



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE AGROINDUSTRIA

DESHIDRATACIÓN DE MASHUA *Tropaeolum tuberosum* PARA LA OBTENCIÓN DE HOJUELAS

Tesis presentada como requisito para optar por el título de Ingeniero
Agroindustrial

Autor: MARIO VINICIO LARA RAMOS

Director: Ing. Ángel Satama MSc.

Ibarra-Ecuador

2017

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE AGROINDUSTRIA

DESHIDRATACIÓN DE MASHUA *Tropaeolum tuberosum* PARA LA OBTENCIÓN DE HOJUELAS.

Tesis revisada por los miembros del tribunal, por lo cual se autoriza su presentación como
requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

APROBADA:

Ing. Ángel Satama MSc.

DIRECTOR DE TESIS

Ing. Jimmy Cuarán Mg.I

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Jimmy Núñez MSc.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Luis Manosalvas MSc.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL



FIRMA



FIRMA



FIRMA



FIRMA



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información: DATOS DE CONTACTO

DATOS DE CONTACTO

CÉDULA DE IDENTIDAD:	1003106810		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Lara Ramos Mario Vinicio		
DIRECCIÓN:	Cayambe, Shyris y Quilago		
EMAIL:	osirismm6@hotmail.com		
TELÉFONO FIJO:	2138422	TELÉFONO MÓVIL:	0992242709

DATOS DE LA OBRA

TÍTULO:	Deshidratación de mashua <i>Tropaeolum tuberosum</i> para la obtención de hojuelas.
AUTOR:	LARA RAMOS MARIO VINICIO
FECHA:	23 de enero del 2017

SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO

PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/>	PREGRADO	<input type="checkbox"/>	POSTGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero Agroindustrial			
ASESOR/DIRECTOR:	Ing. Ángel Satama MSc.			

2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, MARIO VINICIO LARA RAMOS, con cédula de identidad número 100310681-0, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

3. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 23 días del mes de Enero del 2017

AUTOR:



Sr. Mario Vinicio Lara Ramos

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por el Sr. Mario Vinicio Lara Ramos, bajo mi supervisión.

A handwritten signature in blue ink, consisting of several loops and flourishes, positioned above a horizontal line.

Ing. Ángel Satama MSc.

DIRECTOR DE TESIS

DECLARACIÓN

Manifiesto que la presente obra es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros; por lo tanto es original, y que soy el titular de los derechos patrimoniales; por lo que asumo la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldré en defensa de la Universidad Técnica del Norte en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 23 días del mes de Enero del 2017



Sr. Mario Vinicio Lara Ramos

**CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE
LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

Yo, Mario Vinicio Lara Ramos, con cédula de identidad Nro. 1003106810-0, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor de la obra o trabajo de grado denominado: DESHIDRATACIÓN DE MASHUA *Tropaeolum tuberosum* PARA LA OBTENCIÓN DE HOJUELAS., que ha sido desarrollado para optar por el título de: INGENIERO AGROINDUSTRIAL en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada.

En concordancia suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, a los 23 días del mes de Enero del 2017



Sr. Mario Vinicio Lara Ramos

DEDICATORIA

Dedico mi trabajo de grado a Dios, por colmarme de bendiciones, sabiduría y darme la fuerza para salir adelante.

A mis padres Mario Lara y Miriam Ramos, ustedes saben cuánto les amo, gracias por la paciencia que me han tenido todo este tiempo y por estar a mi lado cuando más los necesitaba, por ser más que mis padres, mis amigos y consejeros, les amo demasiado.

A mis hermanas Caro y Sarahi de quienes espero se sientan muy orgullosas de mi así como yo de ellas.

A mi esposa Michelle por su amor, motivación, comprensión y apoyo incondicional, gracias por estar a mi lado mi amor, te amo.

Especialmente dedico este trabajo a mi hija Anahid Lara, que es mi orgullo, mi gran motivación y lo más hermoso que pudo haberme pasado en la vida. Te amo mi pequeña.

Mario Vinicio Lara Ramos

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Técnica del Norte, en especial a la escuela de Ingeniería Agroindustrial y a su docentes por sus conocimientos compartidos que me han servido tanto en mi vida profesional como personal.

Un agradecimiento especial a “ECOPAR”, de igual manera al Ing. Luis Ordoñez por su apoyo, confianza y paciencia, porque sin su ayuda esto no hubiese sido posible.

Al Ing. Ángel Satama, director de tesis, quien me ha orientado en todo momento en la realización de esta investigación.

Mi más sincero agradecimiento al Ing. Jimmy Cuarán, al Ing. Luis Manosalvas y al Ing. Jimmy Núñez por su apoyo y colaboración para la realización de mi investigación.

A mis padres por el gran sacrificio que han hecho para verme triunfar.

A mi esposa Michelle quien en los últimos años me ha apoyado e impulsado a alcanzar la meta que hoy logro, que se ha sacrificado junto a mí y ha sido mi soporte para no darme por vencido, pero sobre todo ha sido mi compañera incondicional.

Mario Venicio Lara Ramos

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I.....	1
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 PROBLEMA.....	1
1.2 JUSTIFICACIÓN	2
1.3 OBJETIVOS	3
1.3.1 Objetivo General.....	3
1.3.2 Objetivos Específicos	3
1.4 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
1.4.1 Hipótesis Nula	4
1.4.2 Hipótesis Alternativa	4
CAPÍTULO II.....	5
2 MARCO TEÓRICO	5
2.1 MASHUA	5
2.1.1 Origen	5
2.1.2 Descripción.....	6
2.1.3 Usos	7
2.1.4 Clasificación taxonómica	7
2.1.5 Variedades de mashua	8
2.1.6 Producción nacional	9
2.1.7 Zonas productoras	9
2.1.8 Rendimiento	9
2.1.9 Fases fenológicas de la mashua	10
2.1.10 Composición química.....	10
2.2 MOMENTO O MADUREZ DE COSECHA	11

2.3	ALIMENTOS ANTIOXIDANTES Y RADICALES LIBRES.....	12
2.3.1	Actividad antioxidante.....	14
2.4	DESHIDRATACIÓN	17
2.4.1	Aspectos generales sobre la deshidratación DE alimentos.....	17
2.4.2	Secado convectivo	18
2.4.3	Psicrometría	19
2.4.4	Selección y acondicionamiento del alimento antes de la deshidratación	21
2.4.4.1	Selección de la materia prima	21
2.4.4.2	Acondicionamiento	21
2.4.5	Naturaleza del agua de un alimento.....	21
2.4.5.1	Agua ligada	22
2.4.5.2	Agua débilmente ligada.....	22
2.4.5.3	Agua Libre.....	22
2.4.6	Contenido de humedad y actividad de agua de los alimentos	23
2.4.6.1	Contenido de humedad en base húmeda	23
2.4.6.2	Contenido de humedad en base seca	23
2.4.6.3	Humedad de equilibrio	24
2.4.6.4	Actividad de agua (a_w)	24
2.4.7	Factores que influyen en la velocidad de deshidratación de un alimento	26
2.4.7.1	Temperatura de aire de entrada	26
2.4.7.2	Velocidad de aire.....	26
2.4.7.3	Composición química.....	27
2.4.7.4	Estructura celular.....	27
2.4.7.5	Forma y tamaño del producto.....	27
2.4.8	Cambios en los alimentos durante la deshidratación.....	28
2.4.9	Mecanismos de eliminación del agua en alimentos.....	28

2.4.10	Periodos de secado	35
2.4.10.1	Periodo de precalentamiento	35
2.4.10.2	Periodo de velocidad constante	35
2.4.10.3	Humedad critica	37
2.4.10.4	Periodo de velocidad decreciente	37
2.4.10.5	Segundo periodo de velocidad decreciente	38
CAPÍTULO III		40
3	MATERIALES Y MÉTODOS.....	40
3.1	Caracterización del Área de Estudio.....	40
3.1.1	Caracterización de las propiedades del aire en el proceso de deshidratación	40
3.2	Materiales y Equipos	43
3.2.1	Materia Prima	43
3.2.2	Insumos.....	43
3.2.3	Equipos e instrumentos.....	43
3.2.4	Maquinaria.....	43
3.3	Métodos	44
3.3.1	Factores de estudio	44
3.3.2	Tratamientos	44
3.3.3	Diseño experimental.....	45
3.3.4	Características del experimento.....	45
3.3.5	Unidad experimental.....	45
3.3.6	Análisis de Varianza.....	45
3.3.7	Análisis Funcional	46
3.4	VARIABLES EVALUADAS.....	46
3.4.1	Variables cuantitativas.....	46
3.4.2	Variables cualitativas.....	47

3.5	Manejo Específico del experimento	48
3.5.1	Diagrama de bloques para la elaboración de hojuelas deshidratadas de mashua. 49	
3.6	Descripción del diagrama de BLOQUES	50
CAPÍTULO VI		56
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	56
4.1	Caracterización de la Materia Prima.....	56
4.2	Análisis de Variables Cuantitativas del Producto Final.....	58
4.2.1	Análisis de humedad en hojuelas deshidratadas de mashua.....	58
4.2.2	Análisis de actividad de agua en las hojuelas deshidratadas de mashua.....	60
4.2.3	Análisis de la actividad antioxidante en las hojuelas deshidratadas.....	62
4.3	Resultados del Proceso de Deshidratación	66
4.3.1	Determinación de Humedad	66
4.3.2	CURVAS DE SECADO de HOJUELAS de mashua.....	66
4.4	análisis de variables cualitativas del producto final.....	70
4.4.1	Color	70
4.4.2	Aroma	71
4.4.3	Fracturabilidad.....	72
4.4.4	Sabor.....	73
4.4.5	Aceptabilidad.....	74
4.5	Análisis microbiológico del producto final	76
4.6	Análisis proximal del producto final	77
4.7	Balance de maSA.....	78
4.8	Determinación del rendimiento para t1, t2, t3 y t4	79
CAPÍTULO V		80
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	80

5.1	CONCLUSIONES	80
5.2	RECOMENDACIONES.....	81
6	Bibliografía.....	82
7	ANEXOS.....	87

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1.	Humedad y velocidad de secado para el tratamiento T1.	87
Anexo 2.	Humedad y velocidad de secado para el tratamiento T2.	88
Anexo 3.	Humedad y velocidad de secado para el tratamiento T3.	88
Anexo 4.	Humedad y velocidad de secado para el tratamiento T4.	89
Anexo 5.	Gráficas para hallar la humedad crítica para el tratamiento T1.	89
Anexo 6.	Gráficas para hallar la humedad crítica para el tratamiento T2.	90
Anexo 7.	Gráficas para hallar la humedad crítica para el tratamiento T3.	90
Anexo 8.	Gráficas para hallar la humedad crítica para el tratamiento T4.	91
Anexo 9.	Curva de velocidad de secado en función de la humedad libre para el tratamiento T1.....	91
Anexo 10.	Curva de velocidad de secado en función de la humedad libre para el tratamiento T2.	92
Anexo 11.	Curva de velocidad de secado en función de la humedad libre para el tratamiento T3.	92
Anexo 12.	Curva de velocidad de secado en función de la humedad libre para el tratamiento T4.	93
Anexo 13.	Graficas del mecanismo de eliminación de agua en el período decreciente.....	93
Anexo 14.	Cálculos referenciales para las hojuelas de mashua deshidratadas.....	94
Anexo 15.	Cuadro de disminución de peso del tratamiento 1 (A1B1).....	98
Anexo 16.	Cuadro de disminución de peso del tratamiento 2 (A1B2).....	99
Anexo 17.	Cuadro de disminución de peso del tratamiento 3 (A2B1).....	100
Anexo 18.	Cuadro de disminución de peso del tratamiento 4 (A2B2).....	101
Anexo 19.	Hoja de encuesta para la evaluación sensorial.....	102
Anexo 20.	Rangos tabulados para el color.	103
Anexo 21.	Rangos tabulados para el aroma.	103

Anexo 22. Rangos tabulados para el sabor.....	104
Anexo 23. Rangos tabulados para la fracturabilidad.....	104
Anexo 24. Rangos tabulados para la aceptabilidad.....	105
Anexo 25. Análisis químico proximal y actividad antioxidante de la materia prima.	106
Anexo 26. Análisis químico proximal y actividad antioxidante de los 4 tratamientos.	107
Anexo 27. Análisis microbiológicos de los 4 tratamientos.	108
Anexo 28. Descripción de la estufa.....	109

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación botánica de la mashua.....	8
Tabla 2. Composición química de la mashua.....	11
Tabla 3. Actividad antioxidante de algunas raíces y tubérculos andinos.....	16
Tabla 4. Datos climatológicos.....	40
Tabla 5. Registro de temperaturas.....	41
Tabla 6. Propiedades del aire a la temperatura de 35°C a 70,69 kPa.....	41
Tabla 7. Propiedades del aire a la temperatura de 45°C a 70,69 kPa.....	42
Tabla 8. Resultado de la Combinación de los factores.....	44
Tabla 9. Análisis de varianza (ADEVA).....	45
Tabla 10. Métodos de análisis para la caracterización de la materia prima.....	47
Tabla 11. Composición químico proximal de la mashua variedad "amarilla chaucha".....	56
Tabla 12. Composición físico químico de la mashua variedad "amarilla chaucha".....	57
Tabla 13. Humedad (%).....	58
Tabla 14. Actividad de agua.....	60
Tabla 15. Actividad antioxidante (uMTrolox/g).....	62
Tabla 16. Análisis de varianza de la actividad antioxidante.....	62
Tabla 17. Prueba de Tukey al 5% para tratamientos.....	63
Tabla 18. Prueba Diferencia Media Significativa para el factor A.....	63
Tabla 19. Prueba Diferencia Media Significativa para el factor B.....	63
Tabla 20. Pérdida de actividad antioxidante de las hojuelas de mashua.....	64
Tabla 21. Humedad inicial de las rodajas.....	66
Tabla 22. Resultados de la humedad crítica y el tiempo para los cuatro tratamientos.....	67

Tabla 23. Resultados de los tiempos experimentales, humedad inicial, humedad final y humedad de equilibrio.	68
Tabla 24. Resultados de la prueba de Friedman para la variable color.	70
Tabla 25. Resultados de la prueba de Friedman para la variable aroma.	71
Tabla 27. Resultados de la prueba de Friedman para la variable fracturabilidad.....	72
Tabla 26. Resultados de la prueba de Friedman para la variable sabor.....	73
Tabla 28. Resultados de la prueba de Friedman para la variable aceptabilidad.....	74
Tabla 29. Análisis microbiológico de las hojuelas deshidratadas.	76
Tabla 30. Análisis proximal para T1, T2, T3 y T4.....	77
Tabla 31. Porcentaje de rendimiento de las hojuelas de mashua.....	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Planta y formas de tubérculos de la mashua.	7
Figura 2. Variedades de mashua en el Ecuador.....	8
Figura 3. Fases fenológicas del cultivo de mashua.	10
Figura 4. Un átomo normal se puede convertir en un radical libre por la pérdida de un electrón.	12
Figura 5. Los antioxidantes son sustancias capaces de ceder un electrón a los radicales libres para que se estabilicen.	12
Figura 6. Diagrama psicrométrico.	20
Figura 7. Secado adiabático en una tabla psicrométrica.....	20
Figura 8. Cambios que ocurren en los alimentos en función de la actividad de agua.	24
Figura 9. Células integra, el agua se elimina por capilaridad.	29
Figura 10. a) Eliminación del agua por capilaridad; b) Eliminación del agua por difusión.	29
Figura 11. Aspecto físico de un producto deshidratado de acuerdo con el mecanismo de eliminación de agua.	30
Figura 12. Graficas del mecanismo de eliminación de agua.	30
Figura 13. Flujo capilar.	31
Figura 14. Difusión líquida.....	32
Figura 15. Difusión superficial.....	32

Figura 16. Evaporación de la condensación.	33
Figura 17. Difusión de Knudsen.....	33
Figura 18. Difusión mutua.....	34
Figura 19. Flujo de Poiseuille.....	34
Figura 20. Stefan difusión.	34
Figura 21. Periodos del secado.	35
Figura 22. Periodo de velocidad de secado constante.	36
Figura 23. Periodos de velocidad decreciente.	39

ÍNDICE DE FOTOS

Foto 1. Recepción de la mashua	50
Foto 2. Clasificación del tubérculo.....	50
Foto 3. Lavado del tubérculo.....	51
Foto 4. Desinfección del tubérculo.....	51
Foto 5. Cortado del tubérculo	51
Foto 6. Espesor de la rodaja del tubérculo.....	52
Foto 7. Pesaje de las rodajas.....	52
Foto 8. Escaldado de las rodajas.....	52
Foto 9. Ecurrido de las rodajas.....	53
Foto 10. Pesaje de las rodajas.....	53
Foto 11. Estufa.....	54
Foto 12. Mallas colocadas en la estufa	54
Foto 13. Hojuelas deshidratadas y pesadas	54
Foto 14. Hojuelas empacadas	55
Foto 15. Muestras empacadas de hojuelas deshidratadas.....	55

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Fórmula de rendimiento.....	47
Ecuación 2. Ecuación de FRIEDMAN.....	48

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue obtener hojuelas de mashua *Tropaeolum tuberosum* variedad amarilla mediante deshidratación, en forma de rodajas con espesor de 2mm, la deshidratación fue realizada en estufa, estableciendo dos factores experimentales: la temperatura de trabajo (35 y 45 °C) y velocidad de aire de secado (0,80 y 1,35 m/s). Se aplicó el Diseño Completamente al Azar (D.C.A.) con arreglo factorial (A x B) con tres repeticiones. La mashua recién cosechada presenta sabor picante, es necesario acondicionar las rodajas con un pretratamiento térmico de 90°C por un tiempo de 4 minutos.

La materia prima recién cosechada presento una humedad de 88,7% y después de un pretratamiento térmico alcanzo el 93% de humedad, el tiempo requerido para llegar a una humedad de 6,43% es de 4,67 horas siendo el tratamiento cuatro (T4) el que presenta dichas características. Sin embargo, el tratamiento uno (T1) presenta las mejores condiciones en lo que se refiere a retención de actividad antioxidante. Durante la deshidratación se registra la pérdida de peso a intervalos cortos de tiempo hasta obtener peso constante, con los resultados obtenidos se observa que las curvas de secado para los cuatro tratamientos presentaron un período constante, seguido de un período decreciente, hasta alcanzar la humedad de equilibrio.

Palabras-clave: deshidratación, actividad antioxidante, período constante, período decreciente

ABSTRACT

The objective of this research was to study the dehydration of the mashua *Tropaeolum tuberosum* yellow variety, in the form of slices with thickness of 2mm, dehydration was performed in a stove, using two experimental factors: working temperature (35 and 45 ° C) And air drying rate (0.80 and 1.35 m / s). A Fully Random Design (D.C.A.) was applied with factorial arrangement (A x B) with three replicates. The mashua being freshly harvested has a spicy taste, so it must be conditioned with a pre-treatment in which the mashua slices are subjected to a blanching process at 90 ° C for a time of 4 minutes.

The raw material freshly harvested had a humidity of 88.7% and after a pretreatment presented a humidity of 93%, the time required to reach a humidity of 6.43% is 4.67 hours, with treatment four being the one presents these characteristics. However, treatment one presents the best conditions in terms of retention of antioxidant activity. During the whole dehydration process, the weight loss is registered at small time intervals until a constant weight is obtained with the results obtained, it is observed that the drying curves for the four treatments presented a constant period followed by a decreasing period until it reaches equilibrium moisture.

Keywords: dehydration, antioxidant activity

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 PROBLEMA

El Ecuador al igual que otros países con los que comparte la Cordillera de los Andes, tiene el gran privilegio de contar con muchos tubérculos andinos, sin embargo a pesar de esto no los valoramos, un claro ejemplo de dicha afirmación es la mashua, que es un tubérculo andino heredado desde nuestros antepasados, la producción y consumo han quedado rezagados debido a la falta de conocimiento y divulgación de las propiedades alimenticias, medicinales y nutricionales que posee este tubérculo.

Actualmente la producción y consumo de mashua está disminuyendo considerablemente, debido a la influencia de hábitos alimenticios de los países desarrollados y a la falta de conocimiento de las bondades de este cultivo andino. La producción de mashua, al no tener ninguna demanda en los mercados, ha quedado relegada para uso medicinal.

Unido a la desvalorización cultural de lo nativo, factores como, ausencia de identidad propia, subsidios y donaciones de alimentos, la poca demanda urbana y la falta de políticas integrales han llevado a la subutilización y en la mayoría de los casos al olvido de los alimentos nativos ancestrales, dejando de la lado a las tecnologías tradicionales de producción, almacenamiento, preparación y consumo de estos alimentos (Espín, 2001).

1.2 JUSTIFICACIÓN

La mashua *Tropaeolum tuberosum* es un tubérculo cuyo origen es los Andes y “está catalogado como el cuarto cultivo en importancia encontrándose después de la papa, oca y papalisa” (FOBOMADE, 2014). Posee cualidades medicinales y un alto nivel nutricional reflejado en el contenido de proteínas, carbohidratos, aminoácidos y vitamina C. Por esta razón es de suma importancia evitar la extinción del cultivo de mashua porque es un alimento nutricional y medicinal que sirve para la seguridad alimentaria de muchos pueblos ecuatorianos.

El uso de la tecnología del secado de alimentos, se debe a la reducción del contenido de agua, de esta manera evitar la proliferación de microorganismos y minimizar las demás reacciones que las deterioran, de esta forma se puede alargar el tiempo de vida útil de cualquier alimento. Por otro lado, al reducir su peso y en algunos casos el volumen implica una reducción importante en los costos de empaque, almacenamiento y transporte. Sin embargo, durante la transformación de los alimentos se debe tomar en cuenta la posible pérdida de actividad antioxidante, debido a su baja resistencia a la luz y a temperaturas altas, tal es el caso del secado; por esta razón, se debe buscar mejores condiciones de secado para minimizar la pérdida de estos compuestos bioactivos que son de importancia en la salud del consumidor.

Dentro del Biocorredor Cayambe Coca, todavía se cultiva mashua, pero tan solo es consumida por sus propios habitantes. Considerando la importancia de la mashua en la economía campesina, el potencial de producción y productividad del tubérculo según Alvarez & Merino (2009) tiene un alto rendimiento, debido a la rusticidad de este cultivo que tolera condiciones extremadamente difíciles.

Por estas razones se ha propuesto realizar la investigación de mashua deshidratada, utilizando con métodos y técnicas capaces de brindar una tecnología alternativa a las personas e interesados que conforman el biocorredor Cayambe-Coca. Contribuyendo de esta manera al desarrollo y fomento de la agroindustria rural.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Deshidratar mashua *Tropaeolum tuberosum* para la obtención de hojuelas.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar la materia prima (índice de madurez comercial).
- Evaluar el efecto de la temperatura y la velocidad de aire en el proceso de deshidratación de la mashua.
- Determinar la cinética de secado (humedad y velocidad).
- Evaluar la actividad antioxidante en la materia prima y en el producto final.
- Evaluar la calidad Físico-Química, microbiológica y sensorial de las hojuelas deshidratadas.

1.4 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 HIPÓTESIS NULA

La temperatura y la velocidad de aire de secado no influyen en las características fisicoquímicas, sensoriales y el contenido de actividad antioxidante de la mashua deshidratada.

1.4.2 HIPÓTESIS ALTERNATIVA

La temperatura y la velocidad de aire de secado influyen en las características fisicoquímicas, sensoriales y el contenido de actividad antioxidante de la mashua deshidratada.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 MASHUA

2.1.1 ORIGEN

La mashua, conocida también como “añu”, “isaño” o “cubio”, es una planta herbácea perenne originaria de la región andina. Las evidencias arqueológicas sugieren que sus tubérculos ya eran consumidos desde hace más de 7500 años. Su hábitat de distribución natural se extiende desde Colombia hasta el norte de Argentina, entre los 2400 hasta los 4300 msnm, y desde hace algunas décadas se cultiva también en algunas regiones de Nueva Zelanda y Canadá. Las mayores áreas de siembra se encuentran en Perú y Bolivia, donde generalmente se cultiva en asociación con otros tubérculos, como la oca, el ulluco y las papas. Aunque el área de siembra de la mashua es mucho menor al de las otras tuberosas andinas, su cultivo no deja de ser importante, pues forma parte de la seguridad alimentaria de miles de familias campesinas en los Andes a través del autoconsumo o la generación de ingresos monetarios (Manrique et al. 2013).

Suquilanda (2011) argumenta que en los Andes del Ecuador, la mashua se cultiva actualmente en las pequeñas parcelas de indígenas y campesinos, asociada con melloco, oca y papas nativas por lo que resulta difícil conocer su área cultivada y producción. Según investigaciones realizadas en el 21 sector Norte de la provincia de Cotopaxi, los rendimientos de la mashua, podrían llegar hasta los 750 qq/ha.

2.1.2 DESCRIPCIÓN

La mashua es una especie rústica, que puede crecer bien a temperaturas bajas y en suelos pobres, sin necesidad de fertilizantes. Además, es resistente a nematodos, insectos y varias plagas, como el gorgojo de la papa. Por esta razón, en los Andes se siembra habitualmente como cerco perimétrico de protección de otros cultivos. Su ciclo de cultivo varía entre 6 y 9 meses, llegando a producir rendimientos superiores a los de otras tuberosas andinas. Los tubérculos de la mashua tienen un elevado contenido de proteínas (mayores a los de la papa, la oca y el olluco), carbohidratos, fibra, ácido ascórbico (vitamina C) y calorías. También contienen una elevada concentración de glucosinolatos aromáticos que al ser hidrolizados se transforman en isotiocianatos, compuestos químicos responsables de otorgar el típico sabor picante a los tubérculos. Los isotiocianatos son conocidos por sus propiedades antibióticas, insecticidas, nematicidas, anticancerígenas y diuréticas, lo que contribuye a sustentar el uso tradicional de la mashua en la medicina folclórica de los Andes (Manrique et al. 2013).

Además, es una planta herbácea erecta o semiprostrada, de tallos cilíndricos y hábitos rastreros. Esta planta posee un follaje compacto, con hojas de color verde oscuro en el haz y más claras en el envés. Las hojas tienen lámina redondeada y el pecíolo inserto en el centro. Presenta flores solitarias de distintos colores que van desde el anaranjado hasta el rojo oscuro. El número de estambres varía de 8 a 13, y el tiempo que permanece abierta oscila entre 9 y 15 días. Los tubérculos miden de 5 a 15 cm de largo, tienen forma cónica alargada, yemas profundas, y variados colores como el amarillo, blanco, rojizo, morado, gris y negro, con jaspes oscuros en la piel. El tubérculo posee una textura arenosa y contiene 15 % de proteínas, con alto porcentaje de carbohidratos y 80 % de agua. Debido a la presencia de isotiocianatos, que también se encuentran en la mostaza y los rabanitos, la mashua tiene un sabor acre y picante, pero que desaparece con la cocción volviéndose dulce (PERÚ ECOLÓGICO, 2007).



Figura 1. Planta y formas de tubérculos de la mashua.

Fuente. (Samaniego, 2010)

2.1.3 USOS

La mashua tiene entre 14 y 16 % de proteínas, se consume hervida o asada después de haberla soleado con el fin de azucararla. Los tubérculos tiernos son alimenticios y no necesitan ser pelados, sus hojas y flores se consumen cocidas. Los brotes tiernos y las flores se comen cocidos como verduras. Se consume también en sopas, chupes, fritas, y algunos la mezclan con azúcar para preparar postres. Además, es una fuente importante de glucosinolatos a los que se les atribuye propiedades anticancerígenas y también es muy rica en antioxidantes, isotiocianatos, pigmentos (EcuRed, 2014).

Las personas que conforman el biocorredor Cayambe-Coca, usan tanto las hojas como el tuberculo, la primera la utilizan para infusiones y la segunda, después, de ser asoleadas la utilizan para hacer pasteles, coladas y mermeladas.

2.1.4 CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA

La clasificación taxonómica de la mashua se describe en la Tabla 1.

Tabla 1. Clasificación botánica de la mashua.

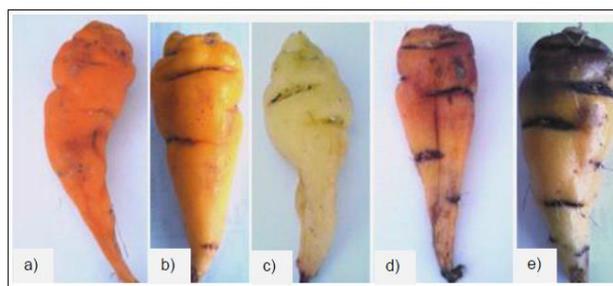
Reino:	Plantae	
Filo:	Angiospermae	
Clase:	Dicotyledoneae	
Orden:	Brassicales	
Familia:	Tropaeolaceae	
Género:	Tropaeolum	
Especie:	T. Tuberosum	

Fuente. (PERÚ ECOLÓGICO, 2007)

2.1.5 VARIEDADES DE MASHUA

Se han reconocido más de 100 variedades de mashua. Existen colecciones de germoplasma en Ecuador y Perú. Por el color se reconocen muchas variedades como: blanca, amarilla, chaucha, morada y zapallo. La mashua blanca es una variedad rara, pequeña y precoz, la mashua amarilla tardía, es la más difundida y alcanza un tamaño mayor que la amarilla chaucha, para la cual se señalan virtudes medicinales, por lo que se la utiliza contra el “mal de orina” (próstata) (Suquilanda, 2011).

En Ecuador las variedades que se encuentran son: zapallo; amarilla chaucha; blanca, succu mashua y shira. En la figura 2 se puede observar las variedades de mashua.



a) Zapallo, b) Amarilla chaucha, c) Blanca, d) Succu mashua, e) Shira

Figura 2. Variedades de mashua en el Ecuador.

Fuente. (Paucar, 2014)

A pesar de la desvalorización y olvido de este tubérculo, en el biocorredor Cayambe-Coca, aún se puede encontrar la variedad amarilla chaucha en pequeñas cantidades.

2.1.6 PRODUCCIÓN NACIONAL

La mashua se cultivan en la Sierra ecuatoriana, principalmente en las provincias de Bolívar, Pichincha, Cotopaxi y Tungurahua, en parcelas de consumo familiar y a 2 000 y 4 000 metros de altura (El Productor, 2012).

2.1.7 ZONAS PRODUCTORAS

En el Ecuador la producción de mashua se ha reducido considerablemente, debido a que la gente ya no consume raíces y tubérculos andinos. Sin embargo existen zonas de la sierra ecuatoriana donde se cultiva mashua como son las provincias de Chimborazo, Cotopaxi, Tungurahua, Bolívar, Cañar y Azuay (Samaniego, 2010).

2.1.8 RENDIMIENTO

Según Alvarez & Merino (2009), muestran como resultados de un ensayo experimental para registrar la relación directa entre número de tubérculos sembrados y el rendimiento obtenido por planta, un promedio general de 1.88 kg/planta y un porcentaje de daño por plaga, de apenas el 2.31% confirmando en cierta manera las propiedades organolépticas, en cuanto a incidencia de plagas, enfermedades y rusticidad del cultivo.

Entre el melloco, la oca y la mashua, éste último fue el cultivo con mayor rendimiento y puede ser considerado como el más promisorio desde el punto de vista agronómico, aunque es el menos apetecido por los consumidores en comparación con los otros tubérculos, debido a su sabor astringente. El más alto rendimiento fue de 74.666 kg/ha, rendimiento que supera a cualquier otro tubérculo andino incluyendo a la papa (Beltrán & Mera, 2014).

2.1.9 FASES FENOLÓGICAS DE LA MASHUA

Los agricultores del biocorredor Cayambe-Coca afirma que la cosecha se la realiza cuando las hojas cambian su color verde a amarillento, lo que ocurre más o menos entre 5 a 6 meses de edad del cultivo.

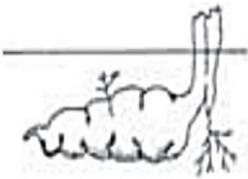
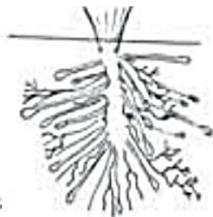
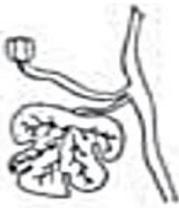
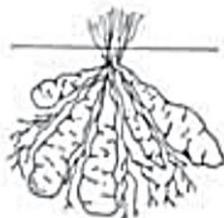
1. Emergencia	2. Formación de estolones	3. Tuberización
		
Los brotes emergen a la superficie del suelo.	Aparecen estolones de la raíz principal. Se debe de anotar el inicio de esta fase cuando los estolones tengan de 3 a 5 cm de longitud.	Cuando se aprecia un pequeño abultamiento, ligeramente alargado, en el extremo terminal de los estolones.
4. Floración	5. Fructificación	6. Maduración
		
Se abren las primeras flores.	Los primeros frutos inician su madurez.	Los tubérculos alcanzan el color y tamaño propio de la variedad. Las hojas cambian su color hacia el amarillo pálido.

Figura 3. Fases fenológicas del cultivo de mashua.

Fuente. (Yzarra & López, 2012)

2.1.10 COMPOSICIÓN QUÍMICA

Según Espín, Villacrés & Brito (2004) afirma que en las raíces y tubérculos andinos, los contenidos de materia seca son extremadamente variables. (...) Es importante señalar que otros factores aparte de la variabilidad genética como son las prácticas culturales, el clima y el tipo de suelo, pueden influir en esta característica.

La composición química de la mashua se describe en la Tabla 2.

Tabla 2. Composición química de la mashua.

Parámetro	Valor	Unidad
Humedad	88.70	%
Cenizas*	4.81	%
Proteínas*	9.17	%
Fibra*	5.86	%
Extracto etéreo*	4.61	%
Carbohidratos totales*	75.40	%
Azúcares reductores*	35.83	%
Vitamina C	77.37	(mg/100g mf)

Fuente. (Espín, et al., 2004)

*Datos expresados en Base seca

2.2 MOMENTO O MADUREZ DE COSECHA

La madurez o momento de cosecha son usados en muchos casos como sinónimos y en cierta manera lo son. Sin embargo, para ser más precisos en términos idiomáticos, es más correcto hablar de «madurez» en aquellos frutos como el tomate, durazno, pimiento, etc. en donde el punto adecuado de consumo se alcanza luego de ciertos cambios en el color, textura y sabor. En cambio, en especies que no sufren esta transformación como el espárrago, lechuga, remolacha, etc., es más correcto hablar de «momento de cosecha». El grado de madurez es el índice más usado para la cosecha de frutos pero debe diferenciarse la madurez fisiológica de la madurez comercial. La primera es aquella que se alcanza luego que se ha completado el desarrollo mientras que la segunda se refiere al estado en el cual es requerido por el mercado. Cada fruto presenta uno o más síntomas inequívocos cuando ha alcanzado la madurez fisiológica (Según López, 2003).

Por lo tanto, el momento de cosecha de la mashua se realiza a los 6 meses donde ha alcanzado su completo desarrollo para ser comercializada y posteriormente utilizarla en procesos agroindustriales.

2.3 ALIMENTOS ANTIOXIDANTES Y RADICALES LIBRES

Madrid (2012) define que los alimentos antioxidantes son aquellos que tienen la capacidad de retardar o evitar la oxidación de las moléculas y células de los seres vivos. Esto lo consigue gracias a su capacidad de neutralizar los radicales libres que circulan por nuestro cuerpo. Como se aprecia en la figura 3, cualquier átomo se puede convertir en un radical libre si pierde un electrón. Efectivamente, el átomo entero (sin la pérdida del electrón) es estable. Pero si pierde un electrón, se descompensa y trata de recuperarlo moviéndose por nuestro cuerpo hasta que se lo quita a otro átomo. Es decir son átomos o moléculas desequilibradas muy reactivas. Por ello, las sustancias antioxidantes figura 4, son las que pueden donar un electrón a los radicales libres. Estas sustancias antioxidantes “entran” en nuestro organismo con algunos alimentos (vitaminas, sales minerales, etc.).

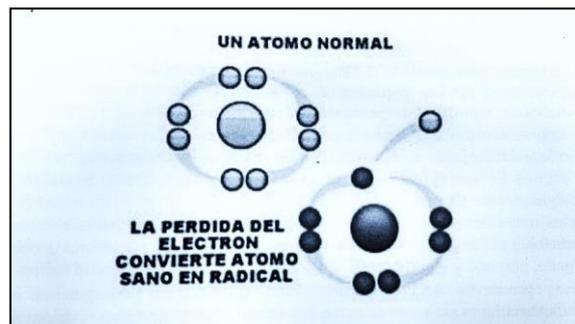


Figura 4. Un átomo normal se puede convertir en un radical libre por la pérdida de un electrón.

Fuente. (Madrid, 2012)

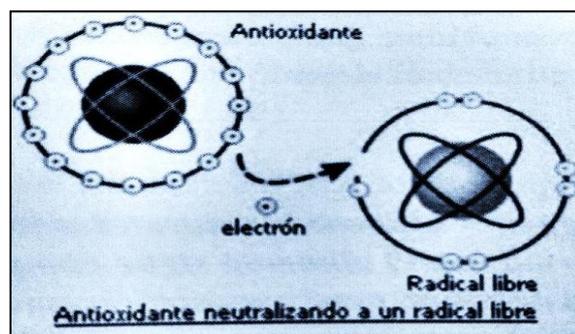


Figura 5. Los antioxidantes son sustancias capaces de ceder un electrón a los radicales libres para que se estabilicen.

Fuente. (Madrid, 2012)

A pesar de la mala propaganda de los radicales libres, éstos los produce el organismo porque son necesarios, ya que realizan varias funciones, tales como apoyo al sistema inmunológico (luchan contra infecciones por bacterias y virus). El problema es cuando tenemos un exceso de radicales libres, que puede ser provocado por diversas causas, tales como: una alimentación rica en grasas saturadas, el tabaco, el alcohol, la contaminación, la exposición excesiva al sol, un ejercicio físico muy intenso, etc.

A continuación se detalla las sustancias antioxidantes presentes en alimentos:

- Vitamina A, que contiene el betacaroteno que es un poderoso antioxidante que se encuentra en los vegetales de color verde, rojo o amarillo, tales como zanahorias, espinacas, melocotones, cerezas, melones, etc.
- Vitamina C, que se encuentra presente en frutas (kiwi, mango, piña, melón, tomate, naranja, etc.) y en verduras (lechugas, acelgas, espinacas).
- Vitamina E, que se encuentra en el germen de trigo, frutos secos, lechugas, acelgas, aceites de soja y oliva, etc.
- Sales minerales como el selenio (se encuentran en carnes, pescados, huevos y cereales), el zinc (se encuentra en carnes, vísceras y legumbres), cobre (en hígado, pescado y legumbres).
- Otros productos vegetales como flavonoides (protegen el sistema cardiovascular y se encuentran en los frutos rojos y morados, cítricos y hojas verdes), las isoflavonas (son potenciadores de la acción antioxidante de las vitaminas C y D), carotenoide (los alfa y beta carotenos son precursores de la vitamina A, y se encuentran en las zanahorias, espinacas, tomates, cítricos, etc.), licopeno (es un colorante casi exclusivo del tomate, y una sustancia con fuerte poder antioxidante), quercitina (potente antioxidante que se encuentra en frutas, uvas, cebollas, té verde, vino tinto, etc.), catequinas y tocoferoles (potentes antioxidantes que se encuentran en el té verde y en el cacao).

2.3.1 ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE

La actividad antioxidante de un alimento, a diferencia de la sola medición del contenido de un antioxidante determinado, la medición de la actividad antioxidante de un alimento permite cuantificar la capacidad o actividad que tendrían todos los compuestos antioxidantes presentes, entre los que se encuentran vitaminas, carotenoides, polifenoles, flavonoides; que actúan simultáneamente como una mezcla de compuestos antioxidantes (INTA, 2011). No obstante, Al medir individualmente cada uno de los diferentes antioxidantes procedentes del alimento, no se puede obtener el valor real de la capacidad antioxidante total ya que existen efectos de sinergia entre ellos que pueden alterar el valor de la capacidad total (Gutiérrez, Ledesma, García & Grajales, 2007, citado en Pérez, 2014).

Según Shofian et al. (2011) “los procesos de post-cosecha, como el secado, corte, almacenamiento, envasado, fermentación, y la cocina, etc. podría afectar a la composición de compuestos fenólicos y actividad antioxidante de los alimentos”. Así mismo Valero, Colina & Ineichen, (2012) consideran “que el tratamiento térmico es una de las principales causas del cambio en el contenido de antioxidantes naturales en los alimentos”.

“Estudios recientes indican que la mashua 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).

Asimismo, Calsin, Aro, & Tipacti, (2016) afirman que la mashua presenta un alto contenido de compuestos antioxidantes, como fenólicos, antocianinas, carotenoides y capacidad antioxidante comparados a otros tubérculos andinos (papa, olluco, oca). Los fitoquímicos responsables de la capacidad antioxidante están relacionados con los compuestos fenólicos y carotenoides.

En una investigación del 2009, Cuya comparó dos métodos de secado; en bandejas y atomización, sobre la actividad antioxidante de la mashua, en la que se obtuvo que el método de secado por atomización resultó con mayor retención de la actividad antioxidante hidrofílica al utilizar los siguiente niveles: encapsulante 10%; temperatura de entrada 160°C y velocidad de atomizador de 30000 rpm, en contraste con el método de secado en bandeja que dio la menor retención al utilizar la temperatura de 40°C.

Palacios (2012) menciona en su investigación que al someter la mashua entera a un proceso de blanqueado por microondas o ebullición durante 3 minutos, se obtiene mayor contenido de compuestos fenólicos. Sin embargo se conserva mejor los carotenoides totales blanqueando mashua entera o cortada por microondas. Por otro lado, al blanquear la mashua entera o cortada por ebullición se obtiene mayor retención de la capacidad antioxidante.

Según Paucar (2014) en su estudio realizado en dos variedades de mashua determinaron la capacidad antioxidante por el método ABTS en estado fresco, seco y cocido. Donde la variedad amarilla chaucha no presentó cambios al comparar la muestra fresca de la seca y cocida. Sin embargo, la variedad zapallo presentó un aumento después de la cocción de la capacidad antioxidante de 6,59 uMTrolox/g base seca a 7,17 uMTrolox/g base seca, en relación al estado fresco.

Claudio y Nájera (citado en Paucar, 2014) consideran que tanto la temperatura como el tiempo de cocción pueden afectar las propiedades antioxidantes de las frutas y verduras ya sea aumentando o disminuyendo esta actividad. Sin embargo la degradación de pigmentos (antocianinas y carotenos) podría resultar en la formación de compuestos bioactivos beneficiosos como los beta-carotenos que también presentan propiedades antioxidantes.

En una investigación de Roca & Manrique (2005) señalan que existen cultivares que además de carbohidratos contienen compuestos químicos con diferentes propiedades. Tal es el caso del camote, las papas nativas, la mashua y la oca que tienen un alto contenido de

actividad antioxidante, en la siguiente tabla se describe la actividad antioxidante de diferentes tubérculos andinos.

Tabla 3. Actividad antioxidante de algunas raíces y tubérculos andinos.

Especie	μMTrolox/g bh
Camote	2119-15573
Papas nativas	2366-3499
Mashua	1179-10002
Oca	1738-8092
Yacón	832-5082
Olluco	432-1524

Roca & Manrique, (2005)

El contenido de antocianinas y compuestos fenólicos de la mashua es muy alto, sobre todo en los cultivares de pulpa púrpura o morada. La actividad antioxidante de la mashua es entre 2 y 5 veces más alta que la del blueberry o arándanos (*Vaccinium stamineum*).

2.4 DESHIDRATACIÓN

2.4.1 ASPECTOS GENERALES SOBRE LA DESHIDRATACIÓN DE ALIMENTOS

“El proceso de deshidratación tiene como objetivo conservar la calidad de los alimentos mediante la disminución del contenido de humedad, lo que evita la contaminación microbiológica de los productos durante el almacenamiento y alarga su tiempo de vida útil” (Fernández, Muñiz , García, Cervantes, & Fernández, 2015).

Sobre todo es una técnica adecuada para preservar los productos agrícolas y a la vez para reducir los costos de empaque, transporte y almacenamiento. Aunque el proceso de secado es más rápido a medida que sea mayor la temperatura, todos los materiales orgánicos son sensibles a la temperatura, más que todo en sus propiedades organolépticas y su valor nutricional (Barraza, Rojas y Moscol, 2013).

Cabe destacar que el secado por flujo de aire caliente es uno de los procesos más utilizados para la deshidratación de frutas por ser eficiente, productivo, económico y de fácil manejo gracias a las nuevas tecnologías. Este método de deshidratación, elimina el agua de los alimentos por medio de calor mediante la evaporación, lo que impide el crecimiento de algunas bacterias que no pueden vivir en medios secos (Vásquez Osorio et al., 2014, citado en Fernández et al., 2015).

Además, aspectos como la geometría y espesor del producto a secar, al igual que las propiedades del aire utilizado en el proceso (humedad relativa, temperatura y velocidad del aire), inciden directamente en la pérdida de humedad del material a deshidratar, y por lo tanto, en la cinética de secado de los mismos (Salcedo, Mercado, Vanegas, Fernández, & Vertel, 2014).

En otras palabras la deshidratación implica una mayor reducción del agua a 3 a 6% mediante la evaporación o la sublimación; nunca se llega a 0% ya que esto significa eliminar el agua que está muy ligada al sólido, para lo cual se requiere aplicar tanta energía que daña y quema al producto. La transferencia de energía y la evaporación se facilita con la reducción del tamaño del producto y con las temperaturas elevadas, aun cuando se corre el riesgo de que el exterior se deshidrate rápidamente, forme una costra y no permita la salida del agua interior (Badui, 2012). Sin embargo, “el proceso de secado de alimentos no sólo rebaja su contenido en agua, sino que puede afectar otras características físicas y químicas de los mismos, como son destrucción de nutrientes, reacciones enzimáticas y no enzimáticas, entre otras” (Ibarz & Barbosa, 2005/2011).

En la actualidad, muchos alimentos deshidratados sirven de base para el desarrollo y la formulación de nuevos productos, ya que éstos al ser fuentes de proteínas, vitaminas, minerales, fibra dietética y antioxidantes, son considerados como componentes o ingredientes de alimentos funcionales, debido a su fácil incorporación en productos lácteos (leches, postres, yogurt, helados), galletas, pasteles, sopas instantáneas y en platos preparados (Marín, Lemus, Flores, & Vega, 2006).

2.4.2 SECADO CONVECTIVO

La convección es posiblemente el modo más común de secar sólidos en forma de partículas o en forma de hojas o pastosos. El calor es suministrado por aire caliente o gas que fluye sobre la superficie del sólido. El calor para la evaporación se suministra por convección a la superficie expuesta del material y la humedad evaporada transportada por el medio de secado. En los sistemas de secado convectivo se pueden utilizar aire (más común), gas inerte (como N₂ para secar sólidos mojados con disolvente orgánico), gases de combustión directa o vapor sobrecalentado (o vapor de disolvente). Tales secadores también se llaman secadores directos. En el periodo de secado inicial constante (secado en el que se elimina la humedad superficial), la superficie sólida toma la temperatura del bulbo húmedo correspondiente a las condiciones de temperatura y humedad del aire en el mismo lugar. En el periodo de velocidad de caída la temperatura de los sólidos se aproxima a la

temperatura del bulbo seco del medio. Estos factores deben tenerse en cuenta al secar sólidos sensibles al calor (Mujumdar, 2015).

2.4.3 PSICROMETRÍA

Fellows (2009/2011) indica que existen tres factores interrelacionados que controlan la capacidad del aire para eliminar agua de un alimento:

1. La cantidad de vapor de agua que ya hay en el aire.
2. La temperatura del aire.
3. La cantidad de aire que pasa sobre el alimento.

La cantidad de vapor de agua en el aire se expresa mediante el término humedad absoluta (llamado contenido de agua) o mediante el término humedad relativa (HR) (en tanto por ciento). La psicrometría es el estudio de las propiedades de los sistemas aire-vapor de agua. Estas propiedades se representan en un diagrama psicrométrico (Fig. 6). Para que tenga lugar el secado, el alimento absorbe calor del aire, teniendo lugar la evaporación del agua de la superficie. La temperatura del aire se denomina temperatura de bulbo seco, y se mide mediante un termómetro de bulbo. Si el bulbo está cubierto por una tela húmeda, la evaporación del agua de esta tela roba calor y la temperatura disminuye. Esta temperatura menor es la llamada temperatura de bulbo húmedo. La diferencia entre las dos temperaturas se usa para determinar la humedad relativa del aire en el diagrama psicrométrico.

Un aumento de la temperatura del aire o una reducción en la humedad relativa, provoca que el agua se evapore más rápidamente desde una superficie húmeda, lo que a su vez causa una mayor disminución de la temperatura. El punto de rocío es la temperatura a la cual el aire está saturado de agua (100% HR), de forma que cualquier enfriamiento que se lleve a cabo resulta en condensación de parte del agua presente en el aire. Las líneas de enfriamiento adiabático son líneas rectas paralelas que muestran cómo disminuye la humedad relativa cuando aumenta la temperatura del aire.

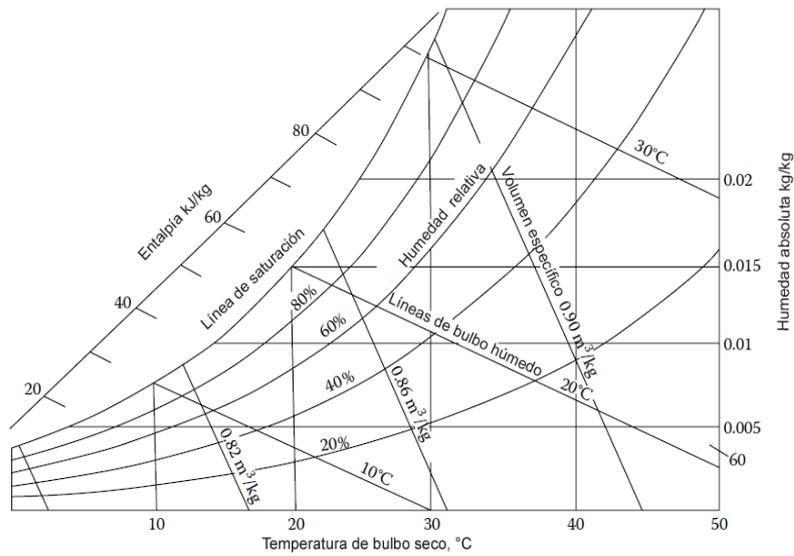


Figura 6. Diagrama psicrométrico.

Fuente. (Sokhansanj & Jayas, 2015)

La utilidad de un gráfico psicrométrico en un proceso de deshidratación adiabática como se muestra en la Figura 7. El punto 1 es la condición del aire ambiente. El punto 2 es el aire después de calentarse a una cierta temperatura, T2. El punto 3 es la condición de salida del aire de secado después de haber pasado a través del secador. En el proceso de secado, el aire se ha enfriado al tomar la humedad del producto. A menudo, la línea entre los puntos 2 y 3 es una línea recta y es paralela a la temperatura del bulbo húmedo (Sokhansanj & Jayas, 2015).

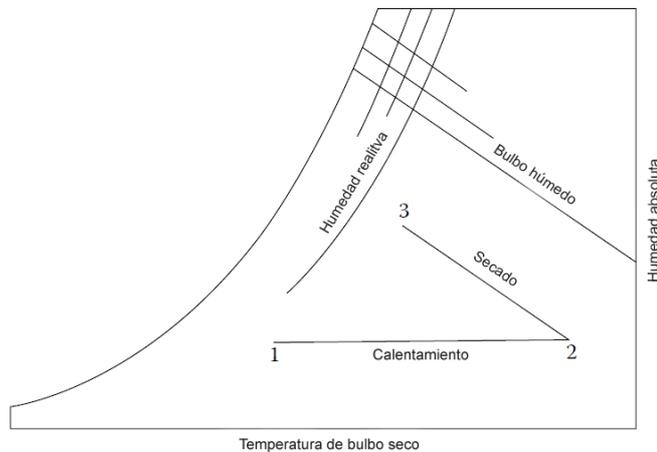


Figura 7. Secado adiabático en una tabla psicrométrica.

Fuente. (Sokhansanj & Jayas, 2015)

2.4.4 SELECCIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DEL ALIMENTO ANTES DE LA DESHIDRATACIÓN

Cualquier alimento que se desee deshidratar, debe ser sometido a una selección y acondicionamiento, las cuales implican lo siguiente:

2.4.4.1 Selección de la materia prima

En las frutas y hortalizas debe seleccionarse la variedad y el estado de madurez, en la primera puede depender de características físicas, químicas o sensoriales y en la segunda dependiendo del producto que se va a obtener ya sea en trozos, hojuelas o bien polvo o escamas. Cuando se deshidratan frutas enteras o segmentos de ellas, la textura debe ser lo suficientemente rígida como para soportar el proceso de deshidratación, por lo que deben deshidratarse frutas en estado de madurez poco avanzado, pero cuando se desea deshidratar jugos o purés, debe utilizarse un estado de madurez más avanzado que proporcione óptimas características de olor y sabor (Colina, 2010).

2.4.4.2 Acondicionamiento

Utilizar operaciones previas como la limpieza de la materia prima, en algunos alimentos se puede eliminar la piel o cascara, la eliminación de semillas, el troceado y el despulpado. Además, algunos alimentos necesitan de pretratamientos, los cuales ayudan a mejorar la calidad del producto terminado, entre ellos tenemos; sulfitaciones, soluciones de calcio, antioxidantes y el escaldado. El escaldado al ser utilizado en la mashua ayuda a inactivar los isotocianatos que son compuestos bioactivos causantes del sabor picante.

2.4.5 NATURALEZA DEL AGUA DE UN ALIMENTO

El agua contenida en los alimentos se clasifica en tres tipos de agua:

2.4.5.1 Agua ligada

Las moléculas de agua están unidas a grupos iónicos, tales como grupos carboxílicos y grupos amino. Esta agua se comporta en la práctica como parte integrante del sólido aunque puede ser en cierta medida retirada mediante algunas técnicas de desecación, no puede ser congelada y no puede participar en reacciones químicas (Colina, 2010; Rodríguez & Magro, 2008).

En esta zona la porción de agua que contiene el producto está sumamente ligada, actúan fuerzas de Van der Waals muy intensas. Particularmente las macromoléculas polares como las proteínas, están más o menos saturadas por una capa monomolecular de agua estrechamente ligada, por lo tanto las moléculas están orientadas. El agua se encuentra entonces en estado rígido (Casp & Abril, 2003).

2.4.5.2 Agua débilmente ligada

Las moléculas de agua se encuentran unidas por puentes de hidrógeno a grupos hidroxílicos y amino, así como a otras moléculas de agua en múltiples capas adyacentes a los solutos (Colina, 2010).

Las moléculas de agua están ligadas más débilmente. Además, la entalpía de vaporización es ligeramente superior a la del agua pura. Por lo tanto, esta agua está disponible para algunas reacciones bioquímicas (Casp & Abril, 2003).

2.4.5.3 Agua Libre

Es agua retenida físicamente por las membranas celulares, además de que se comporta como agua pura. El agua libre se puede intercambiar rápidamente con el agua débilmente ligada no pudiendo establecerse con precisión el límite entre ambas (Colina, 2010; Rodríguez & Magro, 2008).

Es la única fracción de agua verdaderamente disponible para las reacciones químicas, enzimáticas, etc. En estas condiciones el crecimiento microbiano es la causa más importante de deterioro de los alimentos, por esta razón a veces se le llama agua biológica (Casp & Abril, 2003).

2.4.6 CONTENIDO DE HUMEDAD Y ACTIVIDAD DE AGUA DE LOS ALIMENTOS

Según (Sharma, Mulvaney, & Rizvi, 2003) el contenido de humedad de un alimento puede representarse a base de masa húmeda o masa seca del producto. El contenido de humedad en base húmeda:

2.4.6.1 Contenido de humedad en base húmeda

Se determina mediante la expresión:

$$X_{bh} = \frac{\text{Masa de agua (kg agua)}}{\text{Masa inicial del producto húmedo (kg de alimento)}}$$

2.4.6.2 Contenido de humedad en base seca

Esta expresión se utiliza en cálculos de curvas de secado y se determina mediante la siguiente expresión:

$$X_{bs} = \frac{\text{Masa de humedad (kg agua)}}{\text{Masa de materia seca (kg sólidos)}}$$

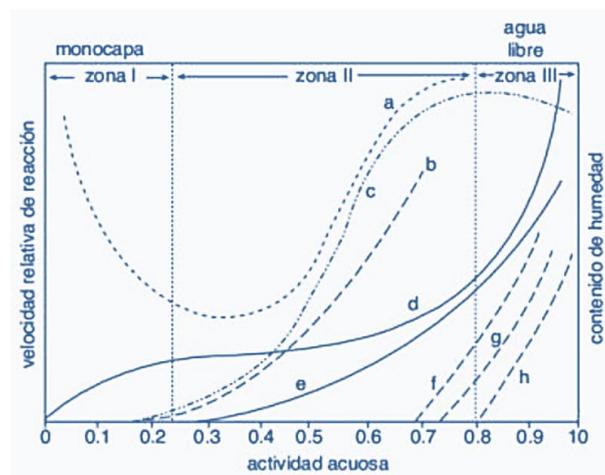
$$\text{Masa de materia seca} = \text{masa de producto húmedo} - \text{masa de humedad}$$

2.4.6.3 Humedad de equilibrio

Es aquella humedad límite del sólido que alcanza cuando se encuentra en contacto durante un tiempo suficiente con aire de temperatura y humedad determinadas y constantes; es decir el sólido al estar inmerso en este ambiente alcanza las condiciones de equilibrio entre el sólido húmedo y el aire que lo rodea.

2.4.6.4 Actividad de agua (a_w)

Según (Badui, 2013; Colina, 2010) es el agua disponible que contiene un alimento para realizar las siguientes reacciones químicas y bioquímicas que puede suscitarse en dicho alimento. Es decir, es una medida del agua libre de dicho alimento.



- a) oxidación de lípidos; b) reacciones hidrolíticas; c) oscurecimiento no enzimático;
- d) isoterma de adsorción; e) actividad enzimática; f) crecimiento de hongos;
- g) crecimiento de levaduras y h) crecimiento de bacterias.

Figura 8. Cambios que ocurren en los alimentos en función de la actividad de agua.

Fuente. (Badui, 2013)

En la figura 7 la zona III representa el agua libre, se encuentra en macrocapilares y forma parte de las soluciones que disuelven las sustancias de bajo peso molecular, es la más abundante, fácil de congelar y evaporar, se elimina con facilidad y es la más disponible para el crecimiento de microorganismos y las reacciones químicas y enzimáticas. Cuando

se ha eliminado toda el agua de la zona III, el contenido de humedad del alimento está entre 35 y 15%, y 0.8 de actividad de agua, aunque desde luego depende del tipo de producto y de la temperatura.

La zona II constituye el agua débilmente ligada, se localiza en diferentes capas más estructuradas y en microcapilares; es más difícil de eliminar que el agua libre, pero conforme va desapareciendo este tipo de agua se imposibilita el crecimiento microbiano, las reacciones químicas y enzimáticas. Cuando se ha eliminado dicha agua, el producto contiene aproximadamente de 3 a 12% de humedad y la actividad de agua es de alrededor de 0,25.

La zona I corresponde al agua ligada, en la gran mayoría de alimentos deshidratados no se elimina esta agua, debido a que su eliminación es sumamente difícil. Además, se emplearía demasiada energía y esto conduciría a un deterioro físico, químico y sensorial del producto.

Cuando el producto contiene gran cantidad de carbohidratos, especialmente polisacáridos y otros hidrocoloides que poseen gran capacidad para retener agua, el alimento puede contener un porcentaje relativamente alto de agua (8 a 12%) pero con valores reducidos de actividad de agua.

2.4.7 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA VELOCIDAD DE DESHIDRATACIÓN DE UN ALIMENTO

En las condiciones de proceso tenemos factores como:

2.4.7.1 Temperatura de aire de entrada

Cuando se emplea aire a altas temperaturas se incrementa la velocidad de transferencia de calor y como consecuencia mayor velocidad de evaporación. Además, trae consigo la disminución de la humedad relativa del aire y ayuda a acelerar la remoción de agua del producto. No obstante, emplear temperaturas altas conlleva el desarrollo de reacciones física y químicas indeseables. Por lo tanto, se debe encontrar temperaturas adecuadas que permitan la mayor velocidad de deshidratación y garantice la calidad del producto (Colina, 2010).

El secado o deshidratación de vegetales a altas temperaturas afecta las propiedades organolépticas del producto y su valor nutricional; durante esta operación pueden cambiar la textura, el color, la densidad, la porosidad y las características de adsorción de materiales; también se pueden presentar los fenómenos de endurecimiento y encogimiento, por lo que la temperatura de secado es una variable a tener en cuenta en los estudios cinéticos, pues aunque temperaturas elevadas pudieran acelerar el proceso, la pérdida de calidad del producto no compensaría la reducción de tiempo del proceso (Hincapié, Omaña, Hincapié, Arias, & Vélez, 2010).

2.4.7.2 Velocidad de aire

La velocidad del aire del secador tiene como funciones principales, en primer lugar, transmitir la energía requerida para calentar el agua contenida en el alimento facilitando su evaporación. En segundo lugar, ayuda a transportar la humedad saliente del material. La velocidad de secado aumenta a medida que incrementa la velocidad de aire que fluye sobre

el alimento. A mayor velocidad, mayor será la tasa de evaporación y menor el tiempo de secado (Sánchez, 2015).

Al incrementar velocidad de aire altas, se aumenta la velocidad de transferencia de masa por convección y a su vez aumenta la velocidad de deshidratación. Sin embargo, velocidades excesivamente altas del aire provocan arrastre del producto, incremento de costos de operación debido al mayor gasto energético requerido para calentar y hacer circular una mayor masa de aire (Colina, 2010).

2.4.7.3 Composición química

Algunos solutos como azúcares, almidones, gomas, proteínas y sales, interactúan con el agua del alimento, disminuyendo la velocidad de transporte de agua y por consiguiente la velocidad de deshidratación (Colina, 2010).

2.4.7.4 Estructura celular

En la mayoría de los alimentos un fragmento del agua está contenido dentro de las células (agua intracelular) y el resto del agua se encuentra fuera de ellas (agua intercelular). La primera es más difícil de remover, ya que debe difundirse a través de la membrana celular. El escaldado puede romper las estructuras celulares y facilitar la migración del agua, pero puede provocar un producto deshidratado con una baja calidad e incluso inaceptable (Colina, 2010).

2.4.7.5 Forma y tamaño del producto

Cuando los alimentos se rebanan o cortan en finos segmentos aumenta su área superficial y esto facilita la deshidratación, ya que disminuye el grosor del producto y, por tanto, se

reduce la distancia entre cualquier punto interno del alimento y la superficie (Colina, 2010).

2.4.8 CAMBIOS EN LOS ALIMENTOS DURANTE LA DESHIDRATACIÓN

El secado de los alimentos disminuye la actividad de agua (A_w), evitando el crecimiento de microorganismos como bacterias, levaduras y hongos. Durante y después del secado de los alimentos ocurren cambios químicos, físicos y organolépticos, tales como la reducción de la actividad de agua, reducción de la actividad enzimática, degradación de vitaminas hidrosolubles, oxidación de lípidos y desnaturalización de proteínas; el cambio físico más marcado es la reducción de peso y volumen, la cual facilita el transporte y almacenamiento de los alimentos (Díaz, 2010).

2.4.9 MECANISMOS DE ELIMINACIÓN DEL AGUA EN ALIMENTOS

Colina (2010) da a conocer que la eliminación de agua en productos ya sea en piezas de tejido animal y vegetal, se da por movimientos complejos que incluyen fuerzas capilares, difusión del líquido debido a gradientes de concentración y difusión superficial, entre otros. Además, durante el proceso de deshidratación, el producto puede presentar posibles cambios en las propiedades físicas y químicas.

Por lo general, la deshidratación de alimentos sólidos sigue una secuencia de eventos, que pueden resumirse de la siguiente manera:

Al iniciar la deshidratación, la estructura celular de los tejidos animales y vegetales se encuentran intactas, estas tienen capilares estrechos debido a su estructura porosa por donde se da el movimiento del agua hacia la superficie para su eliminación, por lo tanto a este mecanismo de eliminación de agua se le denomina capilaridad. En la figura 8 se observa la migración de agua por capilaridad en la primera etapa de la deshidratación.

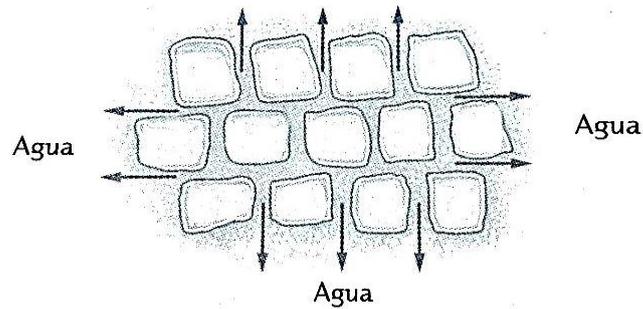


Figura 9. Células enteras, el agua se elimina por capilaridad.

Fuente. (Colina, 2010)

A medida que el agua se elimina de la superficie húmeda, los poros y capilares disminuyen llegando a que los elementos estructurales del sólido se junten. Los elementos estructurales del producto se encogen a medida que se evapora más agua, provocando la reducción de los capilares. Por lo tanto el agua empieza a moverse de una mayor concentración hacia una con menor concentración, es lo que se denomina como difusión molecular. En la figura 9 se observa la migración de agua en las últimas etapas de la deshidratación, cuando las células están ligeramente compactadas aún puede eliminarse por capilaridad o cuando las células se deforman la eliminación del agua será por difusión.

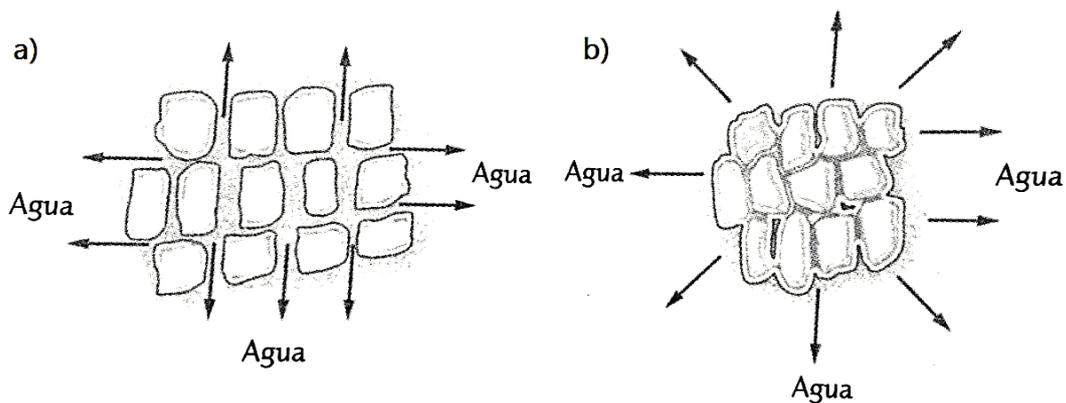


Figura 10. a) Eliminación del agua por capilaridad; b) Eliminación del agua por difusión.

Fuente. (Colina, 2010)

El mecanismo de eliminación de agua influye en la apariencia física del producto final tal y como se observa en la figura 10.

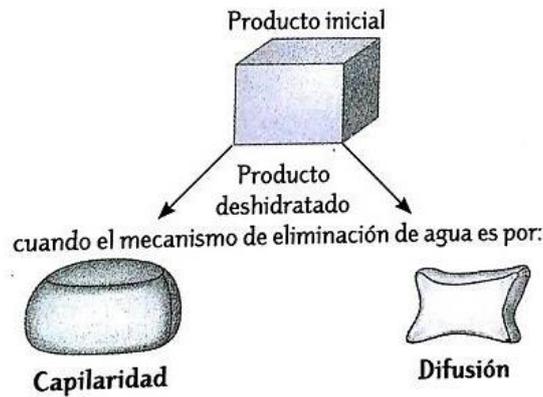


Figura 11. Aspecto físico de un producto deshidratado de acuerdo con el mecanismo de eliminación de agua.

Fuente. (Colina, 2010)

Para conocer el mecanismo por el que se elimina la humedad en un producto determinado, puede graficarse el cociente $(W - W_e / W_c - W_e)$, donde W es la humedad inicial; W_e es la humedad de equilibrio y W_c es la humedad crítica.

Si en dicha gráfica se obtiene una línea recta uniforme, puede asumirse que el agua se elimina por capilaridad. Si la línea se hace asintótica a una línea recta, conforme aumenta el tiempo, se considera difusión.

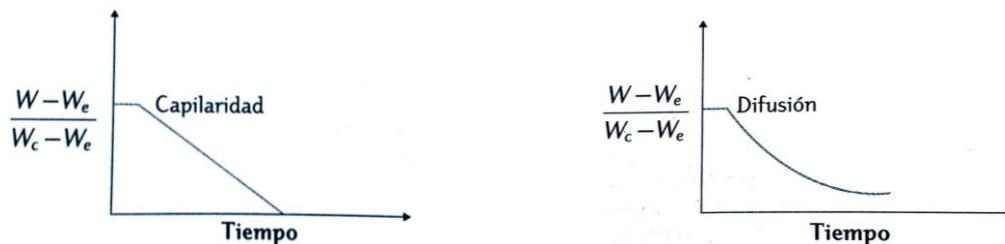


Figura 12. Gráficas del mecanismo de eliminación de agua.

Fuente. (Colina, 2010)

La difusión de la humedad líquida se verifica cuando existe una diferencia de concentración entre el interior del sólido y la superficie. Este método de transporte de humedad casi siempre se presenta con sólidos no porosos, en los que se forman soluciones de una sola fase con la humedad, como en una pasta, un jabón, una gelatina y pegamento. También es el caso del secado de las últimas porciones de humedad en arcillas, harinas, madera, cuero, papel, almidones y textiles. En el secado de muchos materiales

alimenticios, el movimiento del agua durante el periodo de velocidad decreciente se verifica por difusión. Cuando se están secando sólidos granulares y porosos como arcillas, arena, tierra, pigmentos para pinturas y minerales, la humedad libre o sin combinar se desplaza a través de capilares y espacios vacíos de los sólidos por acción capilar, y no por difusión (Geankoplis, 2006).

Por otro lado Sablani & Rahman, (2008) mencionan que la eliminación de agua de un alimento se puede dar a través de posibles mecanismo de transporte de agua líquida como son el flujo capilar, la difusión superficial y la difusión líquida; mientras que el mecanismo de transporte de vapor de agua consiste en la difusión de Knudsen, la difusión mutua, la difusión de Stefan, el flujo de Poiseuille y la condensación- evaporación, sin embargo la literatura de secado de alimentos ha utilizado predominantemente la difusión como mecanismo para describir la migración de humedad.

Transporte de agua líquida

Flujo capilar: La humedad que se mantiene en los intersticios de los sólidos, como líquido en la superficie o como humedad libre en las cavidades celulares, se mueve por gravedad y capilaridad, siempre que estén presentes los pasajes para el flujo continuo. En el secado de alimentos, el flujo de líquido resultante de la capilaridad se aplica a toda la humedad por encima del contenido de humedad de equilibrio a la saturación atmosférica, tal como en polvos finos y sólidos granulares.

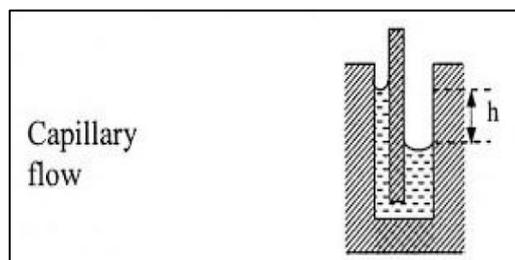


Figura 13. Flujo capilar.

Fuente. (Sablani & Rahman, 2008)

Difusión líquida: La difusión líquida es el movimiento de partículas líquidas finas en sólidos desde una región de mayor concentración a una región de menor concentración.

Esta difusión está restringida al contenido de humedad de equilibrio por debajo de la saturación atmosférica.

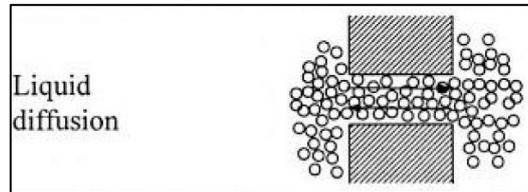


Figura 14. Difusión líquida.

Fuente. (Sablani & Rahman, 2008)

Difusión superficial: La difusión superficial se observa durante la adsorción de una sustancia difusora por un sólido. Debido a que la concentración de gas de superficie de equilibrio aumenta con el aumento de la presión parcial de las especies adsorbidas. Aparece un gradiente de concentración superficial de una sustancia difusora en la capa superficial de un poro. Bajo ciertas condiciones tales como altas temperaturas, esto puede mejorar el flujo total de un componente difusor.

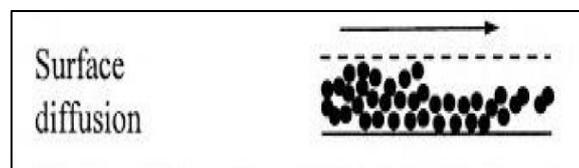


Figura 15. Difusión superficial.

Fuente. (Sablani & Rahman, 2008)

Transporte de vapor de agua

Evaporación de la condensación: El vapor de agua dentro de los sólidos se condensa cerca de la superficie. Esto supone que la condensación es igual a la velocidad de evaporación en la superficie del sólido y no permite la acumulación de agua en los poros cerca de la superficie. Esta teoría tiene en cuenta la difusión simultánea de calor y masa, que supone que los poros son una red continua de espacios en el sólido.

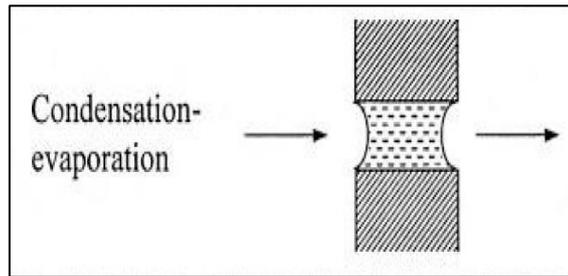


Figura 16. Evaporación de la condensación.

Fuente. (Sablani & Rahman, 2008)

Difusión de Knudsen: Este tipo de difusión se produce en sólidos llenos de gas con poros pequeños, o bajo presión baja cuando el trayecto libre de las moléculas es más que el tamaño del poro y las moléculas chocan con las paredes con más frecuencia que entre sí. La reflexión de las moléculas desde las paredes es normalmente difusa. En este caso, el flujo de agua es una función de la densidad de vapor y la difusividad de vapor de Knudsen dentro del producto. El tamaño y la cantidad de poros, la tortuosidad y la geometría de la matriz sólida afectan al flujo de vapor de agua.

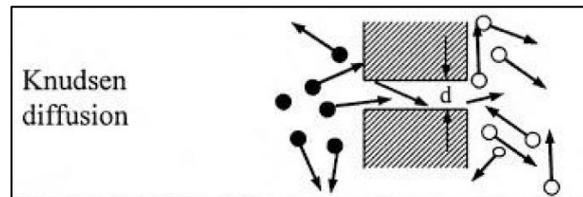


Figura 17. Difusión de Knudsen.

Fuente. (Sablani & Rahman, 2008)

Difusión mutua: Este tipo de difusión es predominante en sólidos con poros grandes, cuyo tamaño es mucho más que el trayecto libre de las moléculas de vapor difusoras. Los papeles que Knudsen y las difusiones mutuas realizan son mensurables dentro de un cierto rango de tamaños de poro y presiones de gas.

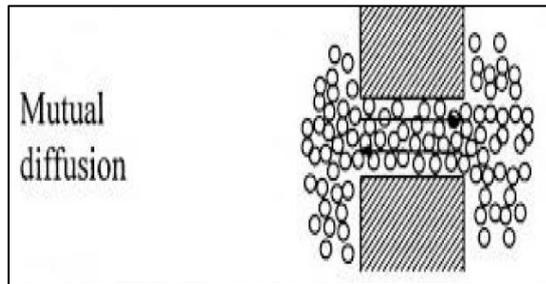


Figura 18. Difusión mutua.

Fuente. (Sablani & Rahman, 2008)

Flujo de Poiseuille: El flujo de Poiseuille es un flujo inducido por presión en un conducto largo. También se llama flujo de canal. En este caso, se supone que hay flujo laminar de un fluido newtoniano incompresible inducido por una diferencia de presión positiva constante o caída de presión.

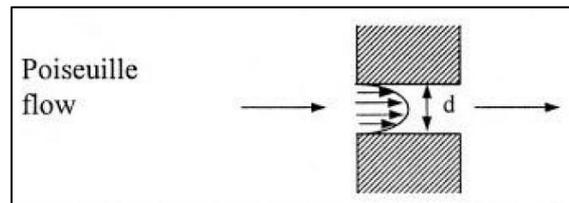


Figura 19. Flujo de Poiseuille

Fuente. (Sablani & Rahman, 2008)

Stefan difusión: La difusión de Stefan es una difusión de vapor de agua de una superficie de material húmedo (que se seca) y se difunde en una capa límite de aire (estancada).

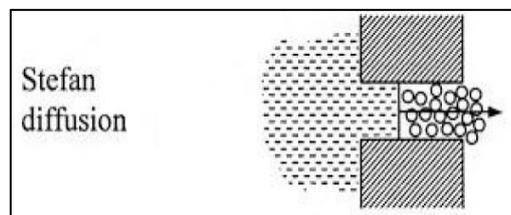


Figura 20. Stefan difusión.

Fuente. (Sablani & Rahman, 2008)

2.4.10 PERIODOS DE SECADO

Según Casp & Abril (2003) el proceso de secado está normalmente dividido en tres fases: una fase inicial de precalentamiento, seguido de otra de velocidad de secado constante y una o más fases de velocidad de secado decreciente. En la figura 21 se muestra la curva de secado obtenida cuando se representa el contenido de humedad contra el tiempo de secado.

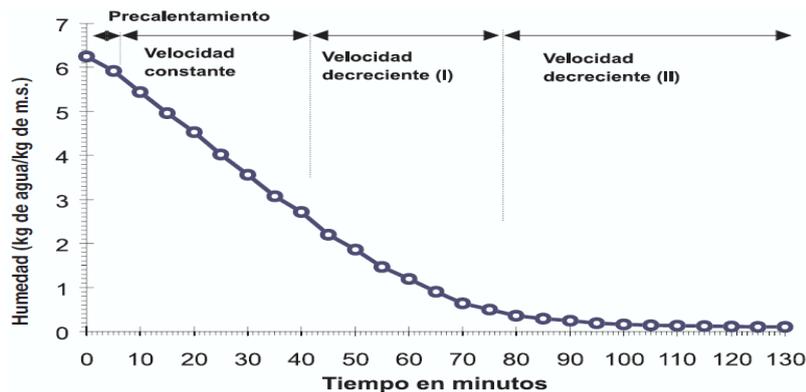


Figura 21. Periodos del secado.

Fuente. (Casp & Abril, 2003)

En el secado por convección, por lo tanto, se pueden distinguir las siguientes etapas clásicas, diferenciadas entre sí por la velocidad de secado:

2.4.10.1 Periodo de precalentamiento

Este periodo transcurre mientras el producto y el agua en él contenida se calientan ligeramente, hasta alcanzar la temperatura de bulbo húmedo característica de ambiente secante.

2.4.10.2 Periodo de velocidad constante

En este periodo se produce una reducción importante del contenido de agua, el agua de imbibición se elimina con un flujo másico constante. La evaporación se efectúa en la superficie del producto, a temperatura constante, siendo ésta la de bulbo húmedo del aire.

Durante este periodo, el flujo de calor intercambiado entre el aire y el producto se utiliza enteramente para la evaporación del agua. Este periodo continúa mientras que la superficie del producto esté alimentada por agua libre líquida desde el interior, fundamentalmente por capilaridad. En la mayoría de los casos esta etapa de velocidad de secado constante finalizará cuando el contenido medio de humedad del producto alcance el valor de la humedad crítica (Casp & Abril, 2003). En la figura 22 se ilustra el periodo de velocidad constante.

En esta etapa lo que se evapora es el agua libre, que se elimina fácilmente y 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 velocidad de secado durante este período permanece constante. Esto hace que la temperatura de la superficie del alimento se mantiene próxima a la temperatura de bulbo húmedo del aire. Sin embargo, en la práctica, las distintas partes del alimento no se deshidratan a la misma velocidad, por lo que, la velocidad de deshidratación global va descendiendo gradualmente hasta el final del periodo de velocidad constante (Brennan, 2006; Colina, 2010; Fellows, 2009/2011; Geankoplis, 2006).

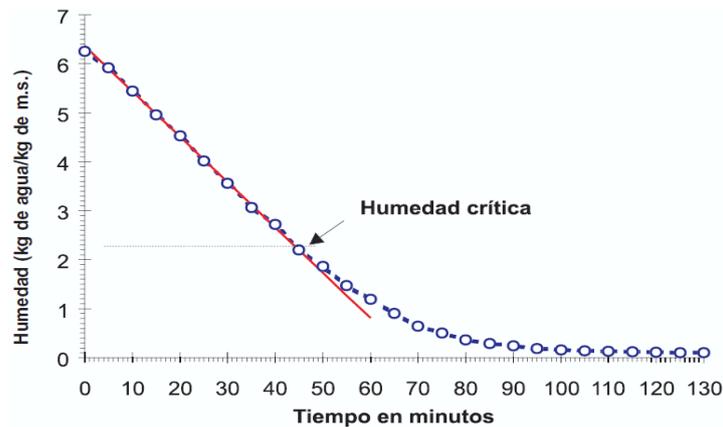


Figura 22. Periodo de velocidad de secado constante.

Fuente. (Casp & Abril, 2003)

2.4.10.3 Humedad crítica

Corresponde al contenido de humedad del producto cuando se ha eliminado prácticamente toda su agua libre y sólo resta agua debilmente ligada y agua ligada. Es el limite que establece el final del periodo de velocidad constante y el inicio del periodo decreciente. Normalmente se encuentra entre 15 y 45%, pero depende mucho de factores como: composición química (presencia de componentes hidrofílicos, como polisacáridos, proteínas, etc.), integridad de los tejidos, variedad y estado de madurez en frutas y verduras, para carne y pollo: raza, edad, alimentación, lugar de crianza (Colina, 2010).

En el periodo de velocidad constante, el principal mecanismo de transporte de masa es el flujo capilar de agua líquida, aunque puede existir alguna difusión de líquido. El mecanismo interno de flujo de la humedad no afecta a la velocidad de secado en este periodo, es el entorno secante, el aire, el que impone la velocidad de secado, que se incrementa al hacerlo la temperatura (Casp & Abril, 2003).

2.4.10.4 Periodo de velocidad decreciente

Comienza cuando la superficie del producto en contacto con el aire de secado alcanza el umbral de higroscopicidad (para los materiales higroscópicos). La brusca reducción de la superficie efectiva de transferencia, debida a una alimentación insuficiente de agua libre, es la causa de la disminución de la velocidad de secado. La migración del agua es cada vez más difícil y como consecuencia la transferencia de masa se convierte en el factor limitante. Los depósitos de solutos obstruyen los poros, el agua ligada migra bajo forma de vapor y la distancia a recorrer por el frente de vapor es cada vez mayor, todos estos factores frenan rápidamente la transferencia interna de agua (Casp & Abril, 2003).

Cuando el contenido en agua del alimento desciende por debajo de la humedad crítica, la velocidad de deshidratación se hace paulatinamente más lenta, acercándose a cero al

alcanzarse el contenido en agua en equilibrio. Los alimentos no higroscópicos poseen un solo periodo de velocidad decreciente, mientras que los higroscópicos poseen dos o más. La composición y la estructura del alimento son factores que influyen en la velocidad de secado en este período. Sin embargo, la ruptura de la pared celular mediante escaldado o mediante reducción de tamaño eleva la velocidad de secado, pero puede afectar inadecuadamente la textura del producto rehidratado. Además, las concentraciones elevadas de solutos tales como azúcares, sales, gomas, almidones, etc., aumentan la viscosidad del agua y disminuyen la actividad de agua, lo que reduce la velocidad de movimiento de la misma (Fellows, 2009/2011).

A partir del punto crítico, la temperatura de la superficie del sólido aumenta y se aproxima a la temperatura de bulbo seco del aire conforme el secado se acerca al final. Muchos trabajos de investigación afirman haber identificado dos o más períodos de velocidad decrecientes en donde hay varios puntos de inflexión en la curva de secado. Sin embargo, no hay una explicación aceptada para este fenómeno (Brennan, 2006).

2.4.10.5 Segundo periodo de velocidad decreciente

Llamado también periodo de velocidad final. Este periodo sólo existe para los materiales higroscópicos. El flujo másico se reduce más rápidamente que en el periodo anterior. En este periodo, el conjunto del producto está en el dominio de la higroscopía. En el alimento no queda más que agua ligada que se evacua muy lentamente (difusión-sorción). Esta fase se termina cuando el producto alcanza su humedad de equilibrio, que depende como es lógico, de las condiciones de secado (Casp & Abril, 2003).

Los periodos de velocidad decreciente se aprecian claramente si se representa la velocidad de secado (dx/dt : variación de la humedad con respecto del tiempo) contra la humedad por encima del equilibrio. En la figura 14 se puede identificar el tramo horizontal correspondiente a la velocidad constante y los tramos de velocidad decreciente (Casp & Abril, 2003).

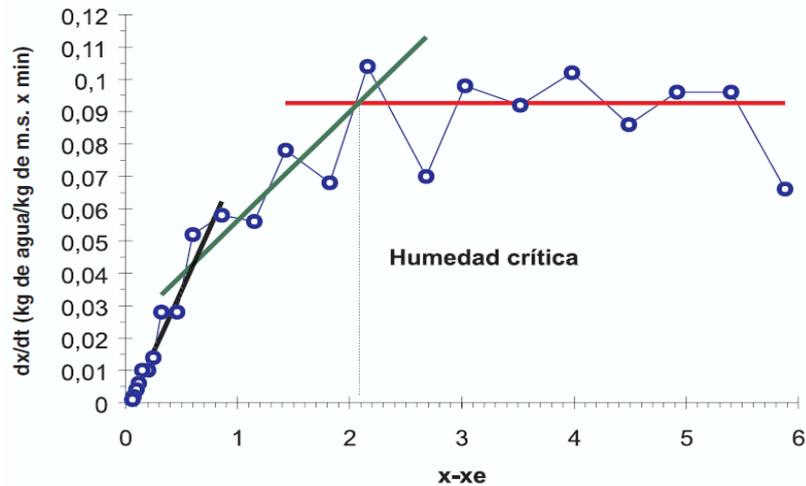


Figura 23. Periodos de velocidad decreciente.

Fuente. (Casp & Abril, 2003)

El periodo de velocidad decreciente, puede dividirse en dos etapas. La primera de ellas se da cuando los puntos húmedos en la superficie disminuyen continuamente hasta que la superficie está seca completamente, mientras que la segunda etapa del periodo de velocidad de secado decreciente se inicia, cuando la superficie está completamente seca, y el plano de evaporación se traslada al interior del sólido. El calor requerido para eliminar la humedad es transferido a través del sólido hasta la superficie de evaporación, y el vapor de agua producido se mueve a través del sólido en la corriente de aire que va hacia la superficie. A veces no existen diferencias marcables entre el primer y segundo periodo de velocidad decreciente. La cantidad de agua eliminada en este periodo puede ser baja, mientras que el tiempo requerido puede ser elevado, ya que la velocidad de secado es baja (Ibarz & Barbosa, 2005/2011; Geankoplis, 2006). “Como lo que se elimina en esta etapa es agua débilmente ligada, el proceso es cada vez más lento y su velocidad depende del mecanismo del movimiento de la humedad dentro del sólido ya sea por capilaridad o difusión” (Colina, 2010).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La presente investigación se realizó en el Departamento de Nutrición y Calidad de la Estación Experimental Santa Catalina, ubicada en el Cantón Mejía, Provincia de Pichincha.

Tabla 4. Datos climatológicos.

Parámetros	Unidad	Rango
Temperatura media	°C	13,8
Humedad relativa	%	66
Presión	KPa	70,69
Altitud	msnm	3058

Fuente. Estación Experimental Santa Catalina. Septiembre, (2015)

3.1.1 CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL AIRE EN EL PROCESO DE DESHIDRATACIÓN

Las propiedades del aire se determinaron con la carta psicrométrica a la presión de 70,69 kPa. En el cuadro 1 se detallan las temperaturas de bulbo húmedo y seco registradas cada día en el proceso de deshidratación.

Tabla 5. Registro de temperaturas.

DÍA	Temperatura de bulbo seco °C	Temperatura del bulbo húmedo °C	Humedad relativa °C
1	23	17	59,70
2	22	16	58,35
3	19	15	68,85
4	20	16	70,15
MEDIA	21	16	64,26

Con los datos de la tabla 5 y con el uso de la carta psicrométrica se obtienen las propiedades del aire para las temperaturas de 35°C y 45°C respectivamente.

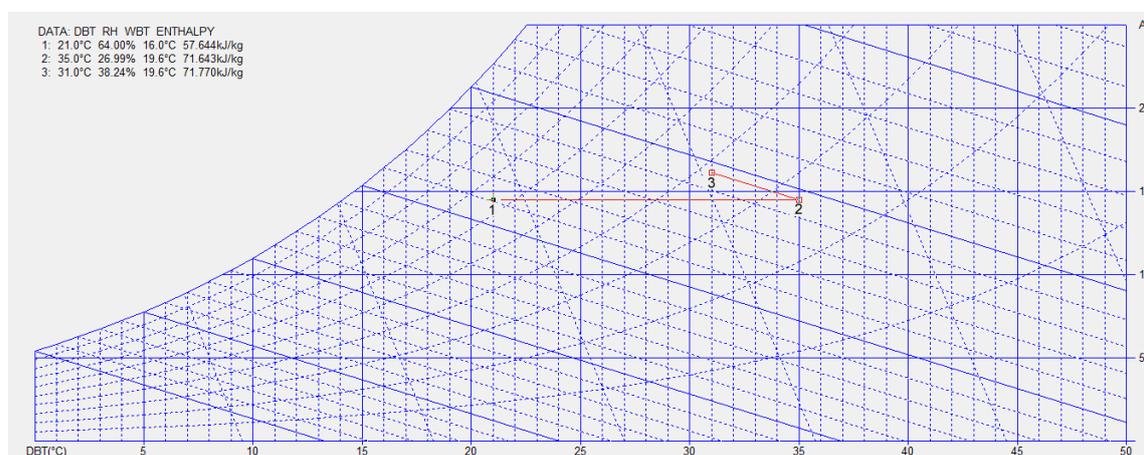


Gráfico 1. Carta psicrométrica a la temperatura de 35°C.

1= Aire inicial; 2=Aire calentado; 3=Aire humedecido

Tabla 6. Propiedades del aire a la temperatura de 35°C a 70,69 kPa.

Propiedad física	Aire (1) inicial	Aire (2) calentado	Aire (3) humedecido	Unidad
Temperatura de bulbo seco	21,00	35,00	31,00	°C
Humedad absoluta	0,01	0,01	0,02	KgH ₂ O/KgAs
Humedad relativa	64,00	26,99	38,24	%
Temperatura bulbo de húmedo	16,00	19,60	19,60	°C
Temperatura de rocío	14,14	14,14	15,75	°C
Entalpía	57,64	71,64	71,77	KJ/Kg
Volumen específico	0,85	0,89	0,88	m ³ /Kg
Presión de vapor	2,32	2,32	2,58	kPa

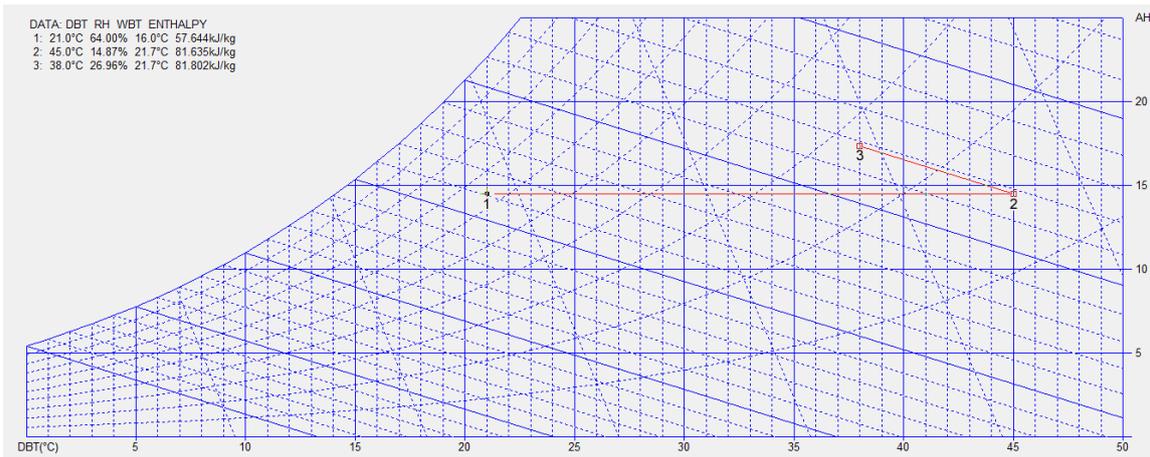


Gráfico 2. Carta psicrométrica a la temperatura de 45°C.

1= Aire inicial; 2=Aire calentado; 3=Aire humedecido

Tabla 7. Propiedades del aire a la temperatura de 45°C a 70,69 kPa.

Propiedad física	Aire (1) inicial	Aire (2) calentado	Aire (3) humedecido	Unidad
Temperatura de bulbo seco	21,00	45,00	38,00	°C
Humedad absoluta	0,01	0,01	0,02	KgH ₂ O/KgAs
Humedad relativa	64,00	14,87	26,96	%
Temperatura de bulbo húmedo	16,00	21,72	21,72	°C
Temperatura de rocío	14,14	14,14	16,85	°C
Entalpía	57,64	81,63	81,80	KJ/Kg
Volumen específico	0,85	0,92	0,91	m ³ /Kg
Presión de vapor	2,32	2,32	2,78	kPa

Conforme se deshidrata un alimento, el aire del interior va cediendo calor sensible al producto y adquiriendo su humedad. En consecuencia, a la salida del deshidratador el aire se encontrara a menor temperatura y mayor humedad relativa que el aire de entrada. (Colina, 2010).

3.2 MATERIALES Y EQUIPOS

3.2.1 MATERIA PRIMA

- Tubérculos de mashua variedad amarilla chaucha

3.2.2 INSUMOS

- Hipoclorito de sodio
- Agua
- Fundas de celofán

3.2.3 EQUIPOS E INSTRUMENTOS

- Recipientes
- Bandejas plásticas
- Cernidor
- Escobillas
- Pipeta (1ml)
- Anemómetro
- Balanza gramera
- Refractómetro digital
- Cocina
- Selladora

3.2.4 MAQUINARIA

- Estufa
- Rebanadora

3.3 MÉTODOS

3.3.1 FACTORES DE ESTUDIO

En la deshidratación de la mashua, se investigaron dos niveles de temperatura (35-45°C) y velocidad de aire de secado (0,80-1,35m/s).

- **Factor A:** Temperatura en el interior de la estufa, expresada en grados centígrados (°C).

A1: 35 °C

A2: 45 °C

- **Factor B:** Velocidad de aire de secado en el interior de la estufa, expresada en metros por segundo (m/s).

B1: 0,80 m/s

B2: 1,35 m/s

3.3.2 TRATAMIENTOS

La combinación de los factores a estudiar A y B (temperatura en el interior de la estufa y velocidad del aire de secado) proporcionó 4 tratamientos a evaluar, los cuales se detallan a continuación:

Tabla 8. Resultado de la Combinación de los factores.

TRAT.	TEMP.	VELOC.	COMBINACIONES	DESCRIPCIÓN
T1	A1	B1	A1B1	Temp. 35 °C, Velo. de aire 0,80 m/s
T2	A1	B2	A1B2	Temp. 35 °C, Velo. de aire 1,35 m/s
T3	A2	B1	A2B1	Temp. 45 °C, Velo. de aire 0,80 m/s
T4	A2	B2	A2B2	Temp. 45 °C, Velo. de aire 1,35 m/s

3.3.3 DISEÑO EXPERIMENTAL

Se empleó el diseño completamente al azar (DCA) con arreglo factorial: A x B.

3.3.4 CARACTERÍSTICAS DEL EXPERIMENTO

- Tratamientos cuatro (4)
- Repeticiones tres (3)
- Unidades Experimentales doce (12)

3.3.5 UNIDAD EXPERIMENTAL

La unidad experimental estuvo compuesta por 289 g de rodajas de mashua (*Tropaeolum tuberosum*) fresca, con espesor de 2mm y con 93 % de humedad inicial.

3.3.6 ANÁLISIS DE VARIANZA

El esquema del análisis de varianza es:

Tabla 9. Análisis de varianza (ADEVA).

Fuentes de Variación	G.L
Total	11
Tratamientos	3
Factor A	1
Factor B	1
Factor (AxB)	1
Error experimental	8

3.3.7 ANÁLISIS FUNCIONAL

Tratamientos: Tukey al 5%

Factores: DMS (Diferencia mínima significativa)

Variables no paramétricas: Friedman al 5%

3.4 VARIABLES EVALUADAS

Fueron determinadas en el departamento de Nutrición y Calidad de la Estación Experimental Santa Catalina, ubicada en el Cantón Mejía, Provincia de Pichincha.

3.4.1 VARIABLES CUANTITATIVAS

- **Humedad Inicial:** La determinación de la humedad en las rodajas se realizó posterior al escaldado y por el Método N° 930.15., de la A.O.A.C. (1996), con el fin de conocer la cantidad de agua presente en el producto.
- **Actividad de agua (Aw):** Se determinó para conocer la cantidad de agua en estado libre que hay en el producto final, utilizando el equipo TESTO 650.
- **Humedad final:** Se realizó para conocer el porcentaje de agua presente en el producto final, esta medición se realizó por el Método N° 930.15., de la A.O.A.C. (1996).

En el producto final se realizó los siguientes análisis:

- **Actividad antioxidante:** Se realizó por el método MO-LSAIA-13 de reducción de la absorbancia 2,2-bis--azino (ácido 3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico) o ABTS.

- **Análisis microbiológicos:** Se determinó con el fin de conocer la aceptabilidad microbiológica del producto, se realizó el recuento de aerobios mesófilos método AOAC 989.10; recuento de mohos y levaduras método AOAC 997.02.
- **Rendimiento:** Se realizó el balance de materiales y se aplicó la siguiente fórmula:

Ecuación 1. Fórmula de rendimiento

$$Rendimiento = \frac{Peso\ Final}{Peso\ Inicial} \times 100$$

A continuación se describen los métodos de análisis que se utilizaron para la caracterización de la materia prima:

Tabla 10. Métodos de análisis para la caracterización de la materia prima.

Análisis	Método
Humedad	Método N° 930.15., de la A.O.A.C. (1996).
Cenizas	Método N° 940.26 de la A.O.A.C.(1997)
Grasa	Método N° 920.39C de la A.O.A.C. (1997)
Proteína	Método N° 920.152 de la A.O.A.C.(1997)
Fibra	Método N° 920.86 de la A.O.A.C.(1997)
E.L.N. (Extracto libre de nitrógeno)	Diferencia a partir de la composición proximal.
Azúcares reductores	Método de Dubois (1956)
Vitamina C (ácido ascórbico)	Reflectométrico
Actividad antioxidante	MO-LSAIA-13
Acidez titulable	Titulación
pH	Potenciómetro
Sólidos solubles(°Brix)	Refractométrico

3.4.2 VARIABLES CUALITATIVAS

Las variables cualitativas analizadas fueron color, aroma, sabor, fracturabilidad y aceptabilidad con la finalidad de conocer el grado de aceptación del producto de cada uno de los tratamientos.

El análisis sensorial se realizó a los cuatro tratamientos, con un panel de 11 degustadores, utilizando hojas de encuesta.

Para la evaluación de los datos registrados, se aplicó la prueba no paramétrica de FRIEDMAN:

Ecuación 2. Ecuación de FRIEDMAN

$$X^2 = \frac{12}{b \cdot t(t + 1)} \Sigma R^2 - 3b(t + 1)$$

Dónde:

b= Número de panelistas

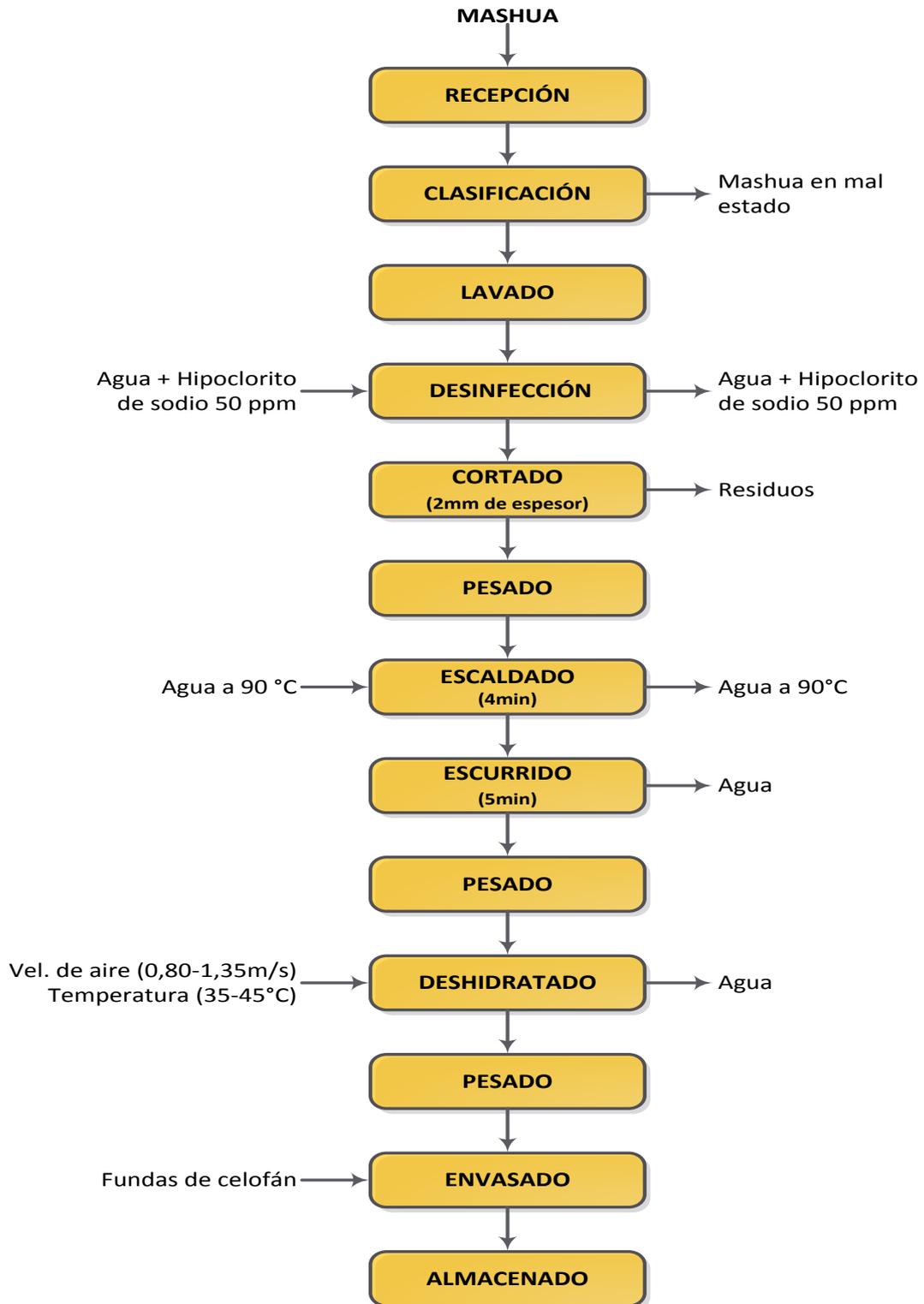
t= Tratamientos

ΣR^2 = Rangos

3.5 MANEJO ESPECÍFICO DEL EXPERIMENTO

Para la obtención de las hojuelas deshidratadas de mashua, se realizaron los siguientes diagramas de proceso.

3.5.1 DIAGRAMA DE BLOQUES PARA LA ELABORACIÓN DE HOJUELAS DESHIDRATADAS DE MASHUA.



3.6 DESCRIPCIÓN DEL DIAGRAMA DE BLOQUES

Recepción.- La materia prima se adquirió a los productores localizados en el ámbito del biocorredor Cayambe-Coca, se transportó en gavetas al laboratorio de Nutrición y Calidad de la Estación Experimental Santa Catalina.



Foto 1. Recepción de la mashua

Clasificación.- La clasificación fue de manera manual, se separó los tubérculos que presentaron malas características, tales como perforaciones por insectos, golpes y manchas verdes.



Foto 2. Clasificación del tubérculo

Lavado.- Se realizó con agua potable desmineralizada mediante aspersion y una escobilla para remover las impurezas adheridas al tubérculo.



Foto 3. Lavado del tubérculo

Desinfección.- Se realizó sumergiendo los tubérculos en una solución de 50 ppm de hipoclorito de sodio por 10 minutos, procediendo luego a enjuagar para eliminar el residuo del desinfectante.



Foto 4. Desinfección del tubérculo

Cortado.- La mashua se rebanó en rodajas de 2mm de espesor, comprobado con el pie de rey. Para cortar, se utilizó la rebanadora por ciertas ventajas como: uniformidad, limpieza y tiempo de procesamiento.



Foto 5. Cortado del tubérculo



Foto 6. Espesor de la rodaja del tubérculo

Pesado.- Se realizó con el fin de registrar la cantidad de rodajas a utilizar en la siguiente operación y determinar el rendimiento en el producto final.



Foto 7. Pesaje de las rodajas

Escaldado.- Las rodajas se escaldaron con agua a 90°C por 4 minutos con el propósito de eliminar el sabor picante del tubérculo, a continuación las rodajas se enfriaron en agua corriente a temperatura ambiente (13°C), con el fin de detener su cocción.



Foto 8. Escaldado de las rodajas

Escurreido.- En esta operación se eliminó el exceso de agua de las rodajas, en el tiempo de 5 minutos.



Foto 9. Escurreido de las rodajas

Pesado.- Previo al pesado, las rodajas se colocaron en mallas de plástico la cantidad de 289 g, efectuado para cada unidad experimental.



Foto 10. Pesaje de las rodajas

Deshidratación.- Esta operación se realizó en estufa, controlando dos niveles de velocidad de aire de secado y temperatura. Ver ítem 3.3.1 y fotos 11, 12. La descripción de la estufa se detalla en el anexo 20.



Foto 11. Estufa



Foto 12. Mallas colocadas en la estufa

Pesado.- En la operación de deshidratación se registró los pesos del producto en una balanza digital en intervalos de 20 minutos hasta peso constante.



Foto 13. Hojuelas deshidratadas y pesadas

Empacado.- Las hojuelas deshidratadas se empaclaron en fundas de celofán de 12,70cm por 20,32cm.



Foto 14. Hojuelas empacadas

Almacenamiento.- El almacenamiento del producto final se realizó a la temperatura de 13°C.



Foto 15. Muestras empacadas de hojuelas deshidratadas

CAPÍTULO VI

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La investigación “Deshidratación de mashua *Tropaeolum tuberosum* para la obtención de hojuelas” define los siguientes resultados:

4.1 CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

La caracterización de la mashua objeto de estudio se realizó inmediatamente después de la cosecha a los seis meses. Según Suquilanda (2011), la cosecha se realiza entre los 5-6 meses después de la siembra en suelos que se encuentran sobre los 2 900 metros del nivel del mar. A continuación en la Tabla 11 se detalla los resultados obtenidos de la caracterización de la mashua, realizada en los laboratorios del Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) en la Estación Experimental Santa Catalina.

Tabla 11. Composición químico proximal de la mashua variedad "amarilla chaucha".

Análisis	Unidad	Resultados
Humedad	%	88,96
Cenizas **	%	5,61
Grasa **	%	2,76
Proteína**	%	14,19
Fibra **	%	6,23
Extracto libre de nitrógeno **	%	71,2

Datos expresados en **base seca

Fuente. (INIAP, 2015)

Los valores obtenidos en el análisis proximal de la mashua variedad “Amarilla chaucha” se asemejan a los valores reportados por Espín, Villacrés & Brito (2004). Sin embargo el contenido de proteína de la mashua en esta investigación reporta valores superiores de este parametro a los autores ya mencionados, incluso aventaja a otros tubérculos andinos como: la jícama 3,73%, el melloco 10,01%, la oca 4,60% y la zanahoria blanca 5,43%. “El contenido de estos compuestos puede variar debido a la variabilidad genética, el clima, y el tipo de suelo”. (Espín, Villacrés, & Brito, 2004)

Tabla 12. Composición físico químico de la mashua variedad "amarilla chaucha".

Análisis	Unidad	Resultados
Azúcares reductores **	%	40,71
Actividad antioxidante **	uMTrolox/g	37,67
Vitamina C	mg/100g	19,78
Acidez titulable	%	0,22
pH	-----	6,70
Sólidos solubles	°Brix	6,00
Índice de madurez	-----	27,27

Datos expresados en **base seca

Fuente. (INIAP, 2015)

El contenido de azúcares reductores tuvo un valor de 40,71%; este valor se encuentra dentro del rango donde (Espín, Villacrés, & Brito, 2004) evaluaron 68 accesiones de mashua, habiendo encontrado entre 6,41-45,29% de azúcares reductores.

El valor encontrado de actividad antioxidante en la mashua investigada fue de 37,67 uMTrolox/g base seca y 4,16 uMTrolox/g base húmeda, estos valores se asemejan a los encontrados por Temoche, Campos, Chirinos, & Cisneros, (2004) donde el contenido de actividad antioxidante de la mashua fresca fue de 5,8 uMTrolox/g de mashua en base húmeda.

Por otro lado, la vitamina C al ser una característica importante de la mashua con un valor de 77,37 mg/100g como menciona (Espín, Villacrés, & Brito, 2004), no se asemeja al valor obtenido de la mashua variedad Amarilla chaucha, fue inferior a lo encontrado en la

información bibliografía, esto puede deberse a la variabilidad genética, el tipo de suelo, el clima, entre otros factores.

Previamente a la deshidratación de las hojuelas de mashua se determinó el estado de madurez considerando la textura del tubérculo (rígida). Según Colina (2010) cuando se deshidratan las frutas enteras o segmentos de ellas, la textura debe ser lo suficientemente rígida como para soportar el proceso de deshidratación, por lo que deben deshidratarse frutas en estado de madurez poco avanzado.

4.2 ANÁLISIS DE VARIABLES CUANTITATIVAS DEL PRODUCTO FINAL

4.2.1 ANÁLISIS DE HUMEDAD EN HOJUELAS DESHIDRATADAS DE MASHUA

Los resultados obtenidos se compararon con los requisitos de la norma INEN 2996, mismos se encuentran dentro de los rangos descritos. Este análisis paramétrico se realizó con el fin de conocer las variaciones de humedad final de los tratamientos. Es decir, para encontrar la media más baja, debido a que, al obtener una baja humedad se inhibe la proliferación de microorganismos y el producto se conserva mejor.

En la tabla 13 se detallan los porcentajes de humedad final en los diferentes tratamientos:

Tabla 13. Humedad (%).

TRATAMIENTOS	REPETICIONES			SUMATORIA	MEDIA%	S
	I	II	III			
T1	8,97	8,85	8,35	26,17	8,72	0,33
T2	8,14	7,97	8,14	24,25	8,08	0,10
T3	7,31	7,22	7,03	21,56	7,19	0,14
T4	6,57	6,26	6,51	19,34	6,45	0,16
SUMATORIA	30,99	30,30	30,03	91,32	7,61	----

S= desviación estándar

Para esta variable como mejor tratamiento resulto el T4 (45°C-1,35m/s) debido a que a la humedad de 6,45% se puede conservar el producto por mayor tiempo. Según Colina (2010) afirma que cuando se ha eliminado el agua débilmente ligada, el producto contiene aproximadamente de 3 a 12% de humedad.

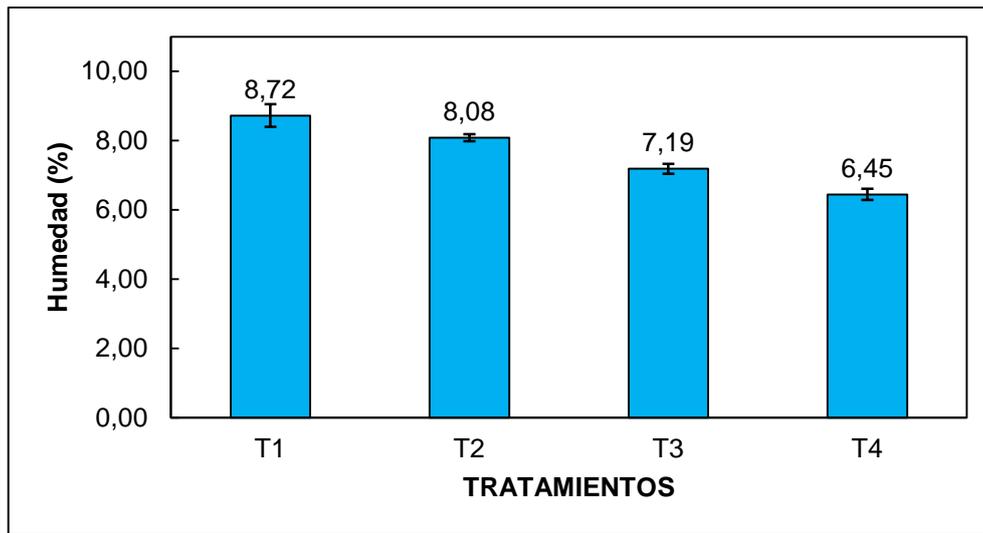


Gráfico 3. Humedad final de las hojuelas deshidratadas.

Datos expresados en base húmeda

El comportamiento de la pérdida de humedad en las hojuelas en el proceso de deshidratado es inversamente proporcional al incremento de temperatura y velocidad de secado. Por otro lado, la deshidratación implica una mayor reducción del agua a 3 a 6% mediante la evaporación o la sublimación; nunca se llega a 0% ya que esto significaría eliminar el agua que está muy ligada al sólido, para lo cual se requiere aplicar tanta energía que daña y quema el producto (Badui, 2012). En efecto, la reducción del contenido de humedad puede reducir el daño microbiano de los materiales alimenticios y el secado acompañado de un pretratamiento adecuado puede ayudar a reducir los daños químicos (Jangam & Mujumdar, 2010).

4.2.2 ANÁLISIS DE ACTIVIDAD DE AGUA EN LAS HOJUELAS DESHIDRATADAS DE MASHUA

Este análisis paramétrico se realizó con el fin de conocer las variaciones de actividad de agua en los tratamientos, conforme se reduce la disponibilidad de agua libre, se inhibe la proliferación de microorganismos y el producto es menos perecedero.

En la tabla 14 se detallan el porcentaje de actividad de agua en los diferentes tratamientos:

Tabla 14. Actividad de agua.

TRATAMIENTOS	REPETICIONES			SUMATORIA	MEDIA	S
	I	II	III			
T1	0,48	0,48	0,45	1,41	0,47	0,016
T2	0,46	0,43	0,47	1,36	0,45	0,018
T3	0,40	0,42	0,39	1,21	0,40	0,017
T4	0,36	0,34	0,35	1,05	0,35	0,009
SUMATORIA	1,71	1,67	1,65	5,03	0,42	----

S= desviación estándar

Para esta variable como mejor tratamiento resultó el T4 (45°C-1,35m/s) debido a que a 0,35 de actividad de agua los microorganismos no pueden reproducirse a falta de agua en el producto. Según Colina (2010), menciona que cuando se ha eliminado el agua débilmente ligada, el producto contiene alrededor de 0,25 de actividad de agua.

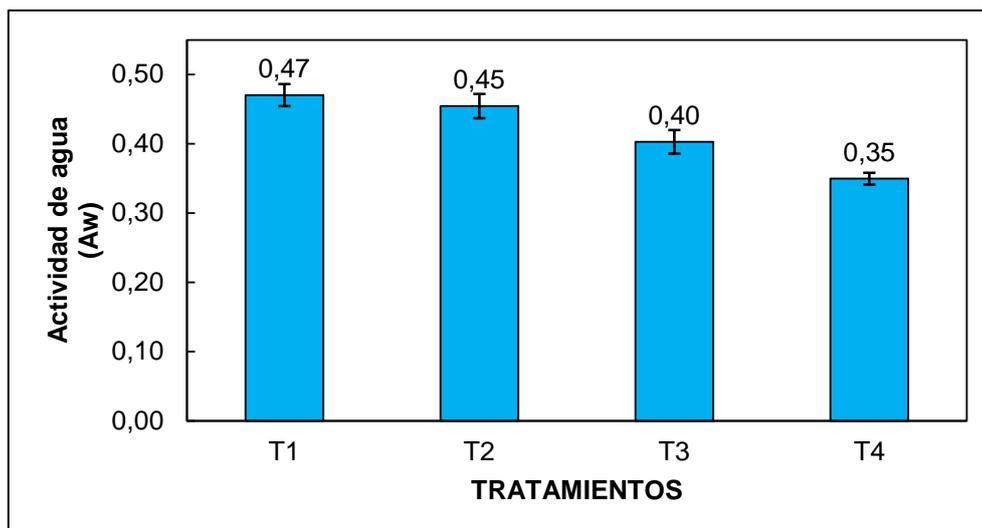


Gráfico 4. Actividad de agua de las hojuelas deshidratadas.

La actividad del agua (A_w) es uno de los factores más críticos en la determinación de la calidad y seguridad de los bienes que se consumen diariamente. Además, afecta la vida útil, la seguridad, la textura, el sabor y el olor de los alimentos. Predice la estabilidad con respecto a las propiedades físicas, las tasas de reacciones deteriorativas y el crecimiento microbiano (Jangam & Mujumdar, 2010). Los resultados de la actividad de agua en los cuatro tratamientos se encuentran dentro de los rangos de 0,25-0,80, denominado como zona II, donde impide el desarrollo de microorganismos tales como mohos y levaduras, así mismo Badui (2013) menciona que, conforme se va desapareciendo el agua débilmente ligada se imposibilita el crecimiento microbiano, las reacciones químicas y enzimáticas., es decir en esta zona las características favorecen la conservación y la aceptabilidad del producto.

4.2.3 ANÁLISIS DE LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE EN LAS HOJUELAS DESHIDRATADAS

Tabla 15. Actividad antioxidante (uMTrolox/g).

TRATAMIENTOS	REPETICIONES			SUMATORIA	MEDIA (uMTrolox/g)	s
	I	II	III			
T1	36,70	36,03	36,42	109,15	36,38	0,34
T2	35,27	35,18	35,33	105,78	35,26	0,08
T3	34,46	34,11	34,63	103,20	34,40	0,27
T4	33,95	33,82	33,94	101,71	33,90	0,07
SUMATORIA	140,38	139,14	140,32	419,84	34,99	----

Tabla 16. Análisis de varianza de la actividad antioxidante.

F.V.	G.L	S.C	C.M	F.Cal.	Signif.	F.T 5%	F.T 1%
Total	11	11,02					
Tratamientos	3	10,63	3,54	72,88	**	4,07	7,59
FA(Temp. en el interior de la estufa)	1	8,37	8,37	172,1	**	5,32	11,26
FB(Velo. de aire en el interior de la estufa)	1	1,97	1,97	40,49	**	5,32	11,26
F AXB	1	0,29	0,29	6,06	*	5,32	11,26
ERROR EXP.	8	0,39	0,05				

** : Altamente significativo

CV= 0,63%

* : Significativo

NS: No significativo

Realizado el análisis de varianza de la actividad antioxidante se determinó diferencia altamente significativa para tratamientos, para el factor A (Temperatura), factor B (Velocidad de aire de secado) en el interior de la estufa y significativo para la interacción A x B.

Al existir significación estadística se realizó las pruebas de Tukey al 5% para tratamientos, DMS para el factor A (Temperatura), factor B (Velocidad de aire de secado) en el interior de la estufa y la gráfica para la interacción A x B.

Tabla 17. Prueba de Tukey al 5% para tratamientos.

TRATAMIENTOS	MEDIAS	RANGOS
T1	36,38	a
T2	35,26	b
T3	34,40	c
T4	33,90	c

La tabla 17 determina que existen 3 rangos a, b, c; el tratamiento T1 (Temperatura de 35°C y Velocidad de aire de 0,80m/s) con rango “a”, por tener una mayor retención de actividad antioxidante es el mejor.

Tabla 18. Prueba Diferencia Media Significativa para el factor A.

FACTOR A	MEDIAS	RANGOS
A1	35,82	a
A2	34,15	b

Al realizar la prueba de Diferencia Mínima Significativa para el factor A (Temperatura en el interior de la estufa) se determinó que existen diferencia significativa para los niveles temperatura sobre la pérdida de actividad antioxidante, de manera que A1 (Temperatura de 35°C) es el mejor nivel, es decir al utilizar temperaturas bajas el contenido de actividad antioxidante está dado por componentes termosensibles.

Tabla 19. Prueba Diferencia Media Significativa para el factor B.

FACTOR B	MEDIAS	RANGOS
B1	35,39	a
B2	34,58	b

Al realizar la prueba de DMS para el factor B (Velocidad de aire en el interior de la estufa) se determinó que existen diferencia significativa para estos niveles, de manera que en el rango a, la velocidad de aire de secado 0,80m/s es el mejor nivel, es decir al utilizar velocidades de aire de secado bajas el contenido de actividad antioxidante es mejor.

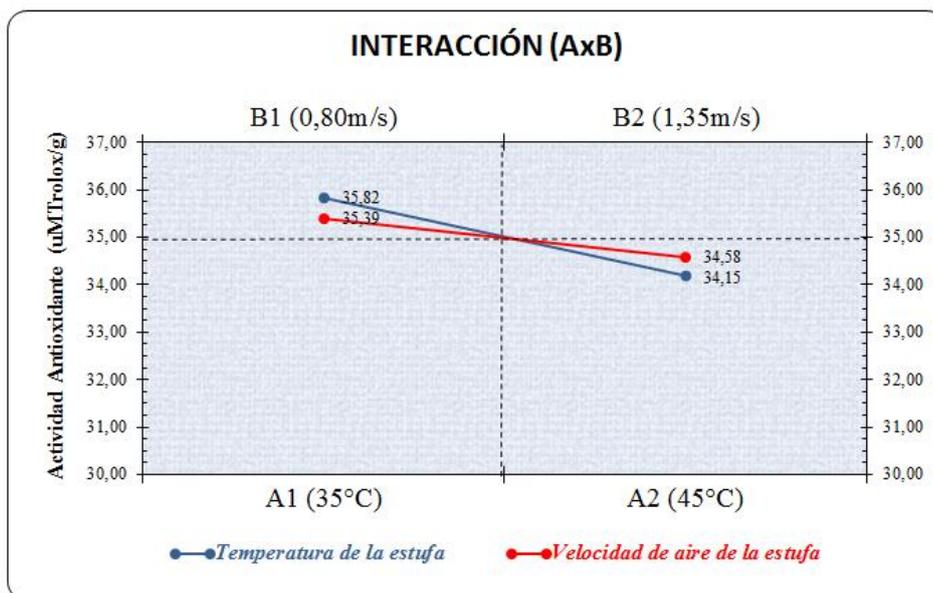


Gráfico 5. Interacción (A x B) actividad antioxidante (uMTrolox/g).

La interacción de los factores en estudio; A (Temperatura en el interior de la estufa) y B (Velocidad de aire en el interior de la estufa) en función de la variable actividad antioxidante de las hojuelas deshidratadas, en el que se observa una relación inversamente proporcional entre la temperatura y la velocidad de aire de secado; es decir, a menor temperatura y velocidad de aire de secado existe mayor retención de actividad antioxidante en el producto. Por tanto, un nivel adecuado de actividad antioxidante de 35 uMTrolox/g, se da cuando la temperatura es de 35°C y 0,80m/s de velocidad de aire de secado.

Tabla 20. Pérdida de actividad antioxidante de las hojuelas de mashua.

Producto	Tratamientos	Actividad Antioxidante (uMTrolox/g)	Pérdida de Actividad Antioxidante (%)
Mashua Fresca	-----	37,67	100
Hojuelas de Mashua	T1 Temp. 35 °C, Velo. de aire 0,80 m/s	36,38	3,42
	T2 Temp. 35 °C, Velo. de aire 1,35 m/s	35,26	6,40
	T3 Temp. 45 °C, Velo. de aire 0,80 m/s	34,40	8,68
	T4 Temp. 45 °C, Velo. de aire 1,35 m/s	33,90	10,01

Al emplear los diferentes tratamientos, se afirma que tanto la temperatura como la velocidad de secado inciden en la pérdida de actividad antioxidante, por ende el uso de

temperaturas bajas como el tratamiento T1 (temperatura 45°C y velocidad de aire 0,80m/s) tiene una pérdida de 3,42% menor a diferencia de los tratamientos T2, T3 y T4.

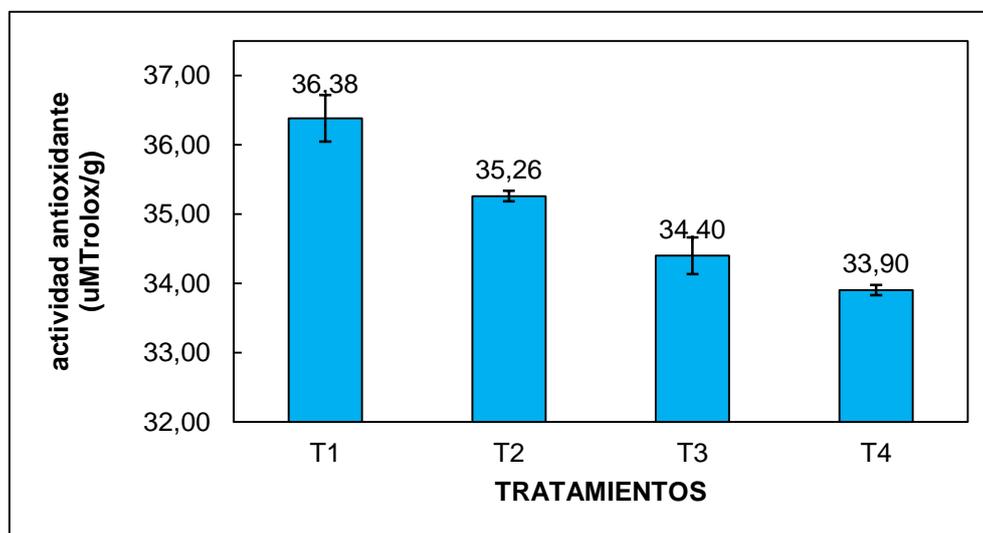


Gráfico 6. Actividad antioxidante de las hojuelas deshidratadas.

Al emplear temperaturas de 35 °C y velocidades de aire de secado de 0,80-1,35 m/s se registra mayor retención de actividad antioxidante en las hojuelas, sucediendo lo contrario a temperatura de 45 °C. Algo semejante ocurre en la investigación de Cuya (2009), sometió a secado mashua variedad "zapallo amarillo" en rodajas de 2mm de espesor en bandejas a temperaturas de 40°C, 50°C y 60°C, y 1,4m/s de velocidad de aire constante; observando mayor retención de actividad antioxidante en hojuelas de mashua a 40°C. Es decir, las elevadas temperaturas por tiempos prolongados ocasionan pérdidas de vitamina C y compuestos fenólicos, los cuales son principales contribuyente de la actividad antioxidante. Así mismo, Claudio y Nájera (citado en Paucar, 2014) señalan que tanto la temperatura como el tiempo de cocción pueden afectar las propiedades antioxidantes de las frutas y verduras ya sea aumentando o disminuyendo esta actividad. Sin embargo la degradación de pigmentos (antocianinas y carotenos) se vería beneficiada en la formación de compuestos bioactivos beneficiosos como los beta-carotenos que también presentan propiedades antioxidantes.

4.3 RESULTADOS DEL PROCESO DE DESHIDRATACIÓN

4.3.1 DETERMINACIÓN DE HUMEDAD

Posterior al escaldado de las rodajas de mashua y transcurrido 5 minutos, se determinó la humedad inicial de deshidratación, conforme se detalla en la tabla 21.

Tabla 21. Humedad inicial de las rodajas.

MATERIA PRIMA	HUMEDAD INGRESO A LA ESTUFA (%)			
	T1	T2	T3	T4
Mashua	93,15	93,39	92,34	93,05

4.3.2 CURVAS DE SECADO DE HOJUELAS DE MASHUA

Con una muestra de 289 g de láminas de mashua se inicia el secado a temperaturas establecidas (35 y 45°C), a medida que transcurre el tiempo de secado se registra el peso de las muestras cada 20 minutos hasta peso constante.

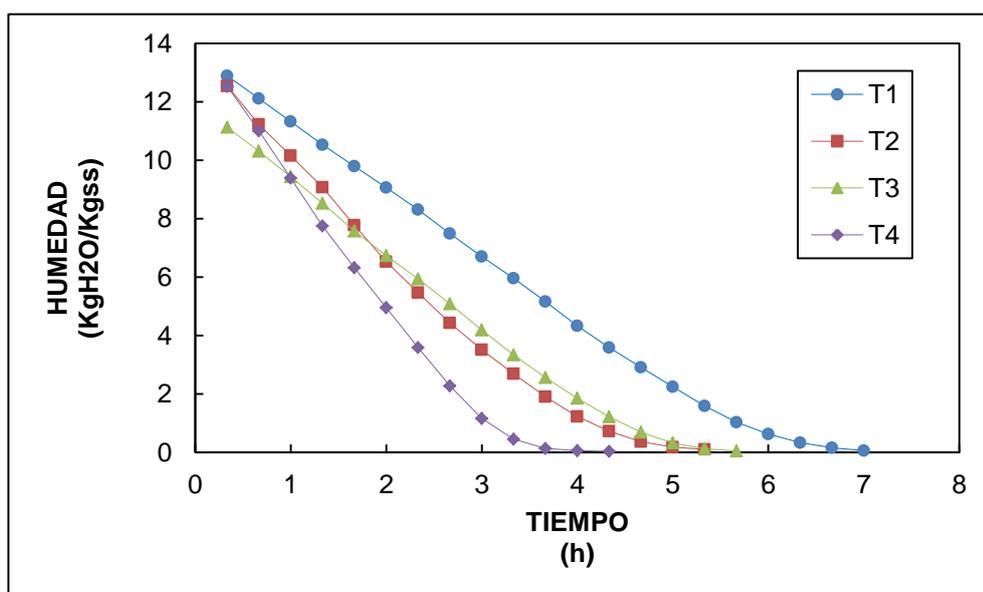


Gráfico 7. Contenido de humedad en función del tiempo de secado para los cuatro tratamientos.

Tabla 22. Resultados de la humedad crítica y el tiempo para los cuatro tratamientos.

Tratamientos	Temperatura °C	Velocidad de aire m/s	Tiempo horas	Humedad crítica (X _c) kgH ₂ O/kgss
T1	35	0,80	3,67	5,16
T2	35	1,35	2,33	5,47
T3	45	0,80	3,00	4,19
T4	45	1,35	2,00	4,96

En la obtención de hojuelas deshidratadas de mashua, los tratamientos T1, T2, T3 y T4 marcaron un tiempo de secado de 7,00; 5,33; 5,67 y 4,33 horas, respectivamente. Cabe mencionar, que el secado se llevó acabo hasta alcanzar la humedad de equilibrio (alimento-cámara) a medida que se incrementa la velocidad de aire el tiempo de secado se reduce. Sin embargo, la norma INEN 2996 menciona que para productos deshidratados el porcentaje máximo de humedad es del 12%, considerando lo mencionado se asume que las hojuelas de mashua fueron sobre secadas, como resultado se tiene mayor gasto económico y energético debido al aumento del tiempo durante la velocidad decreciente.

Aplicando el método de regresión lineal a los datos de curvas de secado, se obtiene la humedad crítica en un tiempo de 3,67; 2,33; 3,00 y 2,00 horas respectivamente, para los tratamientos T1, T2, T3 y T4, la cual delimita el período de velocidad constante de la decreciente.

Como era de esperarse, la temperatura influye fuertemente en el proceso, es decir al emplear temperaturas elevadas se reduce el tiempo de secado, sin embargo hay que tomar en cuenta que la temperatura viene acompañada por la velocidad de aire, ya que al elevar la velocidades de aire aumenta la trasferencia de calor al producto, esto se puede apreciar claramente en la tabla 22, donde la reducción del tiempo y el aumento de la humedad crítica es influenciada por el empleo de velocidades de aire altas.

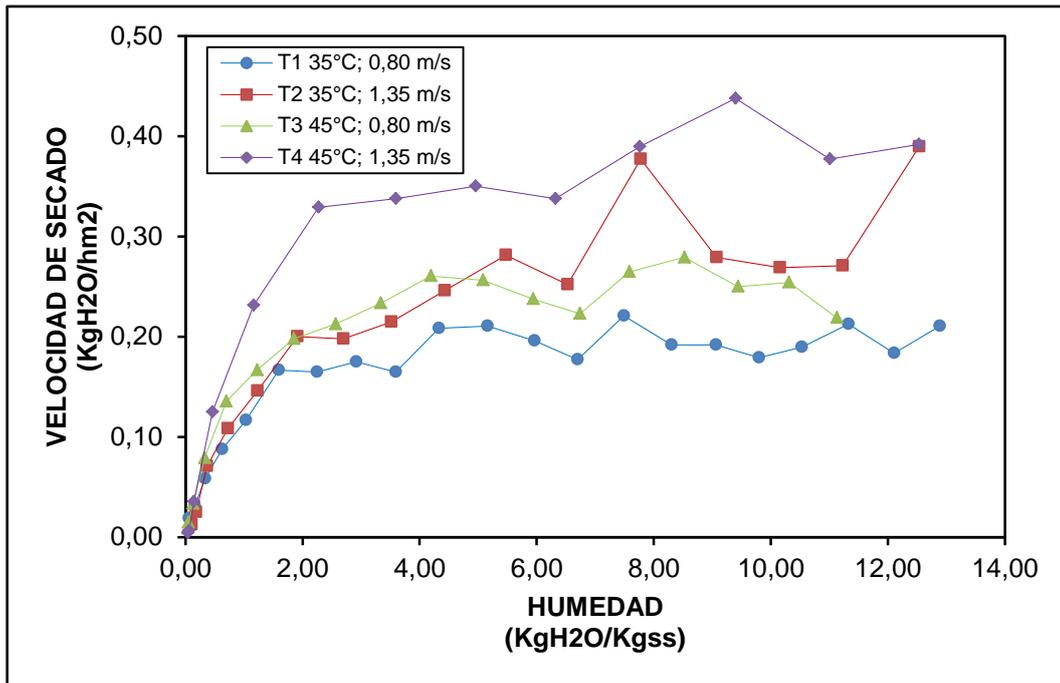


Gráfico 8. Curvas de velocidad de secado en función de la humedad media para los cuatro tratamientos.

La velocidad de secado fue fuertemente influenciada por la temperatura, sin embargo, al combinar con diferentes velocidades de aire, la velocidad de secado aumenta. En el gráfico 8 se puede evidenciar que el tratamiento T2 (35°C y 1,35 m/s) supera al tratamiento T3 (45°C y 0,80 m/s), es decir al emplear temperaturas bajas y combinar con velocidades de aire altas, la velocidad de secado y el coeficiente de convección de transferencia de calor aumentan, permitiendo un menor tiempo de secado. Por otro lado, la velocidad de secado en el tratamiento T4 (45°C y 1,35 m/s) es casi el doble en comparación al tratamiento T1 (35°C y 0,80 m/s) esto se debe a lo ya mencionado anteriormente.

Tabla 23. Resultados de los tiempos experimentales, humedad inicial, humedad final y humedad de equilibrio.

Trata.	Tiempo (horas)			Humedad inicial (X ₀) kgH ₂ O/kgss	Humedad final (X _f) kgH ₂ O/kgss	Humedad de equilibrio (X _e) kgH ₂ O/kgss
	Constante	Decreciente	Total			
T1	3,67	3,33	7,00	13,31	0,16	0,06
T2	2,33	3,00	5,33	13,31	0,18	0,11
T3	3,00	2,67	5,67	11,51	0,13	0,05
T4	2,00	2,33	4,33	13,31	0,06	0,04

En el período velocidad constante, las rodajas de mashua contienen humedad en la superficie y al entrar en contacto con aire caliente, esta agua se evapora y se mezcla en la corriente de aire, en este periodo se elimina el agua libre, la cual es muy fácil de eliminar y no necesita demasiada energía. Además, antes de la deshidratación se llevó a cabo un pretratamiento (escaldado) el cual nos ayuda a la pérdida de humedad en este periodo, esto se debe a que el escaldado cambia la estructura de las rodajas haciéndolas más porosas y favoreciendo la difusión del agua hacia la superficie.

Cabe destacar, que el periodo constante continúa mientras que la superficie del producto esté alimentada por agua libre desde el interior, fundamentalmente por capilaridad (Casp & Abril, 2003). Por tanto, este período empieza desde la humedad libre inicial hasta alcanzar el valor de humedad crítica.

Por otro lado, para conocer el comportamiento de pérdida de agua en la deshidratación de rodajas de mashua en el periodo velocidad decreciente se aplicó el cociente $(X_o - X_e)/(X_c - X_e)$ contra el tiempo de deshidratación y se determinó que la pérdida de agua en la rodajas se efectúa por difusión. Del mismo modo ocurre en la investigación de Cuya (2009) en el que menciona que este mecanismo predomina la migración de las moléculas de agua por difusión, para las rodajas de mashua cultivar “zapallo amarillo”. Asimismo Geankoplis (1998) afirma que la migración por difusión de la humedad contenida en un alimento es el mecanismo predominante en el secado de la mayoría alimentos, tal es el caso de los vegetales.

En cuanto al periodo postcrítico, inicia cuando la película de agua en la superficie desaparece y la eliminación de agua es más difícil debido a una insuficiente alimentación de agua libre, ya que en las rodajas de mashua solamente queda agua débilmente ligada y agua ligada. Cabe destacar, que en este período la pérdida de humedad del producto puede ser baja, mientras que el tiempo puede ser elevado, debido a que la velocidad de secado disminuye.

Por otra parte, Casp & Abril (2003) menciona que en el período poscrítico se puede encontrar una o más fases de velocidad de secado decreciente. Debido a que, los alimentos no higroscópicos poseen un solo periodo de velocidad decreciente, mientras que los higroscópicos poseen dos o más (fellows, 2007), esto se da según la composición química que tenga un alimento, la mashua posee una gran cantidad de carbohidratos especialmente los polisacáridos, mismos poseen gran capacidad para retener el agua e impiden la eliminación de la misma. Este periodo inicia a partir de la humedad crítica hasta llegar a la humedad de equilibrio. Cabe mencionar que la humedad equilibrio aumenta conforme se disminuye la temperatura, tabla23.

4.4 ANÁLISIS DE VARIABLES CUALITATIVAS DEL PRODUCTO FINAL

El análisis sensorial se realizó con un panel de 11 degustadores, los cuales calificaron características organolépticas: color, aroma, sabor, fracturabilidad y aceptabilidad. El instrumento para la evaluación sensorial de las hojuelas de mashua deshidratada se detalla en el Anexo 1. Para la evaluación de las variables cualitativas se aplicó la prueba no paramétrica de Friedman, ecuación 2.

4.4.1 COLOR

Tabla 24. Resultados de la prueba de Friedman para la variable color.

Variable	Valor Calculado x^2	Valor Tabular x^2 (5%)	SIGNIF.
Color	2,37	7,82	NS

NS = no significativo

Como el valor obtenido es menor al valor tabular, no existe significación estadística lo que quiere decir, que los cuatro tratamientos son estadísticamente iguales.

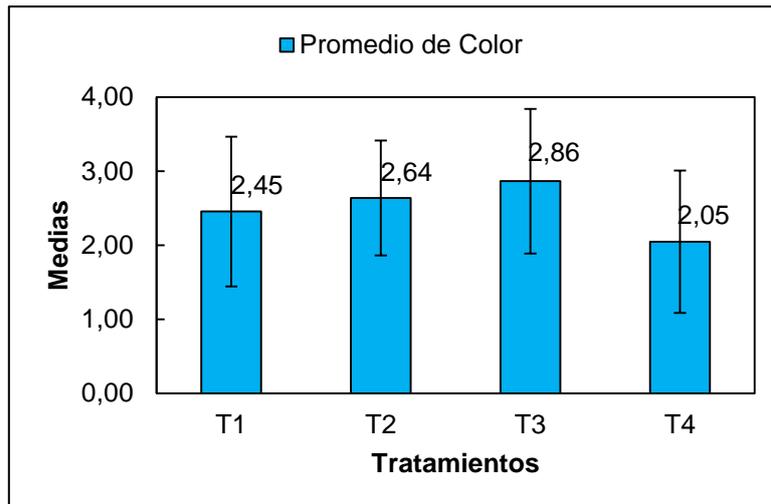


Gráfico 9. Promedios para la variable color.

Sin embargo, el comportamiento de las medias de los diferentes tratamientos identifica como mejor tratamiento T3 (temperatura 45°C y velocidad de aire 0,80m/s) que tuvo mayor aceptación y gustó moderadamente por parte de los degustadores. En la deshidratación de alimentos la pérdida de color o modificaciones de colores desagradables para el consumidor, se debe por reacciones químicas como el pardeamiento enzimático y no enzimático, es por eso que para inactivar estas reacciones se hace uso de pretratamientos como el escaldado que a su vez mantiene o realza el color de los alimentos.

4.4.2 AROMA

Tabla 25. Resultados de la prueba de Friedman para la variable aroma.

Variable	Valor Calculado χ^2	Valor Tabular χ^2 (5%)	SIGNIF.
Aroma	2,51	7,82	NS

NS = no significativo

Los resultados obtenidos indican que en la variable aroma, los degustadores no encontraron diferencia entre los diferentes tratamientos.

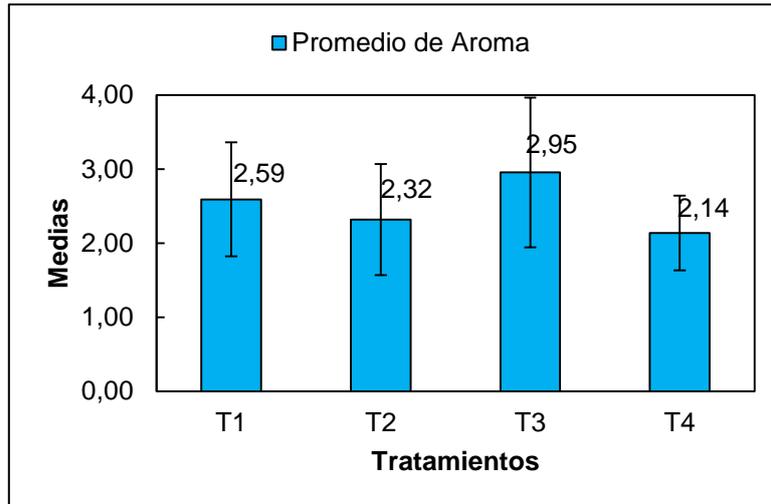


Gráfico 10. Promedios para la variable aroma.

No obstante, el comportamiento de las medias de los diferentes tratamientos identifica como mejor tratamiento T3 (temperatura 45°C y velocidad de aire 0,80m/s) en la escala de no gusta ni disgusta por parte de los degustadores. De igual forma el proceso de deshidratación permite mantener o modificar el olor de los alimentos, por su parte la mashua tiene un olor desagradable, que al ser sometido al proceso de deshidratación es eliminado y a su vez se modifica obteniendo un olor agradable para el consumidor.

4.4.3 FRACTURABILIDAD

Tabla 26. Resultados de la prueba de Friedman para la variable fracturabilidad.

Variable	Valor Calculado χ^2	Valor Tabular χ^2 (5%)	SIGNIF.
Fracturabilidad	0,41	7,82	NS

NS = no significativo

Para la variable fracturabilidad no existe diferencia significativa, es decir todos los tratamientos son similares.

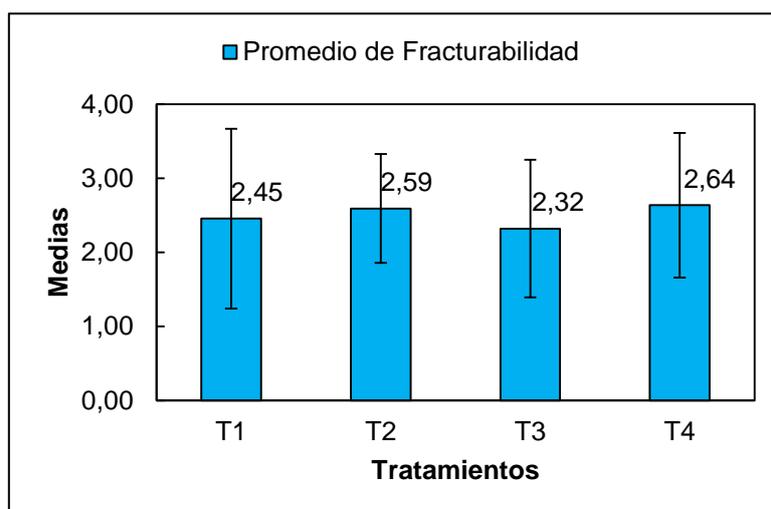


Gráfico 11. Promedios para la variable fracturabilidad.

Al tener similitud los tratamientos, los degustadores se inclinaron por el tratamiento T4 (temperatura 45°C y velocidad de aire 1,35m/s) en una escala de crujencia media.

4.4.4 SABOR

Tabla 27. Resultados de la prueba de Friedman para la variable sabor.

Variable	Valor Calculado χ^2	Valor Tabular χ^2 (5%)	SIGNIF.
Sabor	1,47	7,82	NS

NS = no significativo

Con respecto a los resultados obtenidos para el sabor, no existe significación estadística en los diferentes tratamientos es decir los cuatro tratamientos son iguales.

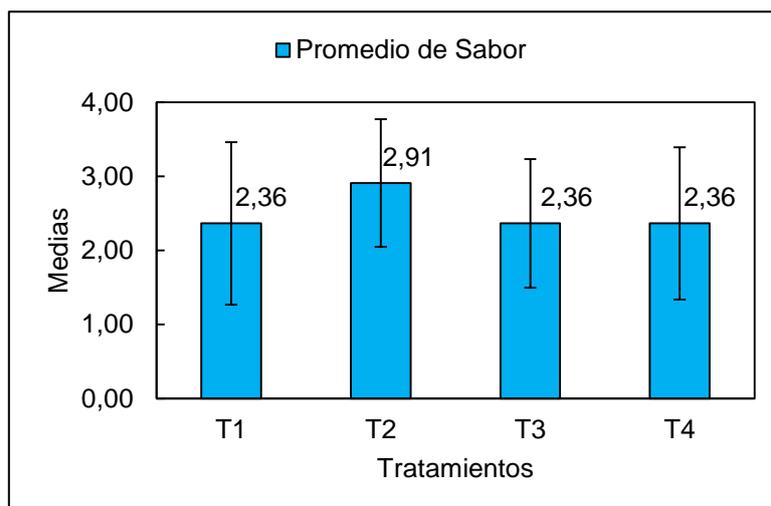


Gráfico 12. Promedios para la variable sabor.

A pesar que los tratamientos son iguales, los degustadores mencionan como mejor tratamiento T2 (temperatura 35°C y velocidad de aire 1,35m/s) en la escala de no gusta ni disgusta por parte de los degustadores. Así mismo tanto el escaldado como el proceso de deshidratación favorece a la modificación del sabor de las hojuelas de mashua ya que el tubérculo contiene compuestos bioactivos como los isotocianatos los cuales son los responsables del sabor picante de la mashua y no son agradables para el consumidor.

4.4.5 ACEPTABILIDAD

Tabla 28. Resultados de la prueba de Friedman para la variable aceptabilidad.

Variable	Valor Calculado χ^2	Valor Tabular χ^2 (5%)	SIGNIF.
Aceptabilidad	2,18	7,82	NS

NS = no significativo

Para la variable aceptabilidad los degustadores no encontraron diferencia significativa es decir los tratamientos son similares.

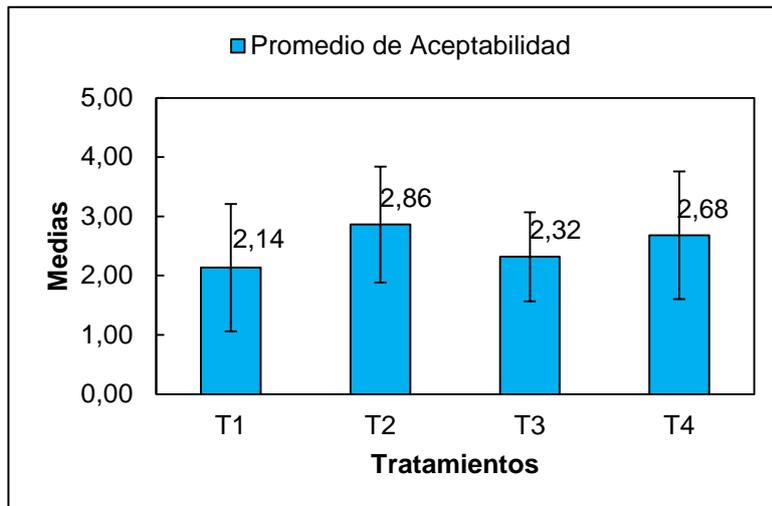


Gráfico 13. Promedios para la variable aceptabilidad.

El comportamiento de las medias de los diferentes tratamientos identifica como mejor tratamiento T2 (temperatura 35°C y velocidad de aire 1,35m/s) en la escala de no gusta ni disgusta por parte de los degustadores.

4.5 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DEL PRODUCTO FINAL

A continuación se detallan los resultados obtenidos en los respectivos análisis microbiológicos que fueron realizados en el Laboratorio de Uso Múltiple de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales.

Los resultados de aerobios mesófilos, mohos y levaduras se detallan en la tabla 29.

Tabla 29. Análisis microbiológico de las hojuelas deshidratadas.

Parámetro Analizado	Unidad	Resultados				Límite permisible	Método de ensayo
		T1	T2	T3	T4		
Recuento Aerobios Mesófilos	UFC/g	15	20	20	18	$1,0 \times 10^4$	AOAC 989.10
Recuento de Mohos	UFC/g	45	80	70	100	$1,0 \times 10^3$	AOAC 997.02
Recuento de Levaduras	UFC/g	120	120	80	160	$1,0 \times 10^3$	AOAC 997.02

Al reducir la humedad y actividad de agua de un alimento se limita el crecimiento de aerobios mesófilos, mohos y levaduras. A pesar de utilizar bajas temperaturas de secado de 35 y 45°C las cuales son temperaturas que favorecen el crecimiento de los microorganismos y utilizar un pretratamiento (escaldado) el cual ayuda a la reducción de los mismos, sin embargo la variación del contenido mesófilos, mohos y levaduras en los diferentes tratamientos se ve afectado posiblemente por una contaminación durante todas las operaciones del proceso desde el acondicionamiento de la materia prima hasta su almacenamiento. Cabe destacar, que el crecimiento microbiano puede ocurrir durante el procesamiento y almacenamiento posterior a la cosecha y el principal contaminante son el suelo, el agua, el aire y los animales. Los principales microorganismos que contribuyen a estos daños son las bacterias, los hongos (mohos y levaduras), los protozoos, sin embargo, los insectos también pueden contribuir al daño microbiano (Jangam & Mujumdar, 2010). Asumiendo con lo anterior, se concluye que las hojuelas de mashua deshidratadas tienen un nivel aceptable de calidad y aptas para el consumo humano, ya que los resultados obtenidos son inferiores a los permisibles por las normas NTE INEN 2602 y 2996.

4.6 ANÁLISIS PROXIMAL DEL PRODUCTO FINAL

En la tabla 30 se detalla los resultados obtenidos de las hojuelas de mashua deshidratada.

Tabla 30. Análisis proximal para T1, T2, T3 y T4.

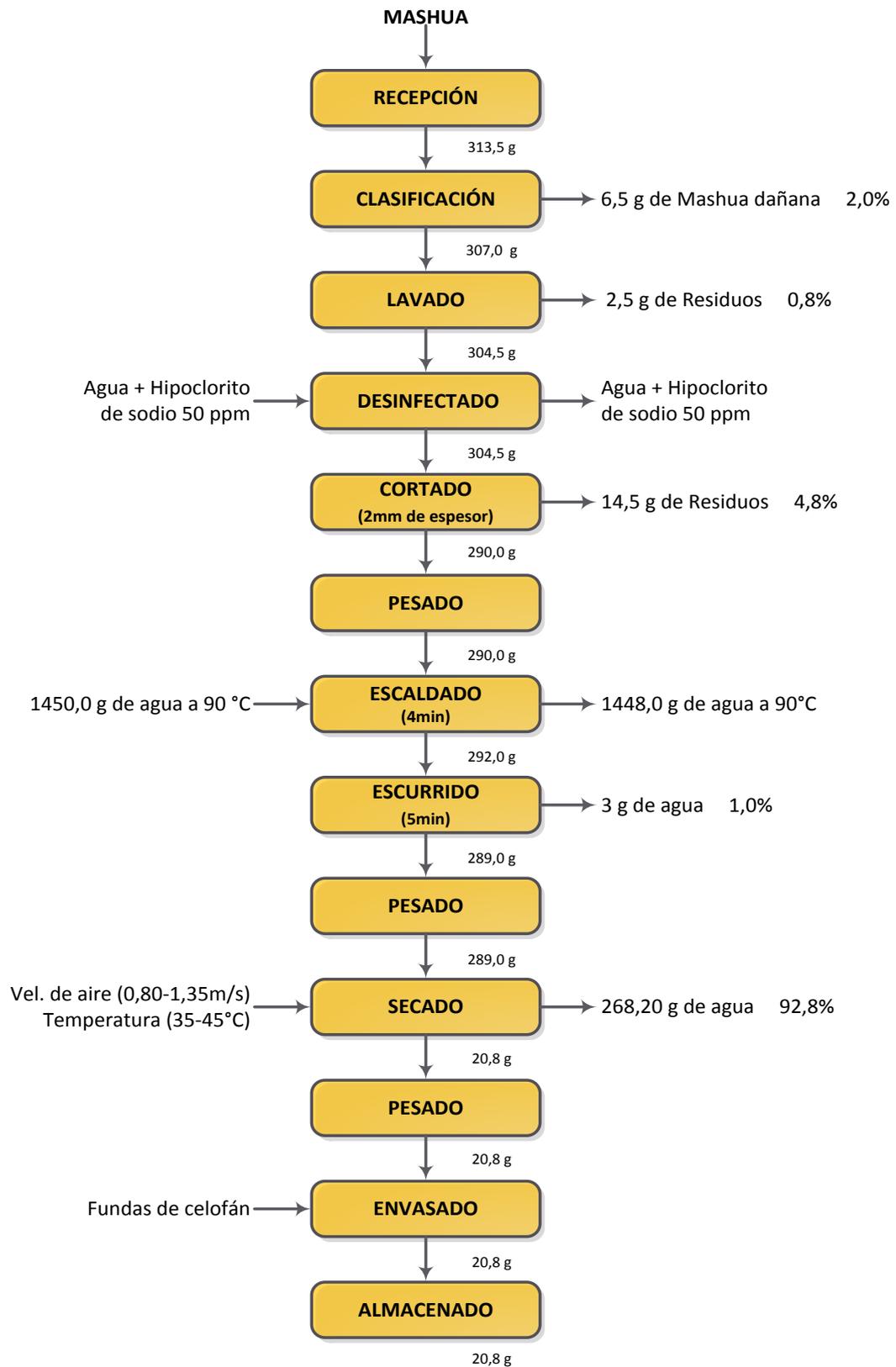
Análisis	Unidad	Resultados			
		T1	T2	T3	T4
Humedad	%	8,72	8,08	7,19	6,45
Cenizas **	%	2,71	2,49	2,87	2,77
Grasa **	%	1,29	1,19	1,16	1,13
Proteína **	%	12,40	11,41	13,03	12,44
Fibra**	%	8,20	7,54	8,58	7,68
Extracto libre de nitrógeno**	%	75,40	77,37	74,36	75,98

**datos expresados en base seca

El contenido de humedad luego del secado en estufa se redujo, llegando a valores similares a los de Villacrés, Brito & Espín (2004) donde sometieron mellocos en rodajas previo a escaldado en dos sistemas: en secado solar (Temperatura promedio 22°C; humedad relativa, 40%) y en estufa de aire forzado a 50 y 60°C, las hojuelas de melloco en el primer sistema obtuvieron una humedad final de 11,57% al cabo de tres días, en el segundo sistema a la temperatura de 50°C se obtiene una humedad de 8% en 8 horas, mientras que a 60°C se alcanzó el mismo contenido de humedad al cabo de 6 horas.

Por otro lado, la disminución de los demás componentes como menciona Ceballos & Jiménez (2012) las proteínas sufren desnaturalización con el aumento de la temperatura de secado pueden ser susceptibles a la oxidación debido a la luz y sufrir degradación enzimática. Además, los lípidos pueden sufrir hidrólisis enzimática en las etapas iniciales de deshidratación y valores bajos de la actividad de agua, puede ocurrir una auto-oxidación de ácidos grasos insaturados causando rancidez. Sin embargo, el contenido de fibra, minerales y aporte calórico permanecen constantes durante la deshidratación de frutas y verduras con aire caliente.

4.7 BALANCE DE MASA



4.8 DETERMINACIÓN DEL RENDIMIENTO PARA T1, T2, T3 Y T4

Para la determinación del rendimiento se utilizó la Ecuación 1, según los resultados obtenidos en la tabla 31 el T3 es el tratamiento que presenta un mejor rendimiento, siendo este tratamiento el mejor para ser sometido al proceso de deshidratación.

Tabla 31. Porcentaje de rendimiento de las hojuelas de mashua.

Tratamientos	Peso inicial (g)	Peso del producto deshidratado (g)	Rendimiento (%)
T1	289	20,7	7,16
T2	289	21,8	7,54
T3	289	23,7	8,20
T4	289	20,8	7,20

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- La madurez recomendada para la obtención de hojuelas de mashua deshidratada es utilizar tubérculos cosechados a los seis meses, ya que los mismos presentan firmeza luego del escaldado a 90 °C por 4 minutos, sin embargo la mashua soleada y escaldada a niveles de temperatura y tiempo antes mencionado se desintegra, volviéndose el producto inadecuado para este propósito.
- Al utilizar una temperatura de 45°C y 1,35 m/s de velocidad de aire aumenta la transferencia de calor hacia el producto, por ende se reduce significativamente el tiempo de deshidratación de las hojuelas de mashua.
- En el proceso de deshidratación de las hojuelas de mashua las dos temperatura de 35 °C y 45 °C, presentaron los dos periodos de secado, donde el tiempo del período constante es menor en relación al período decreciente, debido a que el escaldado modificó su estructura celular facilitando la difusión de agua, mientras que el periodo decreciente dificulta la migración de agua, debido al contenido alto de carbohidratos y proteínas de la mashua.
- El mejor tratamiento fue T1 (temperatura de 35 °C y velocidad de aire de 0,80 m/s), que presentó mayor retención de actividad antioxidante de 36,38 uMTrolox/g en las hojuelas de mashua deshidratada el cual tuvo una pérdida de 3,42%.

- El análisis sensorial determinó al tratamiento T2 (temperatura de 35 °C y velocidad de aire de 1,35 m/s), como tratamiento aceptable por los degustadores, debido a su textura suave ya que contiene una humedad de 8,08%.
- Los análisis microbiológicos de los cuatro tratamientos demuestran que las hojuelas de mashua deshidratadas tienen un nivel aceptable de calidad y aptas para el consumo humano.
- Se acepta la hipótesis alternativa debido a que, la temperatura y la velocidad de aire de secado influyen en las características fisicoquímicas, sensoriales y el contenido de actividad antioxidante de la mashua deshidratada.

5.2 RECOMENDACIONES

- Realizar investigaciones de deshidratación con diferentes variedades de mashua utilizando los mismos factores estudiados.
- Evaluar con tiempos menores de escaldado, con el objetivo de reducir pérdidas de vitaminas C debido a que es un componente principal de la actividad antioxidante.
- Se recomienda utilizar las hojuelas de mashua en la elaboración de subproductos alimenticios como por ejemplo harina.
- Evaluar el contenido de actividad antioxidante de mashua, en el proceso de secado natural.

BIBLIOGRAFÍA

- Fernández, D., Muñiz , S., García, A., Cervantes, R., & Fernández, D. (2015). Cinética de secado de fruta bomba (Carica papaya L., cv. Maradol Roja) mediante los métodos de deshidratación osmótica y por flujo de aire caliente. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24(1), 22-28.
- Alvarez, G., & Merino, J. (2009). *Informe final del ensayo de mashua en la comunidad de LLangahua*. INIAP, Unidad de Transferencia Tungurahua, Ambato.
- Badui, S. (2012). *La ciencia de los alimentos en la práctica*. Mexico: PEARSON EDUCACIÓN.
- Badui, S. (2013). *Química de los alimentos* (Quinta ed.). México: Pearson.
- Barraza , G., Rojas , C., & Moscol , R. (2013). Cinética de secado de rodajas de manzana (Pirus malus L) variedad pachacamac osmodeshidratadas. *Tecnología & Desarrollo (Trujillo)*, 11(1), 023-032.
- Beltrán, A., & Mera, J. (2014). *ELABORACIÓN DEL TUBÉRCULO MASHUA (TROPAEOLUM TUBEROSUM) TROCEADA EN MIEL Y DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE*. Estación Experimental Santa Catalina, Guayaquil.
- Brennan, J. G. (2006). *Food Processing Handbook*. Alemania: WILEY-VCH.
- Calsin, M., Aro, J., & Tipacti, Z. (2016). Evaluación de la eficacia de antioxidantes de Isaño (Tropaeolum tuberosum Ruiz & Pavón) en la oxidación de aceite de soya. *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 18(2), 143-150.
- Casp, A., & Abril, J. (2003). *Procesos de conservación de alimentos*. Mundi-Prensa.
- Ceballos, E., & Jiménez, M. (2012). Cambios en las propiedades de frutas y verduras durante la deshidratación con aire caliente y su susceptibilidad al deterioro microbiano. *Temas selectos de Ingeniería de Alimentos*, 6(1), 98-110.
- Colina, M. L. (2010). *Deshidratación de alimentos*. Trillas.
- Cuya, R. A. (2009). *“EFECTO DE SECADO EN BANDEJA Y ATOMIZACIÓN SOBRE LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DE LA MASHUA (Tropaeolum tuberosum R & P)”*. Lima.

- Díaz, P. (2010). *Efecto del tiempo de secado y de la variedad en las características físico-químicas de la albahaca (Ocimum basilicum) Seca*. Zamorano: Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana.
- EcuRed. (17 de 08 de 2014). *Mashua*. Recuperado el 10 de 08 de 2015, de EcuRed: <http://www.ecured.cu/index.php/Mashua>
- El Productor. (31 de 01 de 2012). *Ecuador: La mashua y la oca, dos tubérculos a la percha*. Recuperado el 03 de 09 de 2015, de El Productor: elproductor.com/2012/01/31/ecuador-la-mashua-y-la-oca-dos-tuberculos-a-la-percha/
- Espín, S. (2001). Composición química, valor nutricional y usos potenciales de siete especies de raíces y tubérculos andinos. *Acta Científica Ecuatoriana*, 49-63.
- Espín, S., Villacrés, E., & Brito, B. (2004). Caracterización Físico - Química, Nutricional y Funcional de Raíces y Tubérculos Andinos. En V. Barrera, C. Tapia, & A. Monteros, *Raíces y Tubérculos Andinos: Alternativas para la conservación y uso sostenible en el Ecuador* (Vol. 4, págs. 91-111). Quito - Ecuador, Lima – Perú.
- Fellows, P. J. (2009/2011). *Food processing technology principles and practice* (tercera ed.). Zaragoza: ACRIBIA, S.A.
- FOBOMADE. (07 de Octubre de 2014). *Aportes en el Año Internacional de la Agricultura Familiar*. Recuperado el Lunes de Noviembre de 2014, de Foro boliviano sobre medio ambiente y desarrollo: <http://fobomade.blogspot.com/search?q=mashua>
- Geankoplis, C. (1998). *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. Mexico: Continental.
- Geankoplis, C. J. (2006). *Procesos de transporte y principios de procesos de separación (incluye operaciones unitarias)* (Cuarta ed.). México: Continental.
- Hincapié, G., Omaña, M., Hincapié, C., Arias, Z., & Vélez, L. (2010). Efecto de la temperatura de secado sobre las propiedades funcionales de la fibra dietaria presente en la citropulpa. *Lasallista de Investigación*, 7(2), 85-93.
- Ibarz, A., & Barbosa Cánovas, G. V. (2005/2011). *Operaciones unitarias en la ingeniería de alimentos* (Mundi Prensa ed.). Madrid.

- INTA. (2011). *ANÁLISIS DE ANTIOXIDANTES: ¿QUÉ Y CÓMO SE DEBEN MEDIR?* Recuperado el 10 de 09 de 2015, de PortalAntioxidantes: <http://www.portalantioxidantes.com/analisis-de-antioxidantes/>
- Jangam , S., & Mujumdar, A. (2010). Conceptos básicos y definiciones. En S. Jangam, C. Law , & A. Mujumdar, *Secado de alimentos, verduras y frutas* (pág. 9).
- López Camelo, A. F. (2003). *Manual para la preparación y venta de frutas y hortalizas*. Roma.
- Madrid, A. (2012). *Curso de manipulador de alimentos* (Vol. uno). Madrid.
- Manrique, I., Arbizu, C., Vivanco, F., Gonzales, R., Ramírez, C., Chávez, O., y otros. (20 de 12 de 2013). *Colección de germoplasma de mashua conservada en el Centro Internacional de la Papa (CIP)*. Recuperado el 02 de 09 de 2015, de Centro Internacional de la Papa: <http://cipotato.org/wp-content/uploads/2015/01/006159-mashua.pdf>
- Marín, E. B., Lemus, R. M., Flores, V. M., & Vega, A. G. (2006). LA REHIDRATACIÓN DE ALIMENTOS DESHIDRATADOS. *Revista chilena de nutrición*, 33(3), 527-538.
- Mujumdar, A. (2015). Principles, Classification, and Selection of Dryers. En A. Mujumdar, *Handbook of Industrial Drying* (pág. 20). Taylor & Francis Group,.
- Palacios, M. (2012). *Influencia del blanqueado y secado a dos temperaturas en el contenido de compuestos fenólicos, carotenoides y capacidad antioxidante de los tubérculos de mashua (Tropaeolum tuberosum Ruiz & Pavón)*. Lima.
- Paucar, S. (2014). *COMPOSICIÓN QUÍMICA Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE DOS VARIETADES MASHUA (Tropaeolum tuberosum): AMARILLA CHAUCHA Y ZAPALLO*. Quito.
- Pérez, C. A. (2014). *EFEECTO DE LA FRITURA A PRESIÓN REDUCIDA EN EL CONTENIDO DE ANTIOXIDANTES DE MASHUA (Tropaeolum tuberosum)*. Quito.
- PERÚ ECOLÓGICO. (10 de 2007). *Morfología*. Recuperado el 10 de 08 de 2015, de Perú Ecológico: http://www.peruecologico.com.pe/flo_mashua_1.htm

- Roca, W., & Manrique, I. (2005). VALORIZACIÓN DE LOS RECURSOS GENÉTICOS DE RAÍCES Y TUBÉRCULOS ANDINOS PARA LA NUTRICIÓN Y LA SALUD. *Agrociencia*, 9(1-2), 195-201.
- Rodríguez Rivera, V. M., & Magro, E. S. (2008). *Bases de la alimentación humana*. La coruña: Gesbiblo, S. L.
- Sablani, S. S., & Rahman, M. S. (2008). Fundamentals of Food Dehydration. En Y. Hui, C. Clary, M. Farid, O. Fasina, A. Noomhorm, & J. Welti-Chanes, *Food Drying Science and Technology: Microbiology, Chemistry, Applications* (págs. 1-35). Lancaster: DEStech Publications.
- Salcedo, J., Mercado, J., Vanegas, M., Fernández, A., & Vertel, M. (2014). Cinética de secado de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) variedad CORPOICA M-tai en función de la temperatura y de la velocidad de aire. *Revista ION*, 27(2), 29-42.
- Samaniego, L. A. (2010). *CARACTERIZACIÓN DE LA MASHUA (Tropaeolum tuberosum C.) EN EL ECUADOR*. Quito.
- Sánchez, M. (2015). *Deshidratado convencional por aire forzado de jitomate (Solanum lycopersicum L.) y zanahoria (Daucus carota), evaluación del efecto en las propiedades físicas y nutraceuticas*. Santiago de Querétaro.
- Sharma, S., Mulvaney, S., & Rizvi, S. (2003). *INGENIERÍA DE ALIMENTOS: OPERACIONES UNITARIAS Y PRÁCTICAS DE LABORATORIO*. México: LIMUSA.
- Shofian, N. M., Hamid, A. A., Osman, A., Saari, N., Anwar, F., Mohd, P. D., y otros. (2011). Effect of Freeze-Drying on the Antioxidant Compounds and Antioxidant Activity of Selected Tropical Fruits. *International Journal of Molecular Sciences*, 12(7), 4678-4692.
- Sokhansanj, S., & Jayas, D. (2015). Drying of Foodstuffs. En A. Mujumdar, *Handbook of Industrial Drying* (Cuarta ed., págs. 524-525). Taylor & Francis Group.
- Suquilanda, M. (26 de 01 de 2011). *Producción orgánica de cultivos andinos (manual)*. Recuperado el 10 de 08 de 2015, de Technologies and practices for small agricultural producers: http://teca.fao.org/sites/default/files/technology_files/produccion_organica_de_cultivos_andinos.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 (Tropaeolum tuberosum Ruiz y Pavon)*”. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima.
- Valero , Y., Colina , J., & Ineichen, E. (2012). Efecto del procesamiento sobre la capacidad antioxidante de la ciruela criolla (*Prunus domestica*). *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 62(4), 363-369.
- Villacrés, E., Brito, B., & Espín, S. (2004). Alternativas Agroindustriales con Raíces y Tubérculos Andinos. En V. Barrera, C. Tapia, & A. Monteros (Edits.), *Raíces y Tubérculos Andinos: Alternativas para la conservación y uso sostenible en el Ecuador* (Vol. 4, pág. 132). Quito - Ecuador, Lima – Perú.
- Yzarra, W., & López, F. (10 de 10 de 2012). *MANUAL DE OBSERVACIONES FENOLÓGICAS*. Recuperado el 30 de 11 de 2016, de SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ: http://www.senamhi.gob.pe/pdf/estudios/manual_fenologico.pdf

ANEXOS

Anexo 1. Humedad y velocidad de secado para el tratamiento T1.

TIEMPO	PESO	HUMEDAD	HUMEDAD MEDIA	VELOCIDAD
Horas	kg	kg _{H2O} /kgss X	kg _{H2O} /kgss x̄	Kg _{H2O} /hm ² R
0	0,2890	13,3069		
0,33	0,2722	12,4736	12,8903	0,2104
0,67	0,2575	11,7475	12,1106	0,1833
1,00	0,2405	10,9059	11,3267	0,2125
1,33	0,2253	10,1551	10,5305	0,1896
1,67	0,2110	9,4455	9,8003	0,1792
2,00	0,1957	8,6865	9,0660	0,1917
2,33	0,1803	7,9274	8,3069	0,1917
2,67	0,1627	7,0528	7,4901	0,2208
3,00	0,1485	6,3515	6,7021	0,1771
3,33	0,1328	5,5759	5,9637	0,1958
3,67	0,1160	4,7426	5,1592	0,2104
4,00	0,0993	3,9175	4,3300	0,2083
4,33	0,0862	3,2657	3,5916	0,1646
4,67	0,0722	2,5726	2,9191	0,1750
5,00	0,0590	1,9208	2,2467	0,1646
5,33	0,0457	1,2607	1,5908	0,1667
5,67	0,0363	0,7987	1,0297	0,1167
6,00	0,0293	0,4521	0,6254	0,0875
6,33	0,0247	0,2211	0,3366	0,0583
6,67	0,0222	0,0974	0,1592	0,0312
7,00	0,0207	0,0231	0,0602	0,0188

Anexo 2. Humedad y velocidad de secado para el tratamiento T2.

TIEMPO	PESO	HUMEDAD	HUMEDAD	VELOCIDAD
Horas	kg	kg_{H2O}/kgss	kg_{H2O}/kgss	Kg_{H2O}/hm²
		X	ẋ	R
0	0,2890	13,3069		
0,33	0,2578	11,7640	12,5355	0,3896
0,67	0,2362	10,6914	11,2277	0,2708
1,00	0,2147	9,6271	10,1592	0,2688
1,33	0,1923	8,5215	9,0743	0,2792
1,67	0,1622	7,0281	7,7748	0,3771
2,00	0,1420	6,0297	6,5289	0,2521
2,33	0,1195	4,9158	5,4728	0,2813
2,67	0,0998	3,9422	4,4290	0,2458
3,00	0,0827	3,0924	3,5173	0,2146
3,33	0,0668	2,3086	2,7005	0,1979
3,67	0,0508	1,5165	1,9125	0,2000
4,00	0,0392	0,9389	1,2277	0,1458
4,33	0,0305	0,5099	0,7244	0,1083
4,67	0,0248	0,2294	0,3696	0,0708
5,00	0,0228	0,1304	0,1799	0,0250
5,33	0,0218	0,0809	0,1056	0,0125

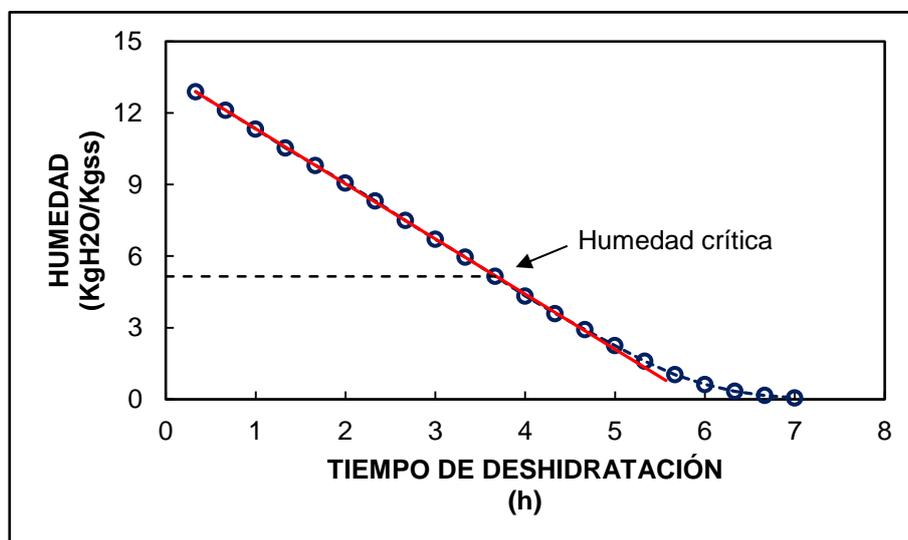
Anexo 3. Humedad y velocidad de secado para el tratamiento T3.

TIEMPO	PESO	HUMEDAD	HUMEDAD	VELOCIDAD
Horas	kg	kg_{H2O}/kgss	kg_{H2O}/kgss	Kg_{H2O}/hm²
		X	ẋ	R
0	0,2890	11,5108		
0,33	0,2715	10,7532	11,1320	0,2188
0,67	0,2512	9,8730	10,3131	0,2542
1,00	0,2312	9,0072	9,4401	0,2500
1,33	0,2088	8,0404	8,5238	0,2792
1,67	0,1877	7,1241	7,5823	0,2646
2,00	0,1698	6,3521	6,7381	0,2229
2,33	0,1508	5,5296	5,9408	0,2375
2,67	0,1303	4,6421	5,0859	0,2563
3,00	0,1095	3,7403	4,1912	0,2604
3,33	0,0908	2,9322	3,3362	0,2333
3,67	0,0738	2,1962	2,5642	0,2125
4,00	0,0580	1,5108	1,8535	0,1979
4,33	0,0447	0,9336	1,2222	0,1667
4,67	0,0338	0,4646	0,6991	0,1354
5,00	0,0275	0,1905	0,3276	0,0792
5,33	0,0248	0,0750	0,1328	0,0333
5,67	0,0237	0,0245	0,0498	0,0146

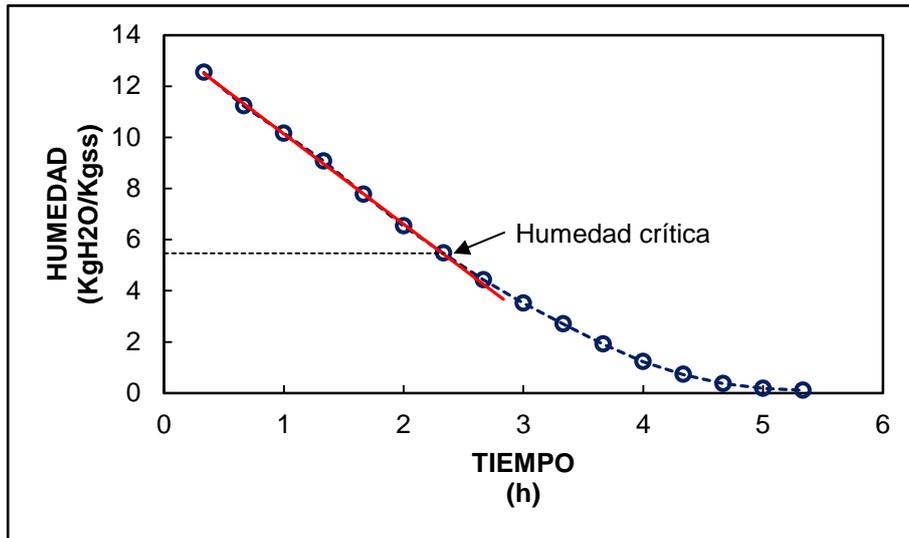
Anexo 4. Humedad y velocidad de secado para el tratamiento T4.

TIEMPO Horas	PESO kg	HUMEDAD kg _{H2O} /kgss X	HUMEDAD MEDIA kg _{H2O} /kgss x̄	VELOCIDAD Kg _{H2O} /hm ² R
0	0,2890	13,3069		
0,33	0,2577	11,7558	12,5314	0,3917
0,67	0,2275	10,2624	11,0091	0,3771
1,00	0,1925	8,5297	9,3960	0,4375
1,33	0,1613	6,9868	7,7583	0,3896
1,67	0,1343	5,6502	6,3185	0,3375
2,00	0,1063	4,2640	4,9571	0,3500
2,33	0,0793	2,9274	3,5957	0,3375
2,67	0,0530	1,6238	2,2756	0,3292
3,00	0,0345	0,7079	1,1658	0,2313
3,33	0,0245	0,2129	0,4604	0,1250
3,67	0,0217	0,0726	0,1427	0,0354
4,00	0,0212	0,0479	0,0602	0,0063
4,33	0,0208	0,0314	0,0396	0,0042

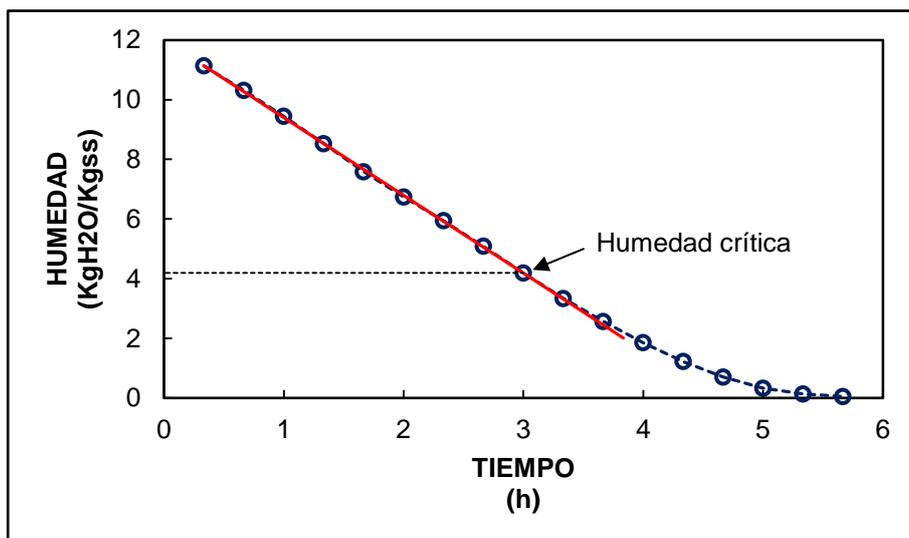
Anexo 5. Gráficas para hallar la humedad crítica para el tratamiento T1.



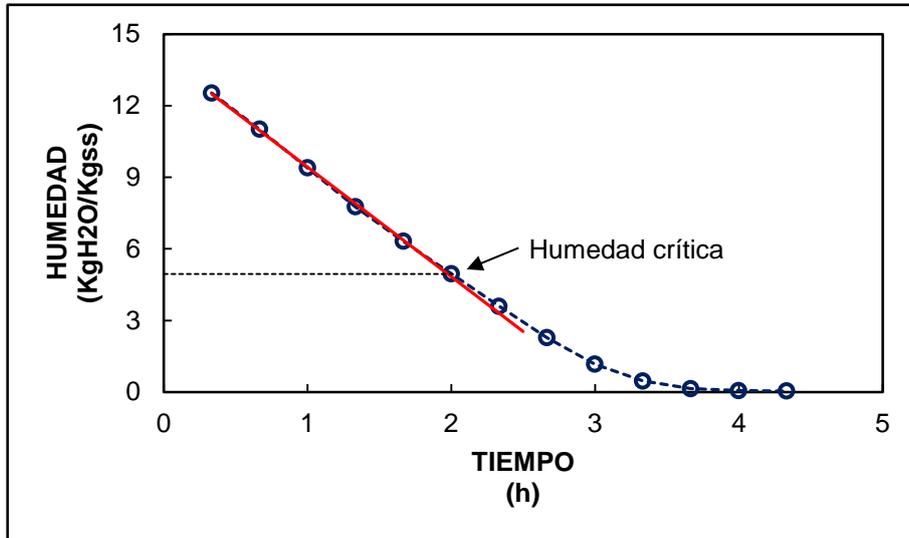
Anexo 6. Gráficas para hallar la humedad crítica para el tratamiento T2.



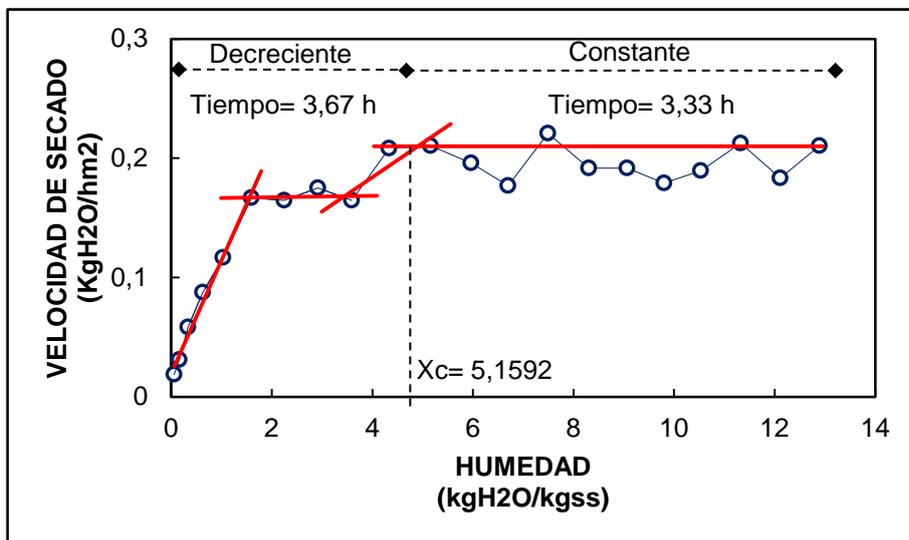
Anexo 7. Gráficas para hallar la humedad crítica para el tratamiento T3.



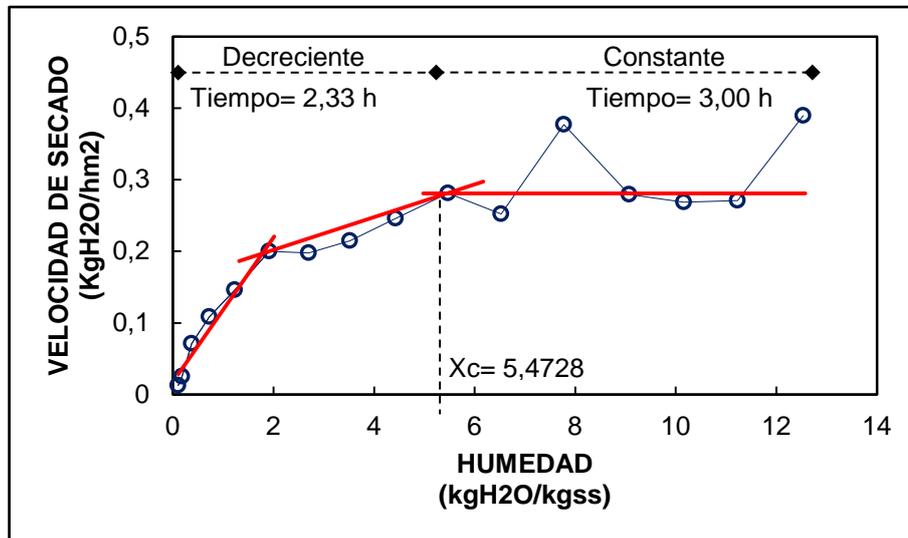
Anexo 8. Gráficas para hallar la humedad crítica para el tratamiento T4.



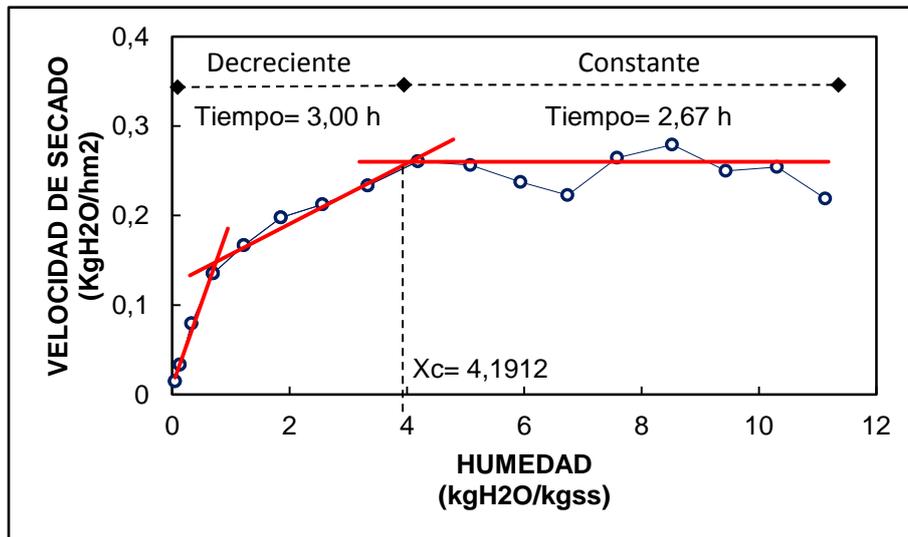
Anexo 9. Curva de velocidad de secado en función de la humedad libre para el tratamiento T1.



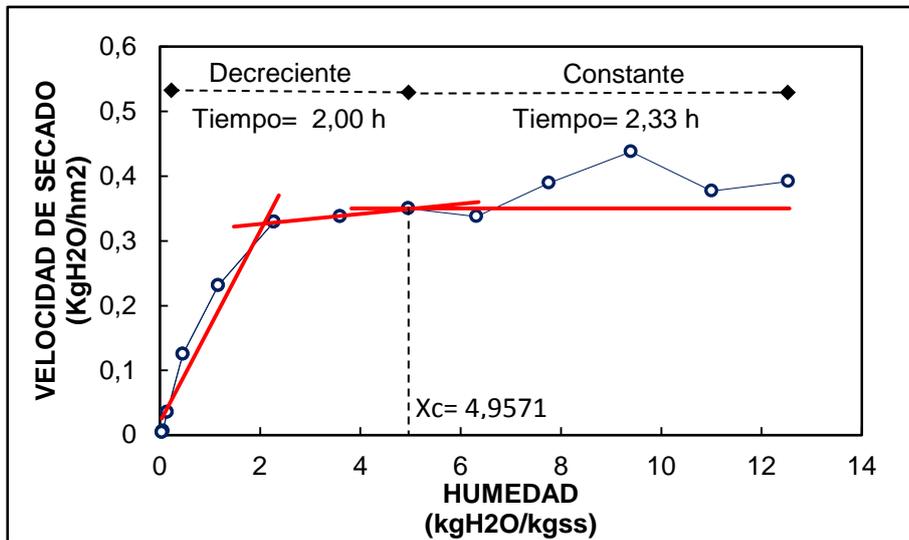
Anexo 10. Curva de velocidad de secado en función de la humedad libre para el tratamiento T2.



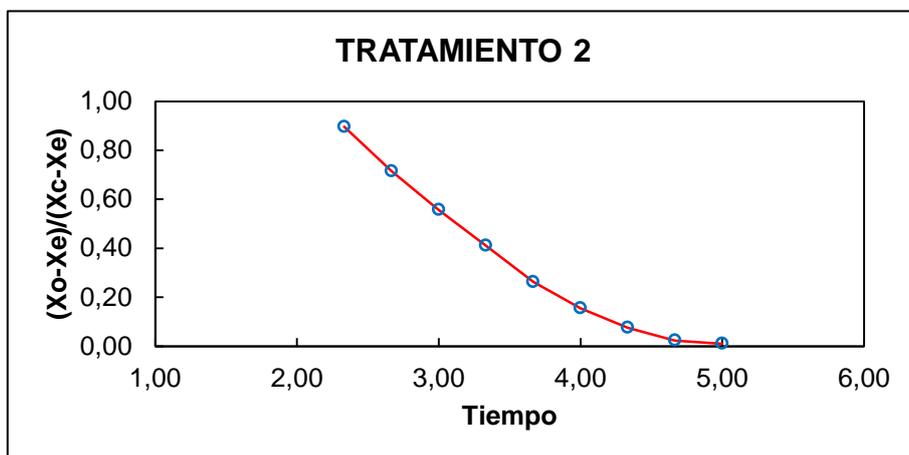
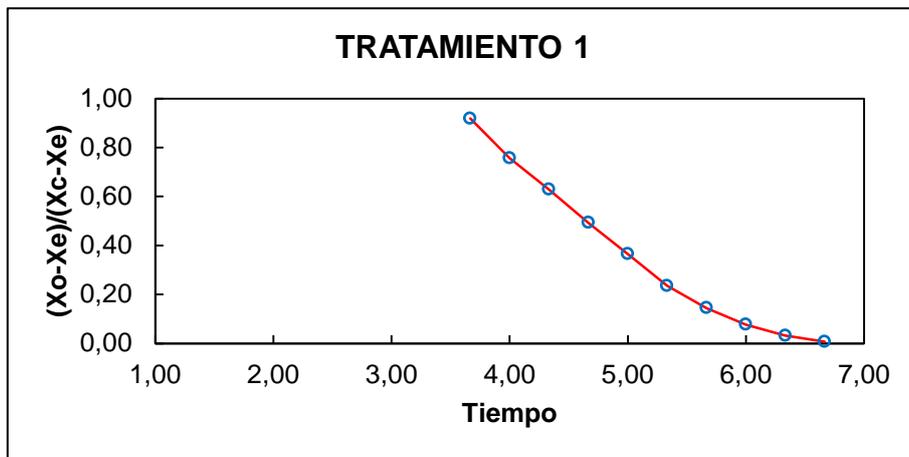
Anexo 11. Curva de velocidad de secado en función de la humedad libre para el tratamiento T3.

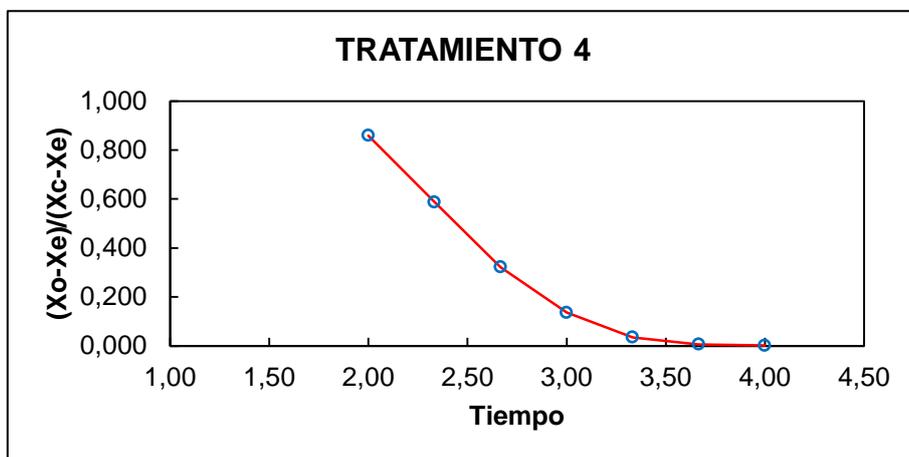
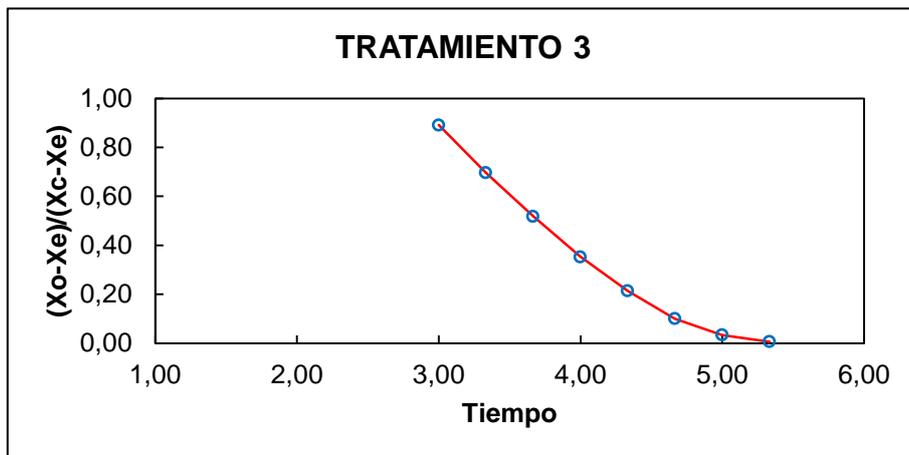


Anexo 12. Curva de velocidad de secado en función de la humedad libre para el tratamiento T4.



Anexo 13. Graficas del mecanismo de eliminación de agua en el período decreciente.





Anexo 14. Cálculos referenciales para las hojuelas de mashua deshidratadas.

Se tomó la muestra de 289 g o 0,2890 kg de rodajas de mashua con una humedad de 93%.

$$G_{\text{agua}} = G_i * (X\%)$$

$$G_{\text{agua}} = 0,2890 \text{ kg} * 0,93$$

$$G_{\text{agua}} = 0,2688 \text{ kg}_{\text{agua}}$$

$$S = G_i - G_{\text{H}_2\text{O}}$$

$$S = 0,2890 \text{ kg} - 0,2688 \text{ kg}_{\text{agua}}$$

$$S = 0,0202 \text{ kg}_{\text{ss}}$$

$$X_{\text{bs}} = (G_i - S)/S$$

$$X_{\text{bs}} = (0,2890 \text{ kg} - 0,0202 \text{ kg}_{\text{ss}})/0,0202 \text{ kg}_{\text{ss}}$$

$$X_{\text{bs}} = 13,3069 \text{ kg}_{\text{agua}}/\text{kg}_{\text{ss}}$$

G_{agua} = Peso del agua

G_i = Peso inicial de las rodajas

$X\%$ = Porcentaje de humedad

S = Peso del solido seco

X_{bs} = Humedad en base seca

Cálculo de área del producto a deshidratarse

Para el cálculo del área se midió la malla tanto la base como la altura.

$$A = b \cdot h$$

$$A = 0,50 \text{ m} \cdot 0,32 \text{ m}$$

$$A = 0,16 \text{ m}^2$$

$$A = 0,16 \text{ m}^2 \cdot 1,5$$

$$A = 0,24 \text{ m}^2$$

A= Área de la malla

b= Base de la malla

h= Altura de la malla

Cálculo de la velocidad de secado

Para el cálculo de la velocidad de secado se tomó un intervalo de tiempo de 20 minutos para la toma de medidas de pérdida de peso de los diferentes tratamientos.

$$R = \frac{S \Delta x}{A \Delta t}$$

$$R = \frac{0,0202 \text{ kg}_{\text{ss}} (13,3069 - 12,4736) \text{ kg}_{\text{agua}}/\text{kg}_{\text{ss}}}{0,24 \text{ m}^2 (0,33 - 0) \text{ h}}$$

R= Velocidad de secado

S= Peso sólido seco

A= Área de la malla

x= Humedad en base seca

t= Tiempo

$$R = 0,2104 \text{ kg}_{\text{agua}}/\text{hm}^2$$

Cálculo del período constante

Datos obtenidos del tabla N° 22

$$X_o = 13,3069 \text{ kg}_{\text{agua}}/\text{kg}_{\text{ss}}$$

$$X_c = 5,1592 \text{ kg}_{\text{agua}}/\text{kg}_{\text{ss}}$$

$$R_c = 0,2104 \text{ kg}_{\text{agua}}/\text{hm}^2$$

$$S = 0,0202 \text{ kg}_{\text{ss}}$$

$$A = 0,24 \text{ m}^2$$

X_o= Humedad inicial

X_c= Humedad crítica

R_c= Velocidad crítica

S= Peso del sólido seco

A= Área de la malla

$$T_a = \frac{S}{A \cdot R_c} (X_o - X_c)$$

$$T_a = \frac{0,0202 \text{ kg}_{\text{ss}}}{0,24 \text{ m}^2 \cdot 0,2104 \text{ kg}_{\text{agua}}/\text{hm}^2} (13,3069 - 5,1592) \text{ kg}_{\text{agua}}/\text{kg}_{\text{ss}}$$

$$T_a = 3,26 \text{ h}$$

Cálculo del período decreciente

Datos obtenidos de la tabla N° 22

$$X_f = 0,1592 \text{ kg}_{\text{agua}}/\text{kg}_{\text{ss}}$$

$$X_c = 5,1592 \text{ kg}_{\text{agua}}/\text{kg}_{\text{ss}}$$

$$R_c = 0,2104 \text{ kg}_{\text{agua}}/\text{hm}^2$$

$$R_f = 0,0312 \text{ kg}_{\text{agua}}/\text{hm}^2$$

$$S = 0,0202 \text{ kg}_{\text{ss}}$$

$$A = 0,24 \text{ m}^2$$

X_f = Humedad final

X_c = Humedad crítica

R_c = Velocidad crítica

R_f = Velocidad final

S= Peso del sólido seco

A= Área de la malla

$$T_p = \frac{S (X_c - X_f)}{A (R_c - R_f)} \ln \frac{R_c}{R_f}$$

$$T_p = \frac{0,0202 \text{ kg}_{\text{ss}} (5,1592 - 0,1592) \text{ kg}_{\text{agua}}/\text{kg}_{\text{ss}}}{0,24 \text{ m}^2 (0,2104 - 0,0312) \text{ kg}_{\text{agua}}/\text{hm}^2} \ln \left(\frac{0,2104}{0,0312} \right) \text{ kg}_{\text{agua}}/\text{hm}^2$$

$$T_p = 4,48 \text{ h}$$

Tiempo total

$$T = T_a + T_p$$

$$T = 3,26 + 4,48 = 7,74 \text{ horas}$$

Temperatura (°C)	Velocidad del aire (m/s)	Tiempo (horas)			
		Predicción			Experimental
		Constante	Decreciente	Total	Total
35	0,80	3,26	4,48	7,74	7,00
35	1,35	2,34	4,21	6,55	5,33
45	0,80	2,71	3,54	6,25	5,67
45	1,35	2,01	4,83	6,84	4,33

Cálculo para la cantidad de calor transferido del aire al producto

$$v = 0,8 \text{ m/s}; 2880 \text{ m/h}$$

$$\rho_{35^\circ\text{C}} = 0,524 \text{ kg/m}^3$$

$$A = 0,24 \text{ m}^2$$

$$T_a = 35^\circ\text{C}; 308\text{K}$$

$$T_w = 19,60^\circ\text{C}; 292,6\text{K}$$

G= velocidad másica del aire
 v= velocidad de aire de secado
 ρ= densidad del aire
 h= coef. de transf. de calor por convección
 A= Área de la malla
 T_a= temperatura del bulbo seco
 T_w= temperatura del bulbo húmedo

$$v = 1,35 \text{ m/s}; 4860 \text{ m/h}$$

$$\rho_{45^\circ\text{C}} = 0,511 \text{ kg/m}^3$$

$$T_a = 45^\circ\text{C}; 318\text{K}$$

$$T_w = 21,72^\circ\text{C}; 294,7\text{K}$$

$$G = v * \rho$$

$$G = 2880 \text{ m/h} * 0,524 \text{ kg/m}^3$$

$$G = 1509,12 \text{ kg/m}^2\text{s}$$

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

$$h = 0,0204(1509,12)^{0,8}$$

$$h = 7,12 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$q = h * A(T_a - T_w)$$

$$q = 7,12 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} * 0,24 \text{ m}^2(308 - 292,6)\text{K}$$

$$q = 26,32 \text{ W}$$

$$q = 0,0263\text{Kw}$$

Temperatura (°C)	Velocidad del aire (m/s)	h W/m ² K	q Kw
35	0,80	7,12	0,0263
35	1,35	10,82	0,0400
45	0,80	6,98	0,0390
45	1,35	9,12	0,0592

Anexo 15. Cuadro de disminución de peso del tratamiento 1 (A1B1).

TIEMPO	REPETICIONES			\bar{x}
	I	II	III	
minutos	g	g	g	g
0	289,0	289,0	289,0	289,0
20	272,5	273,5	270,5	272,2
40	257,5	259,5	255,5	257,5
60	240,5	243,0	238,0	240,5
80	225,5	227,0	223,5	225,3
100	211,5	213,0	208,5	211,0
120	196,0	198,0	193,0	195,7
140	181,5	182,0	177,5	180,3
160	163,5	164,5	160,0	162,7
180	149,5	150,5	145,5	148,5
200	135,5	134,5	128,5	132,8
220	119,0	118,0	111,0	116,0
240	101,0	101,5	95,5	99,3
260	87,5	88,5	82,5	86,2
280	74,0	74,5	68,0	72,2
300	61,0	61,5	54,5	59,0
320	47,5	48,0	41,5	45,7
340	38,0	38,5	32,5	36,3
360	30,5	31,0	26,5	29,3
380	25,0	26,0	23,0	24,7
400	22,5	23,0	21,0	22,2
420	21,0	21,0	20,0	20,7
440	21,0	21,0	20,0	20,7

Anexo 16. Cuadro de disminución de peso del tratamiento 2 (A1B2).

TIEMPO	REPETICIONES			\bar{x}
	I	II	III	
minutos	g	g	g	g
0	289,0	289,0	289,0	289,0
20	262,0	258,0	253,5	257,8
40	240,5	236,5	231,5	236,2
60	220,0	214,5	209,5	214,7
80	199,0	192,5	185,5	192,3
100	170,5	161,5	154,5	162,2
120	151,0	140,5	134,5	142,0
140	129,5	117,5	111,5	119,5
160	110,0	97,0	92,5	99,8
180	92,5	80,0	75,5	82,7
200	76,0	64,0	60,5	66,8
220	58,5	48,5	45,5	50,8
240	45,5	37,0	35,0	39,2
260	34,5	29,0	28,0	30,5
280	27,5	23,5	23,5	24,8
300	24,5	22,0	22,0	22,8
320	23,0	21,0	21,5	21,8
340	23,0	21,0	21,5	21,8

Anexo 17. Cuadro de disminución de peso del tratamiento 3 (A2B1).

TIEMPO	REPETICIONES			\bar{x}
	I	II	III	
minutos	g	g	g	g
0	289,0	289,0	289,0	289,0
20	271,5	272,5	270,5	271,5
40	251,5	253,0	249,0	251,2
60	231,5	233,5	228,5	231,2
80	210,0	211,0	205,5	208,8
100	188,0	190,5	184,5	187,7
120	171,0	172,5	166,0	169,8
140	152,5	153,5	146,5	150,8
160	131,5	134,0	125,5	130,3
180	111,5	112,5	104,5	109,5
200	92,0	94,0	86,5	90,8
220	75,0	77,0	69,5	73,8
240	59,0	61,0	54,0	58,0
260	44,5	47,5	42,0	44,7
280	34,0	35,5	32,0	33,8
300	27,0	28,5	27,0	27,5
320	24,5	25,5	24,5	24,8
340	23,5	24,0	23,5	23,7
360	23,5	24,0	23,5	23,7

Anexo 18. Cuadro de disminución de peso del tratamiento 4 (A2B2).

TIEMPO	REPETICIONES			\bar{x}
	I	II	III	
minutos	g	g	g	g
0	289,0	289,0	289,0	289,0
20	260,5	258,5	254,0	257,7
40	229,5	231,0	222,0	227,5
60	197,0	195,5	185,0	192,5
80	164,0	165,0	155,0	161,3
100	139,5	138,0	125,5	134,3
120	112,0	110,0	97,0	106,3
140	83,5	82,5	72,0	79,3
160	55,5	55,5	48,0	53,0
180	35,0	36,0	32,5	34,5
200	24,5	24,5	24,5	24,5
220	21,5	21,5	22,0	21,7
240	21,0	21,0	21,5	21,2
260	21,0	20,5	21,0	20,8
280	21,0	20,5	21,0	20,8

Anexo 19. Hoja de encuesta para la evaluación sensorial.

Hoja de encuesta para la evaluación sensorial de hojuelas de mashua deshidratada.

Fecha.....

CARACTERÍSTICAS	ESCALA	MUESTRAS			
		235	023	513	487
COLOR	Me gusta muchísimo				
	Me gusta moderadamente				
	No me gusta ni me disgusta				
	Me disgusta moderadamente				
	Me disgusta muchísimo				
AROMA	Me gusta muchísimo				
	Me gusta moderadamente				
	No me gusta ni me disgusta				
	Me disgusta moderadamente				
	Me disgusta muchísimo				
SABOR	Me gusta muchísimo				
	Me gusta moderadamente				
	No me gusta ni me disgusta				
	Me disgusta moderadamente				
	Me disgusta muchísimo				
FRACTURABILIDAD	Alto				
	Medio				
	Bajo				
ACEPTABILIDAD	Me gusta muchísimo				
	Me gusta moderadamente				
	No me gusta ni me disgusta				
	Me disgusta moderadamente				
	Me disgusta muchísimo				

OBSERVACIONES.....

Anexo 20. Rangos tabulados para el color.

CATADOR	T1	T2	T3	T4	SUMA
1	4	2,5	2,5	1	10
2	2	2	4	2	10
3	3	3	3	1	10
4	2,5	2,5	2,5	2,5	10
5	1	2,5	2,5	4	10
6	3,5	1,5	3,5	1,5	10
7	3	3	1	3	10
8	1,5	4	1,5	3	10
9	1,5	3	4	1,5	10
10	1,5	3,5	3,5	1,5	10
11	3,5	1,5	3,5	1,5	10
Σt	27,00	29,00	31,50	22,50	110
\bar{x}	2,45	2,64	2,86	2,05	10,00
s	1,01	0,78	0,98	0,96	----
Σt^2	729,00	841,00	992,25	506,25	3068,5

Anexo 21. Rangos tabulados para el aroma.

CATADOR	T1	T2	T3	T4	SUMA
1	3	1,5	4	1,5	10
2	2	2	4	2	10
3	2,5	4	1	2,5	10
4	2,5	2,5	2,5	2,5	10
5	2,5	2,5	2,5	2,5	10
6	1	2,5	4	2,5	10
7	2,5	2,5	2,5	2,5	10
8	2,5	2,5	4	1	10
9	3,5	1	3,5	2	10
10	2,5	2,5	2,5	2,5	10
11	4	2	2	2	10
Σt	28,50	25,50	32,50	23,50	110
\bar{x}	2,59	2,32	2,95	2,14	10,00
s	0,77	0,75	1,01	0,50	----
Σt^2	812,25	650,25	1056,25	552,25	3071

Anexo 22. Rangos tabulados para el sabor.

CATADOR	T1	T2	T3	T4	SUMA
1	3,5	3,5	1,5	1,5	10
2	1,5	3,5	1,5	3,5	10
3	1	2,5	2,5	4	10
4	2,5	2,5	2,5	2,5	10
5	1,5	1,5	3,5	3,5	10
6	1,5	4	3	1,5	10
7	4	3	1,5	1,5	10
8	3	3	3	1	10
9	1	4	2,5	2,5	10
10	3	3	1	3	10
11	3,5	1,5	3,5	1,5	10
Σt	26	32	26	26	110
\bar{x}	2,36	2,91	2,36	2,36	10,00
s	1,10	0,86	0,87	1,03	----
Σt^2	676,00	1024,00	676,00	676,00	3052,00

Anexo 23. Rangos tabulados para la fracturabilidad.

CATADOR	T1	T2	T3	T4	SUMA
1	4	3	1,5	1,5	10
2	2	2	4	2	10
3	1,5	3,5	1,5	3,5	10
4	1,5	1,5	3,5	3,5	10
5	1	2	3,5	3,5	10
6	2,5	2,5	2,5	2,5	10
7	4	3	1,5	1,5	10
8	4	2	2	2	10
9	1	3,5	2	3,5	10
10	2	2	2	4	10
11	3,5	3,5	1,5	1,5	10
Σt	27	28,5	25,5	29	110
\bar{x}	2,45	2,59	2,32	2,64	10,00
s	1,21	0,74	0,93	0,98	----
Σt^2	729,00	812,25	650,25	841,00	3032,50

Anexo 24. Rangos tabulados para la aceptabilidad.

CATADOR	T1	T2	T3	T4	SUMA
1	4	3	1,5	1,5	10
2	1	3	3	3	10
3	1	3	3	3	10
4	1,5	3,5	1,5	3,5	10
5	1	4	2,5	2,5	10
6	1,5	1,5	3	4	10
7	3,5	3,5	2	1	10
8	3	3	3	1	10
9	2	4	1	3	10
10	2	2	2	4	10
11	3	1	3	3	10
Σt	23,5	31,5	25,5	29,5	110
\bar{x}	2,14	2,86	2,32	2,68	10,00
s	1,07	0,98	0,75	1,08	----
Σt^2	552,25	992,25	650,25	870,25	3065

Anexo 25. Análisis químico proximal y actividad antioxidante de la materia prima.

MC-LSAIA-2201-03

	<p>INSTITUTO NACIONAL AUTONOMO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS ESTACION EXPERIMENTAL SANTA CATALINA DEPARTAMENTO DE NUTRICION Y CALIDAD LABORATORIO DE SERVICIO DE ANALISIS E INVESTIGACION EN ALIMENTOS Panamericana Sur Km. 1. Cutuglagua Tifs. 2690691-3007134. Fax 3007134 Casilla postal 17-01-340</p>	
---	---	---

INFORME DE ENSAYO No: 15-280

<p>NOMBRE PETICIONARIO: Ing. Beatriz Brito DIRECCION: Panamericana Sur Km 1 FECHA DE EMISION: 06/10/2015 FECHA DE ANALISIS: Del 16 al 30 de septiembre de 2015</p>	<p>INSTITUCION: INIAP DNC ATENCION: Ing. Beatriz Brito FECHA DE RECEPCION.: 15/09/2015 HORA DE RECEPCION: 09H26 ANALISIS SOLICITADO Proximal, actividad antioxidanted, azúcares re</p>
---	---

ANÁLISIS	HUMEDAD	CENIZAS ^Ω	E.E. ^Ω	PROTEÍNA ^Ω	FIBRA ^Ω	E.L.N. ^Ω	IDENTIFICACIÓN
MÉTODO	MO-LSAIA-01.01	MO-LSAIA-01.02	MO-LSAIA-01.03	MO-LSAIA-01.04	MO-LSAIA-01.05	MO-LSAIA-01.06	
METODO REF.	U. FLORIDA 1970	U. FLORIDA 1970	U. FLORIDA 1970	U. FLORIDA 1970	U. FLORIDA 1970	U. FLORIDA 1970	
UNIDAD	%	%	%	%	%	%	
15-1541	88,96	5,61	2,76	14,19	6,23	71,20	Mashua fresca
ANÁLISIS		ACTIVIDAD^Ω ANTIOXIDANTE	AZÚCARES^Ω REDUCTORES				
MÉTODO			MO-LSAIA-22				
METODO REF.			WATADA, 1965				
UNIDAD		uMTrolox/g	%				
15-1541		37,67	40,71				Mashua fresca

Los ensayos marcados con Ω se reportan en base seca.

OBSERVACIONES: Muestra entregada por el cliente

RESPONSABLES DEL INFORME


Dr. Armando Rubio
RESPONSABLE DE CALIDAD




Dr. Iván Samaniego, MSc.
RESPONSABLE TÉCNICO

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.

Los resultados arriba indicados solo están relacionados con el objeto de ensayo

NOTA DE DESCARGO: La información contenida en este informe de ensayo es de carácter confidencial, está dirigido únicamente al destinatario de la misma y solo podrá ser usada por este. Si el lector de este correo electrónico o fax no es el destinatario del mismo, se le notifica que cualquier copia o distribución de este se encuentra totalmente prohibido. Si usted ha recibido este informe de ensayo por error, por favor notifique inmediatamente al remitente por este mismo medio y elimine la información.

Anexo 26. Análisis químico proximal y actividad antioxidante de los 4 tratamientos.

MC-LSAIA-2201-03

	INSTITUTO NACIONAL AUTÓNOMO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS ESTACION EXPERIMENTAL SANTA CATALINA DEPARTAMENTO DE NUTRICIÓN Y CALIDAD LABORATORIO DE SERVICIO DE ANÁLISIS E INVESTIGACIÓN EN ALIMENTOS Panamericana Sur Km. 1, Cutuglagua Tfts. 2690691-3007134, Fax 3007134 Casilla postal 17-01-340	

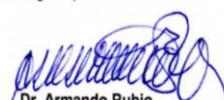
INFORME DE ENSAYO No: 15-286

NOMBRE PETICIONARIO:	Ing. Beatriz Brito	INSTITUCION:	INIAP DNC
DIRECCION:	Panamericana Sur Km 1	ATENCIÓN:	Ing. Beatriz Brito
FECHA DE EMISION:	06/10/2015	FECHA DE RECEPCION.:	18/09/2015
FECHA DE ANALISIS:	Del 19 al 30 de septiembre de 2015	HORA DE RECEPCION:	11H32
		ANÁLISIS SOLICITADO	Proximal, actividad antioxidanted

ANÁLISIS	HUMEDAD	CENIZAS ^Ω	E.E. ^Ω	PROTEINA ^Ω	FIBRA ^Ω	E.L.N. ^Ω	IDENTIFICACIÓN
MÉTODO	MO-LSAIA-01.01	MO-LSAIA-01.02	MO-LSAIA-01.03	MO-LSAIA-01.04	MO-LSAIA-01.05	MO-LSAIA-01.06	
METODO REF.	U. FLORIDA 1970	U. FLORIDA 1970	U. FLORIDA 1970	U. FLORIDA 1970	U. FLORIDA 1970	U. FLORIDA 1970	
UNIDAD	%	%	%	%	%	%	
15-1580	8,72	2,71	1,29	12,40	8,20	75,40	Chips de mashua T1
15-1581	8,08	2,49	1,19	11,41	7,54	77,37	Chips de mashua T2
15-1582	7,19	2,87	1,16	13,03	8,58	74,36	Chips de mashua T3
15-1583	6,45	2,77	1,13	12,44	7,28	75,98	Chips de mashua T4
ANÁLISIS		ACTIVIDAD ^Ω ANTIOXIDANTE	ACTIVIDAD ^Ω ANTIOXIDANTE	ACTIVIDAD ^Ω ANTIOXIDANTE			
MÉTODO							
METODO REF.							
UNIDAD		uMTrolox/g	uMTrolox/g	uMTrolox/g			
15-1580		36,70	36,03	36,42			Chips de mashua T1
15-1581		35,27	35,18	35,33			Chips de mashua T2
15-1582		34,46	34,11	34,63			Chips de mashua T3
15-1583		33,95	33,82	33,94			Chips de mashua T4

Los ensayos marcados con Ω se reportan en base seca.
 OBSERVACIONES: Muestra entregada por el cliente

RESPONSABLES DEL INFORME

 Dr. Armando Rubio RESPONSABLE DE CALIDAD		 Dr. Iván Samaniego, MSc. RESPONSABLE TÉCNICO
--	---	---

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.
 Los resultados arriba indicados solo están relacionados con el objeto de ensayo
 NOTA DE DESCARGO: La información contenida en este informe de ensayo es de carácter confidencial y es únicamente al destinatario de la misma y solo podrá ser usada por este. Si el lector de este correo electrónico o fax no es el destinatario del mismo, se le notifica que cualquier copia o distribución de este documento es totalmente prohibido. Si usted ha recibido este informe de ensayo por error, por favor notifique inmediatamente al remitente por este mismo medio y elimine la información.

Anexo 27. Análisis microbiológicos de los 4 tratamientos.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

UNIVERSIDAD ACREDITADA RESOLUCIÓN 002 – CONEA – 2010 – 129 – DC.
Resolución No. 001 – 073 – CEAACES – 2013 – 13

FICAYA

Laboratorio de Análisis Físicos, Químicos y Microbiológicos

Informe N°:	105 - 2015
Análisis solicitado por:	Sr. Mario Lara
Empresa:	No aplica
Muestreado:	No aplica
Fecha de recepción:	25 de septiembre de 2015
Fecha de entrega informe:	02 de octubre de 2015
Ciudad:	Ibarra
Provincia:	Imbabura

Parámetro Analizado	Unidad	Resultado				Metodo de ensayo
		T1	T2	T3	T4	
Recuento Aerobios Mesófilos	UFC/g	15	20	20	18	AOAC 989.10
Recuento de Mohos	UFC/g	45	80	70	100	AOAC 997.02
Recuento de Levaduras	UFC/g	120	120	80	160	

Los resultados obtenidos pertenecen exclusivamente para las muestras analizadas

Atentamente:



Blaq. José Luis Moreno
Técnico de Laboratorio

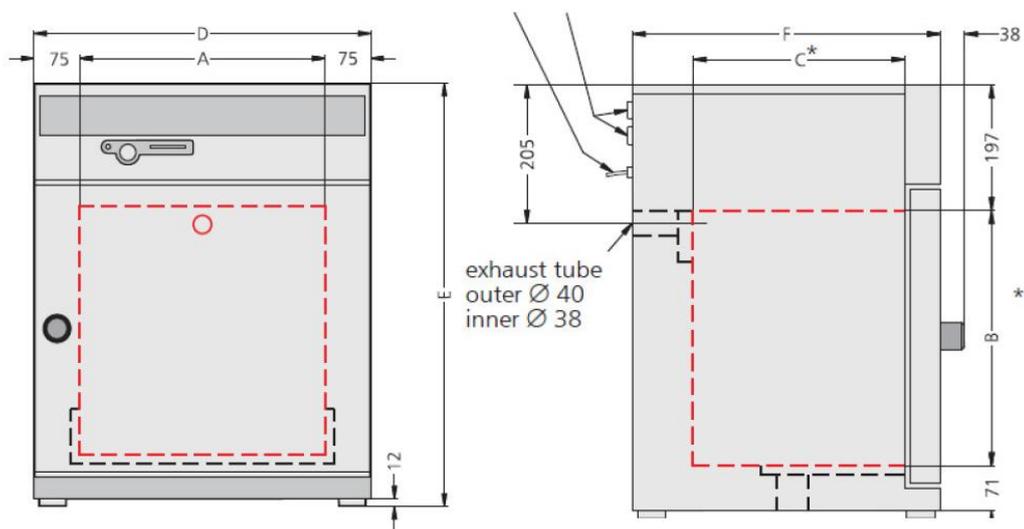


Visión Institucional
La Universidad Técnica del Norte en el año 2020, será un referente en ciencia, tecnología e innovación en el país, con estándares de excelencia institucionales.

Av. 17 de Julio S-21 y José María
Córdova. Barrio El Olivo.
Teléfono: (06)2997800
Fax: Ext. 7711
Email: utn@utn.edu.ec
www.utn.edu.ec
Ibarra - Ecuador

Anexo 28. Descripción de la estufa.

Características técnicas de la estufa	
Dimensiones interiores:	
Ancho	1040 mm (A en dibujo)
Altura	1200 mm (B en dibujo)
Fondo	600 mm (C en dibujo)
Material	Acero inox 1,4301 (ASTM 304)
Dimensiones exteriores:	
Ancho	1190 mm (D)
Altura	1620 mm (E)
Fondo	750 mm (F) sin manilla puerta
Manilla de puerta	38 mm
Consumo eléctrico	4,800 W (en función caldeo)
Conexión eléctrica	400 V ($\pm 10\%$) 3F N, 50/60 Hz
Peso neto	170 Kg
Cantidad bandejas incluidas	2
Ancho de bandeja	1036 mm
Fondo de bandeja	530 mm
Carga max por bandeja	30 Kg
Carga total max en cámara	160 Kg



**Esquema referencial*

SIMBOLOGÍA

Xbh= Humedad en base húmeda

Xbs= Humedad en base seca

°C= Grados celcius

kPa= Kilo pascal

Kg= Kilogramos

KgH₂O= Kilogramos de agua

KgAs= Kilogramos de aire seco

KJ= Kilojulio

m³= Metro cúbico

ml= Mililitros

m= Metro

s= Segundos

mm= Milímetros

g= Gramos

CV= Coeficiente de variación

** : Alta significancia

* : Significancia

NS= no significancia

uMTrolox= Micro moles equivalente a Trolox

kgss= Kilogramos de materia seca

m²= Metro cuadrado

h= Hora

X₀= Humedad inicial

X_e= Humedad de equilibrio

X_c= Humedad crítica

X²= Chi cuadrado

UFC/g= Unidad formadora de colonias por gramo

W= Vatio

kw= Kilovatios

ppm= Partes por millón

%= Porcentaje

R= Velocidad de secado

S= Desviación estándar

Σt= Sumatoria total