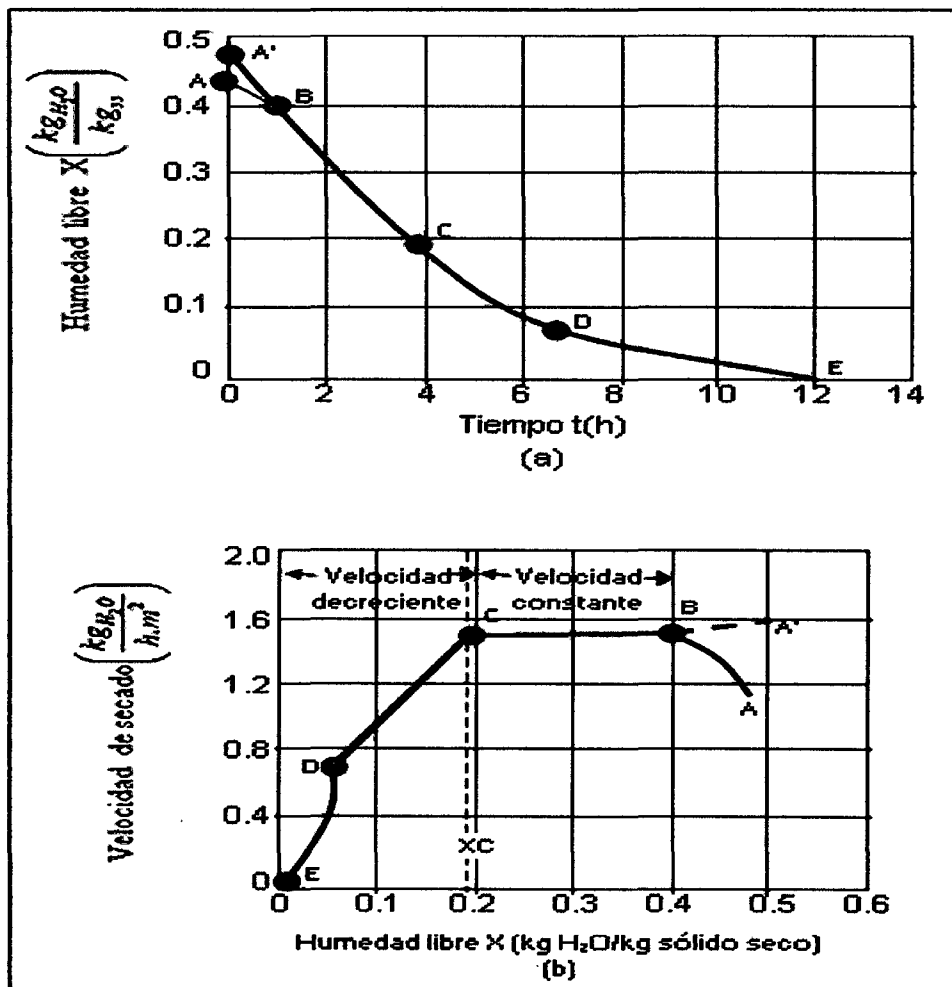


Figura 1. Curva típica de velocidad de secado constante: a) gráfica de los datos de humedad libre en función del tiempo, b) curva de velocidad de secado en función del contenido de humedad libre (Adaptado de Geankoplis, 1998).

La curva de la Fig.1a, es recta entre los puntos B y C, por lo que la pendiente y la velocidad son constantes durante este periodo. Este periodo de velocidad constante de secado corresponde a la línea BC en la Fig. 1b.

En el punto C de ambas gráficas, la velocidad de secado comienza a disminuir en el periodo de velocidad decreciente, hasta llegar al punto D. En este primer periodo de velocidad decreciente, la velocidad corresponde a la línea CD en la Fig. 1b, y por lo general es lineal.

En el punto D la velocidad de secado disminuye con más rapidez a un, hasta que llega al punto E, donde el contenido de humedad de equilibrio X^* , $X = X^* - X^* = 0$. En el secado de algunos materiales, la región CD no existe, o bien constituye la totalidad del periodo de velocidad decreciente.

3.3.3 SECADO DURANTE EL PERIODO DE VELOCIDAD CONSTANTE

El secado de diversos sólidos bajo diferentes condiciones constantes de secado casi siempre produce curvas de forma variable en el periodo de velocidad decreciente, pero en general siempre están presente las dos zonas principales de la curva de secado: el periodo de velocidad constante y el periodo de velocidad decreciente.

Durante el primer periodo, la superficie del sólido esta muy mojada al principio y sobre ella hay una película de agua continua. Esta capa de agua es agua no combinada y actúa como si el sólido no estuviera presente. La velocidad de evaporación con las condiciones establecidas para el proceso, es independiente del sólido y esencialmente igual a la velocidad que tendría una superficie líquida pura. Sin embargo, las ondulaciones y hendiduras en la superficie del sólido ayudan a obtener una velocidad más alta de la tendría un superficie plana.

Si el sólido es poroso, la mayor parte del agua que se evapora durante el periodo de velocidad constante proviene de su interior. Este periodo continúa mientras el agua siga llegando a la superficie con la misma rapidez con la que se evapora. La evaporación durante este periodo es similar a la que existe cuando se determina la temperatura de bulbo húmedo.

3.3.4 SECADO DURANTE EL PERIODO DE VELOCIDAD DECRECIENTE

El punto C de la Fig. 1b, corresponde al contenido crítico de humedad libre X_c . En este punto no hay suficiente agua en la superficie para mantener una película continua. La superficie ya no está totalmente mojada, y la porción mojada comienza a disminuir durante el periodo de velocidad decreciente hasta que la superficie queda seca en su totalidad en el punto D, cuando la superficie está seca en su totalidad. El plano de evaporación comienza a desplazarse con lentitud por debajo de la superficie. El calor de evaporación se transfiere a través del sólido hasta la zona de vaporización. El agua evaporada atraviesa el sólido para llegar hasta la corriente de aire.

En algunos casos no hay discontinuidad definida en el punto D, y el cambio de condiciones de secado de una superficie con una humedad parcial a una superficie completamente seca, es tan gradual que no se detecte un punto de inflexión. Es posible que la cantidad de humedad que se elimina durante el periodo de velocidad decreciente sea bastante pequeña; no obstante, el tiempo requerido puede ser largo (Geankoplis, 1998).

3.3.5 SECADO EN BANDEJA

El secadero de bandeja normalmente se usa para secar las verduras, y es escogido debido a su simplicidad y por su bajo costo (Feng *et al.*, 1999 citado por Nindo *et al.*, 2003).

El agua se elimina de la superficie del alimento y se conduce fuera del secadero junto con la corriente de aire que lo abandona en una operación simple. El aire se calienta a la entrada del secadero mediante intercambiadores de calor. En el secado atmosférico hay dos tipos de fenómenos, el calentamiento del producto y la reducción del contenido de humedad, ambos en función al tiempo (Barbosa y Vega, 2000).

3.4 PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS ALIMENTOS SECOS

3.4.1 ACTIVIDAD DE AGUA

El término de actividad de agua (a_w) se implantó para tener en cuenta la intensidad con que el agua se asocia a los diferentes componentes no acuosos del alimento (Fennema, 2000). Los componentes no acuosos del alimento son: biopolímeros, azúcares, sales orgánicas e inorgánicas (Chirife, 1999).

La a_w es un término utilizado para indicar la relación entre la humedad de un alimento y la humedad relativa de equilibrio de la atmósfera que le rodea (Barbosa y Vega, 2000). La a_w es un factor muy importante en el crecimiento microbiológico, producción de toxinas y las reacciones enzimáticas y no-enzimáticas (Barbosa y Vega, 2000).

Cambios en la temperatura del ambiente, luz, presión, pH, aditivos y modificaciones en el tamaño de las partículas, pueden alterar el estado molecular del agua e influir en la reactividad de los compuestos sobre las propiedades funcionales, color, aroma, sabor, textura, estabilidad, aceptabilidad de materias primas y alimentos procesados con rangos de a_w relativamente estrechos (Chandia, 1995 citado por Hermosilla *et al.*, Sin Año).

La a_w para el cese del crecimiento de diversos microorganismos es significativamente inferior si el producto se ajusta por desorción en lugar de hacerlo por adsorción (Fennema, 2000).

3.4.2 ISOTERMAS DE SORCIÓN DE HUMEDAD

Las isotermas de sorción de agua de los alimentos muestran la relación de equilibrio entre el contenido de humedad de los alimentos y a_w a temperatura y presión constante (Iglesias y Chirife, 1982).

Bell & Labuza (2000) mencionan que si algún alimento se coloca en una atmósfera seca, cede vapor de agua, hasta que la presión resultante llegue a ser igual a la tensión de vapor de equilibrio; a este fenómeno se le denomina desorción.

3.4.2.1 TIPOS DE SORCIÓN

La sorción, depende de la asociación entre el gas y la superficie sólida, esta asociación puede ser de carácter químico o físico.

a. QUEMISORCIÓN

Flores (2003) menciona que, las moléculas adsorbidas se unen a la superficie mediante fuerzas covalentes del mismo tipo general que las que ocurre entre los átomos de las moléculas. El calor que se desprende por mol en este tipo de adsorción, conocido como quemisorción, en general es comparable al que se desprende de un enlace químico, o sea de 100 a 500 kJ/mol. Una consecuencia importante de la quemisorción es que después de que la superficie se ha recubierto con una sola capa de moléculas adsorbidas, queda saturada y solo puede ocurrir adsorción adicional sobre la capa ya presente, y en general es de tipo débil.

b. FISISORCIÓN

Flores (2003) afirma que, las fuerzas de naturaleza física y la adsorción es relativamente débil, las fuerzas corresponden a las fuerzas de Van der Waals. Este tipo de adsorción se conoce como adsorción física. El calor que se desprende cuando un mol de gas experimenta fisorción en general es bajo, de menos de 20 kJ/mol. Este tipo de adsorción desempeña un papel poco importante en la catálisis.

3.4.2.2 CLASIFICACION DE ISOTERMA DE SORCION

Isoterma de tipo I, es típico de agentes higroscópicos. Estos tipos de ingredientes adsorben agua sobre sitios específicos con una energía alta dentro de una red de capilares no hinchados, resultando con una propiedad de adsorción de agua a baja a_w .

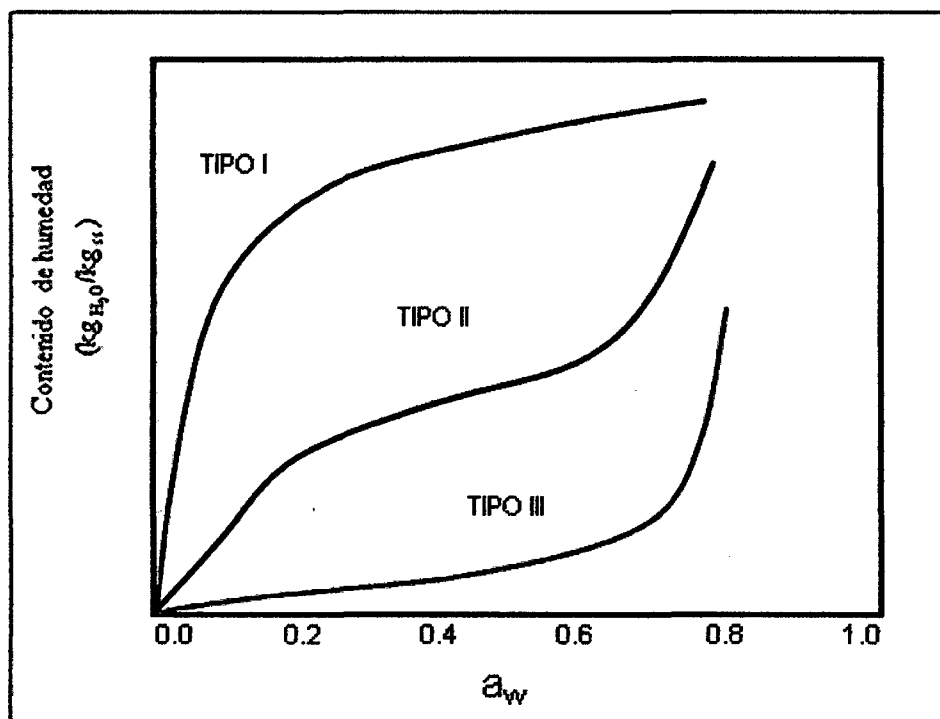


Figura 2. Clasificación de isoterma de sorción de humedad (Adaptado de Bell & Labuza, 2000)

La mayoría de los alimentos, siguen una curva representativa de forma sigmoidal de isoterma de tipo II. La curva resultante es causada por la combinación de efectos coligativos, efectos capilares, e interacciones entre la superficie y agua.

La curva de tipo III, representa la isoterma de adsorción de una sustancia cristalina (sacarosa) y muestra muy poca humedad, pero a medida que la a_w aumenta (0,7–0,8), comienza a ocurrir la disolución de la estructura cristalina. La forma de esta curva es debida a la interacción del agua solo por vía enlace de hidrogeno con grupos hidroxilo sobre la superficie cristalina (Bell & Labuza, 2000).

3.4.2.3 CALCULO DE MONOCAPA

El contenido de humedad de monocapa (X_m), puede encontrarse usando varios modelos matemáticos, para los alimentos los modelos que más se adecuan son, la ecuación de Brunauer Emmett y Teller (BET) y Guggenheim Anderson de Boer (GAB), (Bell & Labuza, 2000).

a. MODELO DE GAB

El grupo europeo de proyectos “COST” sobre propiedades físicas de los alimentos, usó y recomendó el modelo de GAB; para la construcción de isotermas de sorción de alimentos (Spies & Wolf, 1987; citado por Giovanelli, 2001).

Esta ecuación de tres parámetros con coeficientes que tienen significado físico, se ajusta muy bien a datos experimentales hasta una a_w de 0,94 en muchos casos y menciona que describe matemáticamente las isotermas de sorción de humedad para la mayoría de los alimentos, mejor que las ecuaciones de dos parámetros (Lomauro *et al.*, 1985 citado por Huamán, 2001).

El modelo de GAB es muy utilizado para predecir datos de niveles de a_w aproximadamente hasta 0,9 y da mejores ajustes que la ecuación de BET en un amplio intervalo de contenido de humedad (Barbosa y Vega, 2000).

Bell & Labuza (2000) mencionan que el modelo GAB no solamente permite calcular el valor de la humedad de monocapa si no que también entrega información relativa del calor de sorción de la monocapa y multicapa. La ecuación de GAB tiene la forma original:

$$\frac{X_e}{X_m} = \frac{C.K.a_w}{[(1 - K.a_w)(1 - K.a_w + C.K.a_w)]} \quad (1)$$

Donde:

- a_w : actividad de agua
- X_e : humedad de equilibrio del producto (Kg agua/ Kg s.s)
- X_m : humedad de la monocapa y representa la humedad que alcanza el producto cuando los productos de sorción primarios están saturados por molécula de agua.
- C : constante de Guggenheim característica del producto y relacionada con el calor de sorción de la monocapa.
- K : factor de corrección relacionado con el calor de sorción de la multicapa.

Por su parte, la constante C y K se obtienen:

$$C = c' \exp \left[\frac{H_m - H_n}{RT} \right] \quad (2)$$

$$K = K' \exp \left[\frac{H_p - H_n}{RT} \right] \quad (3)$$

En que:

- H_m : calor total de sorción de la primera capa en los sitios primarios (monocapa)
- H_n : calor total de sorción de las multicapas
- H_p : calor de condensación del vapor de agua pura
- R : constante universal de los gases
- T : temperatura absoluta
- Q_s : calor de sorción

Según Bizot (1983) citado por Huamán (2001) menciona que, para hallar el calor de adsorción de la capa monocapa se puede determinar utilizando la siguiente ecuación:

$$Q_s = R.T.LnC \quad (4)$$

CAPITULO IV

VARIABLES E HIPOTESIS

4.1 VARIABLES

4.1.1 INDEPENDIENTE

- Condiciones psicrométricas del aire de secado (Temperatura de bulbo seco $40\pm 1^{\circ}\text{C}$, $50\pm 1^{\circ}\text{C}$ y $60\pm 1^{\circ}\text{C}$; temperatura de bulbo húmedo $19\pm 1^{\circ}\text{C}$, $24\pm 1^{\circ}\text{C}$ y $29\pm 1^{\circ}\text{C}$, razón de humedad, volumen de la mezcla y humedad relativa).
- Velocidad del aire de secado $1,4\pm 0,5\text{m/s}$.

4.1.2 DEPENDIENTE

- Actividad antioxidante hidrofílica

4.1.3 INTERVENIENTES

4.1.3.1 ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL

- **Humedad, cenizas, proteína, grasa, fibra cruda y extracto libre de nitrógeno (ELN).** Se determinó siguiendo la metodología sugerida por la (AOAC, 1998).

4.1.3.2 ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

- **Ácido ascórbico.** El contenido de ácido ascórbico se determinó, siguiendo la metodología sugerida por la AOAC (1998).
- **Azúcares reductores.** Se determinó por el método DNS recomendado por Miller (1959).

4.1.4 INDICADORES

4.1.4.1 METODOLOGÍA PARA CUANTIFICAR LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE HIDROFILICA

La actividad antioxidante, fue determinado por el método 2,2, Difenil-1-Picril Hidracilo (DPPH), método adaptado de Brand *et al.* (1995). Los resultados obtenidos se expresaron en μg Equivalente Trolox / gramos de muestra, tomando como base una curva estándar de Trolox. El procedimiento se da en el Apéndice 1.

4.1.4.2 METODOLOGÍA PARA DETERMINAR LA ISOTERMA DE DESORCIÓN

Tabla 4. Sales utilizadas y su correspondiente actividad de agua para las tres temperaturas de trabajo.

Sales	Actividad de agua		
	40°C	50°C	60°C
Cloruro de litio	0,112	0,111	0,109
Acetato de potasio	0,207	0,200	0,190
Cloruro de magnesio	0,316	0,305	0,293
Dicromato de sodio	0,510	0,500	0,490
Nitrito de sodio	0,620	0,610	0,600
Cloruro de sodio	0,747	0,740	0,720
Cromato de potasio	0,840	0,830	0,820

Fuente: Bell & Labuza (2000)

Para la determinación de la isoterma de desorción se siguió la metodología utilizada por Gionovanelli (2001) y Bell and Labuza (2000). Esta consiste en tomar una masa conocida de muestra (fresca), la que se deja equilibrar con la atmósfera producida por una disolución saturada de sal de humedad relativa conocida dentro de un recipiente herméticamente cerrado (Tabla 4). Se controló el peso de la muestra cada tres días hasta llegar a peso constante (condición de equilibrio). En el momento que las muestras llegaron a peso constante, se determinó el contenido de humedad por medio de la metodología

gravimétrica. Los datos experimentales de la isoterma de desorción se modelaron con la ecuación propuesta por Guggenheim, Anderson y de Boer, comúnmente llamado GAB, la cual tiene amplio uso en los alimentos.

4.1.4.3 METODOLOGIA PARA DETERMINAR LAS CURVAS DE SECADO

Para trazar las curvas de secado: curva de secado y velocidad de secado se utilizó la metodología propuesta por Geankoplis (1998).

Los datos que se obtienen de un experimento de secado por lotes, generalmente se expresan como peso total W del sólido húmedo (sólido seco más humedad) a diferentes tiempos t horas en el periodo de secado. Estos valores se pueden convertir a datos de velocidad de secado por los siguientes procedimientos. Primero se recalculan los datos. Si W es el peso del sólido húmedo en kilogramos totales de agua más sólido seco y W_s es el peso del sólido seco en kilogramos.

$$X_t = \frac{W - W_s}{W_s} \left(\frac{\text{Kg agua}}{\text{kg s.s}} \right) \quad (5)$$

Después de haber establecido las condiciones de secado constante, se determina el contenido de humedad de equilibrio, X^* kg de humedad de equilibrio/ kg de sólido seco. Con el se procede a calcular el valor del contenido de humedad libre X en kg de agua libre/ kg de sólido seco para cada valor de X_t .

$$X = X_t - X^* \quad (6)$$

Al sustituir los datos calculados en la ecuación 6, se traza una gráfica del contenido de humedad libre X en función del tiempo t en h, como se mostró en la Fig. 1a. Para obtener una curva de velocidad de secado a partir de esta gráfica, se miden las pendientes de las tangentes a la curva, lo cual proporciona valores de dX/dt para ciertos valores de t . Se calcula entonces la velocidad R para cada punto con la expresión.

$$R = -\frac{Ls}{A} \left(\frac{dX}{dt} \right) \quad (7)$$

Donde R es velocidad de secado en Kg_{agua} / h.m², Ls es Kg de sólido seco usado y A es el área superficial expuesta al secado en m². Entonces, la curva de velocidad de secado se obtiene graficando R en función del contenido de humedad, tal como se mostró en la Fig. 1b.

4.1.4.4 METODOLOGIA PARA CALCULAR EL PERIODO DE SECADO DE VELOCIDAD CONSTANTE

El factor más importante en los cálculos del secado es probablemente el tiempo requerido para secar un material a partir de un contenido inicial de humedad libre X₁ hasta un contenido de humedad X₂. Para el secado en el periodo de velocidad constante, es posible estimar el tiempo necesario mediante curvas de secado obtenidas con lotes experimentales, o por predicciones de coeficiente de transferencia de masa y de transferencia de calor.

Método de curva de velocidad de secado para el periodo de velocidad constante. En lugar de la curva de secado, es posible emplear la curva de velocidad de secado. La velocidad de secado R se define en la ecuación 7 de la siguiente manera:

$$R = -\frac{Ls}{A} \left(\frac{dX}{dt} \right) \quad (7)$$

Esta expresión se reordena e integra con respecto al intervalo para secar desde X₁ a t₁ = 0 hasta X₂ a t₂ = t.

$$t = \int_{t_1=0}^{t_2=t} dt = \frac{Ls}{A} \int_{X_2}^{X_1} \frac{dX}{R} \quad (8)$$

Si el secado se verifica dentro del periodo de velocidad constante, de manera que tanto X_1 como X_2 sean mayores que el contenido de humedad crítica X_c , entonces $R = \text{constante} = R_c$. Al integrar la ecuación 8 para el periodo de velocidad constante, se obtiene:

$$t = \frac{L_s}{AR_c} (X_1 - X_2) \quad (9)$$

$$L_s = (\% \text{ de sólido} \cdot \text{sec o}) (\rho_f \cdot A \cdot d) \quad (10)$$

Donde ρ_f es densidad de mashua fresca y d es espesor de la placa (m).

El secado de un material se verifica por transferencia de masa del vapor de agua de la superficie saturada del material a través de una película de aire hasta la fase gaseosa general del ambiente circundante. La velocidad de desplazamiento de humedad dentro del sólido es suficiente para mantener la superficie saturada. La velocidad de eliminación del vapor de agua (secado) está controlada por la velocidad de transferencia de calor hasta la superficie de evaporación, que suministra el calor latente de evaporación para el líquido. Cuando se opera en estado estacionario, la velocidad de transferencia de masa equivale a la velocidad de transferencia de calor.

Para deducir la ecuación de secado, se desprecia la transferencia de calor por radiación hacia la superficie sólida, y se supone además, que no hay transferencia de calor por conducción en las bandejas o por superficies metálicas.

La velocidad de transferencia convectiva de calor q en W (J/s) desde el gas a $T^\circ\text{C}$ a la superficie del sólido a $T_w^\circ\text{C}$.

$$q = h(T - T_w)A \quad (11)$$

Donde h es el coeficiente de transferencia de calor en $\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$, T es la temperatura de bulbo seco, T_w es temperatura de bulbo húmedo, λ_w es calor latente de vaporización y A es el área de secado expuesta en m^2 .

$$R_c = \frac{q}{A \cdot \lambda_w} = \frac{h(T - T_w)}{\lambda_w} \quad (12)$$

Para predecir el valor de R_c en la ecuación 12, se debe conocer el coeficiente de transferencia de calor. Si el aire fluye paralelo a la superficie de secado, y la temperatura del aire se encuentra entre 45 a 150°C, velocidad de masa G de 2450 a 29300 kg/h.m² y velocidad del aire (v) de 0,61 a 7,6 m/s, entonces

$$h = 0,0204 G^{0,8} \quad (13)$$

$$G = v \cdot \delta \quad (14)$$

Donde δ es densidad del aire húmedo (kg/m³) y h está en (W/m².K); para estimar el tiempo de secado en el periodo de velocidad constante, al sustituir la ecuación 12 en la ecuación 9 se obtiene la siguiente expresión:

$$t = \frac{Ls \cdot \lambda_w (X_1 - X_2)}{A \cdot h (T - T_w)} \quad (15)$$

4.1.4.5 METODOLOGÍA PARA CALCULAR EL PERIODO DE SECADO DE VELOCIDAD DECRECIENTE

La velocidad de desplazamiento de la humedad está dictada durante el periodo de velocidad decreciente por la velocidad de movimiento interno del líquido por difusión líquida o por movimiento capilar.)

a. DIFUSIÓN LÍQUIDA DE LA HUMEDAD EN EL SECADO

Cuando la difusión líquida de la humedad controla la velocidad de secado en el periodo de velocidad decreciente, pueden aplicarse la ecuación, de la segunda ley de Fick para difusión en estado no estacionario.

$$\frac{\partial X}{\partial t} = D_L \frac{\partial^2 X}{\partial d^2} \quad (16)$$

Si se supone que la distribución inicial de humedad es uniforme en el tiempo $t=0$, la ecuación 16 puede integrarse y se obtiene la siguiente expresión:

$$\frac{X}{X_c} = \frac{8}{\pi^2} \left[e^{-D_L t \left(\frac{\pi}{2d}\right)^2} + \frac{1}{9} e^{-9D_L t \left(\frac{\pi}{2d}\right)^2} + \frac{1}{25} e^{-25D_L t \left(\frac{\pi}{2d}\right)^2} + \dots \right] \quad (17)$$

Donde X = contenido promedio de humedad libre al tiempo t en horas, X_c = humedad libre crítica = contenido inicial de humedad libre en el tiempo $t=0$, d espesor total de la rodaja cuando el secado solo se verifica desde la cara superior y D_L es el coeficiente de difusión líquida.

Para tiempos de secado largos, el único término de la ecuación 17 que tiene importancia es el primero; por tanto la expresión se transforma en

$$\frac{X}{X_c} = \frac{8}{\pi^2} \left[e^{-D_L t \left(\frac{\pi}{2d}\right)^2} \right] \quad (18)$$

Al despejar el tiempo de secado, se obtiene la siguiente ecuación.

$$t = \frac{4d^2}{\pi^2 \cdot D_L} \ln \frac{8 X_c}{\pi^2 \cdot X} \quad (19)$$

Donde X es la humedad libre final. El coeficiente de difusión líquida (D_L), se calculó a partir de la ecuación 18, diferenciando con respecto al tiempo y reordenando tenemos:

$$\frac{dX}{dt} = - \frac{D_L \pi^2}{4 d^2} X \quad (20)$$

$$y = - mX \quad (21)$$

La ecuación 20 es semejante a la ecuación 21. Por tanto, la ecuación 21 es lineal; donde

$$m = \frac{D_L \pi^2}{4 d^2} \quad (22)$$

A partir de la ecuación 20; si se grafica la variable independiente $\frac{dX}{dt}$; a partir de humedad crítica X_c hasta la humedad final; con respecto a la variable dependiente contenido de humedad X en el tiempo t ; si se obtiene una línea recta, entonces m es la pendiente de la recta.

Para estudiar el comportamiento del secado de la mashua, en la etapa de velocidad decreciente y determinar si el fenómeno de transferencia de humedad fue por difusión o capilaridad, se aplica la ecuación integrada de la segunda ley de Fick:

$$\ln X = \ln \frac{8X_c}{\pi^2} - D_L t \left(\frac{\pi}{2d} \right)^2 \quad (23)$$

Donde X_c , D_L , y d , son constantes. Por tanto, la ecuación se hace lineal, manteniendo como variable independiente el tiempo de secado t y como variable dependiente el contenido de humedad X en el tiempo t . Por tanto, si se grafica logaritmo natural de la variable dependiente X ($\ln X$), a partir de humedad crítica X_c hasta la humedad final; con respecto a variable independiente tiempo t ; si se obtiene una línea recta, entonces la migración del agua estará gobernado por difusión.

Para el modelado de la cinética de transferencia de agua ocurrida durante el secado por aire caliente de las rodajas de mashua, se utilizaron dos ecuaciones, en función de los dos periodos de secado.

La ecuación 24 describe el periodo constante, donde la velocidad de secado decrece linealmente hasta una humedad libre crítica.

$$X = X_t - X^* = a_0 + a_1 t \quad (24)$$

Donde a_0 y a_1 son valores constantes de la cinética de secado.

Para el modelado de la velocidad decreciente, se utilizó el modelo difusional, a partir de la ecuación 18.

$$\frac{X}{X_c} = \frac{8}{\pi^2} e^{-D_L \cdot t \left(\frac{\pi}{2d}\right)^2} \quad (18)$$

CAPITULO V

METODOLOGÍA Y PROCEDIMIENTOS

5.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Es de tipo descriptiva por que se especifica mediante determinaciones analíticas las características químicas y físicas del cultivar de mashua más promisorio por el mayor contenido de actividad antioxidante hidrofílica. Además se aplicará los resultados obtenidos para obtener mashua deshidratada en la que se preserve la mayor cantidad de actividad antioxidante hidrofílica.

5.2 NIVEL DE INVESTIGACIÓN.

- Descriptivo

5.3 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

En la Fig.3, se presentan el flujo de operaciones, para la presente investigación, donde se muestra las etapas de secado en bandeja, usando la metodología empleada por Salas (1998).

5.3.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO DE SECADO

a. SELECCIÓN

La selección tuvo como objetivo de separar, todas las mashuas que presentaron, signos de deterioro. Las mashuas seleccionadas, estuvo libre de golpes y magulladuras, arrugas, cicatrices, rajaduras y manchas verdes.

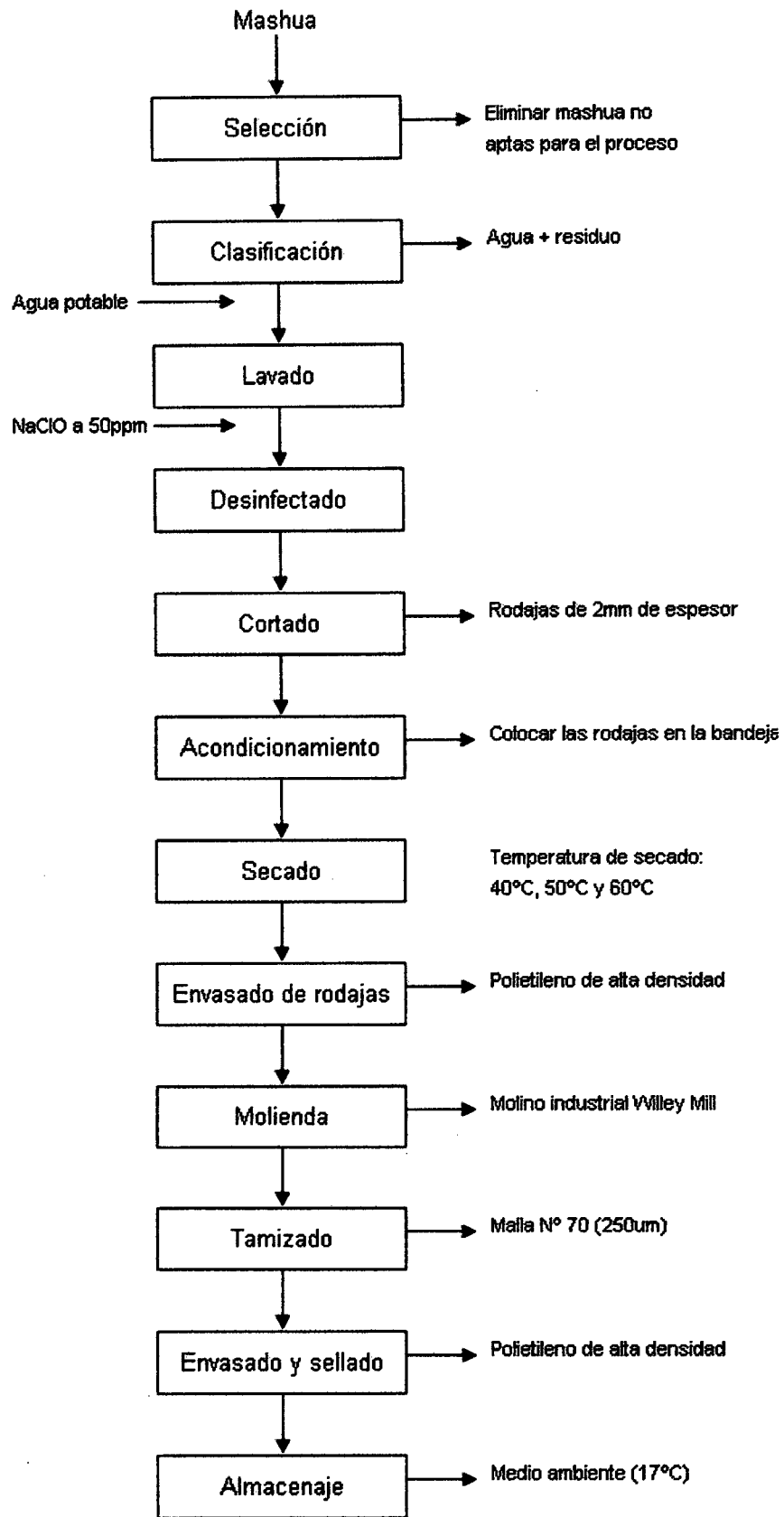


Figura 3. Flujo de operaciones para el secado en bandeja de la mashua (Salas, 1998)

b. CLASIFICACIÓN

La clasificación se realizó con un tamaño de 12,33cm de longitud, desviación estándar de 2,53cm y 3,73cm de diámetro, desviación estándar de 0,25cm.

c. LAVADO

El lavado se realizó con la finalidad de retirar cualquier tipo de materia extraña adheridas a la superficie de la raíz. Para tal efecto, se empleó agua potable fría en aspersión, acompañado de una ligera escobillada que se realizó manualmente.

d. DESINFECTADO

La desinfección se realizó sumergiendo en una solución de hipoclorito de sodio a 50 ppm de cloro residual por 10 minutos, con la finalidad de reducir, la posible carga microbiana.

e. CORTADO

Debido a su forma geométrica (cilíndrica) la mashua fue cortada en forma de rodajas de 2mm de espesor, el ancho de las muestras fue determinado por el diámetro de la mashua. Para cortar, se utilizó la rebanadora por ciertas ventajas como: uniformidad, limpieza, tiempo de procesamiento.

f. ACONDICIONAMIENTO

Las rodajas de mashua con un diámetro promedio de $3,73 \pm 0,25$ cm fueron colocadas en una bandeja de acero inoxidable 40cm x 60 cm, llenando el área total de una sola capa, de tal manera que solo quedó expuesta a la corriente de aire de secado.

g. SECADO

Para el presente estudio de secado se utilizaron 3 temperaturas de bulbo seco $40\pm 1^{\circ}\text{C}$, $50\pm 1^{\circ}\text{C}$ y $60\pm 1^{\circ}\text{C}$; humedad relativa 12%, 11% y 10% respectivamente; y velocidad de aire constante de $1,4\pm 0,5\text{m/s}$. La pérdida de humedad se registró con una balanza Adventurer, modelo av 4101, capacidad 0-4 kilogramo, conectada a una computadora. El software desarrollado y usado en la computadora permitió el monitoreo en tiempo real del comportamiento de la humedad durante la deshidratación. Las muestras se secaron en todos los casos hasta peso constante.

h. ENVASADO DE RODAJAS SECAS

Las rodajas secas de mashua, fueron envasadas en bolsas de polietileno de alta densidad y posteriormente sellados herméticamente, quedando impermeable al aire y al vapor de agua.

i. MOLIENDA

Para triturar las rodajas secas de la mashua y obtener la harina, se utilizó un molino industrial Willey Mill.

j. TAMIZADO

La harina obtenida fue tamizada utilizando una malla N° 70, con ello se obtuvo partículas homogéneas de tamaño promedio de $250\mu\text{m}$.

k. ENVASADO Y SELLADO

Con la finalidad de guardar, mantener estable la harina de la mashua, fueron envasados en bolsas de polietileno de alta densidad y sellados herméticamente, quedando así impermeable a la humedad y al aire del medio ambiente.

I. ALMACENAJE

Para asegurar la conservación de la harina de mashua, fueron almacenadas en una caja de cartón a medio ambiente. Todos los análisis fueron realizados durante dos semanas.

5.4 POBLACIÓN

5.4.1 CARACTERÍSTICAS DE LA MASHUA

Los tubérculos, son parecidos a la oca pero se les diferencia por que tienen forma cónica alargada, de yemas profundas, son de color variado: gris, blanco, amarillo, rojizo, moradas o púrpuras, y mayor concentración de yemas en la parte distal. El tubérculo es arenoso y posee un sabor fuerte que lo hace menos apetecible que la oca.

5.4.2 DELIMITACIÓN

Existen muchos cultivares en cuanto a la forma y coloración, siendo los más cultivados los cultivares “kello”, “yana ñawi”, “zapallo amarillo” y en menor proporción el “cheqchi”. Se estudió el cultivar “zapallo amarillo” por contener mayor actividad antioxidante hidrofílica; posteriormente se secó, pasó por molienda y finalmente se determinó su actividad antioxidante hidrofílica.

5.4.3 UBICACIÓN ESPACIO – TEMPORAL

Los cuatro cultivares de mashua fueron cosechados en el distrito de Huacrapucquio, provincia de Huancayo departamento de Junín. El reconocimiento de los cultivares fue con el apoyo técnico del programa de investigación en raíces y tuberosas de la Universidad Nacional Agraria la Molina.

5.5 MUESTRA

5.5.1 TAMAÑO

Se tomó la muestra de productores del valle de Huacrapucquio, donde se cultivan

los cuatro cultivos en chacras pequeñas de aproximadamente una hectárea.

5.5.2 CALCULO DEL TAMAÑO

La toma de la muestra se hizo en la chacra de forma al azar, en una cantidad de 5 kg por cultivar, se compró a tres propietarios, completándose en total 20 kg.

5.6 LUGAR DE EJECUCIÓN

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en la Planta Piloto de Tecnología de Alimentos y Productos Agropecuarios (TAPA), laboratorios de Análisis Físico-Químico e Instrumentación, instalaciones pertenecientes a la Facultad de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima. Perú.

5.7 EQUIPOS, REACTIVOS Y MATERIALES.

5.7.1 EQUIPOS

- Agitador eléctrico LABOR
- Aparato de SOXHLET
- Anemómetro SPER SCIENTIFIC
- Balanza analítica SARTORIUS, capacidad 0-200 g, sensibilidad ± 0.0001 g
- Balanza eléctrica ADVENTURER, modelo av 4101, capacidad 0-4kg
- Centrífuga HETTICH
- Computadora TOSHIBA
- Cronómetro CASIO
- Digestor y destilador micro-Kjendhal
- Espectrofotómetro SPECTRONIC GENESIS 6
- Estufa LABOR MEMMERT, modelo 500
- Higrómetro EXTECH
- Juego de campanas con sus respectivas sales para determinar isoterms de desorción
- Mufla LABOR MUSZCRIPARINUVEEK
- Molino WILLEY MILL, modelo CYC

- Micropipeta de 20–200 μ L y 100–1000 μ L, marca BRAND
- Potenciómetro SCHOTT GERAT, modelo CG 728
- Rodajadora HOBART, modelo HZ
- Refrigeradora congeladora GENERAL ELECTRIC
- Secador estático de bandejas por flujo de aire de caliente
- Selladora industrial EFISA

5.7.2 REACTIVOS

- Agua destilada
- Metanol (Química Service)
- Acido Sulfúrico (Química Service)
- Hidróxido de sodio en lentejas (Merk)
- Radical 2,2-difenil-1-picril hidrazil (DPPH) (Química Service)
- Reactivo Estándar de actividad antioxidante Trolox (6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid) (Aldrich)

5.7.3 MATERIALES

- Tubos FALCÓN de 100 ml.
- Erlenmeyer de 50, 100 y 250 ml.
- Fiolas de 50 y 100 ml.
- Beacker de 100, 250 y 500 ml.
- Pipetas de 1, 2, 5, 10 y 20 ml.
- Placas petri
- Embudos de vidrio
- Probetas de 10, 20, 50, 100 y 250 ml.
- Termómetros
- Mallas nº 70 (250 μ m)
- Papel de aluminio
- Mortero y pilón de porcelana

CAPITULO VI

PRUEBA DE HIPOTESIS

6.1 TECNICA DE ANALISIS DE DATOS

6.1.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Las distintas repeticiones enunciadas en los respectivos apartados ponen de manifiesto que es suficiente como para poder aplicar distintos tratamientos estadísticos, los cuales se llevó a cabo con el paquete estadístico Statistical Analysis Sistem (SAS) versión 8,0 para Windows. Para diferentes cultivares de mashua y deshidratado en bandeja.

a. ANÁLISIS ESTADISTICO PARA EVALUAR LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DE DIFERENTES CULTIVARES DE MASHUA

El análisis estadístico empleado para evaluar la actividad antioxidante hidrofílica de los diferentes cultivares de mashua como “kello”, “yana ñawi”, “zapallo amarillo” y “cheqchi”, en estado fresco fue mediante el Diseño Completo al Azar (DCA) y para comparar las medias de los contenidos de la actividad antioxidante hidrofílica se utilizó la prueba de Tukey. Para ambos, se utilizó un nivel de confianza del 95%.

H_0 : Las medias de las determinaciones del contenido de actividad antioxidante hidrofílica ($\mu\text{g Trolox Eq/g}$ de muestra), obtenidas para los diferentes cultivares de mashua en estado fresco, son iguales.

H_1 : Al menos una de las medias de las determinaciones del contenido de la actividad antioxidante hidrofílica ($\mu\text{g Trolox Eq/g}$ de muestra), obtenidas para los diferentes cultivares de mashua en estado fresco, son diferentes.

b. ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA EVALUAR LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DE LA HARINA DE MASHUA

El análisis estadístico empleado para evaluar la actividad antioxidante hidrofílica de la mashua secada en bandeja con tres niveles de temperatura de 40°C, 50°C y 60°C, fue mediante el Diseño Completo al Azar (DCA), y para comparar los diferentes niveles de temperatura se utilizó, los análisis de medias con la prueba de Tukey. Para ambos, se utilizó un nivel de confianza de 95%.

H_0 : Las medias de las determinaciones del contenido de actividad antioxidante hidrofílica ($\mu\text{g Trolox Eq/g}$ de muestra), obtenidas a partir de mashua secada a 40°C, 50°C y 60 °C, son iguales.

H_1 : Al menos una de las medias de las determinaciones del contenido de la capacidad antioxidante hidrofílica ($\mu\text{g Trolox Eq/g}$ de muestra), obtenidas a partir de mashua secada a 40°C, 50°C y 60 °C, son diferentes.

CAPITULO VII
RESULTADOS Y DISCUSION

**7.1 RESULTADOS DEL CONTENIDO DE ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE
HIDROFILICA DE DIFERENTES CULTIVARES DE MASHUA**

Los resultados promedios con su respectiva desviación estándar, del contenido de la actividad antioxidante hidrofílica de cuatro cultivares de mashua (Fig. 4), determinado con el método 2,2, Difenil-1-Picril Hidracilo (DPPH), se aprecian en la Tabla 5 y Fig. 5.

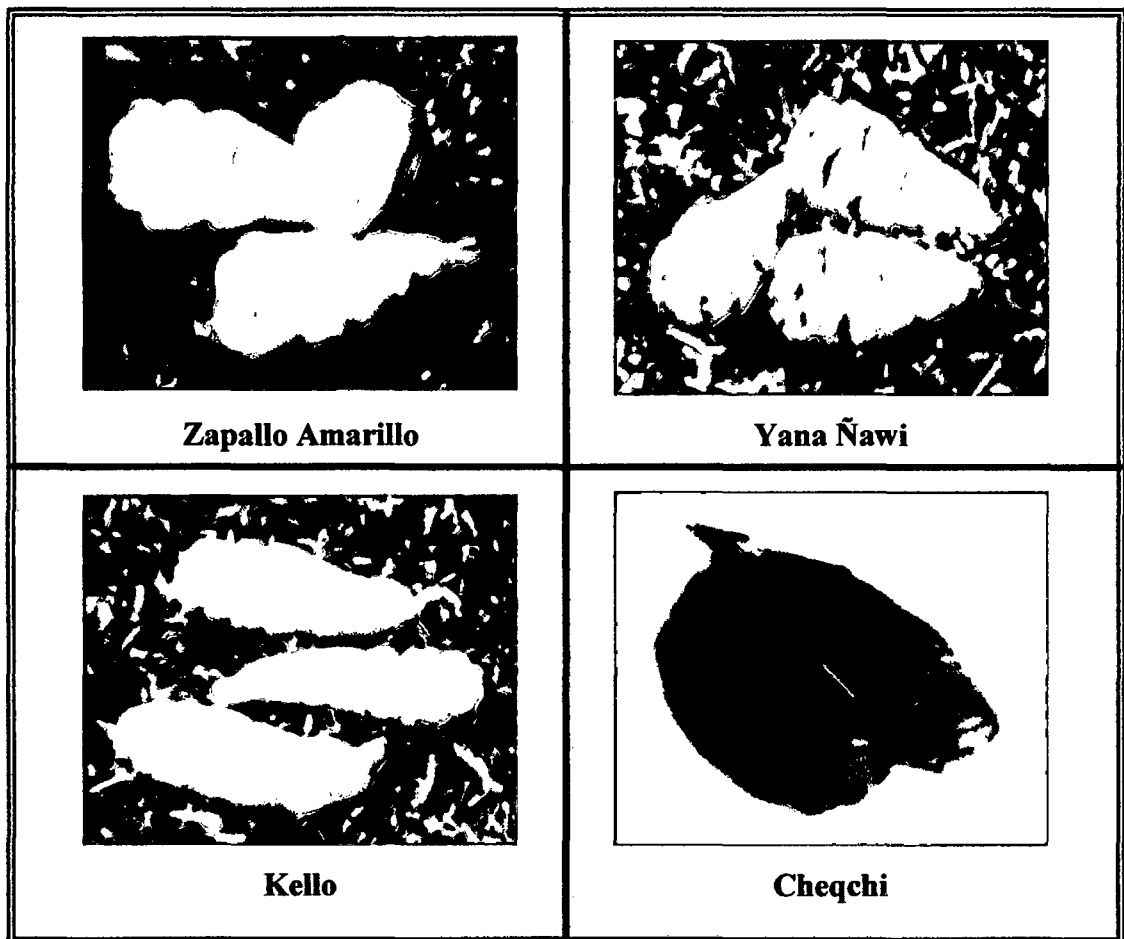


Figura 4. Cultivares de mashua

Tabla 5. Resultados de actividad antioxidante hidrofílica de diferentes cultivares de mashua.

Cultivares	Actividad antioxidante hidrofílica(*)	
	Y ± DS	
	Base húmeda (bh)	Base seca (bs)
Zapallo Amarillo	587,78±5,93	4 939,91 ^a ± 49,84
Yana Ñawi	428,86±15,42	3 603,92 ^b ± 129,57
Kello	290,52±0,65	2 441,74 ^c ± 5,44
Cheqchi	239,72±8,42	2 014,34 ^d ± 60,59

Las medias con la misma letra no son significativamente diferentes para Tukey (P < 0,05).

Y : Promedio de 3 repeticiones

DS : Desviación estándar

(*) : µg Trolox Eq/g de mashua fresca

De acuerdo a los métodos estadísticos aplicados a los resultados obtenidas en esta investigación; el Análisis de Variancia (ANVA), con un nivel de significación de $p < 0,05$; indica que existen diferencias altamente significativas entre los contenidos de actividad antioxidante hidrofílica de los cuatro cultivares de mashua (Apéndice 8,1). El análisis de comparaciones múltiples de medias; prueba de Tukey, con un nivel de significación de $p < 0,05$; confirma dicha significación; resultando con mayor contenido de actividad antioxidante hidrofílica, el cultivar Zapallo Amarillo (Apéndice 8,2). Este resultado se encuentra dentro del rango reportado por Temoche *et al.* (2004) quienes encontraron la actividad antioxidante hidrofílica para los 21 genotipos de mashua de color naranja en un rango de 2 801,31 a 6 880,84 µg de Eq. Trolox / g (bs); utilizando el mismo método.

Los diferentes cultivares de mashua, resultaron variables en cuanto al contenido de actividad antioxidante hidrofílica. Al respecto Campos *et al.* (2006) y Ríos (2004) utilizando el método 2,2-Azinobis-3-ethylbenzthiazoline-6-sulfonic acid (ABTS), se cuantificó la actividad antioxidante hidrofílica de diferentes cultivares de mashua y reportaron valores en un rango de 955 a 9 800 µg Eq. Trolox /g (bh). Los genotipos ARB-52-41, DP-02-24 y ARV-53-66 mostraron alto contenido de capacidad antioxidante hidrofílica con valores de 9800, 9309 y 7867 µg Eq. Trolox /g (bh) respectivamente. El genotipo de mashua ARB-52-41 fue comparado con arándano, con actividad antioxidante hidrofílica de 9575 µg Eq. Trolox/g (bh) (ABTS), es considerado una de las frutas con alto

contenido de actividad antioxidante. Temoche *et al.* (2004) señalan que la capacidad antioxidante cuantificada con el método ABTS resultaron ser mayores que con el método DPPH, llegando a ser hasta un 72% mayor.

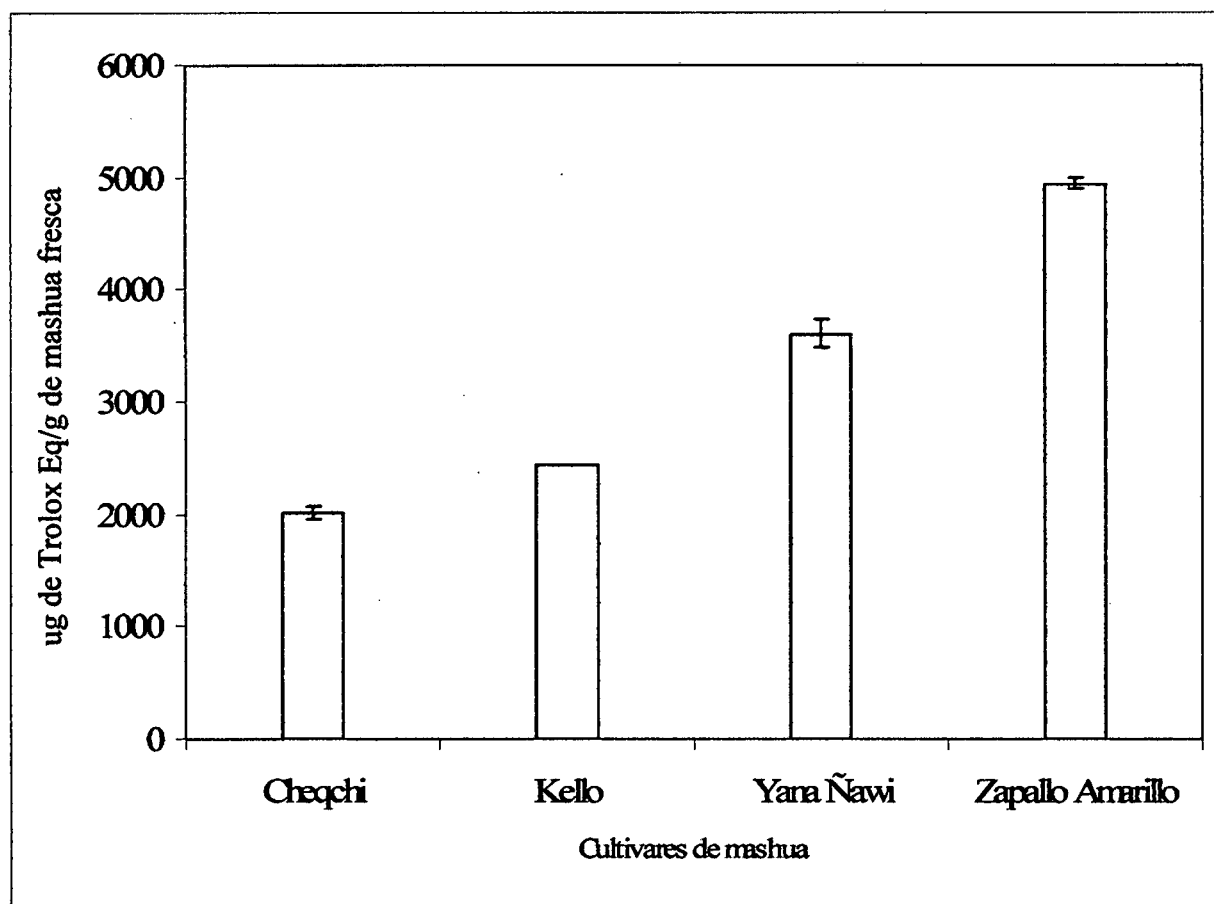


Figura 5. Resultado del contenido de actividad antioxidante hidrofílica de diferentes cultivares de mashua

Toor y Savage (2006) mencionan que, el ácido ascórbico y compuestos fenólicos son los principales contribuyentes de la actividad antioxidante hidrofílica del tomate. Al respecto Campos *et al.* (2006) señalan que, la capacidad antioxidante hidrofílica de la mashua está relacionada con el contenido de antocianinas totales y contenido de compuestos fenólicos totales; la baja correlación de antocianinas totales, con capacidad antioxidante hidrofílica ($r = 0,48$, $p = 0,11$); y la alta correlación entre contenido de compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante hidrofílica ($r = 0,84$, $p = 0,01$), la mayoría son probablemente debido a la presencia de diferentes compuestos fenólicos en los tubérculos de la mashua.

Chirinos *et al.* (2007) al evaluar diferentes cultivares de mashua observaron que, entre los cultivares de color púrpura ARB-52-41 fueron los únicos que presentaron una alta correlación entre antocianinas y capacidad antioxidante ($r = 0,89$, $p < 0,01$). Los cultivares de color púrpura DP-02-24 y AGM-51-09, presentaron una pobre relación, indicando que otros compuestos fenólicos pueden predominar en el efecto antioxidante. Una significativa correlación fue observada entre la capacidad antioxidante y compuestos fenólicos totales para los cultivares DP-02-24, ARB-52-41, AGM-51-09, M6COL2C, DP-02-15 Y DP-02-03 ($0,691 < r < 0,911$, $P < 0,01$); estas diferencias en el coeficiente de correlación, sugiere una importante diferencia entre los cultivares que podrían ser relacionado a diferentes perfiles de antioxidantes y compuestos fenólicos. La baja correlación y/o negativa de otros cultivares pueden indicar diferencias en los promedios y perfiles de compuestos fenólicos y/o la presencia de otros compuestos bioactivos, que puede contribuir a la capacidad antioxidante incluyendo ácido ascórbico y glucosinolatos.

Moyer *et al.* (2002) citado por Ríos (2004) menciona que al evaluar 32 genotipos de grosellas (*Ribes*) observaron una baja relación entre el contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante, lo que se debería al alto contenido de ácido ascórbico que presenta esta fruta, lo cual contribuiría a la capacidad antioxidante hidrofílica más no, el contenido de compuestos fenólicos.

7.2 CARACTERIZACIÓN DE LA MASHUA CON MAYOR CONTENIDO DE ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE HIDROFÍLICA

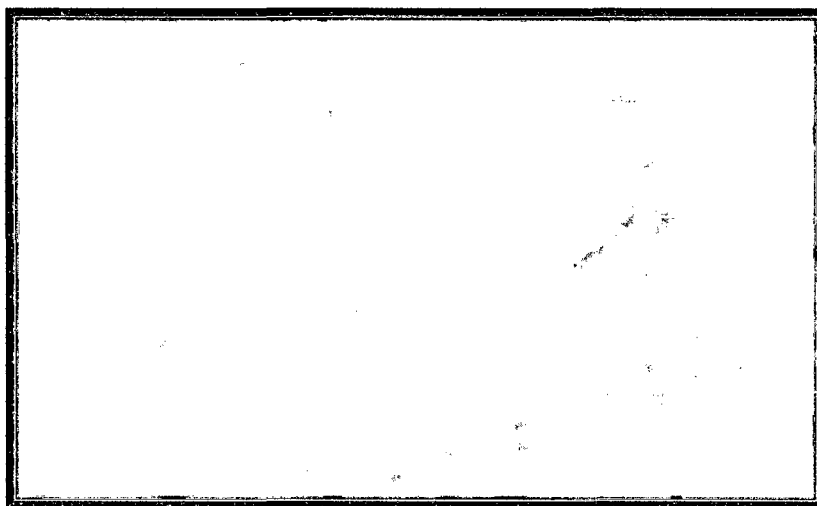


Figura 6. Mashua cultivar Zapallo Amarillo

Los resultados promedios con su respectiva desviación estándar de la composición química, efectuado para la mashua cultivar “zapallo amarillo” (Fig. 6) en estado fresco por 100 gramos de porción comestible, expresada en base húmeda (bh) y base seca (bs), se muestra en la Tabla 6.

7.2.1 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA MASHUA CULTIVAR ZAPALLO AMARILLO

Tabla 6. Composición química de la mashua cultivar “zapallo amarillo”
(En 100 g de parte comestible)

Composición	Contenido	
	Base húmeda (bh) Y ± DE	Base seca (bs) Y ± DE
Humedad (g)	88,10 ± 1,00	
Proteínas (g)	1,59 ± 0,04	13,36 ± 0,36
Grasas (g)	0,31 ± 0,03	2,62 ± 0,25
Fibra cruda (g)	0,61 ± 0,04	5,12 ± 0,30
Ceniza (g)	0,59 ± 0,02	4,97 ± 0,13
ELN (g)	8,78 ± 1,12	73,95 ± 1,03
Acido ascórbico (mg)	55,97 ± 0,20	470,35 ± 16,64
Azúcares reductores (mg)	7,20 ± 0,24	60,50 ± 1,33

Y : Promedio de 3 repeticiones

DS : Desviación estándar

ELN : Extracto Libre de Nitrógeno

Los resultados del análisis químico de la mashua cultivar “zapallo amarillo”; determinados, en cuanto a la cantidad de agua, proteínas, grasas, fibra cruda y ceniza; se asemejan a los valores reportados para la mashua por diversos investigadores como: Tapia (1984), Collazos *et al.* (1993), Meza *et al.* (1997), King (1986) citado por Ramallo (1999), National Reserach Council (1989) y Campos *et al.* (2006); tal como se visualizó en las Tablas 1 y 2 ya indicados.

La cantidad de proteínas encontrada con un promedio de $1,59 \pm 0,043$ g/100g (bh) para la mashua cultivar “zapallo amarillo”, contiene valores por encima del camote morado (1,4), arracacha (0,7), oca (1,0), olluco (1,1) y yuca (0,6), todos expresados en g/100g de los tubérculos en base húmeda, tal como lo reportó Collazos *et al.* (1993).

La cantidad de vitamina C (ácido ascórbico) encontrada con un promedio de $55,97 \pm 0,20$ mg/100g (bh) para la mashua cultivar “zapallo amarillo”; contiene valores por encima del camote morado (13,6), maca (2,5), oca (38,4), olluco (11,5), papa blanca (14,0), arracacha (27,1), camote blanco (12,9) y papa amarilla (9,0). Todos expresados en mg/100g de los tubérculos, expresado en base húmeda, tal como lo reportó Collazos *et al.* (1993).

En la Tabla 6, también se observó el resultado de azúcares reductores expresado en base húmeda ($7,2\% \pm 0,24$) para la mashua cultivar “zapallo amarillo”; los valores determinados de azúcares reductores, se encuentran dentro del rango (1,73%-13,48%) reportado para la mashua por Brito y Espin (1999).

Reynoso *et al.* (1997) citado por Sarmiento (2003) menciona que el contenido de azúcares reductores 5,7% (bh) lo hace propicio para las operaciones de concentración y secado de colorante.

7.3 EFECTO DE LA TEMPERATURA DE SECADO EN BANDEJA SOBRE LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE HIDROFÍLICA DE LA MASHUA

Los resultados del contenido de actividad antioxidante hidrofílica de la mashua cultivar “zapallo amarillo” fresca y seca, siguiendo el proceso de secado en tipo bandeja con tres niveles de temperatura de trabajo 40°C, 50°C y 60°C, se aprecian en la Tabla 7 y la Fig. 7.

De acuerdo a los métodos estadísticos aplicados a los resultados obtenidos en esta investigación, el ANVA, con un nivel de significación de $p < 0,05$; indica que existe alta significación entre los tres niveles de temperatura sobre la pérdida de actividad antioxidante hidrofílica (Apéndice 9,1). El análisis de comparaciones múltiples de medias, prueba de Tukey, con un nivel de significación de $p < 0,05$; confirma dicha significación,

resultando la mayor retención de actividad antioxidante hidrofílica de la mashua seca, con el tratamiento a 40°C (Apéndice 9, 2).

Tabla 7. Resultados del contenido de la actividad antioxidante hidrofílica de la mashua fresca y seca

	Niveles de tratamiento	Actividad antioxidante(*) Y ± DS	Retención de actividad antioxidante hidrofílica (%)
Mashua fresca	Sin tratamiento	4 939,91 ± 49,84	100
Temperatura	40°C	1 702,88 ^a ± 40,27	34,47
	50°C	1 577,86 ^b ± 35,29	31,94
	60°C	1 304,56 ^c ± 34,30	26,41

a, b y c : valores con igual letra, no presenta diferencias estadísticamente significativas para Tukey ($p < 0,05$)

Y : Promedio de 3 repeticiones

DS : Desviación estándar

(*) : μg Eq. Trolox /g de mashua

El uso de diferentes niveles de temperatura de secado, resultaron variables sobre la pérdida de actividad antioxidante hidrofílica de la mashua. Investigaciones recientes mencionan que el ácido ascórbico y compuestos fenólicos son los principales componentes de la actividad antioxidante hidrofílica, generalmente los cultivares de color púrpura contienen alto contenido de compuestos fenólicos, mientras los cultivares de color anaranjado contienen mayor cantidad de ácido ascórbico. Estos conceptos están explicados con mayor amplitud en las páginas 8, 9, 10, 11, 12 y 13.

Estudios recientes mencionan que altas temperaturas de secado causan una pérdida considerable de ácido ascórbico. Por ejemplo, Zaroni *et al.* (1999) sometieron tomates en mitades a secado en bandeja a temperaturas de 80°C y 110°C, en un tiempo de secado a 350 minutos, se observa una pérdida considerable de ácido ascórbico de 81,7% y 100% respectivamente.

Lin *et al.* (1998) indican que el proceso de secado frecuentemente afecta los compuestos fenólicos, ácido ascórbico y otros fitoquímicos específicos en las frutas y

verduras. Al respecto Zanoni *et al.* (1999) mencionan que las temperaturas altas y proceso de secado prolongado están asociados a menudo con el daño que afecta adversamente la textura, color, sabor y valor nutritivo de los productos. Los investigadores Rojas y Gerschenson (2001) mencionan que la degradación de ácido ascórbico, depende de varios factores que incluyen al oxígeno, catálisis de ion de metal, luz, temperatura y grado higrométrico.

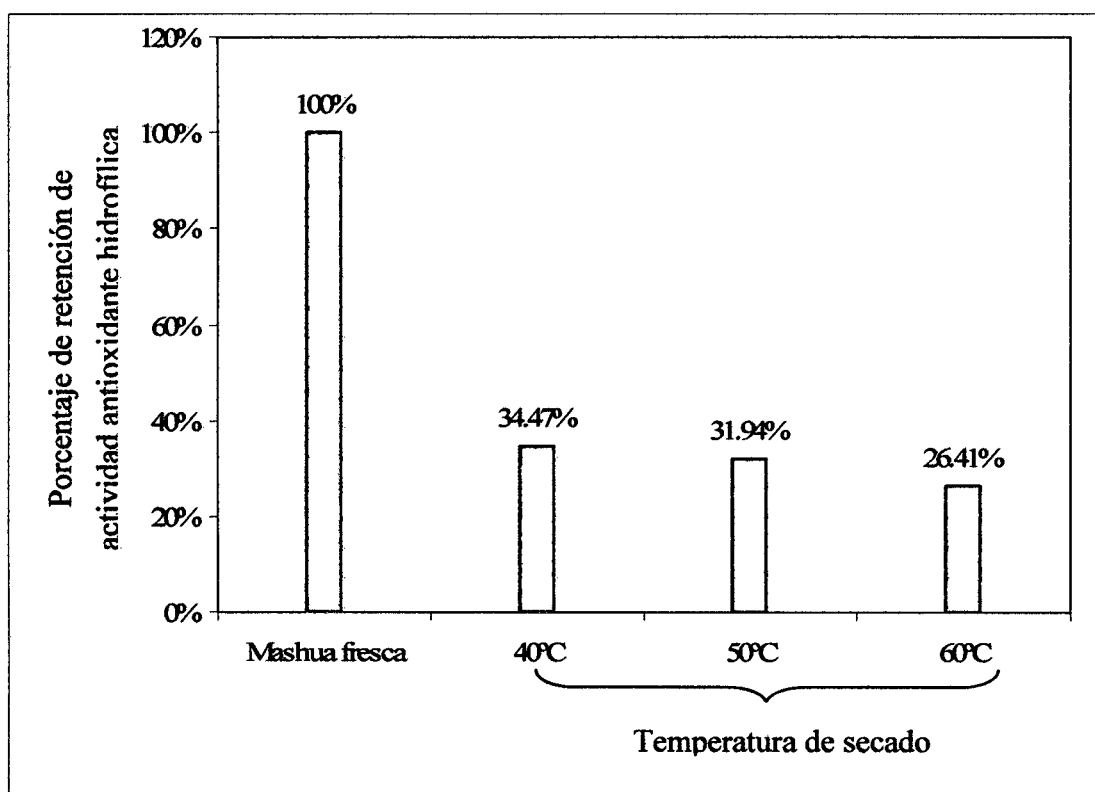


Figura 7. Resultados del contenido de actividad antioxidante hidrofílica de la mashua fresca y seca.

Un incremento en la oxidación, durante el secado, ha sido relacionado con el contenido de humedad (Labuza 1971; Zanoni, Pagliarini, Foschino, 2000 todos ellos mencionado por Toor y Savage, 2006). Tomates secados a temperaturas de 60°C han sido reportados que absorben más agua en rehidratación que aquellos secados a 70°C y 80°C (Olorunda *et al.*, 1990 citado por Toor y Savage, 2006). Esto ha sido apoyado por Zanoni *et al.* (1999) donde mencionan que si se utiliza temperaturas bajas, si se aumenta el grosor de las rodajas y remueve parcialmente la humedad se puede reducir la oxidación en el producto secado.

Kwok *et al.* (2004) sometieron bayas variedad “Thiessen” a secado en bandeja a temperatura de 75°C, y determinaron que los compuestos fenólicos totales se reducen en 65,50% y la actividad antioxidante sufre una pérdida de 73,7%.

Toor y Savage (2006) sometieron tomates cultivar “Tradiro” secados en bandeja a temperatura de 42°C por 18 horas, redujeron que los compuestos fenólicos totales en 30%; flavonoides en 13,3%; ácido ascórbico en 28,34% y la actividad antioxidante sufrió una pérdida de 23,75%.

Nindo *et al.* (2003) sometieron espárragos en rodajas de 2-4mm de espesor previo escaldado antes de secado en bandeja a temperaturas de 50°C, 60°C y 75°C, redujeron la actividad antioxidante en 26,9%, 27,6% y 28,6% respectivamente. La reducción del contenido de ácido ascórbico fue variable en diferentes partes del espárrago como: la porción de la punta (76,2%), medio (60,87%) y base (50%), secado a 60°C.

Giovanelli *et al.* (2002) sometieron tomates en mitades con un grosor de rodajas de 15 a 20 mm de espesor a secado en bandeja a temperatura de 70°C, y encontraron que el ácido ascórbico se redujo en 87,88% y la actividad antioxidante hidrofílica aumentó en un promedio de 100%.

Piga *et al.* (2003) sometieron ciruelas cultivar “presidente” a secado en tipo bandeja utilizando dos temperaturas 60°C y 85°C, observaron una pérdida sustancial en contenido de ácido ascórbico en 60,71% y 80,36% respectivamente. En cuanto a la actividad antioxidante no encontraron variación para 60°C, pero si para 85°C la actividad antioxidante se duplicó. Los mismos investigadores reportaron para casos específicos como: El ácido neochlogenic para 60°C se reduce ligeramente, mientras para 85°C no observaron variación; el contenido de Cyanidin- 3rutinoside para 60°C y 85°C fue reducido casi en su totalidad; y el rutin para 60°C y 85°C, se reduce en 65% y 62% respectivamente. Todas las comparaciones las efectuaron respecto al producto fresco y en base seca.

Pocorny y Schmidt (2001) indican que en los alimentos originales, las gotitas de lípidos, lisosomas o membranas son protegidas por las capas de proteínas hidratadas, contra el acceso de oxígeno del aire. Debido al secado, la capa protectora es deteriorada, por tanto, los lípidos y estructuras no lipídicas son expuestas al oxígeno, siendo la

oxidación de lípidos (incluido los esteroides) y estructuras no lipídicas más rápidos, que en alimentos originales ricos en agua. Altas concentraciones de radicales libres implican mayor pérdida de los antioxidantes. Los cambios en la actividad antioxidante relacionados con la remoción de agua son relativos; si la evaporación del agua es moderada y el tiempo de remoción es corto; los antioxidantes no son dañados usualmente durante el secado.

El contenido de compuestos fenólicos y carotenoides de tomate han sido reportados que son estable durante el procesamiento bajo altas condiciones de temperaturas, y el proceso térmico ha sido reportado que puede aumentar los compuestos fenólicos debido al rompimiento de las células (Dewanto *et al.*, 2002 citado por Toor y Savage 2006).

Piga *et al.* (2003) explican que el aumento de la actividad antioxidante podría ser el resultado de dos factores: a) la oxidación parcial de los compuestos fenólicos aumenta el poder antioxidante presentes en la muestra (pero es temporal), b) alta temperatura permite la formación de nuevos compuestos con mayor capacidad antioxidante, tales como los que se forman en la reacción de Maillard. Al respecto Giovanelli *et al.* (2000); Stewart *et al.* (2000) citado por Giovanelli *et al.* (2002) mencionan que el tratamiento térmico incrementa el nivel de flavonoles libres, que tiene considerable actividad antioxidante.

Anese *et al.* (1999) citado por Toor y Savage (2006) mencionan que el calentamiento es la causa principal de la pérdida de los antioxidantes tales como el ácido ascórbico, pero también el calentamiento puede inducir a la formación de compuestos tales como melanoidinas, por la reacción de Maillard, y este compuesto tiene efectos antioxidantes, estos compuestos se generan con el uso de altas temperaturas 90°C por un corto tiempo de secado. Sin embargo, en nuestro estudio no fueron usadas temperaturas altas, por tanto no se observó este efecto.

Hsu *et al.* (2003) mencionan que los secadores convencionales que utilizan aire caliente en el secado, son relativamente baratos y son los más comunes en la producción de los alimentos, pero resulta usualmente inferior en cuanto a la calidad, debido a que el tiempo de secado es prolongado. También Jayaraman and Guta (1995) citado por Nindo *et al.* (2003) afirman que el método de secado lento incrementa la pérdida de ácido ascórbico. Esto podría deberse a largo tiempo de secado y la mayor exposición del área que faculta la oxidación de ácido ascórbico.

7.4 RESULTADOS DE LA ISOTERMA DE DESORCIÓN DE LA MASHUA

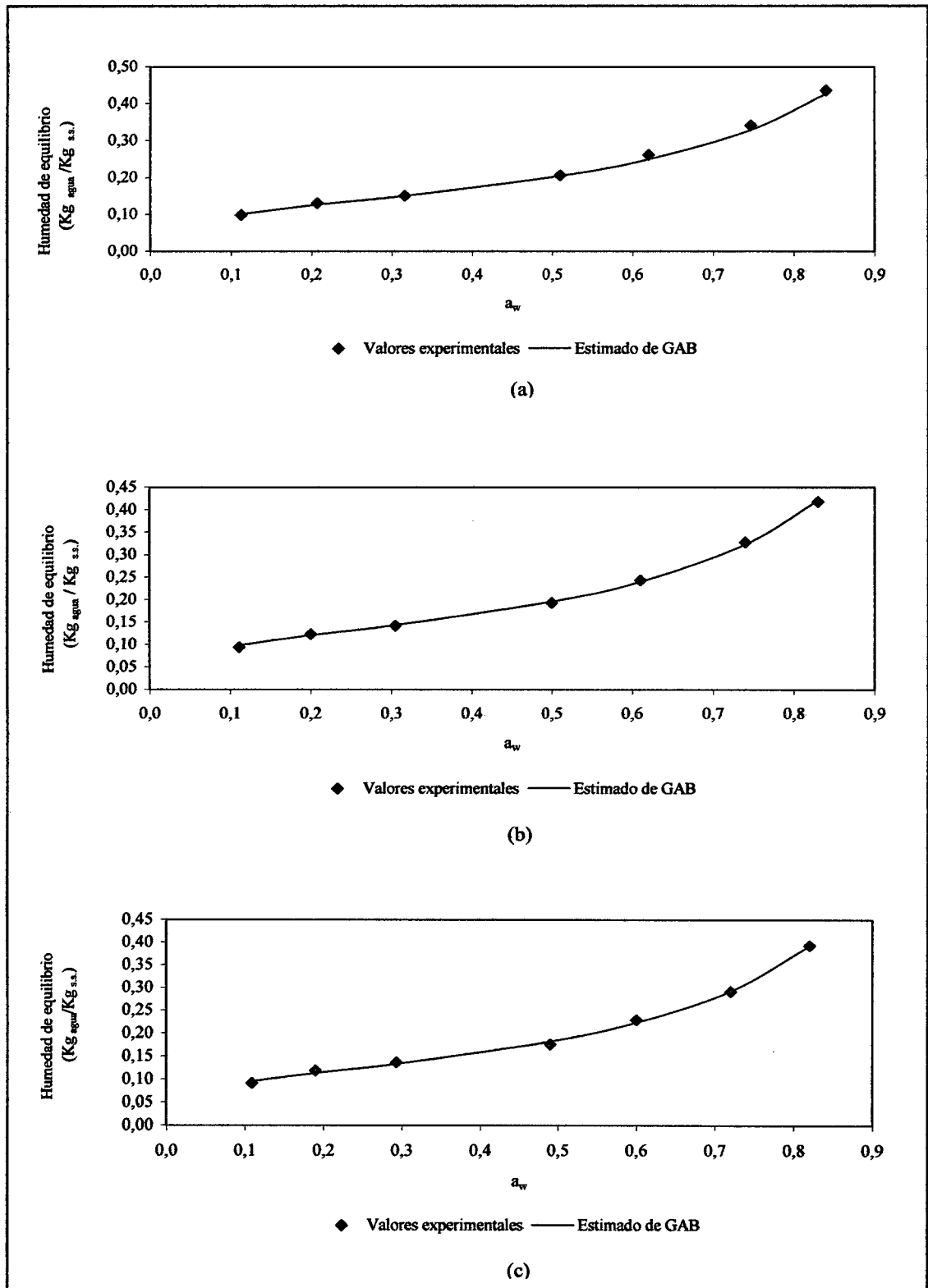


Figura 8. Isoterma de desorción de la mashua modelado con la ecuación de GAB. a) 40°C, b) 50°C y c) 60°C.

En la Fig. 8 a, b y c se observó que las isotermas de desorción para la mashua fresca “zapallo amarillo”, obtenidas para las tres temperaturas de trabajo a 40°C, 50°C y 60°C respectivamente. En ellas se observaron isotermas no lineales con las tres temperaturas de trabajo de forma sigmoidea que son similares a la isoterma de tipo II, de las tres establecidas por Bell & Labuza (2000), como se observó en la Fig. 2; las cuales son las más frecuentes en los alimentos como frutas y verduras.

7.4.1 CALIDAD DE AJUSTE DE LAS CURVAS OBTENIDAS CON LA ECUACIÓN DE GAB PARA LAS TRES TEMPERATURAS DE TRABAJO

En la Tabla 8, se observa un excelente coeficientes de regresión polinomial (R^2) mayor a 0,98 y un error porcentual medio relativo (ERM) menor a 5% para las tres temperaturas de trabajo confirmando que la ecuación de GAB es un buen modelo para predecir la humedad de equilibrio de la mashua cultivar “zapallo amarillo” a un amplio rango de humedad relativa (11,2-82,0 %). Al respecto Vega *et al.* (2006) afirman que los coeficientes de regresión (R^2) superiores a 0,85, indican buen ajuste de la ecuación. A si mismo Vidal *et al.* (1981) citado por Huamán (2001) mencionan que el ERM, inferiores a 5%, dan buen ajuste al modelo.

Tabla 8. Calidad de ajuste de la ecuación de GAB obtenidas para las tres temperaturas de trabajo

Temperatura (°C)	R^2	ERM (%)
40	0,989	2,84
50	0,988	2,54
60	0,989	3,10

R^2 : Coeficientes de regresión

ERM : Errores Relativos Medios

7.4.2 RESULTADOS DE LAS CONSTANTES OBTENIDAS CON LA ECUACIÓN DE GAB PARA LAS TRES TEMPERATURAS DE TRABAJO

En la Tabla 9, se muestran los resultados de los valores de las constantes de desorción de la mashua cultivar “zapallo amarillo” (X_m , C y K), obtenidas con la ecuación de GAB. Las constantes fueron determinadas, utilizando una herramienta computacional presente en el Microsoft Excel 97. La secuencia del programa para determinar las constantes, y la fuente se reportan en el (Apéndice 4).

Tabla 9. Resultados de las constantes de la isoterma de desorción de la mashua obtenida con la ecuación de GAB para las tres temperaturas de trabajo

Temperatura (°C)	X^*	X_m	C	K	Calor de desorción (Kcal/mol)
40	0,115	0,120	30	0,86	2,12
50	0,106	0,110	35	0,88	2,29
60	0,100	0,106	40	0,89	2,45

- X^* : humedad de equilibrio del producto ($\text{Kg}_{\text{agua}} / \text{Kg}_{\text{s.s}}$)
- X_m : humedad de la monocapa y representa la humedad que alcanza el producto cuando los productos de sorción primarios están saturados por molécula de agua.
- C : constante de Guggenheim característica del producto y relacionada con el calor de sorción de la monocapa.
- K : factor de corrección relacionado con el calor de sorción de la multicapa.

Los resultados experimentales del valor de la humedad de monocapa (X_m) de la mashua “zapallo amarillo” mostraron una tendencia a disminuir a medida que aumenta la temperatura. Al respecto Torres (1991) citado por Huamán (2001) menciona que los valores de monocapa, disminuyen con el aumento de la temperatura. Los investigadores Westgate *et al.* (2005) mencionados por Vega *et al.* (2007) afirman que la tendencia a disminuir del contenido de humedad de la monocapa al aumentar la temperatura, lo que puede deberse a la menor disponibilidad de los sitios activos (o enlaces de hidrogeno) en los polímeros de almidón para la unión con el agua.

Cheftel (1984) señala que los valores de la monocapa para la mayor parte de los alimentos se hallan en el intervalo de 3 a 10 gramos de agua por cada 100 gramos de sustancia seca.

La constante C tiene importancia, para obtener el calor de sorción (Q_s) de la capa monomolecular. Según Barbosa y Vega (2000) indican que el calor de sorción (Q_s) se define como la diferencia entre el cambio de entalpía molar total y la entalpía molar de vaporización. La razón principal del aumento del contenido de agua a valores altos de actividad de agua, es debido a la condensación capilar. Según Fennema (2000) menciona que los valores de C se comportan en relación directa con el calor de sorción, es decir, mayor es el valor de C a mayor calor de sorción y menor es el valor de C a menor calor de sorción.

Vega *et al.* (2005) mencionan que k es un factor de corrección relacionado con el calor de sorción de la multicapa.

Giovanelli *et al.* (2001) indican que, una buena descripción de las isotermas se da cuando las constantes se encuentran dentro del rango de $5,67 \leq C \leq \infty$ y $0,24 < K < 1$, como se observó, en la Tabla 9. Los valores de las constantes C y K determinados para la mashua “zapallo amarillo” se hallan dentro de ese rango.

7.5 RESULTADOS DEL PROCESO DE SECADO EN BANDEJA

En la Fig. 9a, b y c; se muestra la cinética de secado, obtenidas para las tres temperaturas de trabajo (40°C, 50°C y 60°C). En las figuras se pueden observar en primera instancia el efecto de la temperatura sobre el proceso. En términos generales y como era de esperar, al aumentar la temperatura del aire de secado aumenta la velocidad de secado. Por tanto, en función de los resultados obtenidos se deduce que la cinética de secado de la mashua es dependiente de la temperatura del aire de secado.

Para estudiar el comportamiento del secado de la mashua en la etapa de velocidad decreciente y determinar si el fenómeno de transferencia de humedad es por difusión o por capilaridad se aplicó la ecuación 23. De acuerdo a los resultados obtenidos, en este estudio, se observó una línea recta, con un buen coeficiente de regresión lineal superior ($R^2 > 0,97$),

comprobando la validez del ajuste realizado, con las tres temperaturas de trabajo. Comprobando que, el mecanismo que predomina la migración de las moléculas de agua en las rodajas de mashua cultivar “zapallo amarillo”, es por difusión molecular (Apéndice 6,3). Al respecto Geankoplis (1998) menciona que la migración por difusión de la humedad contenida en un alimento es el mecanismo predominante en el secado de la mayoría de los alimentos, tal es caso de los vegetales.

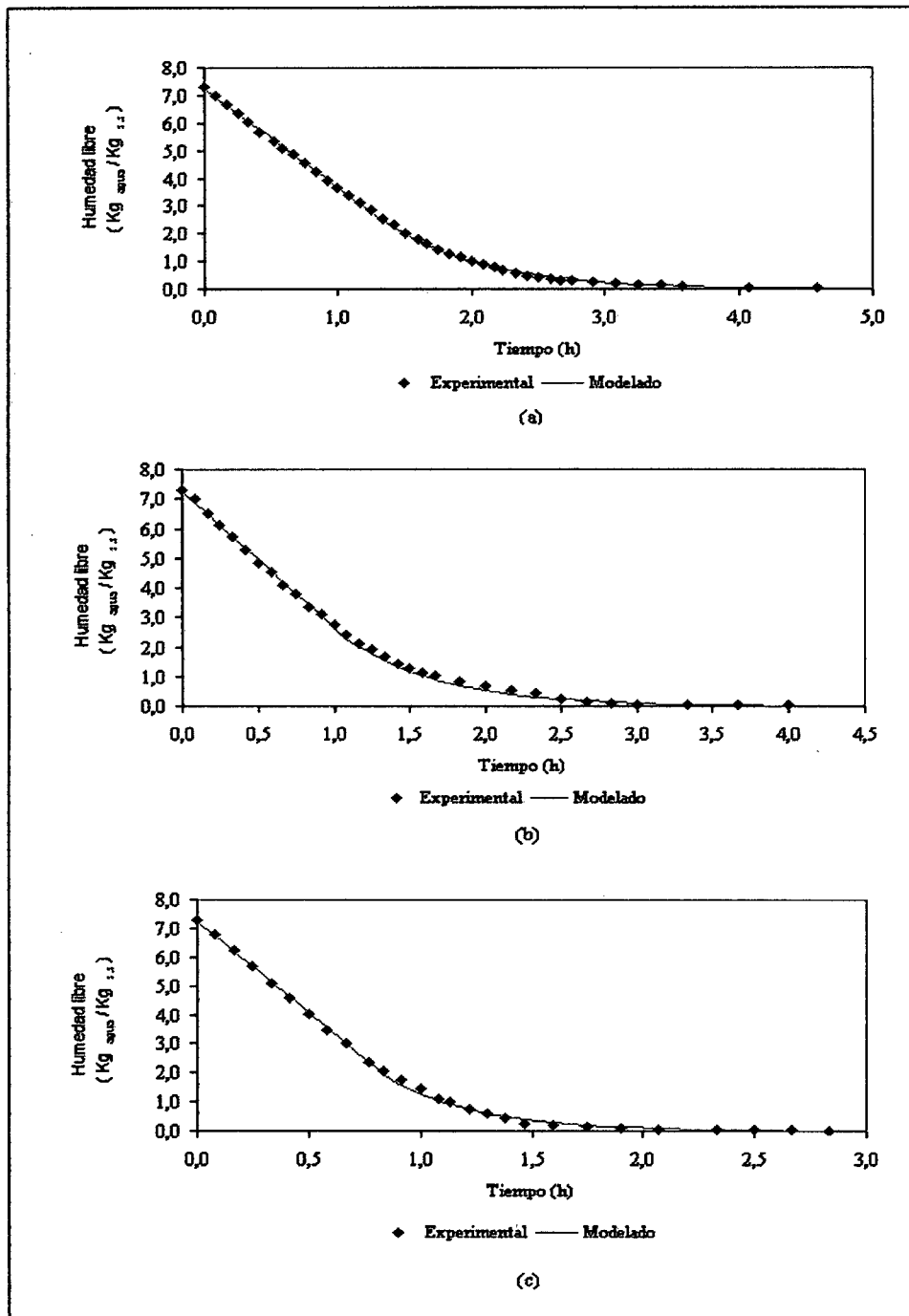


Figura 9: Curva de secado de la mashua para las tres temperaturas utilizadas.

Para obtener, el coeficiente de difusividad líquida (D_L), se utilizó la ecuación 20; si se grafica la variable independiente $\frac{dX}{dt}$; con respecto a la variable dependiente contenido de humedad X en el tiempo t ; a partir de humedad crítica (X_c) hasta la humedad final, si se obtiene una línea recta, entonces m es la pendiente de la recta (ecuación 21). De acuerdo a los resultados obtenidos, en este trabajo, se observó una línea recta, con un buen coeficiente regresión lineal superior ($R^2 > 0,93$), comprobando la validez del ajuste realizado, para las tres temperaturas de trabajo (Apéndice 6,4), de cuya pendiente se obtuvieron los coeficientes de difusión líquida (D_L), los resultados se dan en el Apéndice 6,1.

En la Fig. 10a, b y c, se distinguen para las tres temperaturas de trabajo, dos etapas de secado; periodo de velocidad constante y periodo de velocidad decreciente.

El periodo de velocidad constante, para humedades de la mashua, que va desde la inicial, hasta un valor crítico (X_c), rango de humedad en la que la velocidad de secado varía linealmente con la humedad libre de la mashua.

Finalmente se observó una segunda etapa (periodo de velocidad decreciente), más lenta para valores de humedad del producto menores a X_c , es en esta etapa de secado donde cobra mayor importancia la simulación del proceso mediante la teoría de difusión molecular del agua. La migración por difusión de la humedad contenida en un alimento es el mecanismo predominante en el secado de la mayoría de alimentos, tal es caso de vegetales (Geankoplis, 1998).

Para el modelado de la cinética de transferencia de agua ocurrida durante el secado en bandeja de la mashua, se utilizaron dos ecuaciones, en función de los dos periodos observados en el proceso.

La ecuación 24 describe el periodo constante, donde la velocidad de secado decrece linealmente hasta una humedad libre crítica (X_c); con un buen coeficiente regresión lineal obtenido ($R^2 > 0,98$), comprobando la validez del ajuste realizado, para las tres temperaturas de trabajo; ya que a partir de ese punto ya no se observa una línea recta, dando origen al periodo decreciente.

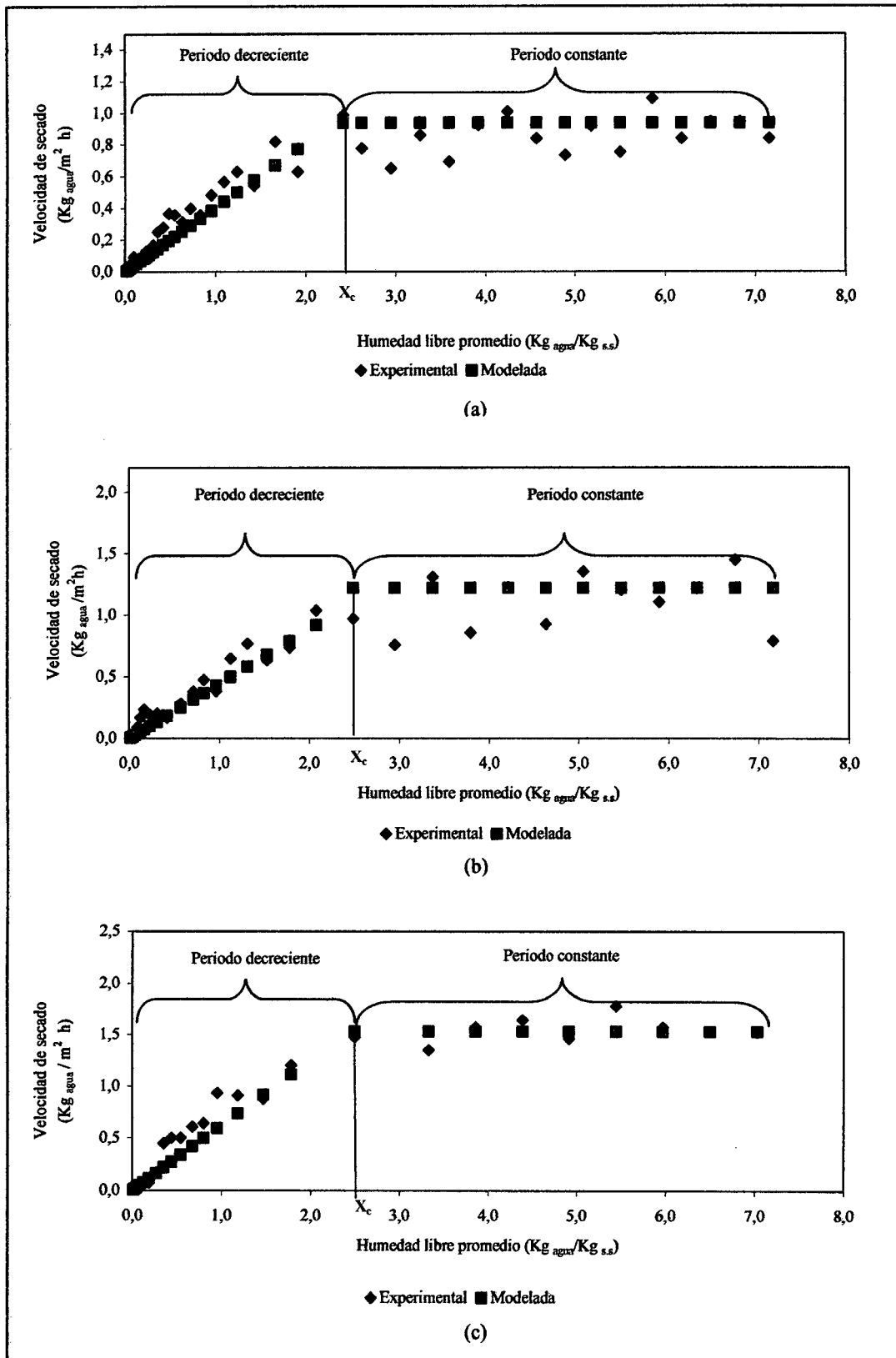


Figura 10. Diagrama de esparcimiento y modelada de la velocidad de secado en función al contenido de humedad libre de las rodajas de mashua. a) 40°C, b) 50°C y c) 60°C.

Para modelar el periodo de velocidad decreciente, se utilizó el modelo difusional, por que se demostró que la migración del agua fue por difusión líquida (Apéndice 6,3). Por tanto, para el modelado se utilizó, la ecuación integrada de la segunda ley de Fick, ecuación 18, para tiempos largos y geometría plana en una dimensión y se obtuvo un buen coeficiente regresión exponencial ($R^2 > 0,97$), comprobando la validez del ajuste realizado, para las tres temperaturas de trabajo. Al respecto Geankoplis (1998) menciona que, el método tradicionalmente se utiliza en el estudio de transferencia de masa en estado no estacionario para el secado de productos agrícolas, si se consideran como sólidos húmedos.

En el periodo constante se observó que la humedad libre de la mashua va desde la inicial 7,291; 7,296 y 7,301 $\frac{Kg_{agua}}{Kg_{s.s}}$ hasta un valor crítico de 2,537; 2,753 y 2,395 $\frac{Kg_{agua}}{Kg_{s.s}}$. Durante este periodo, se obtuvo valores constantes de velocidad de secado de 0,939; 1,222 y 1,535 $\frac{Kg}{m^2.h}$, retirando 66,00%, 62,47% y 67,46% de humedad (Apéndice 7,2; 7,4 y 7,6); en un tiempo de 1,820; 1,440 y 1,320 horas (Tabla 10); rango de humedad en la que la velocidad de secado varía linealmente con respecto a la humedad libre de las rodajas de mashua, para 40°C, 50°C y 60°C respectivamente. De acuerdo a los resultados obtenidos, durante el periodo de velocidad constante se retiró la mayor cantidad de humedad. Al respecto Geankoplis (1998) indica que durante el periodo de velocidad constante, la superficie del sólido está muy mojada al principio y sobre todo hay una película de agua continua. Esta capa de agua, es agua no combinada y actúa como si el sólido no estuviera presente.

El periodo de velocidad decreciente comienza desde la humedad libre crítica 2,537; 2,753 y 2,395 $\frac{Kg_{agua}}{Kg_{s.s}}$ hasta la humedad libre final 0,037; 0,025 y 0,029 $\frac{Kg_{agua}}{Kg_{s.s}}$ (Apéndice 7,2; 7,4 y 7,6), rango de humedad, donde la velocidad de secado ya no varía linealmente con la humedad libre de la mashua. Durante este periodo se retiró 34,00%; 37,53% y 32,54% de humedad en un tiempo de 2,40; 2,450 y 1,620 horas, para 40°C, 50°C y 60°C respectivamente. Al respecto Barbosa y Vega (2000) mencionan que el periodo de velocidad decreciente se da cuando la velocidad de secado ya no se mantiene constante y empieza a disminuir. En este periodo, la velocidad de secado está gobernada por el flujo interno del agua y vapor. El periodo de velocidad decreciente se puede dividir en dos etapas (Fig. 1b). A veces no existen diferencias remarcables entre el primer y segundo

periodo de velocidad decreciente.

Para determinar los tiempos de transferencia de agua ocurrida durante el periodo de velocidad constante y velocidad decreciente para las rodajas de mashua, se utilizaron las ecuaciones 15 y 19 ya antes mencionados. Los cálculos realizados se encuentran en los Apéndices 6,2 y 6,5; resultando que los tiempos de velocidad constante son menores en contraste a los tiempos de velocidad decreciente (Tabla 10). Al respecto Geankoplis (1998) señala que la cantidad de agua eliminada en el período decreciente puede ser baja, mientras que el tiempo requerido puede ser elevado, ya que la velocidad de secado es baja.

Tabla 10. Resultados de los tiempos de predicción, experimental y humedad de equilibrio obtenidas para las tres temperaturas de secado

Temp. (°C)	Tiempos (horas)				Humedad de equilibrio	
	predicido			experimental	$\left(\frac{Kg_{agua}}{Kg_{s.s}}\right)$	
	Periodos		Suma de periodos	Suma de periodos	Humedad Final exp.	GAB (X*)
	const.	decrec.				
40	1,820	2,400	4,220	4,583	0,152	0,115
50	1,440	2,450	3,890	4,000	0,140	0,106
60	1,320	1,620	2,950	2,833	0,129	0,100

De los resultados obtenidos (Tabla 10), cabe destacar que existe una clara tendencia del aumento de la humedad de equilibrio de las rodajas de mashua a medida que disminuye la temperatura de secado y la humedad de equilibrio en todos los casos estuvo por debajo del máximo permitido de 16% para harina de pimentón, según la norma UNE N° 34029 (Vega *et al.*, 2005); no obstante se recomienda; que para tener una mayor estabilidad en el almacenamiento, la humedad final no debe ser superior a 11% (Govindarajan, 2005 citado por Vega *et al.*, 2005). Según Sandoval (2007) menciona que la harina de papa deberá tener un máximo de 12% de humedad.

CAPITULO VIII

CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES

8.1 CONCLUSIONES

- 8.1.1 Se encontró una alta variación en el contenido de actividad antioxidante hidrofílica entre los diferentes cultivares de mashua, siendo el cultivar “zapallo amarillo”, que presentó el mayor contenido.
- 8.1.2 La mayor retención de actividad antioxidante hidrofílica de la mashua, mediante el secado en bandeja, se obtuvo con la temperatura a $40\pm 1^{\circ}\text{C}$.
- 8.1.3 En el proceso de secado en bandeja de las rodajas de mashua, se demostró que existe dos periodos de secado (constante y decreciente), para las tres temperaturas de secado:
- En el periodo constante, la velocidad de secado es proporcional a la humedad libre de la mashua, hasta alcanzar un valor crítico de humedad, en esta etapa, se logró retirar la mayor cantidad de agua de las rodajas de mashua.
 - En la etapa más lenta (periodo decreciente) se logró retirar la menor cantidad de agua, donde el mecanismo responsable de la salida de agua de las rodajas de mashua fue por difusión molecular hasta alcanzar la humedad de equilibrio.
 - Se determinó que los tiempos de secado de velocidad constante son menores en contraste a los tiempos de velocidad decreciente.
 - Al comparar los tiempos experimentales con los valores predichos con el modelo supuesto, se confirmó la validez del mismo y constituye por tanto, una herramienta útil para el cálculo del tiempo de secado de la mashua.

8.2 RECOMENDACIONES

- 8.2.1 Realizar pruebas de secado en tipo bandeja con otras medidas de espesor de rodajas de mashua.
- 8.2.2 Realizar pruebas de secado en tipo bandeja con otras velocidades de aire.
- 8.2.3 Determinar ácido ascórbico de diferentes cultivares de mashua, no estudiadas en el presente trabajo de investigación.
- 8.2.4 Realizar pruebas de correlación entre ácido ascórbico y actividad antioxidante hidrofílica

CAPITULO IX

FUENTE DE INFORMACIÓN

1. A.O.A.C. (1998). Official Methods of Analysis. Association the Official Agricultural Chemists. Board. USA.
2. BARBOSA, G. & VEGA, H. (2000). Deshidratación de Alimentos. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza- España.
3. BATEMAN, J. (1961). Una prueba de alimentación usando *Tropaeolum tuberosum*. Instituto Interamericano de Ciencia Agrícola Torrealba (Costa Rica).
4. BELL, L & LABUZA, T. (2000). Moisture sorption. Practical aspects of isotherm measurement and use. American association of cereal chemists, Inc. USA. second edition.
5. BRAND, W.; CUVELIER, M & BERSET, C. (1995). Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, n. 28, p. 25-30.
6. BRITO, B & ESPIN, S. (1999). Variabilidad en la composición química de raíces y tubérculos andinos del ecuador: www.cipotato.org/library/pdfdocs/RTA59120.pdf
7. CACEDA, F & ROSSEL, J. (1991). Sistema de producción y encontró de plagas en los cultivos andinos. Puno-Perú, p.12-15.
8. CAICEDO, C. (1999). Estudio y promociones de las tuberosas andinas dentro del agro ecosistema andino en ecuador. Alimentos del mundo andino. Centro internacional de la papa.

9. CAMPOS, D.; NORATTO, G.; CHIRINOS, R.; ARBIZU, C.; ROCA, W & CISNEROS-ZEVALLOS, L. (2006). Antioxidant capacity and secondary metabolites in four species of Andean tuber crops: native potato (*Solanum sp.*), mashua (*Tropaeolum tuberosum Ruiz & Pavón*), Oca (*Oxalis tuberosa Molina*) and ulluco (*Ullucus tuberosus caldas*). Journal of the Science of Food and Agricultura, p.1481-1488.
10. CAÑAS, M & BUSCHIAZZO, H. (2000). Antioxidantes: suplemento o dieta. Publicado en Femeba. n. 57, p. 8-9.
11. CARR, A & FREI, B. (1999). Does vitamin C act as a pro- oxidant under physiological conditions?. The FASEB Journal, v. 13, p.1007-1020.
12. CHACÓN, S. (1960). Estructura y Variabilidad de *Tropaeolum Tuberosum* R & P. Instituto de Interamericana de Ciencias Agrícolas, Costa rica.
13. CHEFTEL, C. (1984). Introducción a la bioquímica y tecnología de los Alimentos. Editorial Acribia, Zaragoza-España.
14. CHIRIFE, J. (1999). Predicción de la actividad de agua en alimentos. Facultad de ciencias exactas y naturales Universidad de Buenos Aires- Argentina.
15. CHIRINOS, R.; CAMPOS, D.; ARBIZU, C.; ROGEZ, H.; REES J-F; LARONDELLE., NORATTO, G & CISNEROS-ZEVALLOS, L. (2006). Effect of genotype, maturity stage and post-harvest storage on phenolic compounds, carotenoid content and antioxidant capacity, of Andean mashua tubers (*Tropaeolum tuberosum Ruiz & Pavón*). Journal of the Science of Food and Agriculture. p. 437-446.
16. CHOU, K & CHUA, J. (2001). New hybrid drying technologies for heat sensitive foodstuffs. Trends in Food Science and Technology, p. 359 –369.

17. COLLAZOS, C.; PHILIP, W.; VIÑAS, E.; ALVISTUR, J.; URQUIETA, A.; VAZQUES, J.; URQUIETA, A.; VASQUEZ, J.; DIAS, C.; QUIROZ, A.; ROCA, A.; MARK, H.; BRANDFIELD, R.; HERRERA, N.; FACHING, A.; ROBLES, N.; HERNANDEZ, E & ARIAS, M. (1993). Composición de alimentos de mayor consumo en el Perú. 6ta. Edición; Ministerio de Salud, Instituto Nacional de Nutrición. Lima. Perú.
18. DELGADO, C. (1978). Características morfológicas asociadas al rendimiento en mashua (*Tropaeolum tuberosum R y P*) bajo condiciones de allpachaka (3600 msnm). Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga- Programa Académico de Agronomía.
19. DESMARCHELIER, C. (1997). Total reactive antioxidant potential (TRAP) and total antioxidant reactivity (TAR) of medicinal plants used in Southwest Amazonian (Bolivia and Perú). *International Journal of Pharmacognosy*. p.288-296.
20. DOYMAZ, I. & PALA, M. (2003). The thin – layer drying characteristics of corn. *Journal of Food Engineering*, v. 60, p. 125- 130.
21. ECHEGARAY, J. (1998). Diferencia patogénica, morfológica y bioquímica entre aislamientos de *Rhizopus Sp.* Obtenido de tubérculo andino. Tesis UNALM.
22. ERENTURK, S.; GULABOGLU, S & GULTEKING, S. (2004). The Effects of Cutting and Drying Medium on the Vitamin C Content of Rosehip during Drying. *Journal of Food Engineering*, p.513-518.
23. ESPINOZA S.; MONTEGHIRFO, M.; ALVAREZ, J & ARNAO, I. (2002). Análisis electroforético unidimensional y bidimensional de las proteínas de *Tropaeolum tuberosum* (Mashua). Centro de investigación de Bioquímica y nutrición, laboratorio de química bioorgánica. (UNMSM).
24. FENNEMA, O. (2000). Química de los Alimentos. Editorial Acribia, Zaragoza - España.

25. FLORES, A. (2003). Reactores catalíticos. Universidad Iberoamericana-Santa Fe-Bogota.
26. FREL, B. (1999). Molecular and biological mechanisms of antioxidant action. The FASEB Journal. v. 13 June. p.963-964.
27. GEANKOPLIS, C. (1998). Procesos de transporte y operaciones unitarias. Editorial Continental. México.
28. GIOVANELLI, G.; ZANONI, B.; LAVELLI, V & NANI, R. (2001). Water sorción, drying and antioxidant properties of dried tomato products. Journal of food engineering, n. 52, p.135-141.
29. GONZÁLEZ, M.; MUÑIZ, P & VALLS, V. (2001). Actividad antioxidante de la cerveza: estudios in Vitro e in vivo. Departamento de Biotecnología y Ciencia de los Alimentos, Universidad de Burgos departamento de Pediatría, Ginecología y Obstetricia. Universidad de valencia.
30. HALVORSEN, L.; HOLTE, K.; MYRSTAD, A.; BARIKMO, B & HVATTUM, E. (2002). A Systematic Screening of Total Antioxidants in Dietary Plants. American Society for Nutritional Sciences. p. 461-471.
31. HATAMIPOUR, S. & MOWLA, D. (2002) Shrinkage of carrots during drying in an inert medium fluidized bed. Journal of Food Engineering, p.247-252.
32. HERNÁNDEZ, B & LEÓN, J. (1992). Cultivos marginados otra perspectiva de 1492. Organización de loas naciones unidas para la agricultura y la alimentación roma. p.150-151.
33. HERMOSILLA, M.; JIMÉNEZ, G.; GARRIDO, F & GUARDA, A. (Sin, Año). Diseño e implementación de un programa para la docencia interactiva en Ingeniería de Alimentos. Ciencia y Tecnología de Alimentos. Facultad de Tecnología. Universidad de Santiago de Chile: www.upv.es/dtalim/herraweb.htm#VII taller

34. HSU, L.; CHEN, W.; WENG, M & TSENG, Y. (2003). Chemical composition, physical properties, and antioxidant activities of yam flours as affected by different drying methods. Food Chemistry, p. 85-92
<http://fcial.uta.edu.ec/archivos/HPapaPrecocida.pdf>
35. HUAMÁN, M. (2001). Predicción de la actividad de agua utilizando el modelo matemático de GAB en el proceso de deshidratación osmótica del capuli (*Physalis peruviana*). Tesis para optar el título de Magíster Scientiae en la Universidad Nacional Agraria la Molina-Perú.
36. IGLESIAS, H & CHIRIFE, J. (1982). Handbook of Food Isotherms: Water sorption parameters for food and food components. Academic Press. New York.
37. KWOK, H.; DURANCE, HU & KITTS, D. (2004). Dehydration Techniques Affect Phytochemical Contents and Free Radical Scavenging Activities of Saskatoon Berries (*Amelanchier alnifolia Nutt.*). Journal of food science- v.69, n. 3.
38. LEE, K & SHIBAMOTO, T. (2002). Toxicology and antioxidant activities of non-enzymatic browning reaction products: review. Food Reviews International. v.18, n.2, p.151-175.
39. LIN, M.; DURANCE, D & SCAMAN, H. (1998). Characterization of vacuum microwave, air and freeze dried carrots slices. Food Research International, v.31, n.2, p.111-117.
40. LUTSENKO, E.; CARCOMO, J & GOLDE, D. (2002). Vitamin C Prevents DNA Mutation Induced by Oxidative Stress. The journal of Biological Chemistry. v. 277, n.19, May 10, p. 16895- 16899.
41. MEZA, G.; CORTES, H.; ZELA, G. & GONZA, V. (1997). Cultivo de mashua. Universidad nacional de san Antonio abad del Cuzco. Centro de investigación en cultivos andinos. Asociación Arariwa. IX Congreso Internacional de Cultivos Andinos.

42. MILLER, L. (1959). Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Anal. Chem.* n.31, p.426-428.
43. NATIONAL RESEARCH COUNCIL. (1989). *Lost Crops of the Incas: Little Known Plants of the Andes with Promise For Worldwide Cultivation*. National Academy Press. Washington D.C.
44. NAVAS, G.; VEGA DE ROJAS, B & SORIARE, L. (1993). La mashua (*Tropaeolum tuberosum*) fuente potencial de carbohidratos. Escuela Politécnica Nacional. Instituto de investigación Tecnológica. Simposio en carbohidratos. p.233-237.
45. NINDO, I.; SUN, T.; TANG, J & POWERS, R. (2003). Evaluation of drying technologies for retention of physical quality and antioxidants in asparagus (*Asparagus officinalis*, L.). *Lebensm Wiss. U. Technol*, n.36, p. 507-516.
46. ORTEGA, L. (1992). *Usos y valor nutritivo de los andinos*. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria y Agroindustria (INIAA). Programa de Investigación de Cultivos Andinos (PICA).
47. PALMA, C. (2003). *Curso teórico- práctico sobre principios activos de plantas andinas y amazónicas*. Facultad de Ciencias - Departamento de Química. Universidad Nacional Agraria la Molina.
48. PAOLINI, M.; ANTELLI, A.; POZZETTI, L.; SPETLOVA, D.; PEROCCO, P., VALGIMIGLI, L.; PEDULLI, F & CANTILLI, G. (2001). Induction of cytochrome P450 enzymes and over-generation of oxygen radicals in beta-carotene supplemented rats. *Carcinogenesis*, v.22, n. 9, p.1483-1493.
49. PIGA, A; DEL CARO, A, & CORDA, G. (2003). From Plums to Prunes: Influence of Drying Parameters on Polyphenols And Antioxidant Activity. *Agriculture and food Chemistry*, p.3675-3681.
50. POKORNY, J & SCHMIDT, S. (2001). *Natural antioxidant functionality during food processing*. Wood head publishing limited Cambridge England. Part 4.

51. PRIOR, L. & CAO, G. (2000). Antioxidant Phytochemicals in fruits and Vegetables: Diet and Health Implications. Hort Science, v. 35, n 4, p.588-592.
52. RAMALLO, Z. (1999). Diseño de una planta procesadora de harina de isaño como base de la alimentación porcina. Tesis. Universidad Privada de Bolivia.
53. RIOS, C. (2004). Contribución al estudio de algunos compuestos bioactivos y de la capacidad antioxidante presente en diez genotipos de mashua (*Tropaeolum tuberosum Ruiz & Pavon*) y a la evaluación de su estabilidad. Tesis para optar el grado académico de ingeniero en industrias alimentarias en la Universidad Nacional Agraria La Molina. Perú.
54. ROJAS, M. & GERSCHENSON, N. (2001). Ascorbic acid destruction in aqueous model systems: an additional discussion. Journal of the Science of Food and Agriculture v, 81, p.1433–1439.
55. SALAS, F. (1998). Procesamiento de raíces y tubérculos andinos: Fascículos. Centro Internacional de la Papa (CIP), p.14-17.
56. SANCHEZ, C.; JIMENEZ, A & SAURA, F. (2002). LDL Oxidizability indexes in measurement of antioxidant Activity in selected Spanish wines. ELSEVIER. Nutrition Research, p.507-517.
57. SANDOVAL, A. (2007). Elaboración de harina precocida de papa *solanun tuberosum*, en autoclave, con las variedades Superchola y Gabriela, consumo humano. Universidad Técnica de Ambato- Ecuador.
58. SARMIENTO, H. (2003). Estabilidad físico química y actividad antioxidante de las betalainas del ayrampo (*Opuntia Soherensii*) durante el proceso de atomizado. Tesis para optar el título de Magíster Scientiae en la Universidad Nacional Agraria la Molina-Perú.

59. SHI, H.; NOGUCHI, N & NIKE, E. (2001). Introducing natural antioxidants. Wood head publishing limited – Cambridge England. Part 3.
60. TAPIA, M. (1984). Los Tubérculos andinos. En: Avances en las investigaciones sobre tubérculos alimenticios de los andes. Lima, Perú. PISCA-IICA- CIID. p.45-61.
61. TEMOCHE, M., CAMPOS, D., CHIRINOS, R & CISNEROS, L. (2004). Evaluación de los compuestos bioactivos y la capacidad antioxidante presente en 30 genotipos de mashua. Anales Científicos. Universidad Nacional Agraria la Molina-Perú.
62. TINEO, J. (1993). Cultivo de mashua. Instituto Nacional de Investigación Agraria. Folleto, n.6, p.1-9.
63. TOOR, K & SAVAGE, P. (2006). Effect of semi-drying on the antioxidant components of tomatoes. Food Chemistry, p.90-97.
64. VEGA, A.; ANDRÉS, A & FITO, P. (2005). Modelado de la cinética de secado del pimiento rojo (*Capsicum annuum l. cv lamuyo*). Información tecnológica- v.16, n.6, p.3-11.
65. VEGA, A.; LARA, E & LEMUS, R. (2006). Isotherma de adsorción en harina de maíz (*Zea mays L.*). Ciencia tecnológica alimentaria. v.26, n.4, p.1-16.
66. VEGA, A.; TELLO, C & LEMUS, M. (2007). Simulación matemática del proceso de secado de la Gracilaria Chilena (*Gracielaria chilensis*). Revista chilena de ingeniería, v.15, n.1, p.55-64.
67. WANG, H.; CAO, G & PRIOR, R. (1996). Total Antioxidant Capacity of Fruts. J. Agric. Food Chem., p.701-705.
68. WEN-CHI, H.; MEI-HSIEN, L.; HSIEN-JUNG, C.; WEN-LEE, L., CHUAN-HSIAO, H.; YEN-WENN, L & YAW-HUEI. L. (2001). Antioxidant activities of Dioscorin, the Storage Protein of Yam (*Dioscorea batatas Decne*) Tuber. Journal Agriculture. Food Chem., p. 4956-4960.

69. YOUNG, A & LOWE, G. (2001). Antioxidant and Prooxidant Properties of Carotenoids. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, v.385, n.1, January 1, p.20-27.
70. YOUNG, S & WOODSIDE, V. (2001). Antioxidants in health and disease. Department of clinical biochemistry, institute of clinical Science, Grosvenor Road, Belfast, Northern Ireland. *J Clin Pathol*; 54. p.176-186.
71. ZANONI, B.; PERI, C.; NANI, R & LAVELLI, V. (1999). Oxidative heat damage of tomato halves as affected by drying. *Food Research International*, v.31, n.5, p.395-401.

CAPITULO X

APENDICES

APENDICE 1. METODOLOGÍA PARA DETERMINAR LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE HIDROFILICA O LIPOFILICO UTILIZANDO EL MÉTODO DPPH

- 1.1 Colocar 5g de muestra y añadir uno de los siguientes solventes:
Metanol (25 ml) solo para fenoles
Isopropanol / hexano (10ml / 15 ml) solo para carotenoides
- 1.2 Mezclar con el homogenizador Ultra-Turrax hasta una consistencia uniforme (1/2-1min) y mezclar por 15min. Si el ensayo es para extractos hidrofílicos (fenoles), almacenar por 12- 24 hrs a 3-4°C (refrigerado). Si el ensayo es para extractos lipofílicos (carotenoides), entonces proceder directamente al paso 1.3.
- 1.3 Antes de tomar una alícuota para el análisis, centrifugar el homogenizado por 20min a 15 000 RPM.
- 1.4 Separar el sobrenadante en un tubo Eppendorf para la medida de de la actividad antioxidante. Guardar la fase orgánica (para carotenoides) y luego guardar ambos tubos cubiertos con papel de aluminio para su posterior análisis.
- 1.5 El sobrenadante puede guardarse a -20°C para análisis posteriores.
- 1.6 Llevar el espectrofotómetro a cero con metanol.
- 1.7 Asegurar la absorbancia inicial a 515 nm de la solución diluida de DPPH que es alrededor de $1,1 \pm 0,02$.

- 1.8 Con una micropipeta añadir una alícuota de 150µL de la muestra (puede ser acuoso o fase orgánica) con 2 850µL de la solución diluida de DPPH dentro de un vial de plástico limpio, correr un blanco con 150µL del solvente puro (de acuerdo a la solución de extracción) hasta obtener un factor de corrección (debido a la solución)
- 1.9 Dejar que la muestra y el DPPH reaccionen en un agitador en la oscuridad y cerrar los viales. La temperatura ambiente debe ser 20°C.
- 1.10 En diferentes intervalos de tiempo (15 min.) transferir la solución a una cubeta de vidrio limpia. Golpear la cubeta hasta eliminar las burbujas y tomar la lectura del espectrofotómetro 515 nm.
- 1.11 Repetir las lecturas a través del tiempo hasta que se observe que no hay cambios significativos en la absorbancia. El punto final de la absorbancia es usado para calcular la actividad antioxidante.
- 1.12 Si la lectura de la absorbancia (Paso 1.11) es por debajo de 0,1; diluir el extracto de la muestra a un factor conveniente y repetir el ensayo de nuevo (Paso 1.8). Por ejemplo, 50µL de muestra es añadida a 100µL de solvente hasta formar un total de 150µL
- 1.13 Calcular la disminución de la absorbancia debido a los antioxidantes como sigue:

$$\Delta\text{DPPH} = \Delta\text{DPPH}_d - (A_{515}) \text{ muestra}$$

Donde:

ΔDPPH : Disminución en la absorbancia debido solo al antioxidante

ΔDPPH_d : Absorbancia del DPPH debido al efecto de la dilución con 150uL de solvente (este valor es cerca de 1,1 cuando la medida es a 515 nm. Sin embargo, se puede determinar en el ensayo). Este control puede cambiar durante el experimento y no sería más de que el 5%.

- 1.14 Estimar la actividad antioxidante como equivalente de Trolox usando la respectiva curva estándar (Apéndice 10).

$$Eq.Trolox = (a + bx)(0,25) \left(\frac{ml.del.extracto\ total}{g.de.muestra} \right) \left(\frac{150\ \mu L.de.muestra\ reactante}{\mu L.extracto.de.muestra} \right)$$

$$Eq.Trolox = \frac{\mu L.Equivalent\ e.Trolox}{g.de.muestra}$$

PREPARACIÓN DEL REACTIVO DPPH

- a. **Solución madre:** Disolver 24mg. De DPPH en una fiola volumétrica de 100ml. En metanol, esta solución obtenida es la solución madre; la cual se debe cubrir con papel aluminio y se guarda en refrigeración, su uso no debe extenderse por más de una semana.
- b. **Solución de trabajo:** De la solución madre y una vez atemperado a ambiente, se extrae 10 ml; y se añade a esta 45ml de metanol; deberá chequearse la absorbancia a 515nm (llevando el espectrofotómetro a cero con metanol), y esta no debe estar alrededor de $1,1 \pm 0,02$, esta solución debe taparse y cubrir con papel de aluminio (Brand *et al.*, 1995)

APENDICE 2. RESULTADO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MASHUA “zapallo amarillo” FRESCA

Cultivar	Humedad (%)	Promedio (Y)	Desviación Estándar (\pm DS)
Zapallo Amarillo	89,38	88,1	1,00
	87,96		
	86,94		

APENDICE 3. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA MASHUA “zapallo amarillo” FRESCA

Características	Unidad	Valor
Peso promedio de una mashua	(g)	45 rango (14-94)
Suciedad de la mashua al llegar a la planta	(%)	1,0
Densidad de la mashua fresca (ρ_f)	(Kg/m ³)	1015,04

APENDICE 4. SECUENCIA DEL PROGRAMA PARA DETERMINAR LAS CONSTANTES DE LA ECUACIÓN DE GAB DE LA ISOTERMA DE DESORCIÓN

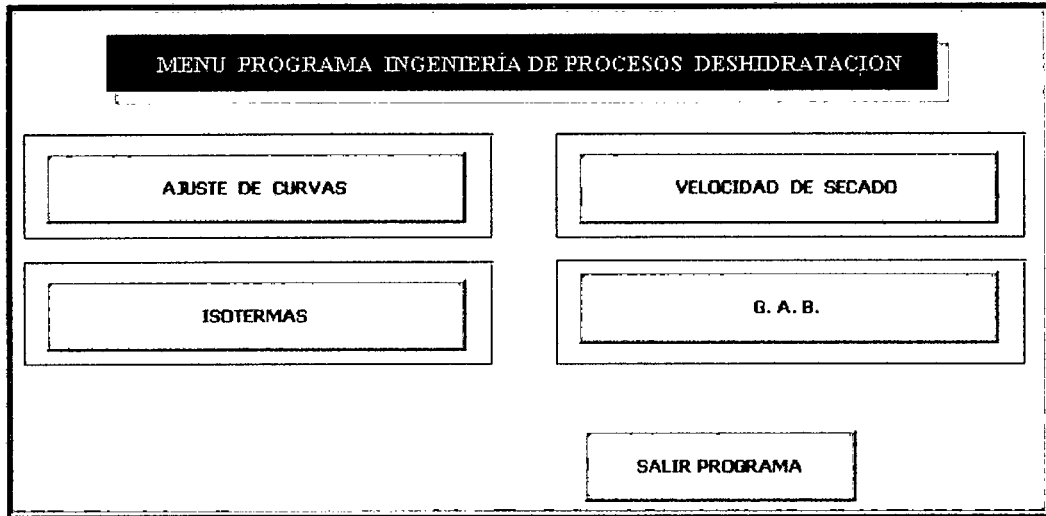


Figura 4,1: Pantalla del menú del programa de secado.

Al presionar el botón "G.A.B." éste, lo llevará a una hoja de cálculo como la que se muestra a continuación (Fig. 4,2).

Número de Nodos <=10	3	Aw	X exp	
Número de Vertices	6	1	0.05	3
Criterio de Convergencia	1.00E-06	2	0.1	3.8
Iteraciones	300	3	0.2	4.8
Numero de pares de datos <=20	10	4	0.3	6.3
CALCULAR CONSTANTES		5	0.4	7.6
Maximo de la Función	2.578712	6	0.5	9.1
K	0.676835	7	0.6	10.9
Xm	7.599980	8	0.7	12.9
C	7.899995	9	0.8	15.1
Valor de las Constantes para Modelo de GAB		10	0.9	17.7
alfa	0.077784	11		
beta	0.098268	12		
gamma	0.024608	13		
		14		
		15		
		16		
		17		
		18		
		19		
		20		

Figura 4,2: Hoja de cálculo para programa GAB.

Para comenzar se debe eliminar los datos presionando el botón "Eliminar Datos", dejando la hoja de cálculo como se aprecia en la Fig. 4,3.

Número de Nodos <=10	3	Aw	X exp	
Número de Vertices	6	1		ELIMINAR DATOS
Criterio de Convergencia	1.00E-06	2		
Iteraciones	300	3		
Numero de pares de datos <=20		4		X CALCULADOS
CALCULAR CONSTANTES		5		
Maximo de la Función		6		
K (Nodo 1)		7		SALIR
Xm (Nodo 2)		8		
C (Nodo 3)		9		
Valor de las Constantes para Modelo de GAB		10		
alfa	#¡DIV/0!	11		
beta	#¡DIV/0!	12		
gamma	#¡DIV/0!	13		
		14		
		15		
		16		
		17		
		18		
		19		
		20		

Figura 4,3: Hoja de cálculo para el ingreso de datos.

Se debe ingresar el Número de pares de Datos (programa diseñado para trabajar con un máximo de 20 pares de datos), en la celda indicada para ello y luego ingresar los datos de a_w y X (contenido de humedad).

Al presionar "Calcular Constantes" aparecerán ventanas para el ingreso de los límites aproximados de las constantes, como se muestra a continuación (Fig. 4,4).

Figura 4,4: Ventana para el ingreso de los límites de cada constante.

Así es necesario ingresar, para este ejemplo los siguientes datos:

	K (Nodo 1)	X _m (Nodo 2)	C (Nodo 3)
Límite Inferior	0,6	7,5	7,7
Límite Superior	0,7	7,6	7,9
Valor de la Variable del Nodo	0,68	7,56	7,81

Obteniéndose los siguientes resultados (Fig. 4,5).

Número de Nodos <=10	3	Aw	X exp	
Número de Vertices	6	1	0.1	3
Criterio de Convergencia	1.00E-06	2	0.2	4.8
Iteraciones	300	3	0.3	6.3
Numero de pares de datos <=20	9	4	0.4	7.6
CALCULAR CONSTANTES		5	0.5	9.1
Maximo de la Función	0.2067491	6	0.6	10.9
K (Nodo 1)	0.6753928	7	0.7	12.9
Xm (Nodo 2)	7.5999991	8	0.8	15.1
C (Nodo 3)	7.8999926	9	0.9	17.7
Valor de las Constantes para Modelo de GAB		10		
alfa	0.077618	11		
beta	0.098268	12		
gamma	0.024661	13		
		14		
		15		
		16		
		17		
		18		
		19		
		20		

Figura 4,5: Valor de las constantes para el modelo de GAB.

El programa entrega los valores estimados de K, X_m y C, junto con los valores de alfa, beta y gamma (constantes de GAB). Al presionar el botón "X calculados" se obtendrán los nuevos valores de X y el % RMS, para dichos valores (Fig 4,6).

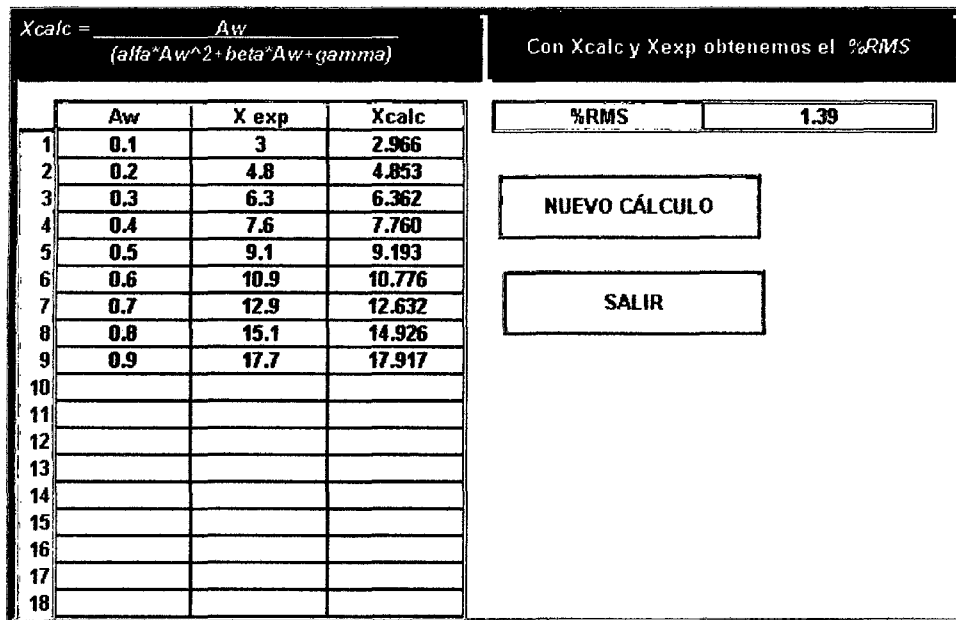


Figura 4,6: Hoja de cálculo con los nuevos valores de x, según el valor de las constantes.

Si desea realizar un nuevo cálculo se presiona el botón "Nuevo Cálculo", presentando nuevamente la hoja de cálculo inicial. Para finalizar la ejecución sólo se debe presionar el botón "Salir"

Fuente: www.upv.es/dtalim/herraweb.htm#VII taller

APENDICE 5. ISOTERMA DE DESORCION EXPERIMENTAL Y MODELADAS CON LA ECUACION DE GAB PARA LAS TRES TEMPERATURAS DE TRABAJO

Apéndice 5,1: Resultados de isoterma de desorción de la mashua experimental y modelada con la ecuación de GAB para 40°C

Soluciones saturadas	a _w tabular	Humedad de equilibrio $\left(\frac{Kg H_2O}{Kg s.s} \right)$	
		Experimental	Modelada por GAB
Cloruro de litio	0,113	0,099	0,101
Acetato de potasio	0,207	0,131	0,127
Cloruro de magnesio	0,316	0,151	0,151
Dicromato de sodio	0,510	0,207	0,205
Nitrito de sodio	0,620	0,262	0,250
Cloruro de sodio	0,747	0,341	0,329
Cromato de potasio	0,840	0,436	0,427

Apéndice 5,2: Resultados de isoterma de desorción de la mashua experimental y modelada con la ecuación de GAB para 50°C

Soluciones saturadas	a _w tabular	Humedad de equilibrio $\left(\frac{Kg H_2O}{Kg s.s}\right)$	
		Experimental	Modelada por GAB
Cloruro de litio	0,111	0,094	0,099
Acetato de potasio	0,200	0,123	0,121
Cloruro de magnesio	0,305	0,142	0,144
Dicromato de sodio	0,500	0,193	0,196
Nitrito de sodio	0,610	0,243	0,240
Cloruro de sodio	0,740	0,328	0,323
Cromato de potasio	0,830	0,418	0,421

Apéndice 5,3: Resultados de isoterma de desorción de la mashua experimental y modelada con la ecuación de GAB para 60°C

Soluciones saturadas	a _w tabular	Humedad de equilibrio $\left(\frac{Kg H_2O}{Kg s.s}\right)$	
		Experimental	Modelada por GAB
Cloruro de litio	0,110	0,091	0,096
Acetato de potasio	0,190	0,119	0,114
Cloruro de magnesio	0,290	0,137	0,134
Dicromato de sodio	0,490	0,176	0,183
Nitrito de sodio	0,600	0,229	0,224
Cloruro de sodio	0,720	0,292	0,293
Cromato de potasio	0,820	0,393	0,393

**APENDICE 6. DATOS TEORICOS, EXPERIMENTALES Y CALCULOS
REALIZADOS PARA DETERMINAR LAS CURVAS Y
TIEMPO DE SECADO**

Apéndice 6,1: Datos teóricos y experimentales, determinados para la mashua “zapallo
amarillo”

	Unidades	40°C	50°C	60°C
Humedad de equilibrio (X*)	Kg agua / Kg s.s	0,115	0,106	0,100
Monocapa (X _m)	Kg agua / Kg s.s	0,120	0,110	0,106
Humedad relativa	%	12	11	10
Peso de sólido seco (W _s)	Kg s.s	0,0138	0,0129	0,0128
Coef. de difusividad (D _L)	m ² /h	2,71x10 ⁻⁶	2,97x10 ⁻⁶	4,2x10 ⁻⁶
Calor latente (Λ _w)	Kcal / kg	585,40	582,80	580,15
Hum. inicial libre (X ₁)	Kg agua / Kg s.s	7,291	7,296	7,301
Hum. Crítica libre (X ₂ = X _c)	Kg agua / Kg s.s	2,537	2,753	2,395
Hum. final libre (X ₃)	Kg agua / Kg s.s	0,037	0,025	0,029
Coef. de Transf. de calor (h)	w / m ² °K	20,46	19,88	19,49
Temp. de bulbo seco (T)	°C	40	50	60
Temp. de bulbo húm.(T _w)	°C	19	24	29
Velocidad de masa (G)	Kg vap./m ² h	5644,80	5443,20	5312,16
Volumen específico (ν)	m ³ / kg aire seco	0,897	0,931	0,961
Razón de humedad (H)	Kg vap./kg aire seco	0,0050	0,0088	0,0130
Densidad del aire (ρ)	kg vap./m ³	1,120	1,080	1,054
Velocidad del aire (v)	m/h	5040		
Espesor de la rodaja(d)	m	0,002		
Área de la bandeja (A)	m ²	0,064		
Porcentaje de Humedad	%	88,1		
Porcentaje de masa seca	%	11,9		
Peso de bandeja	Kg	0,3076		
Densidad de la mashua fresca (ρ _f)	(Kg/m ³)	1015,04		
Kg. Sólido seco (L _s)	Kg	0,0155		

Apéndice 6,2: Cálculos realizados para determinar el tiempo de secado del periodo de velocidad constante.

$$t = \frac{L_s \cdot \lambda_w (X_1 - X_2)}{A \cdot h (T - T_w)}$$

reemplazando los datos del apéndice 6,1 tenemos:

$$t_{40^\circ C} = \frac{0,0155 \text{Kg}_{s,s} 585400 \frac{\text{cal}}{\text{Kg}_{H_2O}} (7,291 - 2,537) \frac{\text{Kg}_{H_2O}}{\text{Kg}_{s,s}}}{0,064 \text{m}^2 \cdot 20,46 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}} (313 - 292)^\circ \text{K}}$$

$$t_{40^\circ C} = 1568,69 \frac{\text{cal}}{\text{W}}$$

$$t_{40^\circ C} = 6536,21 \text{ s} = 108,94 \text{ min} = 1,82 \text{ h}$$

$$t_{50^\circ C} = \frac{0,0155 \text{Kg}_{s,s} 582800 \frac{\text{cal}}{\text{Kg}_{H_2O}} (7,296 - 2,753) \frac{\text{Kg}_{H_2O}}{\text{Kg}_{s,s}}}{0,064 \text{m}^2 \cdot 19,88 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}} (323 - 297)^\circ \text{K}}$$

$$t_{50^\circ C} = 1240,58 \frac{\text{cal}}{\text{W}}$$

$$t_{50^\circ C} = 5169,10 \text{ s} = 86,15 \text{ min} = 1,44 \text{ h}$$

$$t_{60^\circ C} = \frac{0,0155 \text{Kg}_{s,s} 580150 \frac{\text{cal}}{\text{Kg}_{H_2O}} (7,301 - 2,395) \frac{\text{Kg}_{H_2O}}{\text{Kg}_{s,s}}}{0,064 \text{m}^2 \cdot 19,49 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}} (333 - 302)^\circ \text{K}}$$

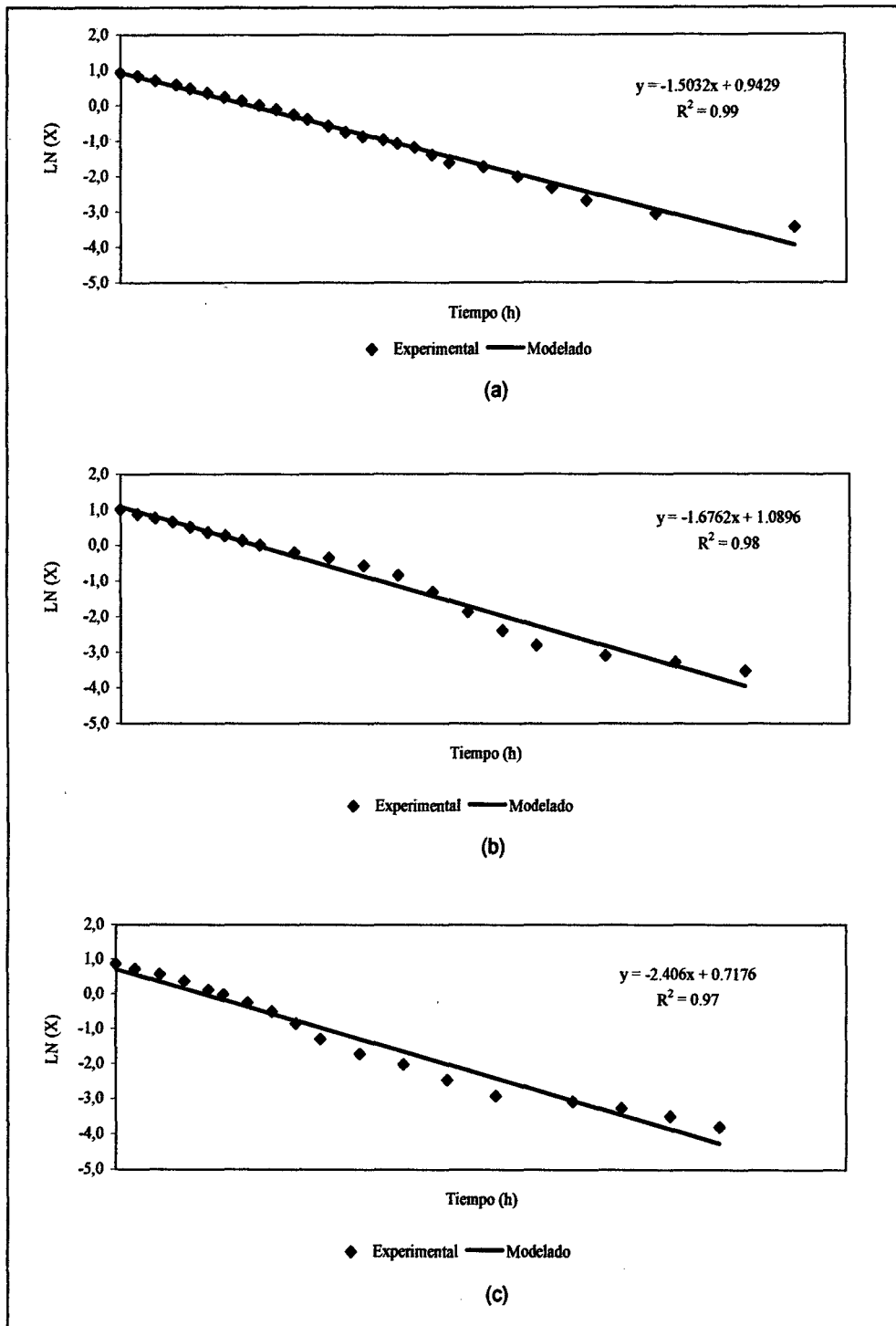
$$t_{60^\circ C} = 1140,90 \frac{\text{cal}}{\text{W}}$$

$$t_{60^\circ C} = 4753,73 \text{ s} = 79,23 \text{ min} = 1,32 \text{ h}$$

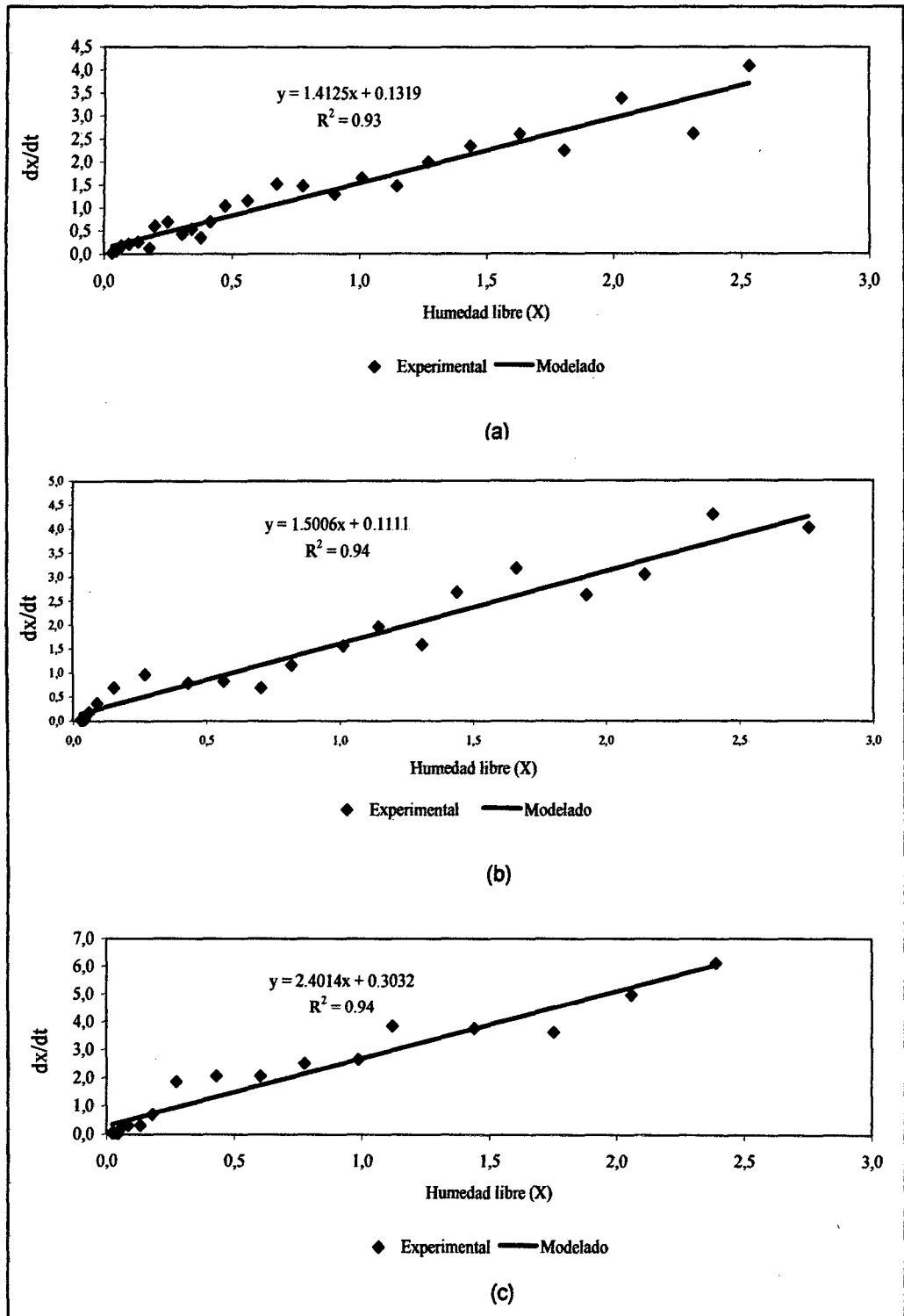
$$W = \frac{J}{s}$$

$$\text{Joule (J)} = 0,24 \text{ cal}$$

Apéndice 6,3: Representación gráfica para describir el mecanismo que gobierna la migración del agua de las rodajas de mashua en el periodo decreciente, a) 40°C, b) 50°C y c) 60°C.



Apéndice 6,4: Representación gráfica para hallar el coeficiente de difusividad líquida (D_L), a) 40°C, b) 50°C y 60°C.



Apéndice 6,5: Cálculos realizados para determinar el tiempo de secado del periodo de velocidad decreciente por el método de difusividad.

$$t = \frac{4d^2}{\pi^2 D_L} \ln \frac{8X_2}{\pi^2 X_3}$$

reemplazando los datos del apéndice 6,1 tenemos:

$$t_{40^\circ C} = \frac{4(0,002)^2 m^2 .h}{\pi^2 .2,71 \times 10^{-6} m^2} \ln \frac{8(2,537)}{\pi^2 (0,037)}$$

$$t_{40^\circ C} = (0,598)4,02 h$$

$$t_{40^\circ C} = 2,40 h$$

$$t_{50^\circ C} = \frac{4(0,002)^2 m^2 .h}{\pi^2 .2,97 \times 10^{-6} m^2} \ln \frac{8(2,753)}{\pi^2 (0,025)}$$

$$t_{50^\circ C} = (0,545)4,49 h$$

$$t_{50^\circ C} = 2,45 h$$

$$t_{60^\circ C} = \frac{4(0,002)^2 m^2 .h}{\pi^2 .4,2 \times 10^{-6} m^2} \ln \frac{8(2,395)}{\pi^2 (0,029)}$$

$$t_{60^\circ C} = (0,386)4,20 h$$

$$t_{60^\circ C} = 1,62 h$$

APÉNDICE 7. CÁLCULOS REALIZADOS PARA DETERMINAR LAS CURVAS DE SECADO

Apéndice 7,1: Cálculos realizados para determinar la curva y curva de velocidad de secado experimental para 40°C

Tiempo (h)	Wt (Kg)	W (Kg)	Xt (Kg _{agua} /Kg _{ss})	X (Kg _{agua} /Kg _{ss})	dt (h)	dX (Kg _{agua} /Kg _{ss})	dX / dt	R Experimental (Kg _{agua} /m ² h)
0.000	0.4236	0.116	7.406	7.291				
0.083	0.4196	0.112	7.116	7.001	0.083	-0.290	-3.478	0.842
0.167	0.4151	0.108	6.790	6.675	0.083	-0.326	-3.913	0.947
0.250	0.4106	0.103	6.464	6.349	0.083	-0.326	-3.913	0.947
0.333	0.4066	0.099	6.174	6.059	0.083	-0.290	-3.478	0.842
0.417	0.4014	0.094	5.797	5.682	0.083	-0.377	-4.522	1.094
0.517	0.3971	0.090	5.486	5.371	0.100	-0.312	-3.116	0.754
0.583	0.3936	0.086	5.232	5.117	0.067	-0.254	-3.804	0.921
0.667	0.3901	0.083	4.978	4.863	0.083	-0.254	-3.043	0.737
0.750	0.3861	0.079	4.688	4.573	0.083	-0.290	-3.478	0.842
0.833	0.3813	0.074	4.341	4.226	0.083	-0.348	-4.174	1.010
0.917	0.3769	0.069	4.022	3.907	0.083	-0.319	-3.826	0.926
1.000	0.3736	0.066	3.783	3.668	0.083	-0.239	-2.870	0.694
1.083	0.3695	0.062	3.486	3.371	0.083	-0.297	-3.565	0.863
1.167	0.3664	0.059	3.261	3.146	0.083	-0.225	-2.696	0.652
1.250	0.3627	0.055	2.993	2.878	0.083	-0.268	-3.217	0.779
1.333	0.3580	0.050	2.652	2.537	0.083	-0.341	-4.087	0.989
1.417	0.3550	0.047	2.435	2.320	0.083	-0.217	-2.609	0.631
1.500	0.3511	0.044	2.152	2.037	0.083	-0.283	-3.391	0.821
1.600	0.3480	0.040	1.928	1.813	0.100	-0.225	-2.246	0.544
1.667	0.3456	0.038	1.754	1.639	0.067	-0.174	-2.609	0.631
1.750	0.3429	0.035	1.558	1.443	0.083	-0.196	-2.348	0.568
1.833	0.3406	0.033	1.391	1.276	0.083	-0.167	-2.000	0.484
1.917	0.3389	0.031	1.268	1.153	0.083	-0.123	-1.478	0.358
2.000	0.3370	0.029	1.130	1.015	0.083	-0.138	-1.652	0.400
2.083	0.3355	0.028	1.022	0.907	0.083	-0.109	-1.304	0.316
2.167	0.3338	0.026	0.899	0.784	0.083	-0.123	-1.478	0.358
2.233	0.3324	0.025	0.797	0.682	0.067	-0.101	-1.522	0.368
2.333	0.3308	0.023	0.681	0.566	0.100	-0.116	-1.159	0.281
2.417	0.3296	0.022	0.594	0.479	0.083	-0.087	-1.043	0.253
2.500	0.3288	0.021	0.536	0.421	0.083	-0.058	-0.696	0.168
2.600	0.3283	0.021	0.500	0.385	0.100	-0.036	-0.362	0.088
2.667	0.3278	0.020	0.464	0.349	0.067	-0.036	-0.543	0.132
2.750	0.3273	0.020	0.428	0.313	0.083	-0.036	-0.435	0.105
2.917	0.3265	0.019	0.370	0.255	0.167	-0.058	-0.348	0.084
3.083	0.3258	0.018	0.319	0.204	0.167	-0.051	-0.304	0.074
3.250	0.3249	0.017	0.254	0.139	0.167	-0.065	-0.391	0.095
3.417	0.3244	0.017	0.217	0.102	0.167	-0.036	-0.217	0.053
3.583	0.3240	0.016	0.188	0.073	0.167	-0.029	-0.174	0.042
3.917	0.3237	0.016	0.167	0.052	0.334	-0.022	-0.065	0.016
4.583	0.3235	0.016	0.152	0.037	0.666	-0.014	-0.022	0.005

Apéndice 7,2: Cálculos realizados para determinar la curva y curva de velocidad de secado estimada para 40°C

Tiempo (h)	X (Kg agua/Kg s.s)	X Estimado (Kg agua/Kg s.s)	X Promedio (Kg agua/Kg s.s)	dt (h)	dx (Kg agua/Kg s.s)	dx/dt	R Estimado (Kg agua/m ² h)	R Experimental (Kg agua/m ² h)
0.000	7.291	7.318						
0.083	7.001	6.996	7.157	0.083	-0.322	-3.881	0.939	0.842
0.167	6.675	6.670	6.833	0.084	-0.326	-3.881	0.939	0.947
0.250	6.349	6.348	6.509	0.083	-0.322	-3.881	0.939	0.947
0.333	6.059	6.026	6.187	0.083	-0.322	-3.881	0.939	0.842
0.417	5.682	5.700	5.863	0.084	-0.326	-3.881	0.939	1.094
0.517	5.371	5.312	5.506	0.100	-0.388	-3.881	0.939	0.754
0.583	5.117	5.055	5.183	0.066	-0.256	-3.881	0.939	0.921
0.667	4.863	4.729	4.892	0.084	-0.326	-3.881	0.939	0.737
0.750	4.573	4.407	4.568	0.083	-0.322	-3.881	0.939	0.842
0.833	4.226	4.085	4.246	0.083	-0.322	-3.881	0.939	1.010
0.917	3.907	3.759	3.922	0.084	-0.326	-3.881	0.939	0.926
1.000	3.668	3.437	3.598	0.083	-0.322	-3.881	0.939	0.694
1.083	3.371	3.115	3.276	0.083	-0.322	-3.881	0.939	0.863
1.167	3.146	2.789	2.952	0.084	-0.326	-3.881	0.939	0.652
1.250	2.878	2.467	2.628	0.083	-0.322	-3.881	0.939	0.779
1.333	2.537	2.052	2.422	0.083	-0.322	-3.881	0.939	0.989
1.417	2.320	1.783	1.918	0.084	-0.269	-3.197	0.774	0.631
1.500	2.037	1.553	1.668	0.083	-0.231	-2.781	0.673	0.821
1.600	1.813	1.314	1.433	0.100	-0.239	-2.388	0.578	0.544
1.667	1.639	1.175	1.244	0.067	-0.139	-2.076	0.502	0.631
1.750	1.443	1.023	1.099	0.083	-0.152	-1.832	0.443	0.568
1.833	1.276	0.890	0.956	0.083	-0.132	-1.595	0.386	0.484
1.917	1.153	0.774	0.832	0.084	-0.117	-1.387	0.336	0.358
2.000	1.015	0.674	0.724	0.083	-0.100	-1.207	0.292	0.400
2.083	0.907	0.586	0.630	0.083	-0.087	-1.050	0.254	0.316
2.167	0.784	0.510	0.548	0.084	-0.077	-0.914	0.221	0.358
2.233	0.682	0.456	0.483	0.066	-0.053	-0.806	0.195	0.368
2.333	0.566	0.386	0.421	0.100	-0.070	-0.702	0.170	0.281
2.417	0.479	0.336	0.361	0.084	-0.051	-0.602	0.146	0.253
2.500	0.421	0.292	0.314	0.083	-0.043	-0.524	0.127	0.168
2.600	0.385	0.247	0.270	0.100	-0.045	-0.450	0.109	0.088
2.667	0.349	0.221	0.234	0.067	-0.026	-0.391	0.095	0.132
2.750	0.313	0.193	0.207	0.083	-0.029	-0.345	0.083	0.105
2.917	0.255	0.146	0.169	0.167	-0.047	-0.281	0.068	0.084
3.083	0.204	0.110	0.128	0.166	-0.035	-0.212	0.051	0.074
3.250	0.139	0.084	0.097	0.167	-0.027	-0.161	0.039	0.095
3.417	0.102	0.063	0.073	0.167	-0.020	-0.122	0.029	0.053
3.583	0.073	0.048	0.056	0.166	-0.015	-0.092	0.022	0.042
3.917	0.052	0.027	0.038	0.334	-0.020	-0.061	0.015	0.016
4.583	0.037	0.009	0.018	0.666	-0.018	-0.028	0.007	0.005

Apéndice 7,3: Cálculos realizados para determinar la curva y curva de velocidad de secado experimental para 50°C

Tiempo (h)	Wt (Kg)	W (Kg)	Xt (Kg _{agua} /Kg _{s.s})	X (Kg _{agua} /Kg _{s.s})	dt (h)	dX (Kg _{agua} /Kg _{s.s})	dX / dt	R Experimental (Kg _{agua} /m ² h)
0.000	0.4161	0.1085	7.411	7.296				
0.083	0.4126	0.1050	7.140	7.025	0.083	-0.271	-3.269	0.791
0.167	0.4061	0.0985	6.636	6.521	0.084	-0.504	-5.999	1.452
0.250	0.4007	0.0931	6.217	6.102	0.083	-0.419	-5.043	1.221
0.333	0.3958	0.0882	5.837	5.722	0.083	-0.380	-4.576	1.107
0.417	0.3904	0.0828	5.419	5.304	0.084	-0.419	-4.983	1.206
0.500	0.3844	0.0768	4.953	4.838	0.083	-0.465	-5.604	1.356
0.583	0.3803	0.0727	4.636	4.521	0.083	-0.318	-3.829	0.927
0.667	0.3748	0.0672	4.209	4.094	0.084	-0.426	-5.076	1.228
0.750	0.3710	0.0634	3.915	3.800	0.083	-0.295	-3.549	0.859
0.833	0.3652	0.0576	3.465	3.350	0.083	-0.450	-5.417	1.311
0.917	0.3618	0.0542	3.202	3.087	0.084	-0.264	-3.138	0.759
1.000	0.3575	0.0499	2.868	2.753	0.083	-0.333	-4.016	0.972
1.083	0.3529	0.0453	2.512	2.397	0.083	-0.357	-4.296	1.040
1.167	0.3496	0.0420	2.256	2.141	0.084	-0.256	-3.045	0.737
1.250	0.3468	0.0392	2.039	1.924	0.083	-0.217	-2.615	0.633
1.333	0.3434	0.0358	1.775	1.660	0.083	-0.264	-3.175	0.768
1.417	0.3405	0.0329	1.550	1.435	0.084	-0.225	-2.676	0.648
1.500	0.3388	0.0312	1.419	1.304	0.083	-0.132	-1.588	0.384
1.583	0.3367	0.0291	1.256	1.141	0.083	-0.163	-1.961	0.475
1.667	0.3350	0.0274	1.124	1.009	0.084	-0.132	-1.569	0.380
1.833	0.3325	0.0249	0.930	0.815	0.166	-0.194	-1.167	0.283
2.000	0.3310	0.0234	0.814	0.699	0.167	-0.116	-0.696	0.169
2.167	0.3292	0.0216	0.674	0.559	0.167	-0.140	-0.836	0.202
2.333	0.3275	0.0199	0.543	0.428	0.166	-0.132	-0.794	0.192
2.500	0.3254	0.0178	0.380	0.265	0.167	-0.163	-0.975	0.236
2.667	0.3239	0.0163	0.264	0.149	0.167	-0.116	-0.696	0.169
2.833	0.3231	0.0155	0.202	0.087	0.166	-0.062	-0.374	0.090
3.000	0.3227	0.0151	0.171	0.056	0.167	-0.031	-0.186	0.045
3.333	0.3225	0.0149	0.155	0.040	0.333	-0.016	-0.047	0.011
3.667	0.3224	0.0148	0.147	0.032	0.334	-0.008	-0.023	0.006
4.000	0.3223	0.0147	0.140	0.025	0.333	-0.008	-0.023	0.006

Apéndice 7.4: Cálculos realizados para determinar la curva y curva de velocidad de secado estimada para 50°C

Tiempo (h)	X (Kg _{agua} /Kg _{s.s})	X Estimado (Kg _{agua} /Kg _{s.s})	X Promedio (Kg _{agua} /Kg _{s.s})	dt (h)	dx (Kg _{agua} /Kg _{s.s})	dx/dt	R Estimado (Kg _{agua} /m ² h)	R Experimental (Kg _{agua} /m ² h)
0.000	7.296	7.369						
0.083	7.025	6.950	7.160	0.083	-0.419	-5.048	1.222	0.791
0.167	6.521	6.526	6.738	0.084	-0.424	-5.048	1.222	1.452
0.250	6.102	6.107	6.316	0.083	-0.419	-5.048	1.222	1.221
0.333	5.722	5.688	5.898	0.083	-0.419	-5.048	1.222	1.107
0.417	5.304	5.264	5.476	0.084	-0.424	-5.048	1.222	1.206
0.500	4.838	4.845	5.054	0.083	-0.419	-5.048	1.222	1.356
0.583	4.521	4.426	4.636	0.083	-0.419	-5.048	1.222	0.927
0.667	4.094	4.002	4.214	0.084	-0.424	-5.048	1.222	1.228
0.750	3.800	3.583	3.792	0.083	-0.419	-5.048	1.222	0.859
0.833	3.350	3.164	3.374	0.083	-0.419	-5.048	1.222	1.311
0.917	3.087	2.740	2.952	0.084	-0.424	-5.048	1.222	0.759
1.000	2.753	2.236	2.488	0.083	-0.424	-5.048	1.222	0.972
1.083	2.397	1.920	2.078	0.083	-0.315	-3.799	0.919	1.040
1.167	2.141	1.646	1.783	0.084	-0.274	-3.261	0.789	0.737
1.250	1.924	1.414	1.530	0.083	-0.232	-2.798	0.677	0.633
1.333	1.660	1.215	1.314	0.083	-0.199	-2.403	0.582	0.768
1.417	1.435	1.041	1.128	0.084	-0.173	-2.062	0.499	0.648
1.500	1.304	0.895	0.968	0.083	-0.147	-1.770	0.428	0.384
1.583	1.141	0.768	0.831	0.083	-0.126	-1.520	0.368	0.475
1.667	1.009	0.659	0.714	0.084	-0.110	-1.305	0.316	0.380
1.833	0.815	0.486	0.572	0.166	-0.173	-1.041	0.252	0.283
2.000	0.699	0.358	0.422	0.167	-0.128	-0.767	0.186	0.169
2.167	0.559	0.264	0.311	0.167	-0.094	-0.565	0.137	0.202
2.333	0.428	0.194	0.229	0.166	-0.069	-0.416	0.101	0.192
2.500	0.265	0.143	0.169	0.167	-0.051	-0.307	0.074	0.236
2.667	0.149	0.105	0.124	0.167	-0.038	-0.226	0.055	0.169
2.833	0.087	0.078	0.092	0.166	-0.028	-0.167	0.040	0.090
3.000	0.056	0.057	0.068	0.167	-0.021	-0.123	0.030	0.045
3.333	0.040	0.031	0.044	0.333	-0.026	-0.079	0.019	0.011
3.667	0.032	0.017	0.024	0.334	-0.014	-0.043	0.010	0.006
4.000	0.025	0.009	0.013	0.333	-0.008	-0.023	0.006	0.006

Apéndice 7,5: Cálculos realizados para determinar la curva y curva de velocidad de secado experimental para 60°C

Tiempo (h)	Wt (Kg)	W (Kg)	Xt (Kg _{agua} /Kg _{s.s})	X (Kg _{agua} /Kg _{s.s})	dt (h)	dX (Kg _{agua} /Kg _{s.s})	dX / dt	R Experimental (Kg _{agua} / m ² h)
0.000	0.4148	0.1072	7.401	7.301				
0.083	0.4081	0.1005	6.876	6.776	0.083	-0.525	-6.326	1.531
0.167	0.4013	0.0937	6.343	6.243	0.084	-0.533	-6.344	1.535
0.250	0.3944	0.0868	5.803	5.703	0.083	-0.541	-6.515	1.577
0.333	0.3866	0.0790	5.191	5.091	0.083	-0.611	-7.365	1.782
0.417	0.3801	0.0725	4.682	4.582	0.084	-0.509	-6.064	1.468
0.500	0.3729	0.0653	4.118	4.018	0.083	-0.564	-6.798	1.645
0.583	0.3660	0.0584	3.577	3.477	0.083	-0.541	-6.515	1.577
0.667	0.3600	0.0524	3.107	3.007	0.084	-0.470	-5.598	1.355
0.767	0.3522	0.0446	2.495	2.395	0.100	-0.611	-6.113	1.479
0.833	0.3480	0.0404	2.166	2.066	0.066	-0.329	-4.987	1.207
0.917	0.3441	0.0365	1.861	1.761	0.084	-0.306	-3.639	0.881
1.000	0.3401	0.0325	1.547	1.447	0.083	-0.313	-3.777	0.914
1.083	0.3360	0.0284	1.226	1.126	0.083	-0.321	-3.871	0.937
1.133	0.3343	0.0267	1.092	0.992	0.050	-0.133	-2.665	0.645
1.217	0.3316	0.0240	0.881	0.781	0.084	-0.212	-2.519	0.610
1.300	0.3294	0.0218	0.708	0.608	0.083	-0.172	-2.077	0.503
1.383	0.3272	0.0196	0.536	0.436	0.083	-0.172	-2.077	0.503
1.467	0.3252	0.0176	0.379	0.279	0.084	-0.157	-1.866	0.452
1.600	0.3240	0.0164	0.285	0.185	0.133	-0.094	-0.707	0.171
1.750	0.3234	0.0158	0.238	0.138	0.150	-0.047	-0.313	0.076
1.900	0.3228	0.0152	0.191	0.091	0.150	-0.047	-0.313	0.076
2.067	0.3224	0.0148	0.160	0.060	0.167	-0.031	-0.188	0.045
2.333	0.3223	0.0147	0.152	0.052	0.266	-0.008	-0.029	0.007
2.500	0.3222	0.0146	0.144	0.044	0.167	-0.008	-0.047	0.011
2.667	0.3221	0.0145	0.136	0.036	0.167	-0.008	-0.047	0.011
2.833	0.3220	0.0144	0.129	0.029	0.166	-0.008	-0.047	0.011

Apéndice 7,6: Cálculos realizados para determinar la curva y curva de velocidad de secado estimada para 60°C

Tiempo (h)	X (Kg agua/ Kg s.s)	X Estimado (Kg agua/ Kg s.s)	X Promedio (Kg agua/ Kg s.s)	dt (h)	dx (Kg agua/ Kg s.s)	dx/dt	R Estimado (Kg agua/ m ² h)	R Experimental (Kg agua/ m ² h)
0.000	7.301	7.297						
0.083	6.776	6.770	7.033	0.083	-0.527	-6.345	1.535	1.531
0.167	6.243	6.237	6.503	0.084	-0.533	-6.345	1.535	1.535
0.250	5.703	5.710	5.974	0.083	-0.527	-6.345	1.535	1.577
0.333	5.091	5.184	5.447	0.083	-0.527	-6.345	1.535	1.782
0.417	4.582	4.651	4.917	0.084	-0.533	-6.345	1.535	1.468
0.500	4.018	4.124	4.387	0.083	-0.527	-6.345	1.535	1.645
0.583	3.477	3.597	3.861	0.083	-0.527	-6.345	1.535	1.577
0.667	3.007	3.064	3.331	0.084	-0.533	-6.345	1.535	1.355
0.767	2.395	2.430	2.500	0.084	-0.533	-6.345	1.535	1.479
0.833	2.066	1.632	1.784	0.066	-0.304	-4.612	1.116	1.207
0.917	1.761	1.313	1.472	0.084	-0.319	-3.800	0.920	0.881
1.000	1.447	1.059	1.186	0.083	-0.254	-3.061	0.741	0.914
1.083	1.126	0.854	0.956	0.083	-0.205	-2.468	0.597	0.937
1.133	0.992	0.750	0.802	0.050	-0.104	-2.075	0.502	0.645
1.217	0.781	0.603	0.677	0.084	-0.147	-1.747	0.423	0.610
1.300	0.608	0.487	0.545	0.083	-0.117	-1.407	0.340	0.503
1.383	0.436	0.393	0.440	0.083	-0.094	-1.135	0.275	0.503
1.467	0.279	0.316	0.354	0.084	-0.077	-0.914	0.221	0.452
1.600	0.185	0.224	0.270	0.133	-0.092	-0.692	0.167	0.171
1.750	0.138	0.152	0.188	0.150	-0.072	-0.480	0.116	0.076
1.900	0.091	0.103	0.127	0.150	-0.049	-0.326	0.079	0.076
2.067	0.060	0.067	0.085	0.167	-0.036	-0.216	0.052	0.045
2.333	0.052	0.033	0.050	0.266	-0.033	-0.125	0.030	0.007
2.500	0.044	0.022	0.028	0.167	-0.012	-0.070	0.017	0.011
2.667	0.036	0.014	0.018	0.167	-0.008	-0.046	0.011	0.011
2.833	0.029	0.009	0.012	0.166	-0.005	-0.030	0.007	0.011

Wt : peso total (bandeja +muestra)

W : peso de la muestra (agua+sólido seco)

R : velocidad de secado

Xt : humedad expresada en base seca

Ws : peso de sólido seco

X : contenido de humedad libre

X* : humedad de equilibrio determinado por isoterma de desorción (GAB)

$$X = X_t - X^*$$

$$R = - \frac{L_s}{A} \frac{dX}{dt}$$

Ls = Porcentaje de material seco (ρf. A.d)

APENDICE 8. ANÁLISIS DE VARIANCIA Y LA PRUEBA DE TUKEY PARA EVALUAR EL CONTENIDO DE ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE HIDROFILICA DE DIFERENTES CULTIVARES DE MASHUA

Apéndice 8,1: Análisis de variancia para evaluar los contenidos de actividad antioxidante hidrofílica de diferentes cultivares de mashua.

Fuente	G.l	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F Calculado	Signific
Cultivares de mashua	3	15483602,41	1739525,889	566,26	0,0001**
Error	8	72916,17	9114,52		
Total	11	15556518,58			
Cv	2,94				

** : Alta significación

Apéndice 8,2: Prueba de comparación de los contenidos de actividad antioxidante hidrofílica, de diferentes cultivares de mashua.

Cultivares de mashua	PROMEDIO	AGRUPACIÓN DE TUKEY
Zapallo Amarillo	4 939,91	A
Yana Ñawi	3 603,92	B
Kello	2 441,74	C
Cheqchi	2 014,34	D

Valores con igual letra, no presenta diferencias estadísticamente significativas Tukey ($p < 0,05$)

APENDICE 9. ANÁLISIS DE VARIANCIA Y LA PRUEBA DE TUKEY PARA EVALUAR EL EFECTO DE LA TEMPERATURA DE SECADO EN BANDEJA SOBRE LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE HIDROFILICA

Apéndice 9,1: Análisis de variancia para evaluar el efecto de la temperatura de secado en bandeja sobre la pérdida de actividad antioxidante hidrofílica.

Fuente	G.l	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F Calculado	Signific
Temperaturas	2	414967,4803	207483,7402	153,93	0,0001**
Error	12	16175,3506	1347,9459		
Total	14	431142,8309			
Cv	2,4				

** : Alta significación

Apéndice 9,2: Prueba de comparación del contenido de actividad antioxidante hidrofílica, determinado con diferentes temperaturas.

TRATAMIENTO	PROMEDIO	AGRUPACIÓN DE TUKEY
40°C	1 702,88	A
50°C	1 577,86	B
60°C	1 304,56	C

Valores con igual letra, no presenta diferencias estadísticamente significativas Tukey ($p < 0,05$)

APENDICE 10. DETERMINACIÓN DE LA CURVA ESTÁNDAR DE TROLOX A 515 nm EN METANOL DPPH

Datos experimentales para determinar la curva estándar de Trolox

Absorbancia	Concentración de Trolox
1,087	1000
0,854	800
0,754	600
0,525	400
0,234	200
0	0

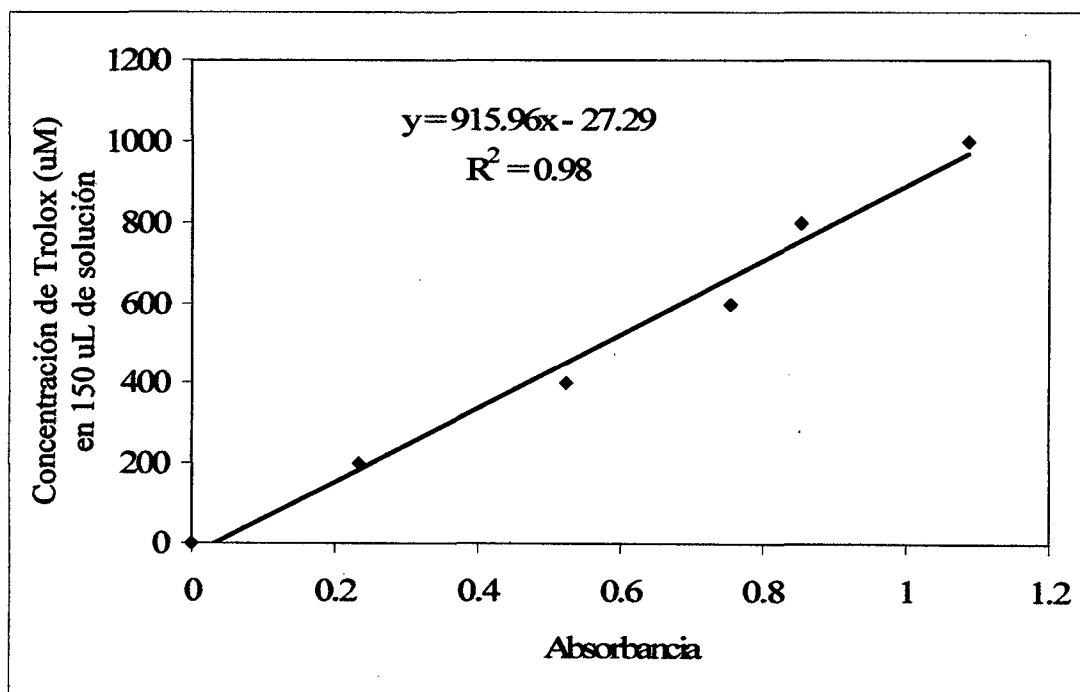


Fig.1: Curva estándar de trolox a 515 nm en metanol (DPPH)

Ecuación: $y = 915,96x - 27,29$

Donde:

y : mM Equivalente Trolox / litro

x : Absorbancia blanco- Absorbancia muestra (515nm).