

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

Escuela Profesional de Ingeniería de Alimentos



Una Institución Adventista

Modelado matemático de la cinética del secado de mashua

(Tropaeolum tuberosum)

Por:

Victor Raul Apaza Mamani

Asesor:

Dr. Augusto Pumacahua Ramos

Juliaca, mayo de 2018

DECLARACION JURADA DE AUTORIA DEL INFORME DE TESIS

Dr. Augusto Pumacahua Ramos, de la Facultad de Ingeniería de Arquitectura,
Escuela Profesional de Ingeniería de alimentos, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulado: "Modelado matemático de la cinética del secado de mashua (*Tropaeolum tuberosum*)" constituye la memoria que presenta el Bachiller Victor Raul Apaza Mamani para aspirar al título de Profesional de INGENIERO DE ALIMENTOS, cuya tesis ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en Juliaca, a los 21 días de mayo del 2018.



Dr. Augusto Pumacahua Ramos

Modelado matemático de la cinética del secado de mashua

(*Tropaeolum tuberosum*)

TESIS

Presentada para optar el título profesional de Ingeniero de Alimentos

JURADO CALIFICADOR


Mg. Abel Angel Sullon Macalupu
Presidente


Ing. Enrique Mamani Cuela
Secretario


Ing. Ana Mónica Torres Jiménez
Vocal


Ing. Alex Danny Chambi Rodríguez
Vocal


Dr. Augusto Pumacahua Ramos
Asesor

Juliaca, 21 de mayo de 2018

DEDICATORIA

A DIOS TODOPODEROSO

Por darme la oportunidad de estudiar en una entidad cristiana. A mis padres, Victor Apaza Condori y Ursula Mamani Chambi, por haberme inculcado en el estudio, trabajo y superación académica y ser mis modelos para una vida de servicio.

Victor R. Apaza Mamani

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por guiar mis pasos y llevarme a alcanzar mis metas y objetivos. A mi familia que con su incondicional apoyo permanecieron supieron ser un soporte en todo momento de mi vida. De igual manera al Dr. Augusto Pumacahua Ramos, Director y Miembros del Tribunal de Tesis, quienes con su aporte de conocimientos, experiencia y esfuerzo para la culminación de este trabajo de investigación.

ÍNDICE GENERAL

	Pag.
RESUMEN	xvii
ABSTRACT	xviii
CAPÍTULO I	19
EL PROBLEMA	19
1.1 Objetivo general.	21
1.2 Objetivos específicos.....	21
CAPÍTULO II	22
MARCO TEÓRICO	22
2.1 Antecedentes.....	22
2.2 Mashua (<i>Tropaeolum tuberosum</i>).....	23
2.2.1 Clasificación taxonómica de la mashua.	24
2.2.2 Descripción botánica.	25
2.2.3 Uso de la mashua.....	28
2.2.4 Producción de la mashua en la región Puno.....	28
2.2.5 Composición química de la mashua.	29
2.3 Condiciones atmosféricas de altura.	30
2.3.1 Temperaturas Juliaca.	31
2.3.2 Energías renovables.....	32
2.4 Tipología de secadores solares.	32
2.4.1 Secaderos solares activos.....	37
2.3.6.1 Secaderos solares activos de tipo integral.....	37
2.3.6.2 Secaderos solares activos de tipo distribuido.	38
2.3.6.3 Secaderos activos de tipo mixto.	39
2.3.7 Secaderos solares pasivos.....	39

2.3.7.1	Secaderos solares pasivos de tipo integral.....	39
2.3.7.2	Secaderos solares pasivos de tipo distribuido.	40
2.3.7.3	Secaderos solares pasivos de tipo mixto.	40
2.4	Secado.	41
2.4.1	Aspectos generales sobre secado.	41
2.4.2	Consideraciones en el proceso de secado.	43
2.4.3	Curvas de velocidad de secado.	43
2.4.4	Secado durante el periodo de velocidad constante.....	45
2.4.5	Secado durante el periodo de velocidad decreciente.....	46
2.4.6	Cinética de secado.	47
2.4.7	Modelos Empíricos.	48
2.4.8	Modelos Difusionales.....	48
CAPÍTULO III		49
MATERIALES Y MÉTODOS		49
3.1	Lugar de ejecución.	49
3.2	Materia prima e Insumos.	49
3.3	Materia prima.....	49
3.4	Para construir el secador, equipos de control y materiales.	50
3.4.1	Materiales empleados en la construcción del secador horno modificado.	50
3.4.2	Equipos de control.	50
3.4.3	Materiales.....	51
3.5	Metodología para la construcción de secador de bandeja tipo gabinete.	51
3.6	El funcionamiento básico.....	51
3.6.1	Descripción del secador.	51
3.7	Metodología Experimental.	52
3.8	Descripción general de los procesos de secado.	54

3.8.1	Recepción.	54
3.8.2	Lavado.....	54
3.8.3	Selección.....	54
3.8.4	Pesado.	54
3.8.5	Cortado.....	54
3.8.6	Acondicionamiento en bandeja.....	54
3.8.7	Secado.	54
3.8.8	Envasado en rodajas.....	55
3.8.9	Almacenaje.....	55
3.9	Determinación de la cantidad inicial de agua de la materia prima.....	56
3.10	Curvas de secado.....	56
3.11	Modelado de curvas de secado.	57
3.12	Coeficiente de correlación (R^2).....	58
3.13	Error absoluto porcentual medio (MA%E).....	59
CAPÍTULO IV.....		60
RESULTADOS Y DISCUSIONES		60
4.1	Secador de bandeja tipo gabinete.	60
4.1.1	Construcción del secador.	60
4.1.2	Funcionamiento del secador.....	62
4.2	Condiciones atmosféricas de secado de mashua.	63
4.3	Caracterización de la materia prima.	66
4.3.1	Composición químico proximal.	66
4.4	Resultados del proceso de secado en bandeja, cinética de secado.	67
4.5	Modelamiento de las curva de secado.....	71
CAPÍTULO V.....		82
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		82

5.1	Conclusiones.....	82
5.2	Recomendaciones.....	83
	BIBLIOGRAFÍA.....	84
	Anexos.....	89

ÍNDICE DE TABLAS

	Pag.
Tabla 1. Aspectos generales de la mashua (<i>Tropaeolum tuberosum</i>).....	25
Tabla 2. Producción de la mashua (<i>Tropaeolum tuberosum</i>) en la región Puno.	29
Tabla 3. La composición proximal de la mashua (<i>Tropaeolum tuberosum</i>) en 100g. de porción comestible.....	30
Tabla 4. Comparación entre los secaderos pasivos integral y distribuido.....	41
Tabla 5. Modelos matemáticos seleccionados para el secado de mashua (<i>Tropaeolum tuberosum</i>).....	58
Tabla 6. Datos del ambiente registrados para la evaluación de secado.	64
Tabla 7. Datos de la camarra registrados para la evaluación de secado.....	64
Tabla 8. Composición químico proximal de la mashua (<i>Tropaeolum tuberosum</i>) cultivar ... zapallo amarillo en 100g.	66
Tabla 9. Resultados del modelamiento matemático de los 10 modelos de mashua 2mm de espesor.	76
Tabla 10. Resultados del modelamiento matemático de los 10 modelos de mashua 4mm de espesor.	77
Tabla 11. Resultados del modelamiento matemático de los 10 modelos de mashua 6mm de espesor.	78
Tabla 12. Resultados del modelamiento matemático de cuatro modelos que se ajustaron a la curva de secado de la mashua cultivar zapallo amarillo.	80

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1. Flor de la mashua (<i>Tropaeolum tuberosum</i>)	27
Figura 2. Diferentes accesiones del tubérculo mashua (<i>Tropaeolum</i>	27
Figura 3. Promedio de temperaturas para juliaca-2017.....	31
Figura 4. Temperaturas del mes de septiembre 2017.....	32
Figura 5. Tipología de sistemas de secado solar.	33
Figura 6. Secadero activo directo.....	34
Figura 7. Secadero activo indirecto.....	34
Figura 8. Secadero activo mixto.....	35
Figura 9. Secadero pasivo directo.....	35
Figura 10. Secadero pasivo indirecto.....	36
Figura 11. Secadero pasivo indirecto.....	36
Figura 12. Curva típica de velocidad de secado constante.	45
Figura 13. Diagrama flujo del secado de mashua en rodajas.....	53
Figura 14. Esquema experimental para los procesos de secado en rodajas de mashua (<i>Tropaeolum tuberosum</i>).....	55
Figura 15. Vista lateral del secador tipo bandeja.....	61
Figura 16. Vista frontal del secador tipo bandeja	61
Figura 17. Vista interna de la cámara de secado.	62
Figura 18. Gráfico de la secadora tipo gabinete.....	63
Figura 19. Mashua (<i>Tropaeolum tuberosum</i>) cultivar zapallo amarillo.	66
Figura 20. Diagrama de esparcimiento experimental de la pérdida de humedad de las rodajas de mashua de 2mm, 4mm, 6mm, de espesor, en función al tiempo de secado.	68
Figura 21. Curvas de velocidad de secado de mashua a 2mm de espesor y separación en	

función de las etapas de secado observas.....	69
Figura 22. Curvas de velocidad de secado de mashua a 4mm de espesor y separación en función de las etapas de secado observas.....	70
Figura 23. Curvas de velocidad de secado de mashua a 2mm de espesor y separación en función de las etapas de secado observas.....	70
Figura 24. Curva de secado de mashua 2mm modelado a los 10 modelos matemáticos.	73
Figura 25. Curva de secado de mashua 4mm modelado a los 10 modelos matemáticos.	74
Figura 26. Curvas de secado de mashua 6mm modelado a los 10 modelos matemáticos.....	75

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pag.
Anexo A – Panel fotográfico.....	90
Anexo B – Resultados del contenido de humedad de mashua “ Zapallo amarillo”	95
Anexo C – Características físicas de la mashua “ zapallo amarillo” fresca.....	95
Anexo D – Metodología análisis proximal A.O.A.C. (1990).	96
Anexo E – Calculos realizados para determinar las curvas de secado de mashua cultivar zapallo amarillo.	102
Anexo F – Determinación físico – químicas de la mashua por INIA.	106

ÍNDICE DE ECUACIÓN

	Pag.
Ecuación 1. Determinación de humedad.....	56
Ecuación 2. Contenido de humedad en equilibrio.....	56
Ecuación 3. Determinación de velocidad de secado.....	57
Ecuación 4. Modelo de Peleg.....	58
Ecuación 5. Modelo de Page.....	58
Ecuación 6. Modelo de Lewis.....	58
Ecuación 7. Modelo de Hend – Pabis.....	58
Ecuación 8. Modelo de Logaritmico.....	58
Ecuación 9. Modelo de Weibull.....	58
Ecuación 10. Modelo de 2 Termos.....	58
Ecuación 11. Modelo de Aproximación de la Difusión.....	58
Ecuación 12. Modelo de Midilli.....	58
Ecuación 13. Modelo de Wang & Singh.....	58
Ecuación 14. Coeficiente de correlación.....	59
Ecuación 15. Error absoluto porcentual medio.....	59

SÍMBOLOS USADOS

Símbolos	Significados
a,b,c y k	: Constantes de modelos
R^2	: Coeficiente de correlación
bh	: Base húmeda
bs	: Base seca
CITAL	: Centro de Investigación y Tecnología de los Alimentos
cm	: Centímetros
DRA	: Dirección Regional Agraria
DS*	: Desviación estándar
°C	: Grados Centígrados
g	: Gramos
Kg	: Kilo gramos
m	: Metros
M	: Contenido de humedad
MA%E	: Error absoluto porcentual medio
MAGP	: Ministerio de Agricultura y Ganadería
mg	: Miligramos
min	: Minutos
mm	: Milímetros
m^2	: Metros cuadrados
Mo	: Humedad inicial
N	: Número total de observaciones
Pf	: Peso final
Pi	: Peso inicial

ppm	: Partes por millón
t	: Tiempo
Te	: Temperatura de entrada
Ts	: Temperatura de salida
w	: Watss
W	: Solido húmedo
Ws	: Solido seco
X	: Humedad
X*	: Humedad critica
Y	: Promedio

RESUMEN

En este trabajo de investigación se investigó la influencia de las condiciones atmosféricas de altura (3880m) de la cinética de secado de la mashua de espesores de 2,4 y 6 milímetros respectivamente utilizando un secador de bandeja tipo gabinete. Para esto monitoreamos las condiciones atmosféricas mediante equipos adecuados y ecuaciones de estado. Durante el secado hemos monitoreado la temperatura, humedad relativa del aire ambiente y del aire dentro del secador, así como las humedades de la mashua durante todo el proceso de secado hasta una humedad de equilibrio (10%base seca). Los resultados de la humedad de la mashua es 0.8909%. Además mostraron que, al aumentar la temperatura del aire de secado y al disminuir el grosor de la rebanada, se reducen los tiempos de secado. Además se estudiaron diez modelos de secado, para determinar las constantes y la capacidad de ajuste de los modelos se comparó utilizando el coeficiente de correlación, el error absoluto porcentual medio. Según dicho análisis y para las condiciones en las que se realizaron las experiencias, se concluye que el modelo que describe de manera más adecuada las curvas de secado de mashua en rodajas es el de Page. Con un coeficiente de correlación (R^2) de 0.988 ,0.998 y 0.997, un error absoluto porcentual medio (MA%E) 0.7%, 0.5 y 1.3% de 2, 4 y 6 mm respectivamente en comparación de otros modelos.

Palabras clave: Secado, mashua seca, modelado matemático, condiciones atmosféricas de altura.

ABSTRACT

In this research work we investigated the influence of the atmospheric conditions of height (3880m) of the kinetics of drying of the mashua of thicknesses of 2.4 and 6 millimeters respectively, using a cabinet-type tray dryer. For this we monitor the atmospheric conditions by means of adequate equipment and state equations. During drying, we monitored the temperature, relative humidity of the ambient air and the air inside the dryer, as well as the humidity of the mashua during the entire drying process up to an equilibrium humidity (10% dry basis). The moisture content of the mashua is 0.8909%. They also showed that, by increasing the temperature of the drying air and by decreasing the thickness of the slice, drying times are reduced. In addition ten drying models were studied, to determine the constants and the adjustment capacity of the models was compared using the correlation coefficient, the absolute percentage error. According to this analysis and for the conditions in which the experiments were carried out, it is concluded that the model that more adequately describes the sliced mashua drying curves is that of Page. With a correlation coefficient (R^2) of 0.988, 0.998 and 0.997, an average absolute error (MA% E) 0.7%, 0.5 and 1.3% of 2, 4 and 6 mm respectively compared to other models.

Keywords: Drying, dry mashua, mathematical modeling, atmospheric conditions of height.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

La región Puno es cuna de un gran número de cultivos alimenticios que fueron domesticados por pueblos autóctonos hace miles de años con el transcurso del tiempo, algunos de estos cultivos han adquirido importancia global, como la papa. La mayoría, sin embargo, son poco conocidos internacionalmente y aun en los mismos lugares del departamento de Puno como la mashua o isaño (*Tropaeolum tuberosum*), oca (*Oxalis tuberosa*), papalisa (*Ullucus tuberosus*) y entre otros (Gonzales, Almanza, Oros, & Devaux, 2003).

Frente a la crisis de producción de alimentos y de su transporte, es imperioso volver la mirada a nuestros propios recursos. Los tubérculos andinos son una fuente importante de calorías por su alto porcentaje de carbohidratos, y también aportan fibra y proteínas (King y Gershoff, 1987 citado por Aredo et al., 2014). Estudios recientes indican que la mashua (*Tropaeolum tuberosum*), es fuente importante de actividad antioxidante y es comparado con arándano, un cultivar premier y que es considerado una de las frutas con alto contenido de actividad antioxidante y que en términos de nutrición es excelente (Cuya, 2009).

El secado es un medio de conservación de los alimentos ampliamente utilizada, sin embargo, se desconoce cuándo se inició la conservación de alimentos por deshidratación, pero la historia muestra que nuestros antepasados aprendieron como secar alimentos por ensayo y error (Barbosa & Vega, 2000). La deshidratación de alimentos eventualmente se desarrolló dentro de un ambiente científico fundamentado e hizo posible el establecimiento de una industria a lo ancho de todo el mundo, capaz de proveer los alimentos, no solo necesarios, sino que además sean nutritivos. El secado solar es uno de los más viejos

métodos de preservación de alimentos. Además, se pueden secar frutas, granos, vegetales, carnes y pescados (Fito et al., 2001 citado por Vega, Andrés, & Fito, 2005). Y es una alternativa cuando el costo del proceso juega un papel fundamental en la rentabilidad de la actividad productiva. (Pontin et al., 2005 citado por Morsetto, Lema, Pontin, & Paisio, 2008).

En el campo se secan los granos y tallos por medio de exposición al sol , a menudo se logra así un grado suficiente de seguridad en la conservación de los alimentos (Carranza & Sánchez, 2002). En la actualidad se realizan muchos estudios sobre la disminución de la actividad de agua de los alimentos, ésta tecnología impide el crecimiento microbiano y por lo tanto aumenta el tiempo de vida útil del alimento. La reducción de la actividad de agua puede ser obtenida por medio del secado (Cano, 2014)

En este sentido es necesario la conservación del alimento ya que es muy importante para evitar el desperdicio , entre las técnicas de conservación de alimentos el proceso de secado representa una alternativa tecnológica para la reducción de las pérdidas pos-cosechas, pues el secado es un método simple y relativamente barato cuyo principio básico es el reducir el contenido de agua del alimento ocasionando una reducción drástica de la actividad de agua de los productos alimenticios , aumentando el tiempo de conservación y la vida de anaquel del producto facilitando su transporte y almacenamiento (Giraldo et al., n.d.)

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). Sin embargo, en la región de Puno existen pocas investigaciones sobre la cinética de secado de especies vegetales ricas en carbohidratos,

como por ejemplo la mashua (*Tropaeolum tuberosum*) que están al alcance del poblador local a un bajo costo.

1.1 Objetivo general

Modelar la cinética del secado de mashua (*Tropaeolum tuberosum*) en condiciones del altiplano peruano.

1.2 Objetivos específicos

- Construir un secador de bandeja tipo gabinete.
- Determinar las curvas de la cinética de secado de la mashua (*Tropaeolum tuberosum*) en rodajas de 2, 4 y 6mm respectivamente.
- Modelar las curvas de secado de la mashua (*Tropaeolum tuberosum*) en rodajas a través de 10 modelos matemáticos.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

La creciente decadencia de recursos filogenéticos en los sistemas agrícolas, es inherente a la amenaza de extinción que soporta la biodiversidad en todos los niveles de su organización biológica. Debido a estos riesgos para la agricultura moderna, en las últimas décadas se han realizado numerosas colecciones tanto de variedades tradicionales como de parientes silvestres de los principales cultivos alimentarios. Ante estas deficiencias y la considerable pérdida de la biodiversidad hasta la fecha, además se han hecho investigaciones sobre secado en bandejas y atomización de la mashua.

Cuya (2009), realizó la investigación: Efectos de secado en bandeja y atomización sobre la actividad antioxidante de la mashua (*Tropaeolum Tuberosum* R&P), teniendo como objetivo: Evaluar la pérdida de la actividad antioxidante hidrofílica de la mashua, después del secado por aire caliente y por atomización a diferentes niveles de encapsulantes, temperatura y velocidad del atomizador y llegaron a la conclusión de que el método de secado por atomización resultó con mayor retención de la actividad antioxidante hidrofílica en contraste con el método de secado en bandeja que dio la menor retención. Estos resultados, podrían ser útiles para valorar el efecto de los métodos de secado y que sus efectos benéficos podrían ser interesantes para la industria alimentaria.

Según, Catunta Quispe (2016) realizó la investigación: Efecto de la deshidratación osmótica sobre los compuestos antioxidantes en dos accesiones de mashua (*Tropaeolum tuberosum* R&P), teniendo como objetivo: Evaluar el contenido de los compuestos antioxidantes durante la deshidratación osmótica de dos accesiones de mashua, evaluar

la humedad, pH y °Brix durante la deshidratación osmótica de dos accesiones de mashua este investigación concluye que el proceso de osmodeshidratación a mayor tiempo de inmersión en la solución osmótica mayor es también la pérdida de los compuestos antioxidantes.

Según Castillo Pinto (2017) realizó la investigación : Efecto de fritado en la obtención de chips de oca (*Oxalis tuberosa* Mol) La oca perteneciente a la familia de la mashua tuvo también los siguiente objetivos: Evaluar el contenido de vitamina C y ácido oxálico en chips de oca ,evaluar la textura y color de chips de oca (*Oxalis tuberosa* Mol) , determinar la vida útil de los chips de oca en envases de (polipropileno y funda metalizada).

Concluyendo que la accesión Macura amarilla con el pre tratamiento 2 (Azúcar 60% y sal 1%), conservo mejor la vitamina C 7.67 mg/100 g y ácido oxálico 0.00450 %, a 2 minutos de fritado, de igual manera esta accesión con el pre tratamiento 2, mostro valores en textura 0.40 MJ y en color con el croma 36.23 y ángulo de tono 77.06 y la vida útil fue de 20 días para la accesión K'enny y 19 días para la accesión Macura amarilla envasadas en funda metalizada.

La presente investigación, con el apoyo Universidad Peruana Unión (UPeU) de sus instalaciones y laboratorio como es el CITAL pretende precisamente, contribuir al conocimiento de secado

Para tal efecto, se seleccionó el lugar de estudio de que es la ciudad de Juliaca que está a 3800 m sobre el nivel del mar, y que en estas tierras crece el isaño o mashua.

2.2 Mashua (*Tropaeolum tuberosum*)

La mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón), es uno de los tubérculos más importantes después de la papa, olluco y oca; se cultiva en los valles húmedos de la zona andina de Perú, Colombia, Argentina, Ecuador y Bolivia (Catunta Quispe, 2016).

El isaño no es consumido ni comercializado a gran escala, debido a su sabor amargo y a sus supuestos efectos adversos para la reproducción humana. Es comúnmente conocido como anafrodisiaco para las personas de sexo masculino. No obstante, el isaño tiene también cierta reputación por sus propiedades medicinales, fungicidas, insecticidas, bactericidas y nematocidas. Se han realizado algunos estudios para entender los compuestos causantes de estas propiedades. En un futuro próximo, probablemente se podrá controlar la concentración de estos compuestos en la planta y el cultivo se desarrollará más adecuadamente (Ramallo, 2004).

La planta del isaño tiene un alto rendimiento (20 a 70 TM/ha) , es robusta y su tubérculo tiene un gran potencial como fuente alimenticia nutritiva y económica para humanos y animales.

2.2.1 Clasificación taxonómica de la mashua.

Temoche, Campos, Chirinos, & Cisneros, (2004) menciona que la ubicación taxonómica de la mashua es la siguiente como se puede ver en la tabla 1. Además ,según (Grau, Ortega, Nieto, & Hermann, 2003) menciona que citan numerosos nombres para el isaño, que varía de acuerdo al país y al idioma. En quechua: allausu, aña, apiñu, apiñamama, cubio, hubios, hubias, mashua, mashwa, ocaquisañu, yanoca. En aymara: apilla, isau, isaña, isaño, kayacha, miswha.

Tabla 1.
Aspectos generales de la mashua (Tropaeolum tuberosum)

Mashua	
Reino	Vegetal
Clase	Angiopermas
Sub clase	Dicotiledoneas
Orden	Geraniales
Familia	Tropaeolaceae
Genero	Tropaeolum
Especie	Tuberosum R. et P.
Nombre científico	Tropaeolum tuberosu R. et P.
Nombres comunes	Mashua,añu,cubios,navios,isaño

Nota: (Temoche et al., 2004)

2.2.2 Descripción botánica.

Según Cadima, (2006) menciona que el isaño es una planta anual herbácea, glabra de 20-80 cm de alto en los descriptores de mashua el follaje del isaño puede variar de verde amarillento a verde oscuro sus tallos aéreos son cilíndricos de 3-4 mm de grosor, ramificados, pueden variar de color de verde a púrpura grisáceo con diferentes grados de pigmentación. Es de crecimiento inicialmente erecto, que luego varía a semiprostrado y es ocasionalmente trepador, mediante pecíolos táctiles.

Las hojas son alternas separadas por entrenudos de 1-8 cm con pecíolo de 2-30 cm de longitud las láminas son peltadas de 5-6 cm de ancho, tri o pentalobadas, también puede observar en una misma planta hojas tri y pentalobadas la base de la lámina es truncada en la base. Las hojas son verde oscuras, brillantes en el haz y más claras en el envés (Cardenas, 1989). En las colecciones de isaño de Ecuador, Perú y Bolivia se han encontrado nervaduras pigmentadas en el envés de las hojas. Las flores solitarias (Figura 1) aparecen sobre pedúnculos de 10-15 cm, intensamente pigmentados. Son zigomorfas de 2-2.5 cm de longitud. El cáliz de color rojo intenso tiene cinco sépalos unidos en su

base, los tres sépalos superiores se prolongan en un espolón de 1-1.5 cm de longitud. La corola es de cinco pétalos rojo anaranjados y provistos de una nervadura roja oscura, los dos pétalos superiores son orbiculares de 5-8 mm de diámetro y los inferiores son espatulados de 10-12 mm de longitud. Los estambres están colocados en dos verticilos de a cuatro piezas desiguales entre sí y algo más cortos que los pétalos inferiores. Las anteras son de 2-3 mm de longitud. El ovario es trilocular verde claro. El estilo es más corto que los estambres, blanco o pigmentado de magenta y trífido (Cárdenas 1989).

El fruto es un esquizocarpo formado por tres mericarpios uniseminados que se separan y caen individualmente en la madurez. El isaño fructifica abundantemente (Cárdenas 1989). Los tubérculos del isaño son menos variables en su forma que la oca y la papalisa; son cónicos, cónico alargados y alargados (Figura 2). El color de los tubérculos es variado, según los descriptores de mashua existen al menos de nueve colores: blanco amarillento, amarillo pálido, amarillo, amarillo naranja, naranja, rojo grisáceo, rojo grisáceo oscuro, púrpura grisáceo y negro, siendo dominante el amarillo con ojos negruzcos o anaranjados. También son comunes los tubérculos con fondo claro con color secundario, distribuido en los ojos y bandas irregulares sobre tuberizaciones o también en forma de puntos densos o manchas irregularmente distribuidos. Los ojos del isaño son siempre profundos, anchos y estrechos, sin brácteas.



Figura 1. Flor de la mashua (*Tropaeolum tuberosum*)

Nota. (Cadima, 2006).



Figura 2. Diferentes accesiones del tubérculo mashua (*Tropaeolum tuberosum*).

Nota. (Catunta Quispe, 2016).

2.2.3 Uso de la mashua.

Los tubérculos recién extraídos del suelo son muy amargos y se consume muy poco, excepto por poblaciones indígenas con el cocimiento mejora su sabor se consume en forma de tayacha o sea isaño cocido y congelado y sopado en miel de caña ocasionalmente se utiliza para espesar sopas o también en wathia (cocido en tierra caliente) similar a la oca, luego de asolear los tubérculos por varios días en Bolivia se utiliza también el isaño en la alimentación de cerdos para engorde (Terrazas & Valdivia, 1998).

Se atribuye al isaño propiedades anafrodisíacas y también medicinales para las enfermedades del hígado y los riñones. Es utilizado como depurativo, para curar enfermedades venéreas; también detiene hemorragias y cicatriza heridas internas y externas (Cardenas, 1989) menciona que en la sierra ecuatoriana utilizan el isaño negro cocinado con panela para contrarrestar la prostatitis y también para aliviar la blenorragia. Los enfermos de riñones mejoran al tomar una infusión de isaño, caballochupa y pelo de choclo.

2.2.4 Producción de la mashua en la región Puno.

Según las informaciones de la Dirección Regional Agraria – Puno (DRA) fue como se muestra en la tabla 2:

Tabla 2.
Producción de la mashua (Tropaeolum tuberosum) en la región Puno

Años	Producción
2003/2004	4322
2004/2005	4566
2005/2006	3636
2006/2007	4845
2007/2008	4899
2008/2009	5105
2009/2010	4322
2010/2011	4754
2011/2012	4932
2012/2013	5260

Nota. Boletín informativo Dirección Regional Agraria –Puno (2013).

2.2.5 Composición química de la mashua.

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 (Lyon, 1992).

La mashua contiene una cantidad elevada de aminoácidos esenciales como lisina, aminoácido limitante en muchos cereales y leguminosas (Cuya, 2009) y en la tabla 3 se presenta la composición proximal.

Tabla 3.

La composición proximal de la mashua (Tropaeolum tubersum) en 100g. de porción comestible.

Componentes	Base humedad (BH)			Base seca (BS)	
	(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	-	-	-	-
Fosforo (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

Nota. (1) (Tapia & Fries, 2007); (2) (Collazos et al., 1993); (3) (Meza, Cortes, Zela, & Gonza, 1997); (4) (Ramallo, 1999); (5) (Lyon, 1992).

2.3 Condiciones atmosféricas de altura

Los andes sudamericanos tiene estas características diferenciadas de presión atmosférica, humedad relativa del aire, densidad del aire, vientos constantes y alta radiación solar (Aceituno, 1996). Según datos termodinámicos de características del aire atmosférico en función de altitud, este posee baja humedad relativa, baja presión atmosférica, baja densidad a temperaturas relativamente bajas (Cengel & Boles, 2012). Por otro lado reciben una alta radiación solar que pueden ser concentrados y generar altas temperaturas y calentar el aire, consecuentemente bajar más todavía su humedad relativa.

Estudios sobre radiación solar media mensual en Quillabamba (1000 m) y Cusco (3400 m) mostraron 4,7 kwh/m² día y 6,0 kwh/m² día respectivamente (Zanabria, 2011). Estas características son fuentes de energía renovables de uso potencial en la conservación de alimentos.

La ventaja de lugares extremos como el altiplano Peruano es que posee por naturaleza aire de baja densidad y baja humedad relativa, además de tener baja temperatura y presión de saturación del agua (Aceituno, 1996; Çengel & Ghajar, 2011; Zanabria, 2011). En estas condiciones un alimento secará mucho más rápido que en la selva o en la costa (regiones típicas peruanas) en las mismas condiciones de temperatura.

2.3.1 Temperaturas Juliaca.

Para Juliaca las temperaturas por meses se puede apreciar en la figura 3, el mes con temperatura más alta es noviembre (18.8°C) la temperatura más baja se da en el mes de julio (-7.8°C) y llueve con mayor intensidad en el mes de enero (118mm/mes).

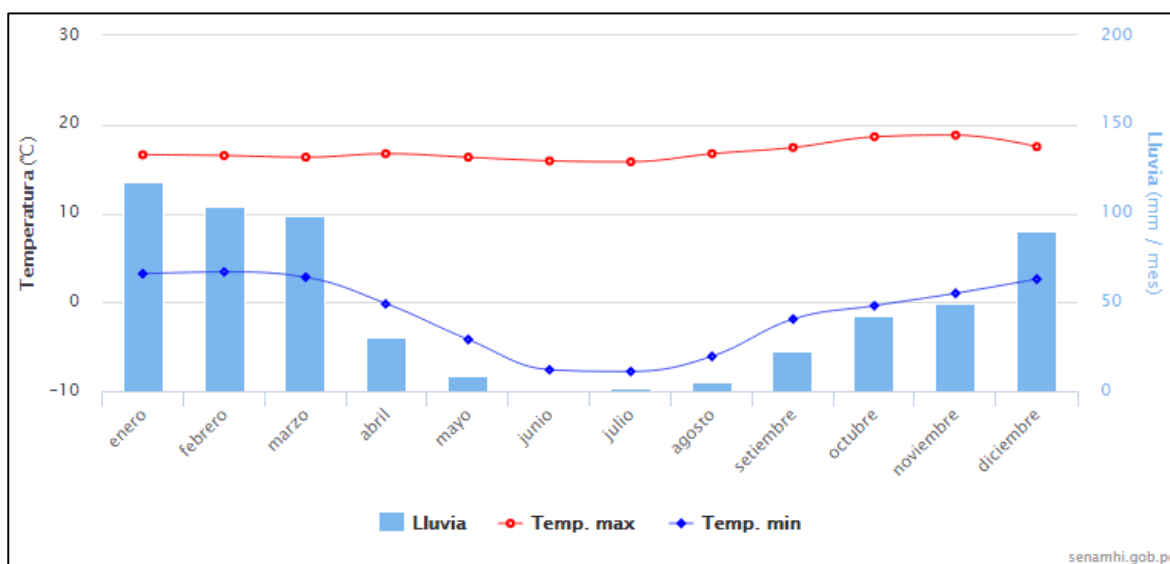


Figura 3. Promedio de temperaturas para juliaca-2017.

Nota. ("Senamhi," 2017).

Y en la figura 4 se puede apreciar el de setiembre y sus temperatura ya que en este mes se hizo el experimento.

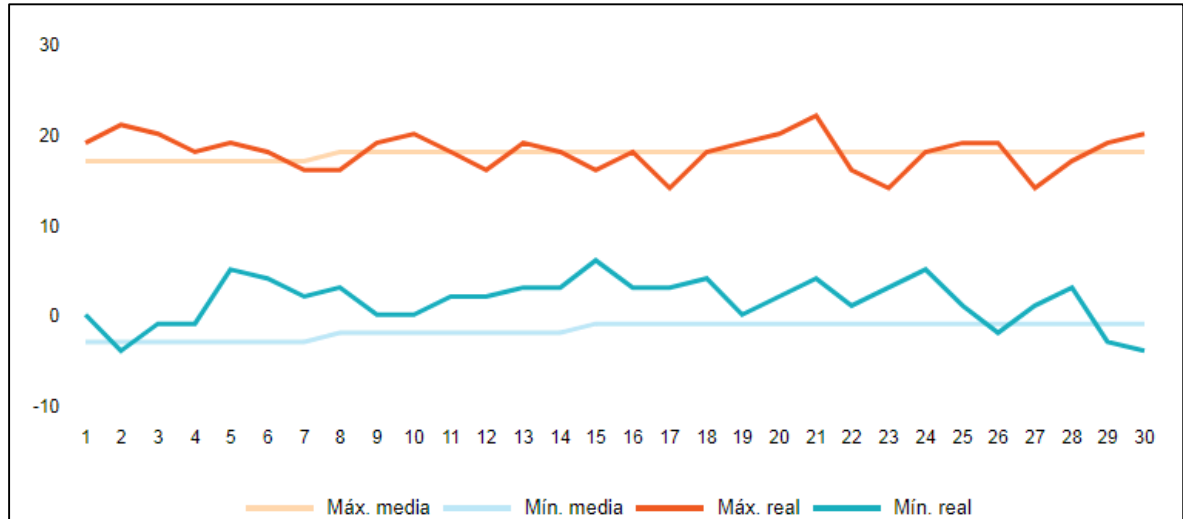


Figura 4. Temperaturas del mes de septiembre 2017.

Nota. ("Accuweather," 2017).

2.3.2 Energías renovables.

El uso de energías renovables que no contribuyan al problema del calentamiento global para diversos usos, como la energía solar, está siendo incentivado por los gobiernos mundiales (Deshmukh, Wasewar, & Verma, 2011; Vijayavenkataraman, Iniyar, & Goic, 2012). Industrias que fabrican alimentos secos mayormente utilizan aire calentado mediante resistencias eléctricas, combustión de GLP, quema de materia orgánica entre otros métodos. Así el uso de energía solar para el secado de los alimentos es una alternativa que debe ser priorizada como una medida de protección del medio ambiente.

2.4 Tipología de secadores solares.

Existen una gran variedad de sistemas de secado solar utilizados para diversos productos, englobándose dentro de los secadores de baja temperatura en la figura 5 se muestra una diagrama con las categorías fundamentales propuestas por (Augustus, Kumar, & Bhattacharya, 2002),(Ekechukwu & Norton, 1999),(Pangayhane & Sawhney, 2002).

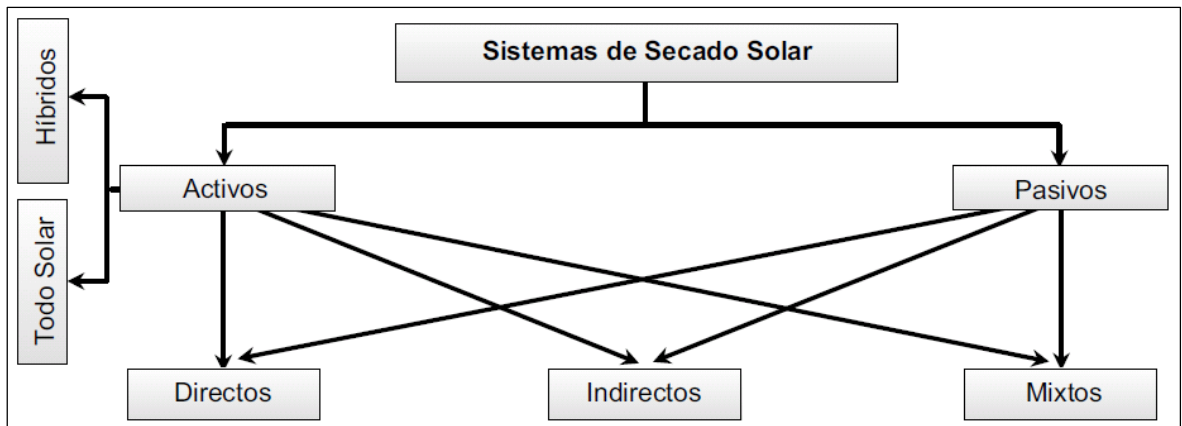


Figura 5. Tipología de sistemas de secado solar.

Así, los sistemas solares de secado se pueden clasificar, según la forma de circulación del aire desecante en dos grandes grupos:

- Sistema solares activos o de convección forzada: incorporan elementos externos con ventiladores, para mover el aire caliente utilizado en la extracción de humedad del producto como se puede apreciar en las figuras 6, 7 y 8. Pueden ser a su vez sistemas todo solar en los que el aporte energético se obtiene en su totalidad de la radiación solar o sistemas híbridos para los que además de la radiación solar se utiliza una fuente energética auxiliar.

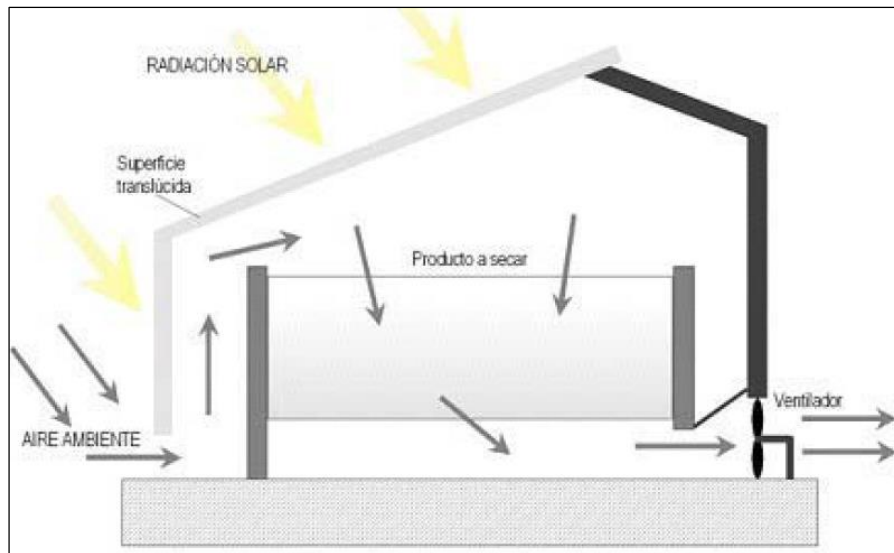


Figura 6. Secadero activo directo.

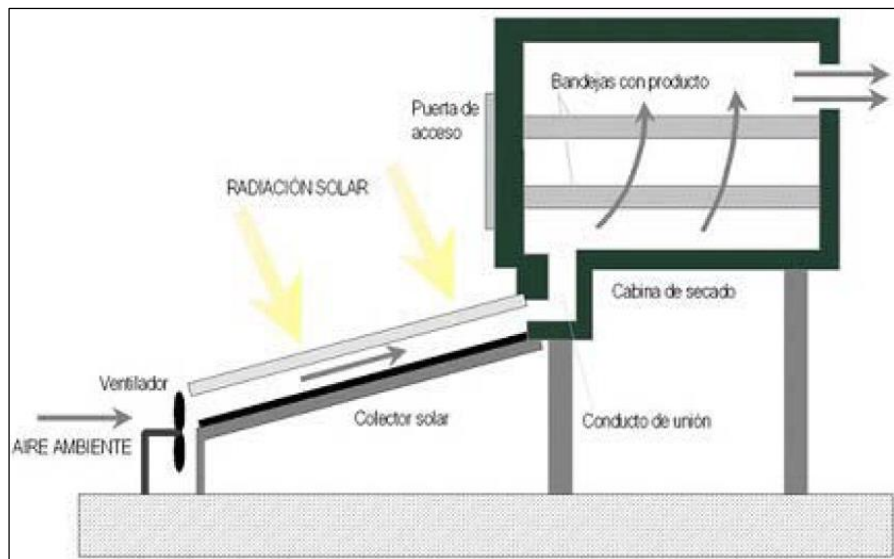


Figura 7. Secadero activo indirecto.

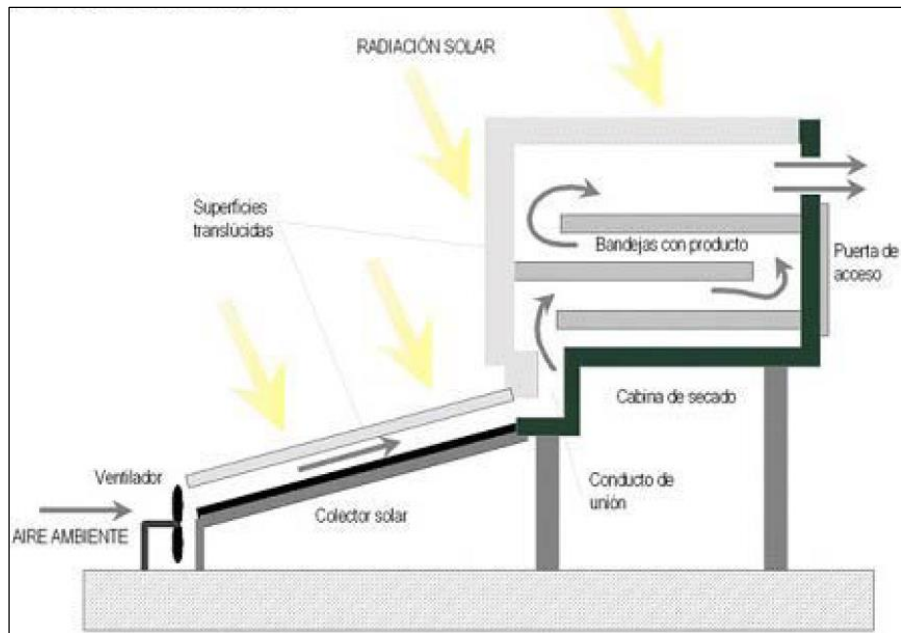


Figura 8. Secadero activo mixto.

- Sistemas solares pasivos o de convección natural: no incorporan elementos para forzar la circulación del agente desecante produciéndose este movimiento por la variación de densidad del mismo provocada por la diferencia de temperaturas como se puede apreciar en las figuras 9, 10 y 11.

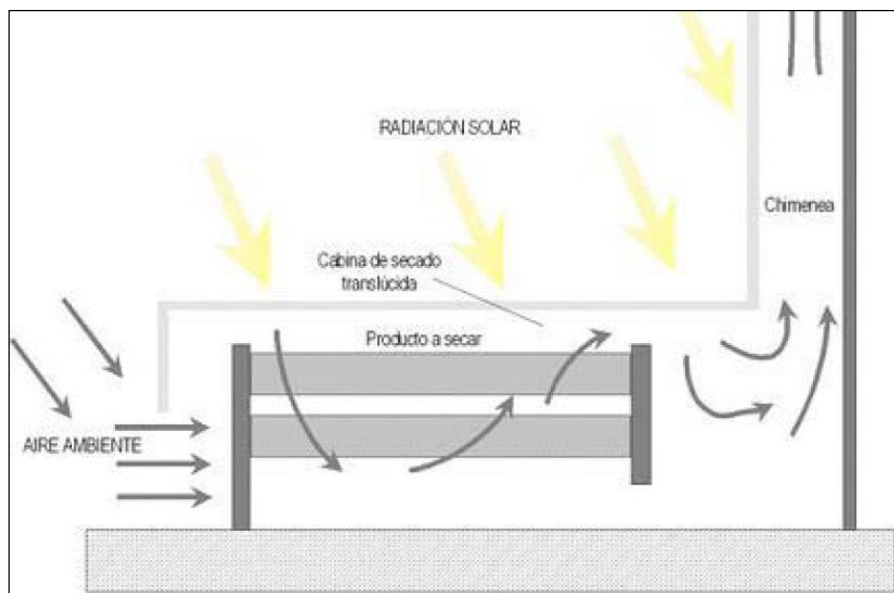


Figura 9. Secadero pasivo directo.

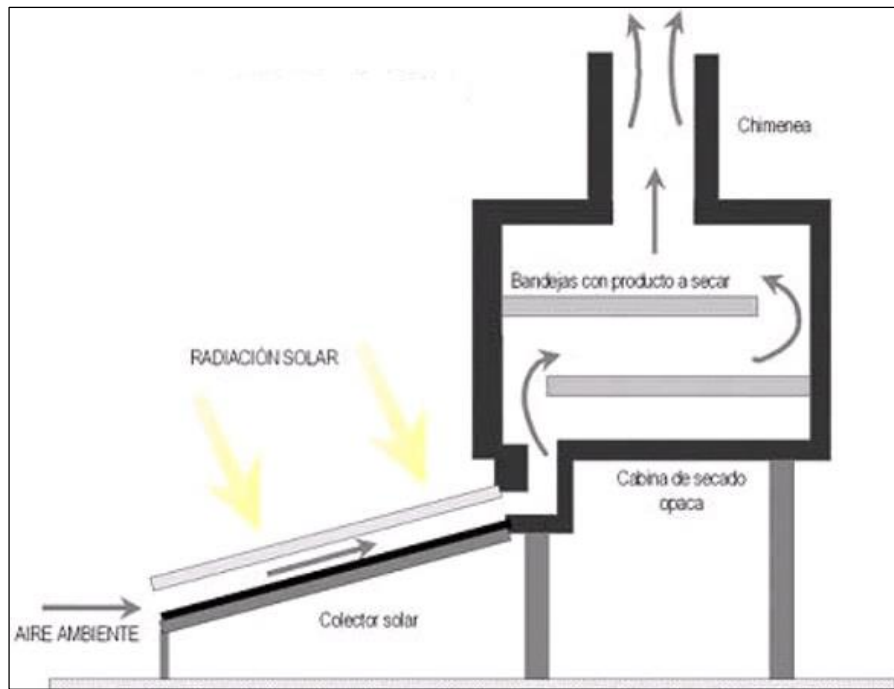


Figura 10. Secadero pasivo indirecto.

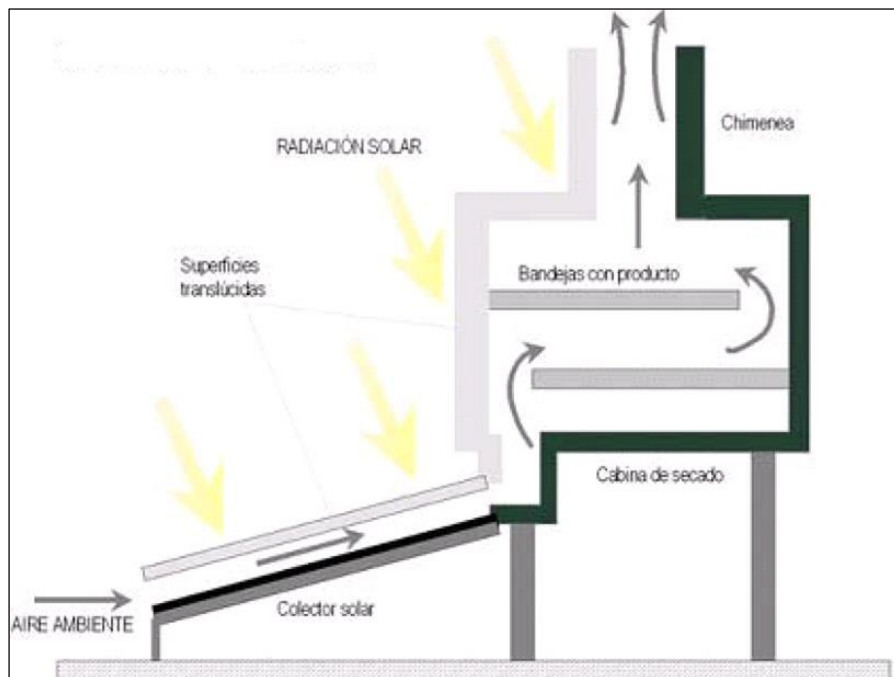


Figura 11. Secadero pasivo indirecto.

Además de esta clasificación se puede hablar de tres subclases de sistemas solares atendiendo a la disposición de los componentes del conjunto y al modo de utilización de la energía solar.

- Secaderos solares de tipo integral o directo: en ellos la radiación solar se recoge únicamente en la cabina o cámara de secado (figura 6 y 9).
- Secadores solares de tipo distribuido o indirecto: disponen de un colector solar que capta la energía de la radiación y la transmite al aire provocando su calentamiento (figura 7 y 10).
- Secadores solares de tipo mixto: la radiación solar se transmite conjuntamente a un calentador solar y a la cámara de secado (figura 8 y 11).

2.4.1 Secaderos solares activos.

Los sistemas solares activos dependen sólo parcialmente de la energía solar, ya que, o bien emplean energía solar como aporte de calor y energía eléctrica para los ventiladores, o bien utilizan como fuente de calor energía solar conjuntamente con combustibles y electricidad para los sistemas de impulsión de aire (Ekechukwu & Norton, 1999).

En todos los casos se provoca la convección forzada del agente desecante. Como se ha indicado, pueden ser sistemas “todo solar” o “híbridos”, recibiendo esta última designación los secaderos solares activos que incorporan un aporte térmico suplementario, que se utilizará, por ejemplo, durante las operaciones de secado nocturnas o en periodos con bajos niveles de insolación. En todas las situaciones posibles, con los sistemas de secado solar activos se consigue, en diferentes proporciones, una reducción del consumo de energía convencional (Montero, 2005).

Estos dispositivos son más efectivos y más fáciles de controlar que los secaderos pasivos; sin embargo, el requerimiento de electricidad para los ventiladores o de combustibles fósiles como fuentes auxiliares de calor, puede aumentar considerablemente los costes de operación y mantenimiento.

2.3.6.1 Secaderos solares activos de tipo integral.

Son sistemas en los que la unidad de recepción de la radiación solar es la propia cámara de secado. A su vez, pueden ser secaderos de absorción directa sobre el producto,

secaderos con pared o cubierta colectora y secaderos tipo invernadero con cámara de absorción interna (Ekechukwu & Norton, 1999).

2.3.6.2 Secadores solares activos de tipo distribuido.

Son diseños en los que el calentador solar de aire y la cámara de secado constituyen unidades separadas. Los cuatro componentes básicos del sistema distribuido son: la cámara de secado, el calentador de aire, el ventilador y el conducto de unión entre el calentador y la cámara (Ekechukwu & Norton, 1999).

Sobre este diseño típico se han ensayado diferentes modificaciones relativas a los materiales del calentador solar, a la recirculación del aire de salida o a la ubicación de los Ventiladores.

Un aspecto importante a considerar es el siguiente: en los sistemas de secado convencional, la eficiencia de secado aumenta con la temperatura, siendo la temperatura de trabajo tan alta como el producto pueda soportar. Por el contrario, en los secaderos solares de tipo distribuido, la máxima temperatura posible puede no proporcionar el diseño más óptimo, ya que la eficiencia del colector solar disminuye con el aumento de la temperatura de salida (Montero, 2005).

Por tanto, la decisión en el diseño de estos sistemas conduce a dos alternativas: temperaturas de aire altas con bajos niveles de flujo de aire y altos requerimientos de aislamientos, o bien, temperaturas de secado más bajas disminuyendo el aislamiento necesario y por tanto su coste. Sin embargo, puesto que para altas temperaturas la eficiencia de estos dispositivos aumenta con el flujo de aire, en el diseño será necesario realizar un balance entre el tamaño de los ventiladores usados y el nivel de aislamiento requerido.

2.3.6.3 Secaderos activos de tipo mixto.

Estos tipos de secaderos combinan las características de los secaderos integrales y los distribuidos. Los componentes típicos son los indicados para los secaderos indirectos con la salvedad de que la cámara de secado es de algún material translúcido que permite que el producto absorba directamente la radiación, al igual que en los sistemas directos.

2.3.7 Secaderos solares pasivos.

Los sistemas solares de circulación natural, llamados pasivos para distinguirlos de los sistemas que utilizan ventiladores para forzar el flujo de aire, dependen totalmente de la energía solar (Ekechukwu & Norton, 1999). En ellos, el aire precalentado por la radiación solar circula a través del producto mediante fuerzas de flotabilidad (diferencias de densidad) o/y como resultado de la presión del viento.

Aunque presentan grandes ventajas frente al secado natural, son menos eficientes que los sistemas activos; sin embargo, pueden ser la opción más atractiva para emplazamientos remotos en zonas rurales o para áreas geográficas donde la electricidad es escasa.

2.3.7.1 Secaderos solares pasivos de tipo integral.

También llamados sistemas solares pasivos directos. Al igual que en los sistemas activos directos, su principal característica está en que la cámara de secado cumple la función de colector recibiendo la radiación solar. Los secaderos de este tipo son más baratos y más sencillos de construir que los distribuidos, para la misma capacidad de carga, y el mantenimiento que requieren es escaso. Sin embargo, su eficiencia es baja debido a la simplicidad del diseño y al escaso control que se posee sobre el proceso de secado, siendo éste uno de sus principales inconvenientes. Otra desventaja importante de estos dispositivos es la baja velocidad de secado provocada por el reducido flujo de aire. Para evitar este hecho, es habitual la instalación de una chimenea que favorezca la circulación

y renovación del aire desecante. Básicamente existen dos tipos de secaderos dentro de los sistemas integrales: secadero solar en caja y secadero tipo invernadero.

2.3.7.2 Secaderos solares pasivos de tipo distribuido.

También denominados secaderos solares pasivos indirectos. En ellos, el producto a secar se encuentra en bandejas dentro de una cámara de secado opaca y es calentado por el aire circulante, que proviene de un colector solar. Un secadero de este tipo se compone de las siguientes unidades básicas: colector solar de precalentamiento de aire, cámara de secado, conductos de unión convenientemente aislados y chimenea para favorecer el flujo de aire (Augustus et al., 2002).

Su principal inconveniente se encuentra en las fluctuaciones de la temperatura del aire precalentado, que provoca dificultades para mantener las condiciones constantes en la cámara. Además, requieren mayores inversiones de capital que los secaderos pasivos integrales, siendo también más compleja la manipulación del producto.

Sin embargo, se consiguen temperaturas de operación más elevadas que en los secaderos solares directos y obtienen productos de mayor calidad. Destaca su mayor eficiencia ya que se pueden diseñar los elementos por separado optimizando al máximo cada uno de ellos.

2.3.7.3 Secaderos solares pasivos de tipo mixto.

Al igual que en los secaderos activos mixtos, este tipo de sistemas combina las características de los secaderos integrales y distribuidos. Así, poseen, básicamente, las mismas características estructurales que los secaderos pasivos del tipo distribuido, pero con la diferencia de que las paredes de la cámara de secado son de material transparente, de manera que la radiación solar incide directamente sobre el producto (tipo integral).

En la tabla 4 se muestra una comparación entre los secaderos solares de circulación Natural integral y distribuida.

Tabla 4.
Comparación entre los secaderos pasivos integral y distribuido.

	Tipo integral	Tipo distribuido
Modo de transferencia de calor al producto	Radiación y convección	convección
Componentes	Cámara de secado translúcida y chimenea	Calentador solar Cámara de secado Conducto de unión y chimenea
Costes iniciales	Menores	Mayores
Construcción , operación y mantenimiento	Sencillez de construcción y reducido mantenimiento	Estructuras algo más complejas y mayor dificultad en la carga y descarga del material
Eficiencia	Menor que en sistemas distribuidos por el escaso control posible	Mayor por el diseño eficiente de sus componente

Fuente : (Montero, 2005).

Para un óptimo funcionamiento de los sistemas mixtos y distribuidos, tanto activos como pasivos, es fundamental el diseño eficiente de los colectores de aire instalados. A continuación se describe la tipología general existente de sistemas de calentamiento de aire.

2.4 Secado

2.4.1 Aspectos generales sobre secado.

El secado es un medio de conservación de los alimentos ampliamente utilizada. El secado al sol de frutas, granos, vegetales, carnes y pescados ha sido ampliamente utilizada desde los albores de la humanidad, proporcionando al hombre una posibilidad de subsistencia en épocas de carencia de alimentos (Fito et al., 2001 citado por Vega, Andrés, & Fito, 2005).

Son ampliamente conocidas las ventajas de los alimentos deshidratados, ya que al reducir el contenido de humedad, se previene el crecimiento de microorganismos y se

minimizan las demás reacciones que los deterioran (Ibrahim Doymaz & Pala, 2003). También el secado de los alimentos reduce su volumen y peso lo que influye en una reducción importante de los costos de empaque, almacenamiento y transporte. Los productos secos además permiten ser almacenados a temperatura ambiente por largos períodos de tiempo (Jarayaman y Das Gupta, 1995 citado por Vega et al., 2005).

Hoy en día el uso de la deshidratación sirve de base para desarrollar nuevos alimentos por ser fuentes de proteínas, vitaminas, minerales y fibra dietética, por esta razón es que son considerados como componentes o ingredientes de alimentos funcionales, debido a su fácil incorporación final de los mismos, por ejemplo en platos preparados, postres, yogurt, helados, galletas, pasteles, sopas instantáneas o bien solo como botanas (Primo, 1998 citado por Antonio Vega & Lemus, 2006).

Pero antes de abordar el estudio del secado por aire caliente de un producto y poder predecir la humedad de equilibrio que éste 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 (A Vega et al., 2005)

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).

2.4.2 Consideraciones en el proceso de secado.

Según , (Shafiur y Rahman ,2003 citado por Chacua & Cuasquer, 2010) mencionan que con relación a las consideraciones que se deben tomar en cuenta al momento de elegir el método de secado sostienen que se debe tener presente tres factores : La calidad del producto con respecto a los requerimientos exigidos , las consideraciones económicas del proceso y el impacto ambiental del proceso.

Desde el punto de vista bioquímico el efecto del calor sobre los productos es básicamente sobre los organismos y enzimas presentes en los alimentos. el secado disminuye la actividad del agua impidiendo el crecimiento de microorganismos y las reacciones de deterioro que estos provocan (Chacua & Cuasquer, 2010).

2.4.3 Curvas de velocidad de secado.

En la Figura 12b, 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.

La curva de la Figura 12a, 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 Figura 12b.

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 Figura 12b, 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.

En la Figura 12b, 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.

La curva de la Figura 12a, 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 Figura 12b.

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 Figura 12b, 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.

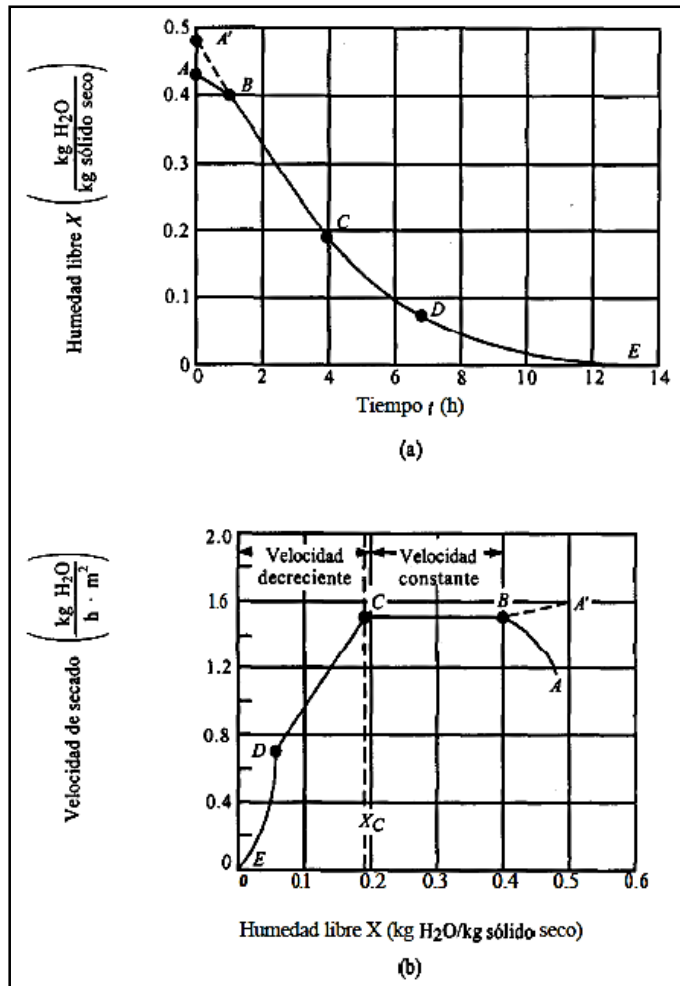


Figura 12. Curva típica de velocidad de secado constante.

a) Grafica de los datos de humedad libre en función del tiempo, b) curva de velocidad de secado en función del contenido de humedad libre.

Nota. (Geankoplis, 1998)

2.4.4 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 está 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.

2.4.5 Secado durante el periodo de velocidad decreciente.

El punto C de la Figura 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 esta 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).

2.4.6 Cinética de secado.

Para la optimización del proceso de secado en términos de calidad del producto y coste de la operación, se hace necesaria la predicción de la velocidad de secado con la ayuda de modelos adecuados. Debido a ello la modelización es una vía de representación de procesos o fenómenos para explicar los datos observados y predecir el comportamiento del producto sobre diferentes condiciones. La modelización intenta establecer un modelo real para simplificar y delimitar el proceso de secado. Al desarrollar un modelo de secado se deben abordar las siguientes partes (Ruiz, 2002 citado por Keqing, 2004):

- Identificación de las resistencias controlantes, si las resistencias de la transferencia de calor y de materia son de igual importancia se precisará de un modelo que incluya ecuaciones de transferencia de calor y de materia.
- Si la transferencia interna de materia controla el proceso de secado como ocurre en la mayoría de los casos, se debe proceder a la identificación del mecanismo interno de transferencia de materia. Más de un mecanismo puede contribuir al flujo total y la contribución de los diferentes mecanismos puede cambiar conforme avanza el secado.
- Una vez identificados los mecanismos responsables de la transferencia de materia se procederá a la descripción matemática del proceso de secado basada en una serie de hipótesis estructurales (iniciales y de contorno) y termodinámicas. Cuando el control de la transferencia de materia recae sobre la fase sólida, la modelización de las curvas de secado se suele realizar en términos de la Ley de Fick, combinada con el balance microscópico de materia.
- Resolución de las ecuaciones matemáticas resultantes, modelos relativamente sencillos para alimentos de geometría simple y difusividad constante, tales como una esfera, un cilindro o un cubo.

- Validación de las predicciones del modelo, pudiéndose elegir entre la variedad de métodos y técnicas existentes, aquel que mejor se ajuste a las necesidades particulares de los experimentos.

Los modelos de cinética de secado se pueden clasificar en dos grupos, los empíricos y los difusionales, tal y como se detalla a continuación:

2.4.7 Modelos Empíricos.

Debido a la complejidad de los fenómenos de transferencia de materia se han desarrollado una serie de modelos empíricos sencillos para simular la transferencia de agua en sólidos higroscópicos como son los alimentos (Sharaf-Eldeen et al., 1979 citado por Keqing, 2004). La mayoría de estos modelos consideran que el contenido de humedad inicial es uniforme, que el comportamiento de las piezas es isótropo y que la resistencia interna es predominante al transporte del agua.

2.4.8 Modelos Difusionales.

Estos modelos están basados en los mecanismos difusionales. En casi todos ellos se emplea como fuerza impulsora el gradiente de humedades de modo que la ecuación del balance microscópico de materia es común a todos ellos.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y METODOS

3.1 Lugar de ejecución.

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en las instalaciones del Centro de Investigación y Tecnología de los Alimentos (CITAL) de la Escuela Académica Profesional de Ingeniería de Alimentos. Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, Filial Juliaca Puno – Perú.

- Lugar: Chullunquiani
- Provincia: Juliaca
- Departamento: Puno
- Temperatura: 18 °C
- Altitud: 3888 m.s.n.m.
- Humedad relativa promedio: 13 - 40%

3.2 Materia prima e Insumos

3.3 Materia prima

La materia prima utilizada para esta investigación, fue la mashua (*Tropaeolum tuberosum*) cultivar “zapallo amarillo”, adquiridos del mercado manco capac de la ciudad de Juliaca, cosechados el mes de agosto.

3.4 Para construir el secador, equipos de control y materiales.

3.4.1 Materiales empleados en la construcción del secador horno modificado.

- Madera blanda, caracterizadas por su buena resistencia a ser doblada se utilizó para el cuerpo del secador.

- Triplay, de 4mm empleada en para los exteriores de la cámara de secado (tamaño)
- Vidrio semi doble de 4mm, empleada en los interiores de la cámara de secado como cubierta del tecnopor.
- Gomas de carro de 2 cm empelados en los bordes de la puerta del secador.
- Tecnoport de 3", empleado en la cubierta de la cámara de secado para evitar perdida de calor.
- Mallas de fierro galvanizado, empleadas en la construcción de las bandejas.
- Pintura negro mate en spray marca paint, empleada para el recubrimiento del vidrio.
- Tornillos y pegamento, empleados en la unión y ajuste de las estructuras de madera y el triplay.
- Silicona, para los vidrios.

3.4.2 Equipos de control.

- Termómetro.
- Termo hidrómetro Marca termofix in / door
Humedad relativa de 20 a 100 %
- Balanza analítica
- Otros materiales. tapers, recipientes, tabla de picar , cuchillo, pie de rey,
- Hidrómetro.
- Medidor de HR.
- Balanza analítica SARTORIUS, capacidad 0-200 g, sensibilidad $\pm 0,0001$ g.
- Computadora portátil hp (Core i5/Windows 7).
- Cronómetro CASIO.
- Estufa marca KERT LAB – ODHG – 9030B. USA.
- Mufla
- Refrigeradora congeladora.
- Cámara digital.

3.4.3 Materiales.

- Tablas de cortar.
- Bandejas de acero inoxidable.
- Juego de cuchillos de acero inoxidable.
- Envase de plástico.
- Tinas de plástico con capacidad de 5 litros.
- Placas petri.
- Papel filtro.
- Crisol.
- Campana de desecación.
- Mortero y pilón de porcelana

3.5 Metodología para la construcción de secador de bandeja tipo gabinete.

Para la construcción del equipo se siguió los siguientes pasos que se muestran a continuación.

- La cámara de secado en la parte externa es de 34cm de alto x 45.5cm ancho y en la parte interna es de 40cm de largo x 28 cm de alto.
- Las bandejas 37.8 de largo x 27.5de ancho, el distanciamiento entre bandejas es de 10cm. la cámara de secado y la bandeja para el producto se situaron en posición horizontal.
- Y Para el calentador y ventilador de aire caliente se utilizó un secador de cabello potencia 1800 w.

3.6 El funcionamiento básico

3.6.1 Descripción del secador.

La instalación de estudio consiste en un cajón de madera que puede contiene 2 bandejas. El aire caliente y frio es controlado por 3 velocidades, es suministrado por una secadora de cabello y pasa por el costado de la caja.

Se eligieron días claros con diferentes velocidades de viento se determinaron las temperaturas, humedades relativas y velocidad del aire en las entradas y salidas del secador durante el día hasta llegar a 10% de humedad en base seca.

El secadero horno modificado, consta básicamente de una cámara de secado y es suministrado aire caliente por una secadora de cabello como se puede apreciar en la

Este aire con mejores propiedades desecantes circulara desde un costado de la caja hasta llegar a la cámara de secado donde entrara en contacto con la mashua en rodajas provocando su disminución de humedad saliendo finalmente por la chimenea con menor temperatura y mayor humedad relativa.

3.7 Metodología Experimental

En la figuras 13 y 14 se presenta el flujo de operaciones y esquema experimental respectivamente, para la presente investigación, donde se muestra las etapas de secado solar en bandeja.

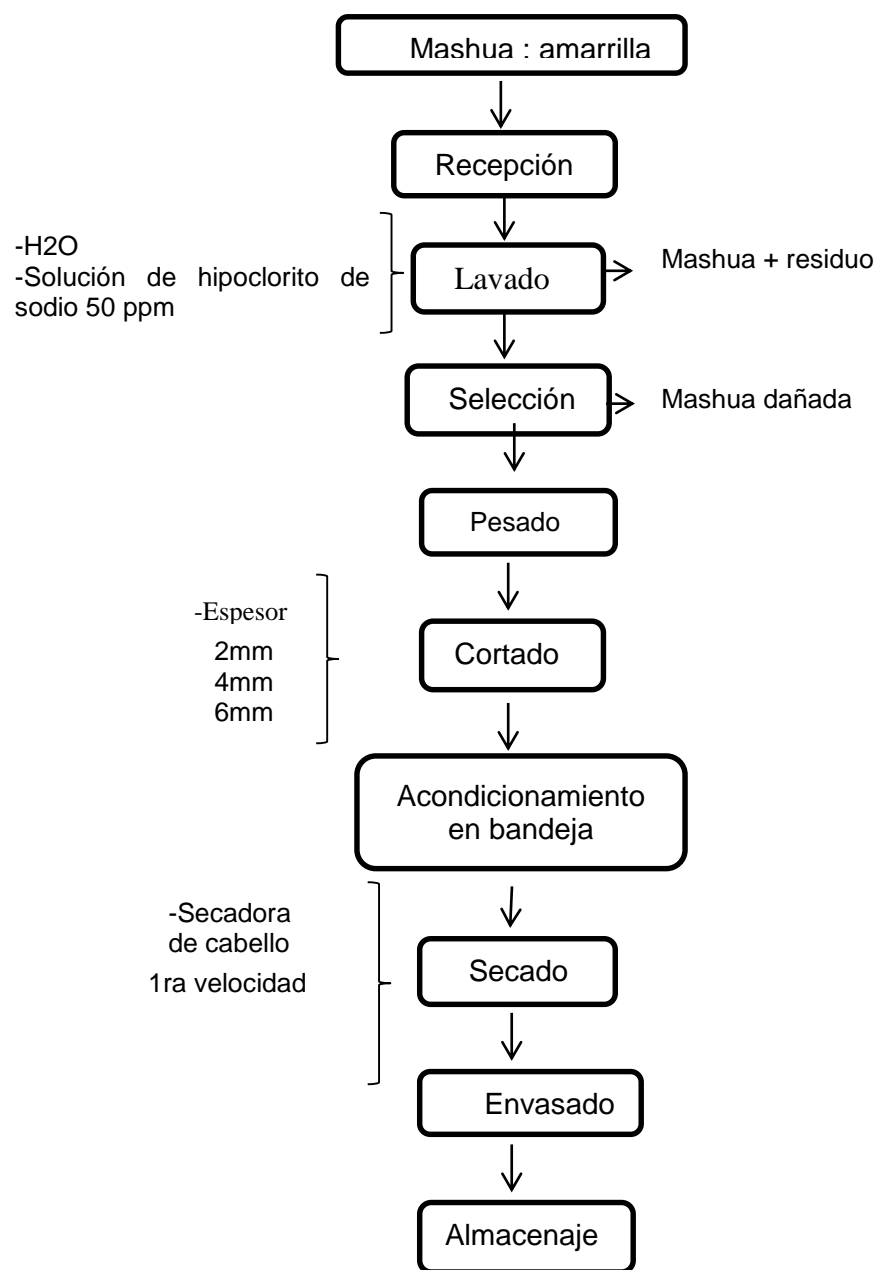


Figura 13. Diagrama flujo del secado de mashua en rodajas.

3.8 Descripción general de los procesos de secado.

3.8.1 Recepción.

La mashua se recepción en el centro de aplicación de la UPeU de la escuela de Ingeniería de Industrias alimentarias.

3.8.2 Lavado.

La mashua fue sometida a un lavado con agua potable con la finalidad de eliminar cualquier tipo de partículas como suciedad y restos de tierra seguidamente se realizó el desinfectado en una solución de agua y cloro a 50ppm, por un lapso de 3 minutos.

3.8.3 Selección.

En este proceso se tuvo que seleccionar la mashua con aspecto uniforme en cuanto al color y tamaño, descartando aquellas que manifiestan daños ´por golpes o defectos fisiológicos.

3.8.4 Pesado.

Se pesó y también se separó los defectuosos.

3.8.5 Cortado.

Se realizó cortes en forma de rodajas de 2mm, 4mm, 6mm de espesor el corte se realizó con la ayuda cuchillos.

3.8.6 Acondicionamiento en bandeja.

Las rodajas de mashua uniformes fueron colocadas en la bandeja de malla de acero inoxidable llenando por completo toda a área de la malla de tal manera que solo quedo expuesta a la corriente de aire de secado.

3.8.7 Secado.

Para el presente estudio de secado en bandeja, se utilizó velocidades 1 de la secadora de cabello, la perdida de humedad se registró con un balanza de marca DIGITAL COUNTING BALANCE de capacidad de 2.0 Kg. x 0.01 de precisión.

3.8.8 Envasado en rodajas.

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

3.8.9 Almacenaje.

El producto envasado fue almacenado en una caja de cartón a temperatura ambiente para su próximo análisis las muestras se utilizaron de acuerdo al avance de investigación.

	Materia prima	Selección/Clasificación	Lavado/Deinfectado	SECADO EN RODAJAS		
				Cortado	Secado	Envasado
P R O C E S O S						
C O N T R O L E S	Analisis de humedad	Manual	50 PPM CLR	Espesor de rodaja	Tiempo Humedad Curva de secado 10 modelos matematicos	Verificacion del envasado

Figura 14. Esquema experimental para los procesos de secado en rodajas de mashua (*Tropaeolum tuberosum*).

3.9 Determinación de la cantidad inicial de agua de la materia prima.

La cantidad de agua inicial fue determinada de acuerdo a la metodología descrita por la (AOAC, 1998), utilizándose 2gr de muestra , en tres repeticiones en una estufa al vacío y una temperatura de 98-100°C durante 2 o 3 horas.

3.10 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.

$$X_t = \frac{W - W_s}{W_s} \left(\frac{Kg_{agua}}{Kg_{solidos\ secos}} \right) \quad (1)$$

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 solidos seco mediante la isoterma de desorción. Con él se procede a calcular el valor del contenido de humedad libre X en kg de agua libre/kg de solido seco para cada valor de X_t .

$$X = X_t - X^* \quad (2)$$

Al sustituir los datos calculados en la ecuación 4 se traza una gráfica del contenido de humedad libre X en función del tiempo t en h como se mostró en la figura 3a para obtener una curva de velocidad de secado a partir de esta grafica 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.

$$R = -\frac{Ls}{A} \left(\frac{dX}{dt} \right) \quad (3)$$

Donde R es velocidad de secado en $Kg_{agua}/h.m^2$, Ls es Kg de solidos usado y A es el área expuesta al secado en m^2 . Entonces la curva de velocidad de secado se obtiene graficando R en función del contenido de humedad, tal como se mostró en la Figura 3b

3.11 Modelado de curvas de secado.

Las curvas de secado obtenidos se procesaron para encontrar el más conveniente entre las 10 expresiones diferentes que definen las tasas de secado, como se indica en la Tabla 5, por varios investigadores.

Tabla 5.

Modelos matemáticos seleccionados para el secado de mashua (Tropaeolum tuberosum).

Modelo	Expresión matemática	Referencia
Peleg	$MR = \frac{1 - t}{(a + bt)}$	(da Silva, Rodrigues, Silva, de Castro, & Gomes, 2015)
Page	$MR = \exp(-kt^n)$	(Akoy, 2014)
Lewis	$MR = \exp(-kt)$	(Roberts, Kidd, & Padilla-zakour, 2008)
Hend-Pabis	$MR = a \exp(-kt)$	(Meisami-asl, Rafiee, Keyhani, & Tabatabaeefar, 2010)
Logarit	$MR = a \exp(-kt) + c$	(Kaur & Singh, 2014)
Weibull	$MR = \exp\left(-\left(\frac{t}{b}\right)^a\right)$	(Tzempelikos, Vouros, Bardakas, Filios, & Margaris, 2015)
2Termos	$MR = a \exp(-k_0 t) + b \exp(-k_1 t)$	(Sacilik, 2007)
AproxDif	$MR a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-kbt)$	(Yaldyz & Ertekyn, 2001)
Midilli	$MR = a \exp(-kt^n) + bt$	(Balbay, Avci, Sahin, & Coteli, 2012)
Wang & Singh	$MR = 1 + a \cdot t + bt^2$	(Omolola, Jideani, & Kapila, 2014)

Donde a,b,c y k son parámetros de ajuste de los modelos , t simboliza el tiempo de secado y MR denota el coeficiente adimensional de humedad , relaciona la cantidad de humedad libre en el tiempo (M) con el contenido de humedad inicial como estado de referencia (Mo).

En la literatura hay varios métodos de ensayo estadísticos utilizados para evaluar estadísticamente el desempeño de los modelos de secado, para la validez de los modelos matemáticos fueron evaluadas por medio de los valores del coeficiente de correlación (R^2), el error absoluto porcentual medio (MA%E) dados respectivamente por las ecuaciones, ver a continuación.

3.12 Coeficiente de correlación (R^2).

El coeficiente de correlación, R puede ser utilizado para probar la relación lineal entre los valores medidos y estimados, que se puede calcular a partir de la ecuación

$$x^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{exp.i} - MR_{pre.i})^2}{N - z} \quad (14)$$

Donde R^2 se denomina el coeficiente de correlación, $MR_{exp, i}$ significa la relación de la humedad experimental se encuentra en cualquier medición, $MR_{pre, i}$ es la relación de humedad predicho para esta medición y N es el número total de observaciones.

3.13 Error absoluto porcentual medio (MA%E).

El error absoluto porcentual medio se puede calcular a partir de la siguiente ecuación:

$$MA\%E = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \frac{MR_{exp.i} - MR_{pre.i}}{MR_{exp.i}} \quad (15)$$

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Secador de bandeja tipo gabinete.

Debido a que el producto en estudio que es la mashua, la cual contiene alrededor de un 89.1% de humedad como se puede apreciar en la Tabla 5, se hace necesario que el mismo sea deshidratado rápidamente en la cámara de secado para evitar pardeamiento y contaminación. También en la cámara de secado se producirá aire con un alto contenido de humedad por lo que se construyó una chimenea que se encargara de eliminar de dicha cámara para facilitar el proceso de secado.

Por estas razones, se determinó que la mejor manera era la construcción de un secador de bandeja tipo gabinete con una secadora de cabello como suministrador de aire caliente para un rápido secado a comparación de un secador solar.

4.1.1 Construcción del secador.

Para la construcción del equipo se siguió los siguientes parámetros de fabricación:

- La cámara de secado en la parte externa es de 34cm de alto x 45.5cm ancho y en la parte interna es de 40cm de largo x 28 cm de alto.
- Las bandejas 37.8 de largo x 27.5de ancho, el distanciamiento entre bandejas es de 10cm. la cámara de secado y la bandeja para el producto se situaron en posición horizontal.
- Y Para el calentador y ventilador de aire caliente se utilizó un secador de cabello potencia 1800 w.

En la figuras 15 y 16 se muestra el secador en vista lateral y frontal este secador es térmico ya que se usó tecnopor entre el triplay y el vidrio como se puede observar en la figura 16 para que así este calor solar se concentre en la cámara de secado.



Figura 15. Vista lateral del secador tipo bandeja.
Nota: los puntos a y b es donde se colocaron los sensores de temperatura.



Figura 16. Vista frontal del secador tipo bandeja.

4.1.2 Funcionamiento del secador.

El secador bandeja tipo gabinete figura 15 el cual posee sistemas que indican la temperatura y la velocidad del flujo de aire lo que permitió tener conocimiento de los cambios durante el proceso. Posee una chimenea acoplada a la cámara de secado para optimizar el funcionamiento del secador que desplaza el aire por la variación de su densidad provocada por las diferentes temperaturas en las distintas partes del equipo.

Los sensores de temperatura que se colocaron monitorearon la distribución de la temperatura de la cámara como se puede ver en la figura 15 los puntos a y b.

En la mayoría de los secadores solares la transferencia de calor se realiza por los mecanismos de conducción, convección y radiación combinadas (Torres, Fonseca, Andion, & Fabré, 2013). En nuestro caso del funcionamiento de secador solar es por un mecanismo de convección forzada ya que se usó la secadora de cabello con una potencia de 1800w combinada con la radiación solar.



Figura 17. Vista interna de la cámara de secado.

Ahora la cámara de funcionamiento, el aire caliente ingresa a la cámara por el lado izquierdo suministrado por la secadora de cabello y sale por la parte de arriba de la caja de secado como se puede ver en la figura 18.

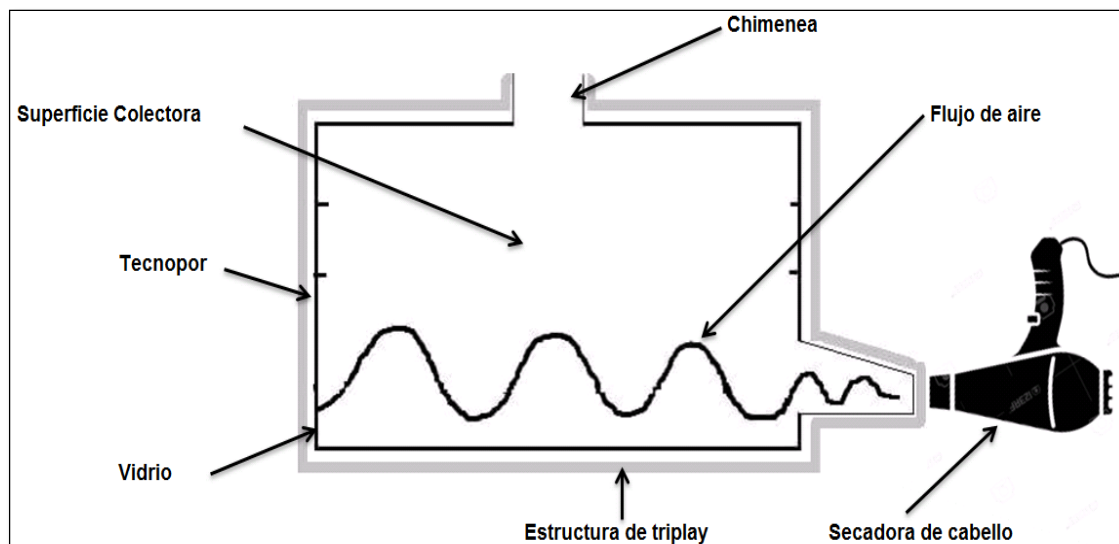


Figura 18. Gráfico de la secadora tipo gabinete.

4.2 Condiciones atmosféricas de secado de mashua.

Las condiciones ambientales para el secado en la ciudad de Juliaca presentan un microclima específico dependiendo de la latitud, la altitud, temperatura, la humedad relativa (HR), radiación, presión atmosférica.

Para el periodo de ejecución del experimento el mes y el año de evaluación afectan las condiciones ambientales sobre el secado de mashua como se puede ver en la tabla. Se exponen los diferentes parámetros controlados durante la evaluación del secador. Se evaluó el secador a 2 horas – sol en un día semidespejado, la radiación solar promedio según la tabla 6.

Tabla 6.

Datos del ambiente registrados para la evaluación de secado.

Fecha	Ambiente			
	Hora	Humedad Relativa (%)	Temperatura (°C)	Velocidad (m/s)
01.09.17	10:00	22.4	17.4	1.0
	10:10	18.5	20.3	0.4
	10:20	15.6	27.7	0.1
	10:30	8.3	29.7	0.9
	10:40	6.5	32.5	1.7
	10:50	10.3	32.2	0.6
	11:00	9.9	25.6	1.0
	11:10	13.2	23.8	1.5
	11:20	21	20.3	0.8
	11:30	17.7	19.1	3.0
	11:40	24.9	15	2.5
	11:50	10.5	27.5	0.9
12:00	18	32.2	0.5	

El ambiente desarrollo una temperatura máxima 32.5 °C y una temperatura promedio del día de 24.9 °C , la mayor velocidad de viento alcanzado es de 3 m/s a las 12:00 horas , obteniéndose una velocidad promedio de 1.1 m/s durante el día la humedad relativa promedio es de 15.14 % durante el día.

Tabla 7.

Datos de la cámara registrados para la evaluación de secado.

Fecha	Cámara					
	Hora	Humedad Relativa (%)	Velocidad (m/s)	Temperatura Entrada (°C)	Temperatura media(°C)	Temperatura salida(°C)
02.09.17	10:00	26.1	5.4	18.9	27.6	36.5
	10:10	25.2	3.5	18.6	32.2	45.5
	10:20	23.8	5.9	21.1	34.4	47.8
	10:30	17.5	7.6	22.4	37.5	52.7
	10:40	17.3	5.8	19.8	38.9	58
	10:50	11.6	2.8	19.3	38.7	58.2
	11:00	12.2	3.6	18.8	41	63.2
	11:10	9.4	5.2	18.5	41.8	65.5

11:20	12.2	3.6	17.9	42.6	67.4
11:30	14.7	3.7	16.9	42.1	67.6
11:40	19.3	3.1	20.8	42.9	65
11:50	19.2	2.9	21.7	43	64.3
12:00	16.3	3.0	16.3	37.9	59.5

La cámara de secado desarrollo una temperatura máxima de 67.6 °C a las 12:00 horas obteniendo una temperatura promedio de 38.5 °C dentro de la cámara de secado la humedad relativa promedio dentro de la cámara de secado es de 17.3 % y la velocidad de aire de la cámara es 4.3 m/s durante el día.

Por lo tanto se concluye que la ciudad de Juliaca presenta una humedad relativa, temperatura ambiente baja en comparación con las ciudades menores a los 3000mssm, favoreciendo más el secado de alimentos en este lugar al aprovecharse a su vez su presión atmosférica menor 1 atm. La ciudad presenta un clima seco bajo en humedad y temperatura.

Por ende el impacto de la temperatura, humedad relativa, radiación solar sobre el secado de mashua es un factor importante a tomar, siguiendo se verá las siguientes graficas: contenido de humedad en función al tiempo.

4.3 Caracterización de la materia prima.



Figura 19. Mashua (*Tropaeolum tuberosum*) cultivar zapallo amarillo.

Los resultados obtenidos de los promedios con su respectiva desviación estándar del análisis físico químico efectuado para la mashua cultivar zapallo amarillo como se puede ver en la figura 17 en estado fresco por 100 gramos de porción comestible , expresada en base húmeda y base seca se muestran en la tabla 6.

Tabla 8.
*Composición químico proximal de la mashua (*Tropaeolum tuberosum*) cultivar zapallo amarillo en 100g.*

Composición (gr)	Contenido
Humedad %	89.09
Proteínas %	1.59
Fibra %	0.61
Cenizas %	0.59
Grasas %	0.31

4.3.1 Composición químico proximal.

En la Tabla 6 se percibe los resultados del análisis químico proximal de la mashua (*Tropaeolum tuberosum*) cultivar zapallo amarillo , donde la mashua muestra una humedad inicial de 89.09% , valor que se encuentra dentro del valor referencial de 88.70% reportado

por Barrera, Espin, Alvaro, & Tapia (2004), este valor inicial varía en cada tipo de RTAs, dependiendo de la zona donde es cultivada y cosechada. Además, las proteínas, grasas, fibra cruda, cenizas; se asemejan a datos o valores reportados por algunos autores en sus trabajos de investigación dado al estudio de la mashua como: Tapia & Fries (2007), Collazos et al. (1993), Meza et al. (1997), Ramallo (1999), Lyon (1992), tal como se visualizó en la tabla 3 ya indicados.

La cantidad de proteínas encontrada con un promedio de 1.59 g/100g para la mashua cultivar “zapallo amarillo” contiene valores por encima del olluco (1.1); oca (1.0) y yuca (0.6) todos expresados en g/100g de los tubérculos en base húmeda tal como reporta (Collazos et al., 1993).

4.4 Resultados del proceso de secado en bandeja, cinética de secado.

En las Figuras 18, 19, 20 y 21 se muestran las curvas de secado y curvas de velocidad de secado respectivo obtenidas a tres espesores de rodajas de 2mm, 4mm y 6mm.

En la figura 18 se puede observar que en primera instancia el tamaño del espesor de mashua aumenta el tiempo de secado. Por lo tanto, en función de los resultados obtenidos se deduce que la cinética de secado de la mashua es dependiente del espesor de las rodajas de la mashua. Al respecto Geankoplis, (1998) menciona que la migración por difusión de la humedad contenido en un alimento es el mecanismo predominante en el secado de la mayoría de los alimentos, tal es caso de los vegetales.

Además se observó que uno de los principales factores que influyen en la cinética de secado del producto, es el espesor en la tasa de caída los resultados mostraron que un aumento de espesor dio como resultado un aumento en el tiempo de secado figura 18. Para alcanzar el contenido de humedad final seguro el tiempo de secado fue de 170 minutos a una temperatura de entrada (T_e) 20.4°C, una temperatura de salida (T_s) 62.6°C y velocidad promedio de aire 4.6m/s y se pesó cada 10 minutos teniendo así un peso

inicial de (Pi) 153.6 Kg y un peso final (Pf) de 18.2 Kg para un espesor de 2mm , 200 minutos a una temperatura de entrada (Te) 15.8°C , una temperatura de salida (Ts) 52.3°C y velocidad promedio de aire 4.6m/s y se pesó cada 10 minutos teniendo así un peso inicial de (Pi) 128.5 Kg y un peso final (Pf) de 15.2 Kg para un espesor de 4mm , 230 minutos a una temperatura de entrada (Te) 13.0°C , una temperatura de salida (Ts) 62.9°C y velocidad promedio de aire 4.6m/s y se pesó cada 10 minutos teniendo así un peso inicial de (Pi) 209.0 Kg y un peso final (Pf) de 24.2 Kg para un espesor de 6mm ,este resultado mostro que el tiempo de secado aumentaba al aumentar el grosor de la mashua rodajas. Como también menciona en el secado de manzanas en espesores de 2mm, 4mm y 6mm la eliminación de la humedad dentro de las rodajas de manzana fue mayor a temperaturas más altas del aire de secado, debido a que la migración de la humedad a la superficie y la velocidad de evaporación de la superficie al aire se ralentiza (Meisami-asl et al., 2010).

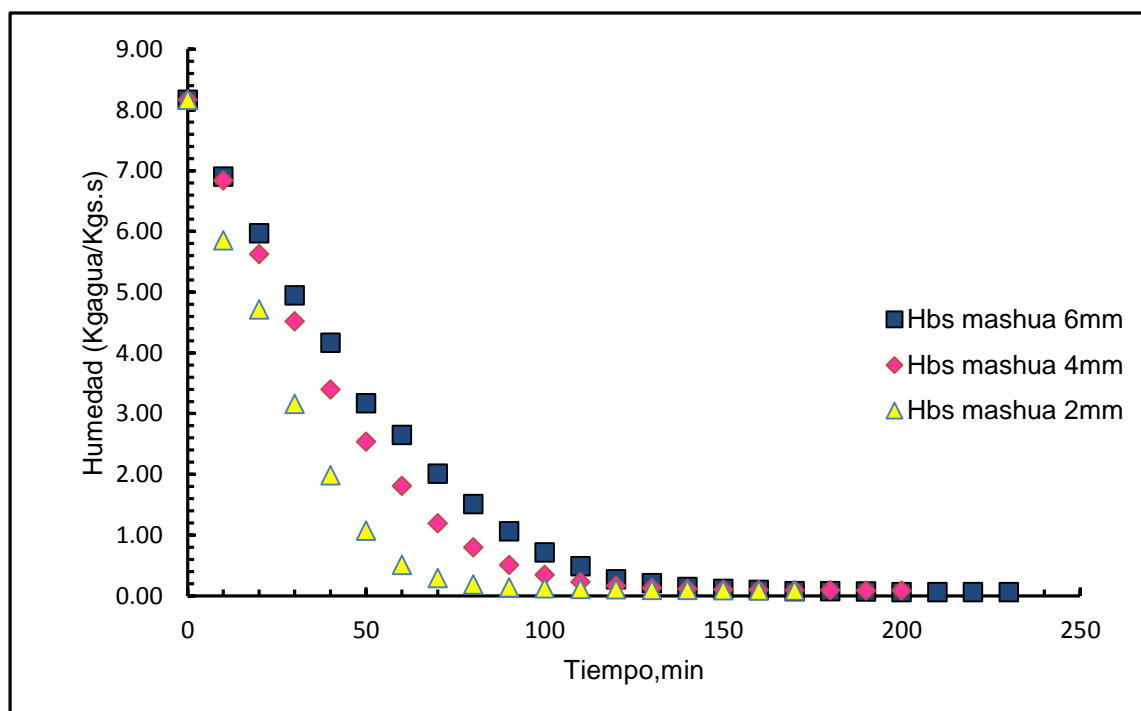


Figura 20. Diagrama de esparcimiento experimental de la perdida de humedad de las rodajas de mashua de 2mm, 4mm, 6mm, de espesor, en función al tiempo de secado.

En las figuras 19,20 y 21 se distinguen para los tres espesores 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 va desde la inicial hasta una humedad crítica rango de humedad en la que la velocidad de secado varia con la humedad libre de la mashua en rodajas.

Finalmente se visualiza una segunda etapa periodo de velocidad más lenta para valores de humedad del producto menores a la humedad critica es en esta etapa de secado donde cobra mayor importancia la simulación del proceso mediante la teoría de difusión donde menciona que 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).

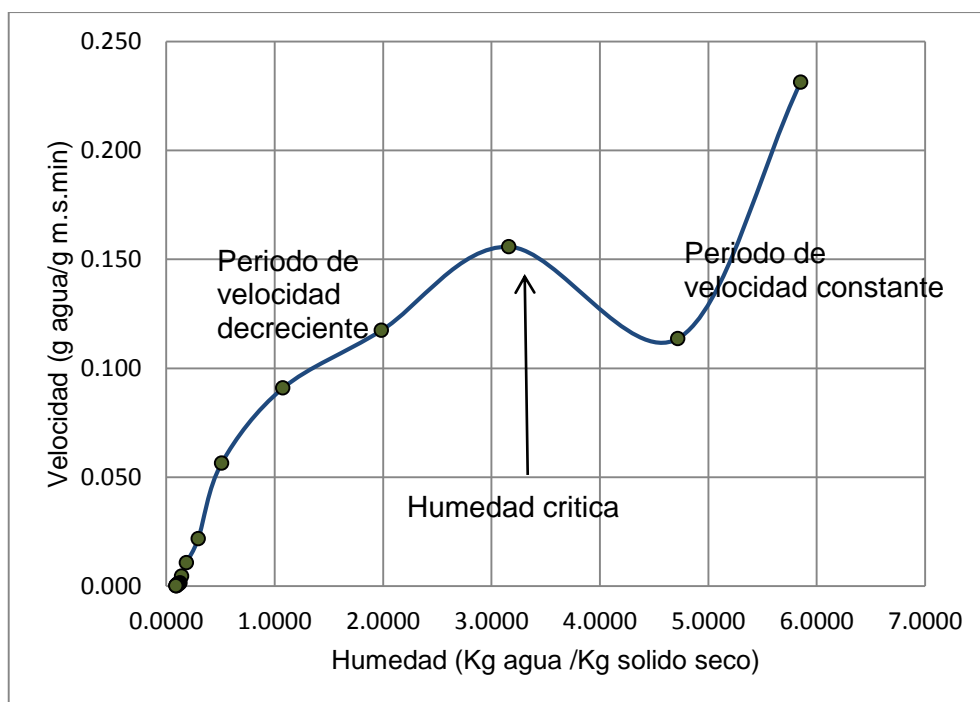


Figura 21. Curvas de velocidad de secado de mashua a 2mm de espesor y separación en función de las etapas de secado observas.

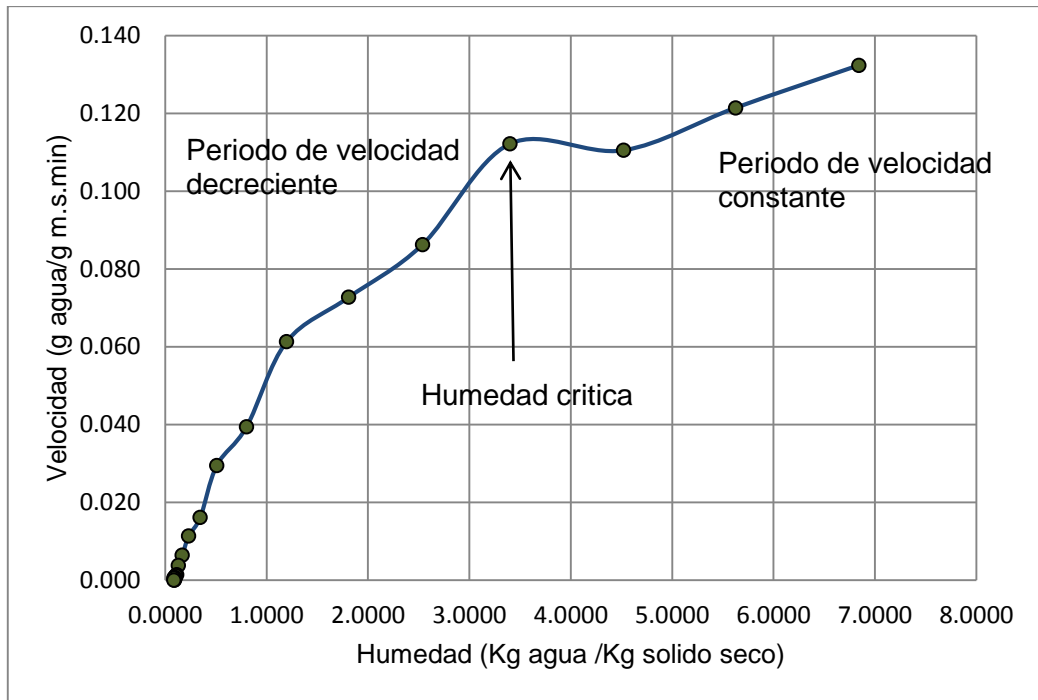


Figura 22. Curvas de velocidad de secado de mashua a 4mm de espesor y separación en función de las etapas de secado observas.

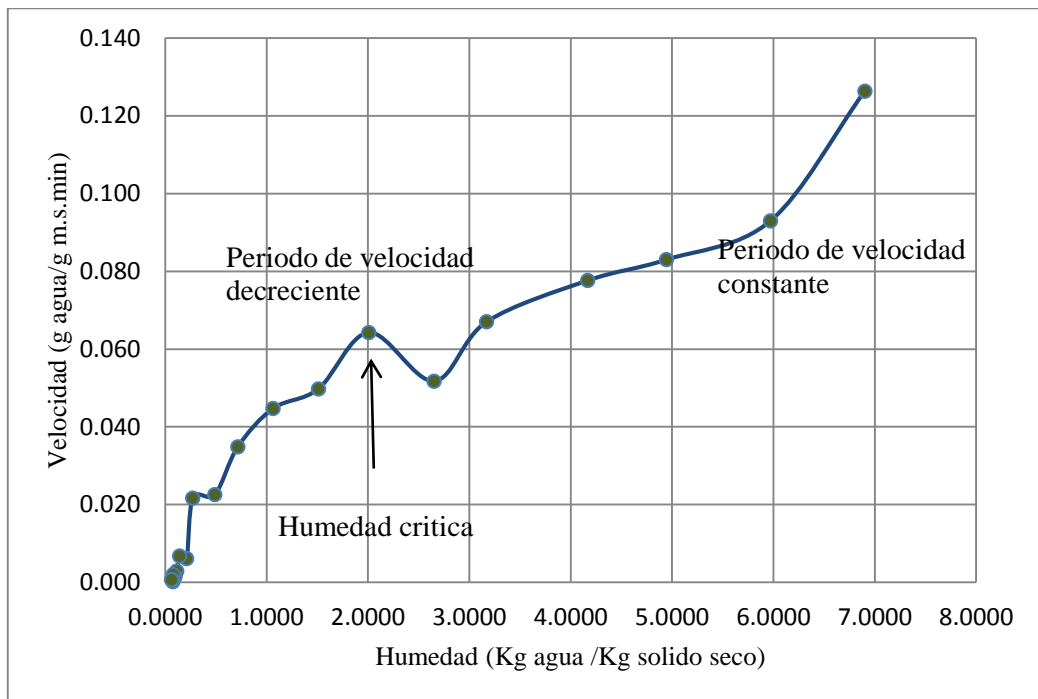


Figura 23. Curvas de velocidad de secado de mashua a 2mm de espesor y separación en función de las etapas de secado observas.

En el periodo constante se observa que la humedad de la mashua va desde la inicial 8.1659, 8.1659 y 8.1659 (Kg agua /Kg solido seco) hasta un valor critico de 3.1582, 3.3999 y 2.0092(Kg agua /Kg solido seco). Durante este periodo, se obtuvo valores constantes de velocidad de secado de 0.156, 0.112 y 0.064 (Kg/ m². Min) en un tiempo de 170, 200 y 230 minutos rango de humedad en la que la velocidad de secado varia con respecto a la humedad libre de las rodajas de mashua de 2mm, 4mm y 6mm respectivamente. De acuerdo a los resultados obtenidos durante el periodo de velocidad constante se retiró la mayor cantidad de humedad. Al respecto (Cuya, 2009) menciona que durante el periodo de velocidad constante la superficie del solido esta 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 3.1582, 3.3999 y 2.0092(Kg agua /Kg solido seco) hasta la humedad final 0.0883, 0.0863 y 0.0594 (Anexo 3.1, 3.2 y 3.3) rango de humedad donde la velocidad de secado ya no varía con la humedad libre de la mashua en un tiempo de 170, 200 y 230 minutos para 2, 4, y 6 mm respectivamente. Al respecto (Barbosa & 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 (Figura 3b). A veces no existen diferencias remarcables entre el primer y segundo periodo de velocidad decreciente.

4.5 Modelamiento de las curva de secado.

En las figura 24 , 25 y 26 muestra la curva de secado respecto Humedad (Kg agua/Kgs.s) , Tiempo (min) de 2 , 4 y 6 mm respectivamente de espesor y el ajuste por

los modelos como Peleg, Page, Lewis, Henderson-Pabis, Logaritmico, Weibull, Dos
Términos, Aproximado difusión, Midilli, Sing y Kulshrestha.

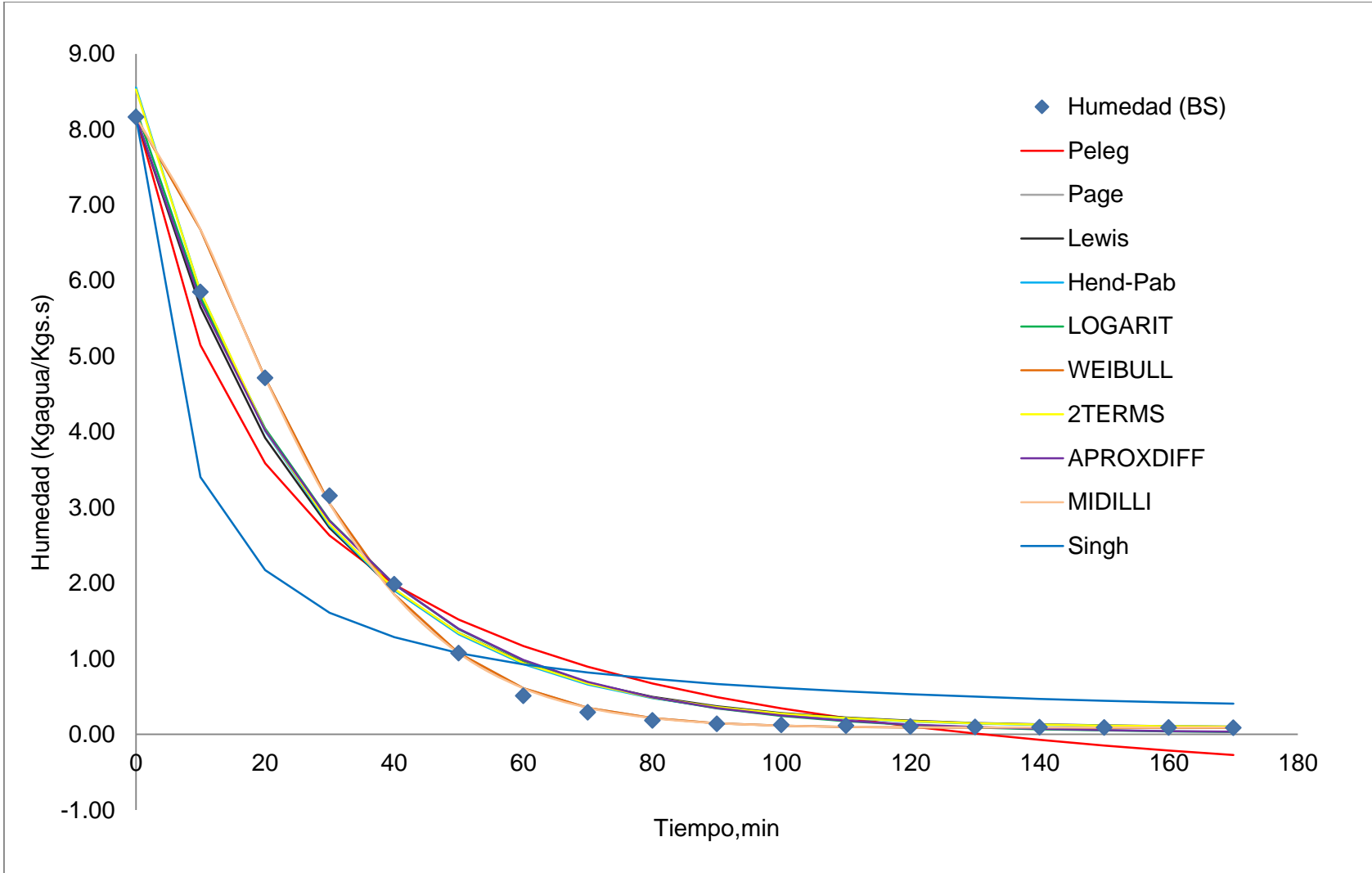


Figura 24. Curva de secado de mashua 2mm modelado a los 10 modelos matemáticos.

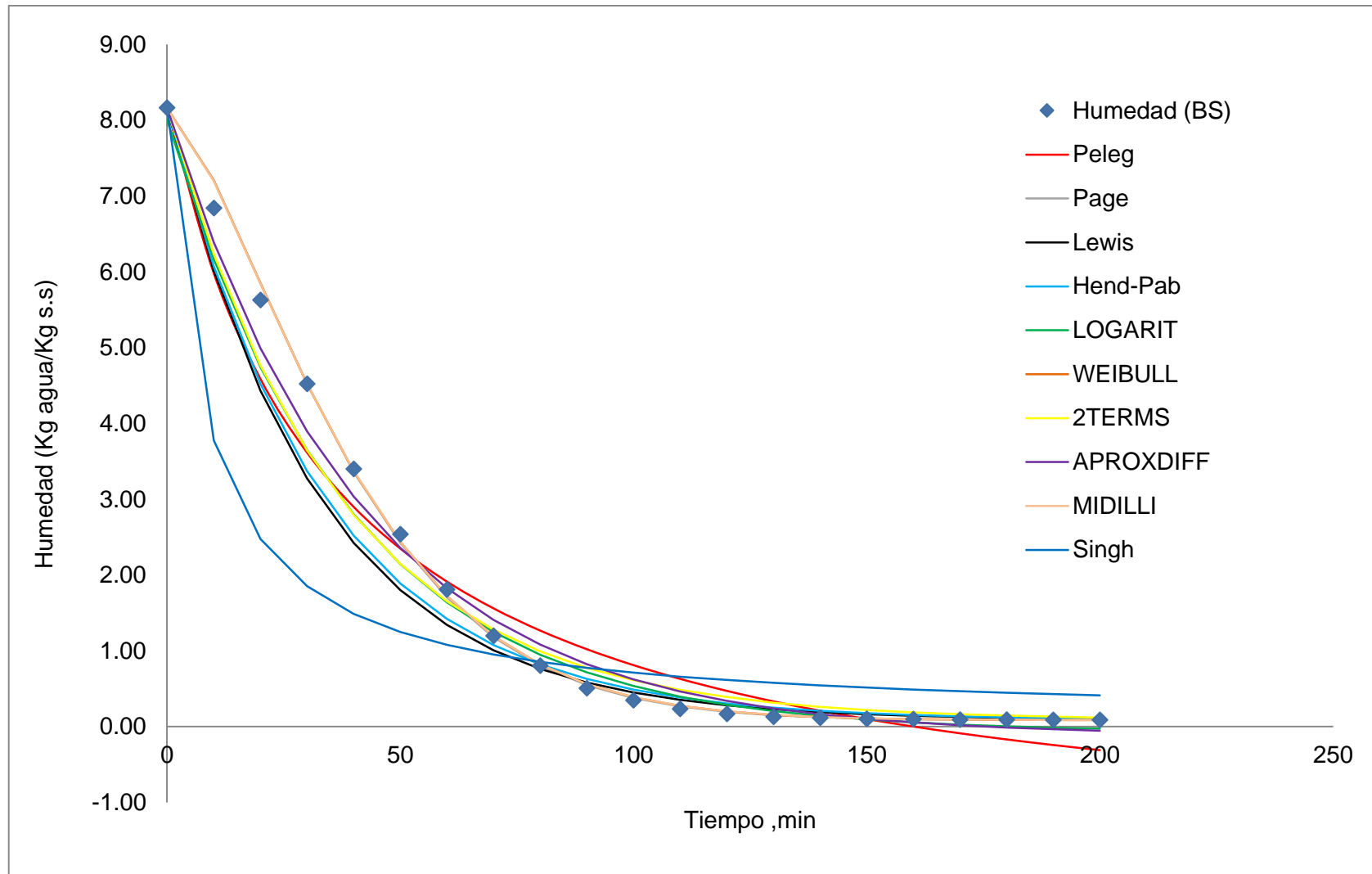


Figura 25. Curva de secado de mashua 4mm modelado a los 10 modelos matemáticos.

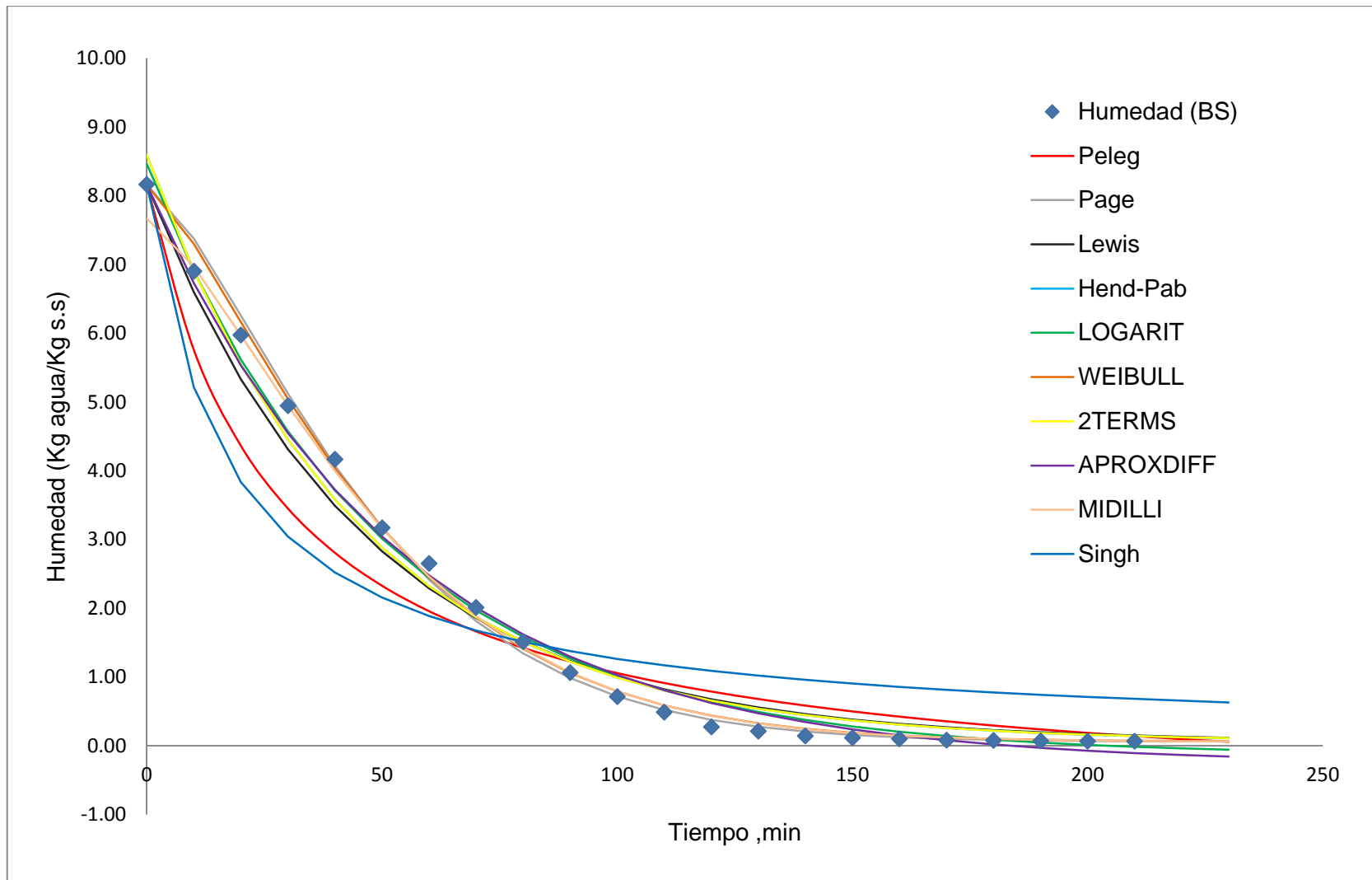


Figura 26. Curvas de secado de mashua 6mm modelado a los 10 modelos matemáticos.

Las curvas de secado de mashua 2mm de espesor es una curva típica de secado exponencial como se puede apreciar en la figura 24. Porque no presenta una etapa inicial de equilibrio con el ambiente. Al contrario el agua evapora rápidamente hasta 20 min aproximadamente para luego entrar en una etapa constante. Además esta curvas de secado fueron equipadas con diez modelos de secado, los parámetros estimados para los modelos así como R^2 , MA%E y las constantes de secado se representan en la Tabla 9, se consideraron los valores promedio de los parámetros estadísticos al seleccionar el modelo que mejor describe el comportamiento de secado de mashua.

Tabla 9.
Resultados del modelamiento matemático de los 10 modelos de mashua 2mm de espesor.

Modelos	k1	k2	a	b	n	R^2	MA%E
Peleg	2.3	0.1				0.965	13.71
Page	0.007				1.450	0.994	0.74
Lewis	0.037					0.988	5.88
Henserson-Pabis	0.038		1.048			0.987	5.39
Logaritmico	0.036		1.021	0.07		0.989	5.25
Weibull	1.450	29.9				0.994	0.79
Dos términos	0.000	0.038	0.00E+00	1.04E+00		0.988	5.60
Aproximado							
difusión	0.036		1.009	0.00E+00		0.989	5.30
Midilli	0.007		1.000	3.07E-06	1.45E+00	0.994	0.76
Sing y Kulshrestha	0.144					0.845	23.341

Nota : K1,k2,a,b,n son constantes de los modelos matemáticos.

De acuerdo con el análisis estadístico aplicado a los 10 modelos de secado como se puede apreciar en la Tabla 9 , se encontró que el modelo de Page era el modelo más adecuado para describir las características de la cinética de secado de mashua 2mm de espesor teniendo un coeficiente de correlación (R^2) 0.988 y la raíz del error cuadrado medio (MA%E) 0.74% siguiéndoles el modelo de Midilli teniendo un coeficiente de correlación (R^2) 0.995 y la raíz del error cuadrado medio (MA%E) 0.76% , Weibull teniendo un coeficiente de correlación (R^2) 0.994 y la raíz del error cuadrado medio (MA%E) 0.79%

y Aproximado difusión teniendo un coeficiente de correlación (R^2) 0.989 y la raíz del error cuadrado medio (MA%E) 5.3%.

Para las curvas de secado de mashua 4mm de espesor es una curva típica de secado exponencial como se puede apreciar en la figura 25. Porque no presenta una etapa inicial de equilibrio con el ambiente. Al contrario el agua evapora rápidamente hasta 30 min aproximadamente para luego entrar en una etapa constante. Además esta curvas de secado fueron equipadas con diez modelos de secado, los parámetros estimados para los modelos así como R^2 , MA%E y las constantes de secado se representan en la Tabla 10, se consideraron los valores promedio de los parámetros estadísticos al seleccionar el modelo que mejor describe el comportamiento de secado de mashua.

Tabla 10.
Resultados del modelamiento matemático de los 10 modelos de mashua 4mm de espesor.

Modelos	k1	k2	a	b	n	R^2	MA%E
Peleg	3.6	0.1				0.972	11.52
Page	0.005				1.422	0.999	0.52
Lewis	0.031					0.975	3.31
Henserson-Pabis	0.030		1.000			0.979	3.79
Logaritmico	0.026		1.000	0.16		0.989	4.32
Weibull	1.413	43 2.73E-				0.999	0.62
Dos términos Aproximado	0.800	02	3.10E-09	1.000		0.987	5.72
difusión	0.024		1.025	0.00E+00		0.991	5.30
Midilli	0.005		1.000	0.00E+00	1.414	0.999	0.62
Sing y Kulshrestha	0.119					0.785	19.25

Nota : K1,k2,a,b,n son constantes de los modelos matemáticos.

De acuerdo con el análisis estadístico aplicado a los 10 modelos de secado como se puede apreciar en la Tabla 10, se encontró que el modelo de Page era el modelo más adecuado para describir las características de la cinética de secado de mashua 4mm de espesor teniendo un coeficiente de correlación (R^2) 0.999 y la raíz del error cuadrado medio (MA%E) 0.52% siguiéndoles el modelo de Midilli teniendo un coeficiente de

correlación (R^2) 0.999 y la raíz del error cuadrado medio (MA%E) 0.62% y Weibull teniendo un coeficiente de correlación (R^2) 0.999 y la raíz del error cuadrado medio (MA%E) 0.62% y Lewis teniendo un coeficiente de correlación (R^2) 0.975 y la raíz del error cuadrado medio (MA%E) 3.31%.

Finalmente para las curvas de secado de mashua 6mm de espesor es una curva típica de secado exponencial como se puede apreciar en la figura 26. Porque no presenta una etapa inicial de equilibrio con el ambiente. Al contrario el agua evapora rápidamente hasta 40 min aproximadamente para luego entrar en una etapa constante. Además esta curvas de secado fueron equipadas con diez modelos de secado, los parámetros estimados para los modelos así como R^2 , MA%E y las constantes de secado se representan en la Tabla 11, se consideraron los valores promedio de los parámetros estadísticos al seleccionar el modelo que mejor describe el comportamiento de secado de mashua.

Tabla 11.
Resultados del modelamiento matemático de los 10 modelos de mashua 6mm de espesor.

Modelos	k1	k2	a	b	n	R^2	MA%E
Peleg	3.1	0.11				0.953	12.35
Page	0.004				1.390	0.997	1.31
Lewis	0.021					0.990	9.64
Henserson-Pabis	0.022		1.053			0.988	9.00
Logaritmico	0.020		1.062	0.20		0.992	6.44
Weibull	1.330	51.6				0.998	2.24
Dos términos	0.100	0.0221	0.00E+00	1.05E+00		0.988	9.00
Aproximado							
difusión	0.019		1.041	1.00E-06		0.992	8.83
Midilli	0.004		0.939	0.00E+00	1.38E+00	0.998	2.07
Sing y Kulshrestha	0.057					0.893	41.14

Nota : K1,k2,a,b,n son constantes de los modelos matemáticos.

De acuerdo con el análisis estadístico aplicado a los 10 modelos de secado como se puede apreciar en la Tabla 11, se encontró que el modelo de Page era el modelo más adecuado para describir las características de la cinética de secado de mashua 6mm de

espesor teniendo un coeficiente de correlación (R^2) 0.997 y la raíz del error cuadrado medio (MA%E) 1.31% siguiéndoles el modelo de Midilli teniendo un coeficiente de correlación (R^2) 0.998 y la raíz del error cuadrado medio (MA%E) 2.07% , Weibull teniendo un coeficiente de correlación (R^2) 0.997 y la raíz del error cuadrado medio (MA%E) 2.24%. y Logaritmico teniendo un coeficiente de correlación (R^2) 0.992 y la raíz del error cuadrado medio (MA%E) 6.44%.

Por lo tanto, en la Tabla 12 se observa un excelente coeficiente de regresión (R^2) y un error porcentual medio relativo (MA%E) para los tres espesores de trabajo confirmando que los modelos matemáticos más visibles al ajuste de la curva de secado de mashua se puede observar. Al respecto (Bell & Labuza, 2000) afirman que los coeficientes de regresión (R^2) superiores a 0.98 indican buen ajuste del modelo matemático. A si mismo (Vidal, Maupoey, & Tarraza, 1986) mencionan que el MA%E inferiores a 10% dan buen ajuste al modelo matemático. De acuerdo con estos resultados los modelos que mejor se ajustaban a los datos experimentales, teniendo en cuenta el coeficiente de regresión ($R^2 > 0.98$) como el primer criterio de evaluación , son: para 2mm de espesor Page , Midilli ,Weibull y Aproximado difusión para 4mm de espesor Page, Midilli , Weibull y Lewis para 6mm de espesor Page, Midilli , Weibull y Logaritmico. Sin embargo al evaluar la calidad de ajuste con otra prueba estadística aplicada MA%E <10% se encontró Page y Midilli. Por lo tanto si las dos pruebas estadísticas aplicadas se tienen en cuenta, la ecuación que mejor se ajustaba a los datos de la curva se secado seria el modelo Page.

Sin embargo, la mejor explicación al comportamiento de secado es el modelo de Page (Ec.) A través de la regresión no lineal utilizada para determinar los parámetros k (1/min), y n del modelo de Page con R^2 mayor a 0.998 y MA%E inferiores a 10% se pudo demostrar que es adecuado para describir la cinética de secado de mashua en rodajas de 2,4 y 6 mm respectivamente.

$$MR = \exp(-kt^n)$$

El parámetro K disminuye con el incremento del espesor, es por ello que para un espesor de 2mm, 4mm y 6mm el parámetro tuvo un valor de 0.007, 0.005 y 0.004 respectivamente. Así mismo (García, Sierra, & Miranda, 2016), en su investigación de modelado de la cinética de secado en microondas de Ñame señala que a medida que aumenta la masa los valores de K disminuyen. Por su parte el parámetro n es mayor a uno, indicando que la relación MR y el tiempo no sigue una cinética de primer orden.

Tabla 12.

Resultados del modelamiento matemático de cuatro modelos que se ajustaron a la curva de secado de la mashua cultivar zapallo amarillo.

Espesores de mashua (mm)	Modelo						R ²	MA%E	
		k1	k2	a	b	n			
2	Page	0.007				1.45	0.9880	0.7	
	Midilli	0.007			1	3.07E-06	1.45E+00	0.9950	0.8
	Weibull	1.45	29.9					0.9944	0.8
	Aproximado difusión			1.009	0.00E+00			0.9892	5.3
4	Page	0.005				1.422	0.9987	0.5	
	Midilli	0.005			1	0.00E+00	1.414	0.9988	0.6
	Weibull	1.413	43					0.9988	0.6
	Lewis	0.031						0.9754	3.3
6	Page	0.004				1.39	0.9972	1.3	
	Midilli	0.004		0.939	0.00E+00	1.38E+00	0.9980	2.1	
	Weibull	1.33	51.6					0.9967	2.2
	Logaritmico	0.02		1.062		0.2		0.9920	6.4

*Nota.*mm: milímetros, R2: Coeficiente de correlación, MA%E: error porcentual medio relativo

Resultados en otros estudios con la ecuación de Page ajusto adecuadamente, con otros vegetales caso de la papa se secó en rodajas de 5mm, con un secador de banda continua semiindustrial (Aghbashlo, Kianmehr, & Arabhosseini, 2009), para rodajas de 3 y 8 mm respectivamente de caqui, se secó en un secador de gabinete a escala piloto

(Ibrahim Doymaz, 2012), para rodajas de mango usaron un secador de túnel modelo de laboratorio (Goyal, Kingsly, Manikantan, & Ilyas, 2006), para cerezas dulces con un secador de aire caliente (I Doymaz & Osman, 2011). De acuerdo al análisis estadístico realizados los valores son significativos con los cual dado que los parámetros de ajuste varían entre Page y midilli se puede afirmar que ambos modelos son apropiados.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Los resultados de la investigación nos permiten formular las siguientes conclusiones:

1. Se construyó un secador de bandeja tipo gabinete con fuente de potencia de una secadora de donde comprendieron con una cámara de secado en la parte externa es de 34cm de alto x 45.5cm ancho y en la parte interna es de 40cm de largo x 28 cm de alto. Las bandejas 37.8 de largo x 27.5de ancho, el distanciamiento entre bandejas son de 10cm. La cámara de secado y la bandeja para el producto se situaron en posición horizontal. Y Para el calentador y ventilador de aire caliente se utilizó un secador de cabello potencia 1800 w.
2. De acuerdo a los resultados obtenidos en la cinética de secado se puede concluir que el aumento de grosor de mashua de 2, 4 y 6mm respectivamente maximizo el tiempo de secado exhibiendo además los periodos de velocidad constante y velocidad decreciente, alcanzando una humedad critica a 3.1582, 3.3999 y 2.0092(Kg agua /Kg solido seco) en un tiempo de 170, 200 y 230 minutos rango de humedad en la que la velocidad de secado varia con respecto a la humedad libre de las rodajas de mashua de 2mm, 4mm y 6mm respectivamente.
3. Según los análisis y modelamiento matemático para las condiciones en las que se realizaron las experiencias, se concluye que el modelo que describe de manera más adecuada las curvas de secado de mashua en rodajas es el de Page, con un coeficiente

de correlación (R^2) de 0.988 ,0.998 y 0.997, un error absoluto porcentual medio (MA%E) 0.7%, 0.5 y 1.3% de 2, 4 y 6 mm respectivamente en comparación de otros modelos.

5.2 Recomendaciones

Promover el cultivo de mashua (*Tropaeolum tuberosum*) en la región de puno y realizar estudios de aplicaciones de la mashua (*Tropaeolum tuberosum*) seca como alimento funcional.

Realizar pruebas de secado de mashua (*Tropaeolum tuberosum*) en bandeja con otras medidas de espesor de rodajas y diferentes velocidades de aire.

BIBLIOGRAFÍA

- Accuweather. (2017). Retrieved September 1, 2017, from <https://www.accuweather.com/es/pe/juliaca/260628/month/260628?monyr=9/01/2017>
- Aghbashlo, M., Kianmehr, M., & Arabhosseini, A. (2009). Modeling of thin layer drying of potato slices in length of continuous band dryer. *Energy Conversion and Management*, 50(5), 1348–1355. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2009.01.004>
- Akoy, E. (2014). Experimental characterization and modeling of thin-layer drying of mango slices. *International Food Research Journal*, 21(5), 8.
- AOAC. (1998). *Official Methods of Analysis* (15th Ed.). DC, Washington: Association of Official Analytical Chemists.
- Aredo, V., Arteaga, A., Benites, C., Gamboa, D., Gerónimo, W., Ibáñez, D., ... Velásquez, L. (2014). Deshidratación osmótica de olluco (*Ullucus tuberosus*) con y sin recubrimiento a diferentes concentraciones de cloruro de sodio y sacarosa. *Agroindustrial Science*, 3(2), 125–135. Retrieved from <http://revistas.unitru.edu.pe/index.php/agroindsience/article/view/506>
- Augustus, M., Kumar, S., & Bhattacharya, S. (2002). A comprehensive procedure for performance evaluation of solar food dryers. *Renewable and Sustainable Energy Review*, 6(4), 367–393.
- Balbay, A., Avci, E., Sahin, O., & Coteli, R. (2012). Modeling of drying process of bittim nuts (*Pistacia terebinthus*) in a fixed bed dryer system by using extreme learning machine. *International Journal of Food Engineering*, 8(4), 18.
- Barbosa, G., & Vega, H. (2000). *Deshidratacion de alimentos*. Zaragoza, España: Acribia.
- Barrera, V., Espin, S., Alvaro, M., & Tapia, C. (2004). *Raíces y Tuberculos Andinos: Alternativas para la conservación y uso sostenible en Ecuador*. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). Quito- Ecuador. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Bell, L., & Labuza, T. (2000). *Moisture sorption. Practical aspects of isotherm measurement and use*. American association of cereal chemists (second edi). USA.
- Cadima, X. (2006). Tubérculos. *Botanica Economica de Los Andes Centrales*, 347–369. Retrieved from <http://www.beisa.dk/Publications/BEISA Book pdfer/Capitulo 22.pdf>
- Cano, O. (2014). *Tipos de secado en alimentos*. Mexico, Buenavista.
- Cardenas, M. (1989). Manual de plantas economicas de Bolivia. La Paz - Cochabamba: Editorial Los amigos del Libro.
- Carranza, J., & Sánchez, M. (2002). CINÉTICA DE SECADO DE *Musa paradisiaca* L. “PLÁTANO” Y *Manihot esculenta* Grantz “YUCA.” *Revista Amazonica de Investigacion*

- Investigacion Alimentaria*, 2, 15–25. Retrieved from <http://www.unapiquitos.edu.pe/links/facultades/alimentarias/v21/2.pdf>
- Castillo Pinto, B. L. (2017). *Efecto de fritado en la obtencion de chips de oca (Oxalis tuberosa Mol)*. Universidad Nacional del Altiplano.
- Catunta Quispe, D. L. (2016). *Efecto de la deshidratacion osmotica sobre los compuestos antioidantes en dos accesiones de mashua (Tropaeolum tuberosum R&P)*. Universidad Nacional del altiplano.
- Chacua, A. C., & Cuasquer, D. E. (2010). *Determiacion del proceso tecnologico para la obtencion de harina de higo (Ficus carica L.) de dos estados de madurez (verde y negra)*. Universidad Tecnica del Norte.
- Collazos, C., Philip, W., Viñas, E., Alvistur, J., Hernandez, E., & Arias, M. (1993). *Composicion de alimentos de mayor cosumo en el Peru. Lima - Peru: Ministeroa de salud , Instituto Nacional de Nuticion.*
- Cuya, R. A. (2009). *Efectos de secado en bandeja y atomizacion sobre la actividad antioxidante de la mashua (Tropaeolum tuberosum R & P)*. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- da Silva, W., Rodrigues, A., Silva, C., de Castro, D., & Gomes, J. (2015). Comparison between continuous and intermittent drying of whole bananas using emprirical and diffusion models to describe the processes. *Journal of Food Engineering*, 166, 230–236. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.06.018>
- Doymaz, I. (2012). Evaluation of some thin-layer drying models of persimmon slices (*Diospyros kaki L .*). *Energy Conversion and Management*, 56, 199–205. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2011.11.027>
- Doymaz, I., & Osman, I. (2011). Drying characteristics of sweet cherry. *Food and Bioproducts Processing*, 9, 31–38. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2010.03.006>
- Doymaz, I., & Pala, M. (2003). Effect of ethyl oleate on drying characteristics of mulberries. *Nahrung Food*, 47, 304–308.
- Ekechukwu, O., & Norton, B. (1999). Review of solar-energy drying systems II: an overview of solar drying technology. *Energy Conversion and Management*, 40(6), 615–655.
- García, C., Sierra, M., & Miranda, L. (2016). Modelado de la cinética de secado en microondas de Ñame. *Información Tecnológica*, 27(1), 61–68. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642016000100008>
- Geankoplis, C. J. (1998). *Procesos de transporte y operaciones unitarias* (Tercera Ed). Mexico: Compania Editorial Continental, S.A.

- Giraldo, A., Arevalo, A., Silva, A., Silva, P., Valdes, J., & Pavlak, M. (n.d.). Datos experimentales de la cinética del secado y del modelo matemático para pulpa de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) en rodajas. *Ciencia E Tecnologia de Alimentos*. Retrieved from <http://www.scielo.br/pdf/cta/v30n1/v30n1a27>
- Gonzales, S., Almanza, J., Oros, R., & Devaux, A. (2003). *PRODUCCIÓN DE OCA (Oxalis tuberosa), PAPALISA (Ullucus tuberosus) E ISAÑO (Tropaeolum tuberosum): Avances en la investigación del manejo agronómico*. (X. Cadima, W. García, & J. Ramos, Eds.). Cochabamba, Bolivia: Área temática RRGG (Recursos Genéticos)-Fundación PROINPA. Retrieved from [http://www.proinpa.org/Archivos/produccion de oca \(oxalis tuberosa\), papalisa \(ullucus tuberosus\) e isano \(tropaeolum tuberosum\).pdf](http://www.proinpa.org/Archivos/produccion de oca (oxalis tuberosa), papalisa (ullucus tuberosus) e isano (tropaeolum tuberosum).pdf)
- Goyal, R., Kingsly, A., Manikantan, M., & Ilyas, S. (2006). Thin layer drying cinetics of raw mango slices. *Biosystems Engineering*, 95(1), 43–49. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2006.05.001>
- Grau, A., Ortega, R. D., Nieto, C. C., & Hermann, M. (2003). *Mashua (Tropaeolum tuberosum Ruíz & Pav.)*. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 25. ; International Potato Center , Lima, Peru; International Plant Genetic Resources Institute , Roma , Italy. Retrieved from http://www.biodiversityinternational.org/uploads/tx_news/Mashua__Tropaeolum_tuberosum_Ru%25C3%25ADz__amp__Pav._880.pdf
- Kaur, K., & Singh, A. K. (2014). Drying kinetics and quality characteristics of beetroot slices under hot air followed by microwave finish drying. *African Journal of Agricultural Research*, 9(12), 1036–1044. <https://doi.org/10.5897/AJAR2013>.
- Keqing, X. (2004). *Optimizacion del secado por aire caliente de pera blanquilla*. Universidad Politecnica de Valencia. Retrieved from <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/1834/tesisUPV2195.pdf?sequence=1>
- Lopez, J., Vega, A., Miranda, M., Torres, M., Lemus, R., Lopez, J., & Puente, L. (2003). Secado de uchuva (*Physalis peruviana* L.) modelamiento matematico y relaciones con los parametros del modelo de capa fina. *Departamento de Ciencia de Los Alimentos Y Tecnología Química*, 9.
- Lyon, P. (1992). Lost crops of the Incas: Little-known plants of the Andes with promise for worldwide cultivation. *The Journal of Latin American and Caribbean Anthropology*, 4(1), 41.
- Meisami-asl, E., Rafiee, S., Keyhani, A., & Tabatabaeefar, A. (2010). Determination of

- suitable thin layer drying curve model for apple slices (variety-Golab). *Plant OMICS*, 3(3), 103–108. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.01.007>
- Meza, G., Cortes, H., Zela, G., & Gonza, V. (1997). Cultivo de mashua. In *Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco*. Centro de investigación en cultivos andinos. Asociación Arariwa. IX Congreso Internacional de Cultivos Andinos.
- Montero, I. (2005). *Modelado y construcción de un secadero solar híbrido para residuos biomásicos*. Universidad de Extremadura.
- Morsetto, J., Lema, A., Pontin, M., & Paisio, G. (2008). Estudio preliminar sobre la cinética de secado para perejil en condiciones de secado solar. *Avances En Energías Renovables Y Medio Ambiente*, 12, 141–146. Retrieved from <http://www.cricyt.edu.ar/asades/modulos/averma/trabajos/2008/2008-t008-a019.pdf>
- Omolola, A., Jideani, A., & Kapila, P. (2014). Modeling microwave drying kinetics and moisture diffusivity of mabonde banana variety. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 7(6), 7.
- Pangayhane, D., & Sawhney, R. (2002). Review of research and development work on solar dryers for grape drying. *Energy Conversion and Management*, 43(1), 45–61.
- Ramallo, R. Z. (2004). Analisis exploratorio de los amino acidos grasos del isaño (*Tropaeolum tuberosum*). *Investigacion & Desarrollo*, 4, 71–77.
- Ramallo, Z. (1999). *Diseño de una planta procesadora de harina de isaño como base de la alimentación porcina*. Universidad Privada de Bolivia.
- Roberts, J. S., Kidd, D. R., & Padilla-zakour, O. (2008). Drying kinetics of grape seeds. *Journal of Food Engineering*, 89, 460–465. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.05.030>
- Sacilik, K. (2007). Effect of drying methods on thin-layer drying characteristics of hull-less seed pumpkin (*Cucurbita pepo* L.). *Journal of Food Engineering*, 79(1), 7.
- Senamhi. (2017). Retrieved September 1, 2017, from <https://www.senamhi.gob.pe/?p=pronostico-detalle&localidad=0020>
- Tapia, M. E., & Fries, A. M. (2007). *Guía de Campo de los Cultivos Andinos*. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la Alimentación), Roma; ANPE (Asociación de Productores Ecológicos del Perú), Lima. Retrieved from <http://www.fao.org/docrep/010/ai185s/ai185s.pdf>
- Temoche, M., Campos, D., Chirinos, R., & Cisneros, L. (2004). Evaluación de los compuestos bioactivos y la capacidad antioxidante presente en 30 genotipos de mashua. *Revistas Científicas UNALM*. Retrieved from <http://www.condesan.org/memoria/CBBA0499.pdf>

- Terrazas, F., & Valdivia, G. (1998). Spatial dynamics of in situ conservation: handling the genetic diversity of Andean tubers in mosaic systems. *Plant Genetic Resources Newsletter*. (IPGR/FAO) Bulletin des Ressources Phytogenetiques.
- Torres, A., Fonseca, S., Andion, R., & Fabr e, S. (2013). Comportamiento termico de un secador solar multiproposito con paneles aislantes auto portales. I parte. *Tecnología Química*, 33(2), 170–180. Retrieved from http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852013000200006
- Tzempelikos, D., Vouros, A., Bardakas, A., Filios, A., & Margaris, D. (2015). Experimental study on convective drying of quince slices and evaluation of thin-layer drying models. *Engineering in Agriculture, Environment and Food*, 8(3), 8.
- Vega, A., Andrés, A., & Fito, P. (2005). Modelado de la Cinética de Secado del Pimiento Rojo (*Capsicum annum* L. cv Lamuyo). *Información Tecnológica*, 16(6), 3–11. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642005000600002>
- Vega, A., & Lemus, R. (2006). Modelado de la cinética de secado de la papaya chilena (*Vasconcellea pubescens*). *Información Tecnológica*, 17(3), 2006.
- Vidal, D., Maupoey, P., & Tarraza, J. (1986). La actividad de agua en alimentos. Alimentación. *Equipos Y Tecnología*, 5(37).
- Yaldyz, O., & Ertekyn, C. (2001). Thin layer solar drying of some vegetables. *Drying Technology*, 19(3), 13.

Anexos

Anexo A – Panel fotográfico.



Mashua



Amarilla

Determinación de humedad



Estufa

Balanza analítica



Desecadora



Mashua amarilla en rodajas



Pinza



Determinación de humedad



Determinación de cenizas.



Secadora de bandeja tipo gabinete construido y terminado.

Anexo B – Resultados del contenido de humedad de mashua “ Zapallo amarillo” Fresca.

Cultivar	Humedad (%)	Promedio (Y)	Desviación Estándar (\pm DS)
	92.24		
Zapallo amarillo	88.02	89.1	2.8
	86.99		

Anexo C – Características físicas de la mashua “ zapallo amarillo” fresca.

Características	Unidad
Peso promedio de la mashua	14-94 gramos
Suciedad de la mashua recepción de materia prima	1.0 %
Densidad de la mashua fresca	1015.04 Kg/m ³

Anexo D – Metodología análisis proximal A.O.A.C. (1990).

a) Determinación de humedad: Metodología AOAC

Procedimiento:

- Colocar una placa Petri destapada y la tapa durante al menos 30 minutos en la estufa a la temperatura de secado del producto.
- Empleando pinzas, trasladar la placa Petri tapada al desecado y dejar enfriar durante 30- 45 min. Pesar la placa Petri con tapa con una aproximación de 0.1mg. Registrar (m1).
- Pesar 5g de muestra previamente homogeneizada. Registrar (m2)
- Colocar la muestra con la placa Petri destapada y la tapa en la estufa a la temperatura y tiempo recomendado 105°C x 5Horas.
- Tapar la placa Petri con la muestra, sacarla de la estufa, enfriar en desecador durante 30 a 45 min.
- Repetir el procedimiento de secado por una hora adicional, hasta que las variaciones entre dos pesadas sucesivas no excedan de 5 mg. (m3).

Cálculos:

La humedad del producto expresada en porcentaje, es igual a:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{M2-M3}{M2-M1} \times 100 \quad (1)$$

Siendo:

M1: masa de la placa Petri vacía y de su tapa, en gramos.

M2: masa de la placa Petri tapada con la muestra antes del secado, en gramos.

M3: masa de la placa Petri con tapa más la muestra desecada, en gramos.

b) Determinación de proteínas por micro- Kjeldahl: Metodología AOAC

Procedimiento

El método Kjeldahl determina el contenido de nitrógeno de origen orgánico. Se utilizará este método con ligeros cambios que comprenden las siguientes etapas:

Digestión

Mezclar en un tubo de digestión 0.250 g de muestra por triplicado, 2 g de catalizador de proteínas (sulfato cálcico CaSO_4 al 4% y sulfato de potasio K_2SO_4 al 96%), 5 perlas de vidrio y 3 ml de H_2SO_4 concentrado (en el respectivo orden). Luego colocar el tubo en el digestor por 3 horas hasta la catálisis total de la proteína y liberación de Nitrógeno. Enfriar completamente y adicionar 20 ml de agua destilada.

Destilado

En el equipo destilador previamente llenado con agua destilada y calentado, se apaga el calentador (Aqueciendo). Se coloca el tubo digestado en la posición respectiva. Se le adiciona 12,5 ml de NaOH (40%) poco a poco, se realiza el enjuague con un poco de agua destilada. Se enciende el destilador a una potencia de 5. Empieza la reacción de vaporización del amoníaco y el destilado se recupera en un matraz con 7,5 ml de ácido bórico al 4% con 3 gotas de indicador de Tashiro. Debe existir el cambio de color de lila a verde y se completa la destilación hasta alcanzar los 50ml de destilado. Se retira para titular.

Titulación

El destilado obtenido se destila con HCl (0.01N) hasta que cambie de verde a lila. Finalmente, se procede a los cálculos, según la ecuación 2:

$$\%Proteina = \frac{14 \times N \times V \times 100}{m \times 1000} \quad (2)$$

Dónde:

V = 50 mL H₂SO₄ 0.1 N; gasto NaOH 0.1 N o gasto de HCl 0.1 N

m = masa de la muestra, en gramos

c) Determinación de Lípidos: Metodología AOAC

Procedimiento

El método por solvente caliente o Soxhlet, necesita que las muestras sean deshidratadas previamente, luego se desarrolla según los siguientes pasos:

- Pesar 5 g de muestra y empaquetar en papel filtro Wattman N° 2.
- El paquete se coloca en el cuerpo del Soxhlet y se agrega n-hexano destilado hasta que una parte del mismo sea sifoneada hacia el matraz. Conectar la cocina a temperatura baja. El hexano al calentarse se evapora y asciende hacia la parte superior del cuerpo donde se condensa por refrigeración con agua y cae sobre la muestra, regresando posteriormente al matraz por el sifón, arrastrando consigo la grasa. El ciclo es cerrado y la velocidad de goteo es de n-hexano debe ser de 30 a 40 gotas por minuto. El proceso dura 3 horas.
- El matraz debe sacarse del aparato cuando contiene poco hexano (momentos de que este sea sifoneado desde el cuerpo).
- Evaporar en un desecador.
- Pesar el balón (P3) y determinar la cantidad de grasa total en 5 g de muestra y expresarlo en porcentaje.
- Para verificar el cartucho debe secarse en estufa a 100° C y luego ser pesado.

- Finalmente, reportar los resultados en porcentaje, de acuerdo a la ecuación 3:

$$\%Grasa = \frac{(P2-P4)}{g(muestra)} \times 100 \quad (3)$$

Dónde:

P2= Peso inicial de la muestra (5g)

P4=Peso de la muestra secada después de la extracción (g)

d) Determinación de fibra cruda: Metodología AOAC

Procedimiento

La fibra cruda está constituida por la fracción de materia orgánica que queda después de digerir la muestra con ácido sulfúrico e hidróxido de sodio bajo condiciones controladas. El procedimiento de este análisis viene dado por las siguientes etapas:

Preparación de la muestra

- Homogeneizar, secar 103 ± 2 °C en estufa de aire o a 70 °C al vacío, de acuerdo a las técnicas indicadas en la referencia, considerando el tipo de muestra. Moler la muestra. Pasar por un tamiz de malla de 1 mm. Extraer con éter de petróleo si el contenido de grasa es superior al 1.

Determinación

- Pesar 2 g de muestra preparada y transferir en al matraz del aparato de calentamiento a reflujo. Agregar 1.5 a 2.0 g de fibra cerámica preparada.
- Agregar 200 ml de H₂SO₄ 0.255 N, hirviendo, gotas de antiespumante y perlas de vidrio. Conectar el aparato de calentamiento a reflujo y hervir exactamente durante 30 minutos, rotando el matraz periódicamente.

Luego, desmontar el equipo y filtrar a través del embudo Büchner tipo California o sus alternativas.

- Lavar con 50 a 75 ml de agua hirviendo, repetir el lavado con 3 porciones de 50 ml de agua o hasta que cese la reacción ácida. Retornar el residuo al aparato de calentamiento a reflujo y hervir exactamente durante 30 minutos, rotando el matraz periódicamente. Lavar con 25 ml de H₂SO₄ 0.255 N, hirviendo, con 3 porciones de 50 ml de agua hirviendo y con 25 ml de etanol al 95%. Remover el residuo y transferir al crisol.
- Secar en estufa a 130 + 2 °C por 2 horas, enfriar en desecador y pesar. Incinerar 30 minutos a 600 ± 15 °C, enfriar en desecador y pesar. Reportar los datos mediante la siguiente ecuación 5:

$$\%Fibra\ cruda = \frac{m1-m2}{peso\ de\ la\ muestra} \times 100 \quad (5)$$

Dónde:

m1= Pérdida de peso en la incineración (g)

m2= pérdida de peso del blanco de fibra cerámica (g)

e) Determinación de cenizas : Metodología AOAC

Procedimiento

El método está basado en la determinación de la pérdida de peso del material sometido a incineración a una temperatura de 550°C. La determinación de cenizas permite verificar la adición de materias orgánicas al alimento. El procedimiento es el siguiente:

- Pesar en un crisol limpio y seco, previamente tarado, de 1 a 2 g de muestra (peso exacto).

- Quemar la materia orgánica en el crisol sobre un triángulo de arcilla, por calentamiento directo con la llama de un mechero (en campana) hasta que dejen de formarse humos.
- Cuando la muestra se convierta en una masa de carbón, llevar el crisol para la mufla a 550°C, dejándolo por un espacio de tiempo suficiente para la total destrucción de la materia orgánica, hasta obtener cenizas blancas.
- Sacar el crisol de la mufla y ponerlo en un desecador para enfriar y pesar en seguida.
- Calcular el porcentaje de cenizas totales por diferencia de pesos.

Mediante la ecuación 3, descrita a continuación:

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{W - W_o}{S} \times 100 \quad (4)$$

Dónde:

W_o = peso del crisol vacío (g)

W = peso del crisol con cenizas (g)

S = peso de la muestra (g)

**Anexo E – Cálculos realizados para determinar las curvas de secado de mashua
cultivar zapallo amarillo.**

**Anexo E-1: Cálculos realizados para determinar la curva de secado experimental de
mashua a 2mm.**

Masa Bandeja	Humedad BH	Humedad BS	M.Seca	L,mm	L,m						
135.4	0.8909	8.17	14.023	2	0.002						
Hora	HR%	Temperatura		Diamtr	Tiempo ,min	Tiempo , seg	Masa Total	Masa Mashua	Humedad BS	Base Humeda	
		T1S	T2C								
09:40	23.2	14.3	36.0	3	0	0	264.0	128.5	8.17	0.89	
09:50	25.2	14.0	44.9	3.5	10	600	245.4	110.0	6.84	0.87	
10:00	23.8	15.1	48.2	3.2	20	1200	228.4	92.9	5.63	0.85	
10:10	17.5	14.5	49.6	3.4	30	1800	212.9	77.4	4.52	0.82	
10:20	17.3	14.8	50.3	3.5	40	2400	197.1	61.7	3.40	0.77	
10:30	11.6	15.5	51.3	2.5	50	3000	185.0	49.6	2.54	0.72	
10:40	12.2	15.4	52.6	2.7	60	3600	174.8	39.4	1.81	0.64	
10:50	9.4	15.4	53.8	2.6	70	4200	166.2	30.8	1.20	0.54	
11:00	12.2	15.7	54.1	3	80	4800	160.7	25.3	0.80	0.45	
11:10	6.6	15.2	54.9	2.6	90	5400	156.6	21.1	0.51	0.34	
11:20	9.4	16.5	53.9	3.7	100	6000	154.3	18.9	0.35	0.26	
11:30	7.2	16.3	55.0	2.3	110	6600	152.7	17.3	0.23	0.19	
11:40	9.7	16.6	54.8	2.2	120	7200	151.8	16.4	0.17	0.14	
11:50	10	16.0	56.1	2.4	130	7800	151.3	15.8	0.13	0.11	
12:00	11.2	17.6	56.0	3.4	140	8400	151.1	15.6	0.11	0.10	
12:10	11.2	15.9	55.0	2.1	150	9000	150.9	15.5	0.10	0.09	
12:20	12.6	16.5	52.0	2.3	160	9600	150.8	15.4	0.10	0.09	
12:30	14.7	16.0	55.8	2.8	170	10200	150.7	15.3	0.09	0.08	
12:40	19.3	16.9	52.9	2.7	180	10800	150.7	15.3	0.09	0.08	
12:50	13.4	17.0	55.73	3.3	190	11400	150.7	15.2	0.09	0.08	
13:00	19.2	16.8	55.8	2.6	200	12000	150.7	15.2	0.09	0.08	

Anexo E-2: Cálculos realizados para determinar la curva de secado experimental de mashua a 4mm.

Masa Bandeja	Humedad BH	Humedad BS	M.Seca	L,mm	L,m						
135.9	0.8909	8.17	16.75								
Hora	HR%	Temperatura		Velocidad	Diamtr	Tiempo, min	Tiempo, seg	Masa Total	Masa Mashua	Humedad BS	Base humeda
		T1S	T2C								
09:40	27.5	17.6	36.3	4.7	3.2	0	0	289.5	153.6	8.17	0.89
09:50	24.3	18.3	47.8	4.1	3.4	10	600	250.7	114.8	5.85	0.85
10:00	21.1	20.1	49.3	5.4	3.3	20	1200	231.7	95.8	4.72	0.83
10:10	17.1	21.6	55.0	6.2	3.4	30	1800	205.6	69.7	3.16	0.76
10:20	16.6	21.5	59.2	3.7	3.7	40	2400	185.9	50.0	1.98	0.66
10:30	12.5	18.8	59.8	4.4	3.5	50	3000	177.1	41.2	1.46	0.59
10:40	12.5	21.0	66.4	3.7	4	60	3600	170.7	34.8	1.08	0.52
10:50	9.8	20.4	67.1	3.7	3.5	70	4200	161.2	25.3	0.51	0.34
11:00	12.1	20.9	68.2	3.9	3.7	80	4800	159.7	23.8	0.42	0.30
11:10	8.0	21.3	69.4	5.3	4.2	90	5400	157.6	21.7	0.29	0.23
11:20	9.6	21.1	69.4	3.1	3.4	100	6000	155.8	19.9	0.19	0.16
11:30	7.3	20.7	68.9	4.4	3.6	110	6600	155.0	19.1	0.14	0.12
11:40	10.2	21.8	66.6	6.8	3	120	7200	154.8	18.9	0.13	0.11
11:50	9.8	21.8	69.8	4.7	3.2	130	7800	154.6	18.7	0.12	0.10
12:00	11.3	21.5	69.2	5.1	3.5	140	8400	154.4	18.5	0.11	0.10
12:10	9.9	20.1	68.3	3.9	3.9	150	9000	154.3	18.4	0.10	0.09
12:20	10.9	19.5	68.2	5.5	3.6	160	9600	154.3	18.4	0.10	0.09
12:30	12.0	19.8	67.1	4.1	3.2	170	10200	154.2	18.3	0.09	0.08
12:40	16.1	18.7	65.2	3.5	3.4	180	10800	154.2	18.3	0.09	0.08
12:50	11.5	18.4	64.2	4.2	3.8	190	11400	154.1	18.2	0.09	0.08
13:00	16.2	18.1	63.0	3.2	3.6	200	12000	154.1	18.2	0.09	0.08
13:10	14.4	18.2	62.7	4.3	3.6	210	12600	154.1	18.2	0.09	0.08
13:20	11.2	21.5	63.2	3.1	3.3	220	13200	154.1	18.2	0.09	0.08
13:30	15.2	18.6	62.5	4.0	3.2	230	13800	154.1	18.2	0.08	0.08

Anexo E-3: Cálculos realizados para determinar la curva de secado experimental de mashua a 6mm.


Masa Bandeja	Humedad BH	Humedad BS	M.Seca	L,mm	L,m						
135.75	0.8909	8.17	22.4837								
Hora	HR%	Temperatura		Velocidad	Diamtr	Tiempo,min	Tiempo, seg	Masa Total	Masa Mashua	Humeda d BS	Base Humeda
		T1S	T2C								
09:40	23.9	18.9	31.5	4.0	3.2	0	0	341.8	206.1	8.17	0.89
09:50	23.2	18.2	46.7	3.1	3.4	10	600	318.7	183.0	7.14	0.88
10:00	22.8	19.3	48.9	5.1	3.3	20	1200	301.5	165.7	6.37	0.86
10:10	19.4	19.7	51.7	4.4	3.4	30	1800	280.7	145.0	5.45	0.84
10:20	20.9	20.5	53.8	6.4	3.7	40	2400	272.4	136.6	5.08	0.84
10:30	15.1	20.3	56.4	4.7	3.5	50	3000	265.8	130.1	4.78	0.83
10:40	15.8	22.6	60.0	5.1	4	60	3600	249.4	113.7	4.05	0.80
10:50	16.8	22.3	61.0	5.2	3.5	70	4200	240.7	105.0	3.67	0.79
11:00	11.7	19.2	62.4	6.0	3.7	80	4800	234.3	98.5	3.38	0.77
11:10	13.8	22.2	63.1	5.7	4.2	90	5400	229.5	93.7	3.17	0.76
11:20	11.3	20.0	64.9	4.6	3.4	100	6000	219.0	83.3	2.70	0.73
11:30	12.4	21.2	65.9	6.0	3.6	110	6600	204.1	68.4	2.04	0.67
11:40	9.8	21.3	69.0	6.3	3	120	7200	195.4	59.7	1.65	0.62
11:50	11.3	20.5	69.1	9.8	3.2	130	7800	186.0	50.3	1.24	0.55
12:00	9.4	21.5	71.1	10.2	3.5	140	8400	179.1	43.4	0.93	0.48
12:10	8.8	22.1	72.6	9.7	3.9	150	9000	171.8	36.0	0.60	0.38
12:20	8.0	23.0	71.8	6.7	3.6	160	9600	168.0	32.3	0.43	0.30
12:30	9.1	25.2	74.7	3.0	3.2	170	10200	164.4	28.7	0.27	0.22
12:40	6.6	24.3	74.5	8.5	3.4	180	10800	162.3	26.5	0.18	0.15
12:50	9.2	24.1	73.7	5.3	3.8	190	11400	161.0	25.3	0.12	0.11
13:00	7.2	23.1	72.9	5.9	3.6	200	12000	160.0	24.2	0.08	0.07
13:10	7.7	20.6	69.9	4.9	3.6	210	12600	159.8	24.0	0.07	0.06
13:20	7.2	21.3	68.7	5.1	3	220	13200	159.5	23.8	0.06	0.05
13:30	10.9	21.4	54.6	6.3	3.6	230	13800	159.3	23.6	0.05	0.05

13:40	11.9	22.9	65.9	6.9	4	240	14400	159.2	23.5	0.04	0.04
13:50	9.6	23.1	69.0	5.7	3.7	250	15000	159.2	23.4	0.04	0.04
14:00	10.1	23.1	61.0	5.5	3.2	260	15600	159.1	23.4	0.04	0.04

Anexo F – Determinación físico – químicas de la mashua por INIA.



MINISTERIO DE AGRICULTURA
 INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACION AGRARIA-INIA
 LABORATORIO DE ANALISIS
 ESTACION EXPERIMENTAL ILLPA - PUNO
 ANEXO SALCEDO
 Ofic. Principal: Av La Molina 1981-La Molina Lima



CERTIFICADO DE ANALISIS

SOLICITANTE
 DIRECCION
 INTERESADO
 PROCEDENCIA
 PRODUCTO
 CANTIDAD
 MUESTREO
 TIPO DE ANALISIS
 N° DE ANALISIS
 FECHA DE RECEPCION
 FECHA DE CERTIFICACION

: Victor Raul Apaza Mamani
 :
 : Juliaca - Puno
 : Mashua (*Tropaeolum tuberosum*)
 : 100 Gr.
 : interesado.
 : Analisis Proximal.
 : 01.
 : 27 de Septiembre del 2016.
 : 05 de Octubre del 2016.

DETERMINACIONES FISICO QUIMICAS:

Determinaciones	Resultados
Humedad %	89.09
Proteina (N x 6.25) %	1.59
Fibra %	0.61
Cenizas %	0.59
Grasa %	0.31
ELN %	7.81

CARACTERISTICAS ORGANOLEPTICAS:

Determinaciones	Resultados
Color	Característico
Olor	Característico
Sabor	Característico
Impurezas microscópicas %	0.00

Referencias:
 Normas o Métodos de ensayo utilizados en el Laboratorio:
 215. Determinación de Proteína Método Kjeldahl (F. C. 6.25).
 216. Determinación de Grasa Método Gravimétrico.
 217. Determinación de Humedad Método Por diferencia.
 218. Determinación de Cenizas Método Gravimétrico.
 219. Determinación de Acidez Método Volumétrico.
 220. Determinación de Fibra Método Wooley.

Conclusiones
 La muestra analizada de Semilla de Lenteja es CUMPLE con los requisitos de documentos referenciales, así mismo se encuentra dentro de los límites permisibles, es conforme según las Normas Técnicas Peruanas.

Nota:
 Ninguna

Validez del Certificado
 El presente Certificado es válido, si permanece en el papel original. El original en el papel original tendrá validez por el periodo de noventa (90) días contados a partir de la fecha de emisión.



www.inia.gob.pe



Recepción de Muestra s/n
 Puno, Puno, Perú