



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

EFFECTOS DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA Y SECADO SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS Y SENSORIALES DE SNACK DE MASHUA

Tropaeolum tuberosum

Tesis previa a la obtención del Título de
INGENIERA AGROINDUSTRIAL

AUTORA:

Jhoseline Gabriela Benavides Chamorro

DIRECTOR:

Ing. Luis Armando Manosalvas Quiroz

Ibarra – Ecuador

2017

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS
Y AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

EFFECTOS DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA Y SECADO SOBRE LAS
CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS Y SENSORIALES DE SNACK DE
MASHUA *Tropaeolum tuberosum*

Tesis revisada por los Miembros del Tribunal, por lo cual se autoriza su
presentación como requisito parcial para obtener el Título de:

INGENIERA AGROINDUSTRIAL

APROBADA:

Ing. Luis Armando Manosalvas Quiroz

FIRMA

DIRECTOR DE TESIS

Ing. Ángel Satama

FIRMA

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Juan De la Vega

FIRMA

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Jimmy Cuarán

FIRMA

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

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			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1003405170		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Benavides Chamorro Jhoseline Gabriela		
DIRECCIÓN:	La Aduana/Barrio San José		
EMAIL:	jhoseline0110@hotmail.com		
TELÉFONO FIJO:	-----	TELÉFONO MÓVIL:	0997007754

DATOS DE LA OBRA			
TÍTULO:	EFECTOS DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA Y SECADO SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS Y SENSORIALES DE SNACK DE MASHUA <i>Tropaeolum tuberosum</i>		
AUTORA:	Benavides Chamorro Jhoseline Gabriela		
FECHA:	2017-01-12		
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO			
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> x	<input type="checkbox"/> PREGRADO	<input type="checkbox"/> POSTGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERA AGROINDUSTRIAL		
ASESOR / DIRECTOR:	Ing. Luis Armando Manosalvas Quiroz		

2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Benavides Chamorro Jhoseline Gabriela, con cédula de identidad Nro.1003405170, en calidad de autora 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 12 días del mes de enero de 2017

LA AUTORA:



Benavides Chamorro Jhoseline Gabriela
C.C: 1003405170

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

Yo, Benavides Chamorro Jhoseline Gabriela, con cédula de identidad Nro. 1003405170, 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 autora de la obra o trabajo de grado denominado: **EFFECTOS DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA Y SECADO SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS Y SENSORIALES DE SNACK DE MASHUA *Tropaeolum tuberosum***, que ha sido desarrollado para optar por el título de: **INGENIERA 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 12 días del mes de Enero de 2017



Benavides Chamorro Jhoseline Gabriela
C.C: 1003405170

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 12 días del mes de Enero de 2017



Benavides Chamorro Jhoseline Gabriela
C.C: 1003405170

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por la señorita Benavides Chamorro Jhoseline Gabriela, bajo mi supervisión.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Luis Armando Manosalvas', is written over a horizontal line.

Ing. Luis Armando Manosalvas
DIRECTOR DE TRABAJO DE
GRADO

DEDICATORIA

Dedico todo mi trabajo y esfuerzo a mi hijo Isaak Ponce quien a sido la personita que me a dado fuerzas para seguir luchando dia a dia por un mejor futuro, superando obstáculos y dificultades. A mi padre Olegario Benavides, a mis hermanas Maura y Katherine quienes han estado siempre pendientes, con su apoyo, consejos para poder culminar esta etapa de mi vida.

También dedico a mis hermanos quienes pensaron que no seria capaz de alcanzar esta meta a ustedes que me dieron mas fuerzas para seguir adelante.

AGRADECIMIENTO

Agradecida con dios quien ha permitido que logre culminar esta meta brindándome paciencia y constancia sin dejarme decaer a pesar de los problemas obtendidos en mi vida y en el desarrollo de la investigación

*A la abuela Paty que de una u otra manera me ayudo con el cuidado de mi hijo
Isaak para que yo pueda alcazar este logro.*

*A mis padres a mis hermanos que me apoyaron y a los que no también gracias
por ustedes estoy aquí.*

A mis compas quien han estado ahí apoyandome Luis y Alicia gracias.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN	1
1.1 PROBLEMA	1
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	3
1.3 OBJETIVOS.....	4
1.3.1 OBJETIVO GENERAL	4
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
1.4 HIPÓTESIS DE TRABAJO.....	5
1.4.1 HIPÓTESIS ALTERNATIVA.....	5
1.4.2 HIPÓTESIS NULA.....	5

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO	6
2.1 MASHUA.....	6
2.1.1 ORIGEN DE LA MASHUA	7
2.1.2 DESCRIPCIÓN TAXONÓMICA DE LA MASHUA.....	7
2.1.3 CONDICIONES AGROECOLÓGICAS PARA EL CULTIVO	8
2.1.3.1 Suelo.....	8
2.1.3.2 Clima.....	8
2.1.4 ÉPOCAS DE SIEMBRA.....	8
2.1.5 CULTIVO DE LA MASHUA.....	9
2.1.6 COSECHA DE LA MASHUA	10
2.1.7 COMPOSICIÓN QUÍMICA Y VALOR NUTRICIONAL.....	10
2.1.8 FUNCIONALIDAD DE LOS COMPONENTES MÁS SIGNIFICATIVOS DE LA MASHUA.....	12
2.1.9 USOS DE LA MASHUA.....	14
2.2 CONSERVACIÓN DE LOS ALIMENTOS.....	15
2.2.1 MÉTODOS DE CONSERVACIÓN POR PERÍODOS CORTOS	15

2.2.2 MÉTODOS DE CONSERVACIÓN POR ACCIÓN QUÍMICA	16
2.3 DESHIDRATACIÓN DE LOS ALIMENTOS.....	16
2.3.1 EFECTOS DE LA DESHIDRATACIÓN EN LOS ALIMENTOS.....	17
2.3.2 MÉTODOS DE DESHIDRATACIÓN	17
2.4 DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA.....	18
2.4.1 PRINCIPIOS BÁSICOS DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA.....	19
2.4.1.1 Presión osmótica.....	19
2.4.1.2 Transferencia de masa	21
2.4.1.3 Variables del proceso.	22
2.4.2 APLICACIÓN INDUSTRIAL DE TRATAMIENTO OSMÓTICO EN EL PROCESAMIENTO DE FRUTAS Y HORTALIZAS	23
2.4.3 FACTORES QUE AFECTAN A LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA	24
2.4.3.1 Tratamientos previos del producto	24
2.4.3.2 Composición y concentración de la solución osmótica.....	24
2.4.3.3 Aditivos en la solución osmótica.....	25
2.4.3.4 Temperatura de la solución osmótica.....	25
2.4.3.5 Geometría del producto a deshidratar.....	26
2.4.3.6 Relación producto/ jarabe y agitación de la solución	26
2.4.3.7 Presión osmótica.....	26
2.4.3.8 Naturaleza del alimento	26
2.4.4 VENTAJAS DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA.....	27
2.4.5 DESVENTAJAS DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA	28
2.5 SECADO	28
2.5.1 SECADO DE PRODUCTOS ALIMENTICIOS.....	29
2.5.1.1 Almacenamiento prolongando la vida.....	30
2.5.1.2 Incremento de la calidad.....	30
2.5.1.3 Manejabilidad	30
2.5.1.4 Saneamiento	31
2.5.2 FUNDAMENTOS DE LA ELIMINACIÓN DE AGUA.....	31
2.5.2.1 Actividad de agua.....	31
2.5.2.2 Difusión de la humedad.....	35
2.5.2.3 Estabilidad de los alimentos secos	35

2.5.3 PROCESOS BÁSICOS DE SECADO.....	36
2.5.4 MECANISMO DE SECADO	38
2.5.4.1 Mecanismo de transmisión de calor	39
2.5.5 TRANSFERENCIA DE MASA Y CALOR EN EL SECADO CON AIRE CALIENTE.....	41
2.5.5.1 Transferencia de masa	42
2.5.5.2 Transferencia de calor	42
2.6 CINÉTICA DEL SECADO.....	43
2.6.1 CURVAS DE SECADO	43
2.6.2 VELOCIDAD DECRECIENTE DE SECADO	45
2.6.3 HUMEDAD DE EQUILIBRIO	45
2.7 PERIODOS DE SECADO	46
2.8 PREPARACIÓN DE LOS PRODUCTOS PARA EL SECADO	49
2.9 TEORÍAS DEL SECADO	51
2.9.1 TEORÍA DE LA DIFUSIÓN	51
2.9.2 TEORÍA DE FLUJO CAPILAR.....	55
2.10 SECADORES DE BANDEJAS	57
2.10.1 FUNDAMENTO DEL SECADO POR AIRE CALIENTE.....	59
2.11 DIAGRAMA PSICROMÉTRICO	59
2.12 ALIMENTOS TIPO SNACKS	64
2.12.1 CLASIFICACIÓN DE LOS SNACKS	64
2.12.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS SNACKS	65

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS.....	66
3.1 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	66
3.1.1 UBICACIÓN.....	66
3.1.2 CONDICIONES AMBIENTALES DEL AIRE DURANTE EL PROCESO DE SECADO.	67
3.1.2.1 Condiciones del aire para el factor A, temperatura (55°C, 60°C y 65°C). 69	
3.2 MATERIALES.....	72
3.2.1 MATERIA PRIMA E INSUMOS.....	72

3.2.2 MATERIALES Y EQUIPOS	72
3.3 MÉTODOS.....	73
3.3.1 FACTORES EN ESTUDIO	73
3.3.2 TRATAMIENTOS	74
3.3.3 DISEÑO EXPERIMENTAL.....	74
3.3.4 CARACTERÍSTICAS DEL EXPERIMENTO.....	75
3.3.5 UNIDAD EXPERIMENTAL.....	75
3.3.6 ANÁLISIS DE VARIANZA.....	75
3.3.7 ANÁLISIS FUNCIONAL.....	76
3.4 VARIABLES A EVALUARSE.....	76
3.4.1 VARIABLES CUANTITATIVAS	76
3.4.2 VARIABLES CUALITATIVAS	77
3.5 MANEJO ESPECÍFICO DEL EXPERIMENTO	79
3.5.1 DIAGRAMA DE BLOQUES PARA LA OBTENCIÓN DE SNACK DE MASHUA.....	80
3.5.2 DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA ELABORACIÓN DE SNACK DE MASHUA.....	81
3.5.3 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	82

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN	89
4.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS DE LA MASHUA.....	90
4.2 EVALUACIÓN DE LA HUMEDAD Y SÓLIDOS SOLUBLES (°brix) EN EL PROCESO DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA	91
4.3 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD FÍSICO QUÍMICA DEL SNACK DE MASHUA	97
4.4 PESO FINAL DEL PRODUCTO DESHIDRATADO OSMÓTICAMENTE.....	97
4.5 PESO FINAL DEL PRODUCTO TERMINADO SECADO POR AIRE CALIENTE	100
4.6 SÓLIDOS SOLUBLES EN EL PRODUCTO TERMINADO	108
4.7 HUMEDAD EN EL PRODUCTO TERMINADO.....	115
4.8 ACTIVIDAD DE AGUA EN EL PRODUCTO TERMINADO	123

4.9 EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA TEMPERATURA, VELOCIDAD DEL AIRE Y GROSOR DE LÁMINAS EN EL PROCESO DE SECADO	131
4.9.1 CURVA DE SECADO T1 (TEMPERATURA 55°C+ VELOCIDAD DEL AIRE 1,5 m/s + GROSOR DE LÁMINAS 4mm)	131
4.9.2 CURVA DE SECADO T2 (TEMPERATURA 55°C+ VELOCIDAD DEL AIRE 1,5 m/s + GROSOR DE LÁMINAS 7mm)	134
4.9.3 CURVA DE SECADO T3 (TEMPERATURA 55°C+ VELOCIDAD DEL AIRE 2,5 m/s + GROSOR DE LÁMINAS 4mm)	136
4.9.4 CURVA DE SECADO T4 (TEMPERATURA 55°C+ VELOCIDAD DEL AIRE 2,5 m/s + GROSOR DE LÁMINAS 7mm)	139
4.9.5 CURVA DE SECADO T5 (TEMPERATURA 55°C+ VELOCIDAD DEL AIRE 3,5 m/s + GROSOR DE LÁMINAS 4mm)	141
4.9.6 CURVA DE SECADO T6 (TEMPERATURA 55°C+ VELOCIDAD DEL AIRE 3,5 m/s + GROSOR DE LÁMINAS 7mm)	144
4.9.7 CURVA DE SECADO T7 (TEMPERATURA 60°C+ VELOCIDAD DEL AIRE 1,5 m/s + GROSOR DE LÁMINAS 4mm)	146
4.9.8 CURVA DE SECADO T8 (TEMPERATURA 60°C+ VELOCIDAD DEL AIRE 1,5 m/s + GROSOR DE LÁMINAS 7mm)	149
4.9.9 CURVA DE SECADO T9 (TEMPERATURA 60°C+ VELOCIDAD DEL AIRE 2,5 m/s + GROSOR DE LÁMINAS 4mm)	151
4.9.10 CURVA DE SECADO T10 (TEMPERATURA 60°C+ VELOCIDAD DEL AIRE 2,5 m/s + GROSOR DE LÁMINAS 7mm)	154
4.9.11 CURVA DE SECADO T11 (TEMPERATURA 60°C+ VELOCIDAD DEL AIRE 3,5 m/s + GROSOR DE LÁMINAS 4mm)	156
4.9.12 CURVA DE SECADO T12 (TEMPERATURA 60°C+ VELOCIDAD DEL AIRE 3,5 m/s + GROSOR DE LÁMINAS 7mm)	159
4.9.13 CURVA DE SECADO T13 (TEMPERATURA 65°C+ VELOCIDAD DEL AIRE 1,5 m/s + GROSOR DE LÁMINAS 4mm)	161
4.9.14 CURVA DE SECADO T14 (TEMPERATURA 65°C+ VELOCIDAD DEL AIRE 1,5 m/s + GROSOR DE LÁMINAS 7mm)	164
4.9.15 CURVA DE SECADO T15 (TEMPERATURA 65°C+ VELOCIDAD DEL AIRE 2,5 m/s + GROSOR DE LÁMINAS 4mm)	166
4.9.16 CURVA DE SECADO T16 (TEMPERATURA 65°C+ VELOCIDAD DEL AIRE 2,5 m/s + GROSOR DE LÁMINAS 7mm)	169
4.9.17 CURVA DE SECADO T17 (TEMPERATURA 65°C+ VELOCIDAD DEL AIRE 3,5 m/s + GROSOR DE LÁMINAS 4mm)	171

4.9.18 CURVA DE SECADO T18 (TEMPERATURA 65°C+ VELOCIDAD DEL AIRE 3,5 m/s + GROSOR DE LÁMINAS 7mm)	174
4.10 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD FÍSICO QUÍMICA Y SENSORIAL DE SNACK DE MASHUA	178
4.11 ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE LOS TRES MEJORES TRATAMIENTOS EN EL PRODUCTO TERMINADO	179
4.12 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE LOS TRES MEJORES TRATAMIENTOS EN EL PRODUCTO TERMINADO	180
4.13 ANÁLISIS SENSORIAL DEL PRODUCTO TERMINADO	180
4.13.1 COLOR.....	181
4.13.2 AROMA	182
4.13.3 SABOR.....	184
4.13.4 TEXTURA	185
4.13.5 ACEPTABILIDAD	187
4.14 BALANCE DE MATERIALES.....	190

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	192
5.1 CONCLUSIONES.....	192
5.2 RECOMENDACIONES	193
BIBLIOGRAFÍA	195
ANEXOS	201

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Botánica de la mashua.....	7
Tabla 2. Cultivo.....	9
Tabla 3. Análisis Bromatológico de 68 Entradas de Mashua del Banco De Germoplasma del INIAP (Datos en Muestra Seca)	11
Tabla 4. Composición de la mashua	11
Tabla 5. Clasificación de alimentos por su actividad de agua	33

Tabla 6. Características generales y datos meteorológicos.....	66
Tabla 7. Datos de las condiciones ambientales del aire por día.....	67
Tabla 8. Condiciones del aire.....	68
Tabla 9. Datos del aire a temperatura de 55°C.....	69
Tabla 10. Datos del aire a temperatura de 60°C.....	70
Tabla 11. Datos del aire a temperatura de 65°C.....	71
Tabla 12. Resultado de la combinación de los factores.	74
Tabla 13. Esquema del análisis de varianza.....	75
Tabla 14. Análisis físico químico de la mashua en base húmeda.....	76
Tabla 15. Análisis físico- químico de la mashua.....	90
Tabla 16. Datos del proceso de deshidratación osmótica.....	92
Tabla 17. Pesos del producto deshidratado osmóticamente(g).....	98
Tabla 18. Pesos del producto seco (g).....	100
Tabla 19. Análisis de varianza del peso del producto terminado.....	101
Tabla 20. Prueba Tukey al 5 % para tratamientos para la variable peso final (g).....	102
Tabla 21. Pruebadiferenciamedia significativa para el factor A (Temperaturas).....	102
Tabla 22. Prueba diferencia media significativa para el factor B (Velocidad del aire).....	103
Tabla 23. Prueba diferencia media significativa para el factor C (Grosor de láminas).....	103
Tabla 24. Sólidos solubles en el producto terminado (°Brix).....	108
Tabla 25. Análisis de varianza de los sólidos solubles.....	109
Tabla 26. PruebaTukey al 5 % para tratamientos ensólidos solubles.....	110
Tabla 27. Prueba diferencia media significativa para el factor A (Temperaturas)	110
Tabla 28. Prueba diferencia media significativa para el factor B (Velocidad del aire).....	111
Tabla 29. Prueba diferencia media significativa para el factor C (Grosor de láminas).....	111
Tabla 30. Humedad en el producto terminado(%).....	115
Tabla 31. Análisis de varianza en la humedad del producto.....	116
Tabla 32. Prueba Tukey al 5 % para tratamientos en la humedad del producto.....	117
Tabla 33. Prueba diferencia media significativa para el factor A (Temperaturas)	117
Tabla 34. Prueba diferencia media significativa para el factor B (Velocidad del aire).....	118
Tabla 35. Prueba diferencia media significativa para el factor C (Grosor de láminas).....	118
Tabla 36. Actividad de agua en el producto terminado.....	123
Tabla 37. Análisis de varianza.....	124
Tabla 38. Prueba Tukey al 5 % para tratamientos para la actividad de agua.....	125

Tabla 39. Prueba diferencia media significativa para el factor A (Temperaturas)	125
Tabla 40. Prueba diferencia media significativa para el factor B (Velocidad del aire)	126
Tabla 41. Prueba diferencia media significativa para el factor C (Grosor de láminas)	126
Tabla 42. Datos obtenidos para el tratamiento 1 (A1B1C1)	132
Tabla 43. Datos obtenidos para el tratamiento 2 (A1B1C2)	134
Tabla 44. Datos obtenidos para el tratamiento T3 (A1B2C1)	137
Tabla 45. Datos obtenidos para el tratamiento T4 (A1B2C2)	139
Tabla 46. Datos obtenidos para el tratamiento T5 (A1B3C1)	142
Tabla 47. Datos obtenidos para el tratamiento T6 (A1B3C2)	144
Tabla 48. Datos obtenidos para el tratamiento T7 (A2B1C1)	147
Tabla 49. Datos obtenidos para el tratamiento T8 (A2B1C2)	149
Tabla 50. Datos obtenidos para el tratamiento T9 (A2B2C1)	152
Tabla 51. Datos obtenidos para el tratamiento T10 (A2B2C2)	154
Tabla 52. Datos obtenidos para el tratamiento T11 (A2B3C1)	157
Tabla 53. Datos obtenidos para el tratamiento T12 (A2B3C2)	159
Tabla 54. Datos obtenidos para el tratamiento T13 (A3B1C1)	162
Tabla 55. Datos obtenidos para el tratamiento T14 (A3B1C2)	164
Tabla 56. Datos obtenidos para el tratamiento T15 (A3B2C1)	167
Tabla 57. Datos obtenidos para el tratamiento T16 (A3B2C2)	169
Tabla 58. Datos obtenidos para el tratamiento T17 (A3B3C1)	172
Tabla 59. Datos obtenidos para el tratamiento T18 (A3B3C2)	174
Tabla 60. Variables independientes y dependientes el proceso de secado	178
Tabla 61. Análisis físico químico del producto terminado	179
Tabla 62. Análisis microbiológico del producto terminado	180
Tabla 63. Análisis de Friedman para las variables de la evaluación sensorial	188

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Transferencia de agua y soluto en la deshidratación osmótica	22
Figura 2. Mecanismos de difusión superficial y transporte de vapor de agua	53
Figura 3. Secadores de bandeja	58
Figura 4. Diagrama Psicrométrico	60

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Degradación en función de la actividad de agua	33
Gráfico 2. Fenómeno de histéresis	34
Gráfico 3. Curva: humedad del producto en función del tiempo de secado	43
Gráfico 4. Curva: velocidad del secado y humedad del producto.....	44
Gráfico 5. Periodos del secado.....	46
Gráfico 6. Periodo de velocidad de secado constante	47
Gráfico 7. Influencia de la temperatura del aire de secado	48
Gráfico 8. Influencia de la velocidad del aire de secado.....	49
Gráfico 9. Periodos de velocidad decreciente	50
Gráfico 10. Relación entre el contenido de humedad y difusividad	54
Gráfico 11. Propiedades psicrométricas del aire a la presión biométrica de Ibarra	68
Gráfico 12. Propiedades del aire caliente a 55°C	69
Gráfico 13. Propiedades del aire caliente a 60°C	70
Gráfico 14. Propiedades del aire caliente a 65°C	71
Gráfico 15. Comportamiento de la pérdida de peso en el proceso de deshidratación osmótica	93
Gráfico 16. Pérdida de humedad de las láminas de mashua en el proceso de deshidratación osmótica	94
Gráfico 17. Concentración de sólidos solubles del producto en el proceso de deshidratación osmótica	95
Gráfico 18. Pérdida de sólidos solubles del jarabe y humedad durante el proceso de deshidratación osmótica	96
Gráfico 19. Pesos finales del producto deshidratado osmóticamente	99
Gráfico 20. Efecto de la interacción de los pesos finales después del secado entre A (Temperatura) y B (velocidad del aire)	104
Gráfico 21. Efecto de la interacción de los pesos finales después del secado entre A (Temperatura) y C (Grosor de láminas)	104
Gráfico 22. Efecto de la interacción de los pesos después del secado entre B (Velocidad del aire) y C (Grosor de láminas).	105
Gráfico 23. Efecto de la interacción de los pesos finales después del secado entre A (Temperaturas), B (Velocidad del aire) y C (Grosor de láminas).....	106
Gráfico 24. Pesos finales en el producto deshidratado y secado con aire caliente	107
Gráfico 25. Efecto de la interacción de los sólidos solubles (°Brix) entre A (Temperatura) y B (velocidad del aire).....	112
Gráfico 26. Efecto de la interacción de los sólidos solubles (°Brix) entre B (Velocidad del aire) y C (Grosor de láminas).	113

Gráfico 27. Efecto de la interacción de los sólidos solubles(°Brix) entre A (Temperaturas), B (Velocidad del aire) y C (Grosor de láminas).....	113
Gráfico 28. Sólidos solubles (°Brix) en el producto final	114
Gráfico 29.Efecto de la interacción de la humedad de las láminas de mashuaentre A (Temperatura) y B (velocidad del aire)	119
Gráfico 30. Efecto de la interacción de la humedadde las lñaminas de mashuaentre A (Temperatura) y C (Grosor de láminas)	120
Gráfico 31. Efecto de la interacción de la humedadde las láminas de mashuaentre B (Velocidad del aire) y C (Grosor de láminas).	120
Gráfico 32. Efecto de la interacción de la humedadde las lámins de mashuaentre A (Temperaturas), B (Velocidad del aire) y C (Grosor de láminas).....	121
Gráfico 33. Humedad en el producto final (láminas de mashua).....	122
Gráfico 34. Efecto de la interacción de los Actividad acuosa entre A (Temperatura) y B (velocidad del aire).....	127
Gráfico 35. Efecto de la interacción de los Actividad acuosa entre A (Temperatura) y C (Grosor de láminas).....	128
Gráfico 36. Efecto de la interacción de los Actividad acuosa entre B (Velocidad del aire) y C (Grosor de láminas).....	128
Gráfico 37. Efecto de la interacción de los Actividad acuosa entre A (Temperaturas), B (Velocidad del aire) y C (Grosor de láminas).....	129
Gráfico 38. Actividad acuosa en el producto final.....	130
Gráfico 39. Curva de deshidratado T1 (A1B1C1)	132
Gráfico 40. Velocidad de secado y humedad para T1(A1B1C1).....	133
Gráfico 41. Curva de deshidratado T2 (A1B1C2)	135
Gráfico 42. Velocidad de secado y humedad para T2 (A1B1C2).....	135
Gráfico 43. Curva de deshidratado T3 (A1B2C1)	137
Gráfico 44. Velocidad de secado y humedad para T3 (A1B2C1).....	138
Gráfico 45. Curva de deshidratado T4 (A1B2C2)	140
Gráfico 46. Velocidad de secado y humedad paraT4 (A1B2C2).....	140
Gráfico 47. Curva de deshidratado T5 (A1B3C1)	142
Gráfico 48. Velocidad de secado y humedad para T5 (A1B3C1).....	143
Gráfico 49. Curva de deshidratación T6 (A1B3C2)	145
Gráfico 50. Velocidad de secado y humedad para T6 (A1B3C2).....	145
Gráfico 51. Curva de deshidratado T7 (A2B1C1)	147
Gráfico 52. Velocidad de secado y humedad para T7 (A2B1C1).....	148
Gráfico 53. Curva de deshidratado T8 (A2B1C2)	150
Gráfico 54. Velocidad de secado y humedad para T8 (A2B1C2).....	150
Gráfico 55. Curva de deshidratado T9 (A2B2C1)	152
Gráfico 56. Velocidad de secado y humedad para T9 (A2B2C1).....	153
Gráfico 57. Curva de deshidratado T10 (A2B2C2)	155
Gráfico 58. Velocidad de secado y humedad para T10 (A2B2C2).....	155
Gráfico 59. Curva de deshidratado T11 (A2B3C1)	157

Gráfico 60. Velocidad de secado y humedad para T11 (A2B3C1).....	158
Gráfico 61. Curva de deshidratado T12 (A2B3C2)	160
Gráfico 62. Velocidad de secado y humedad para T12 (A2B3C2).....	160
Gráfico 63. Curva de deshidratado T13 (A3B1C1)	162
Gráfico 64. Velocidad de secado y humedad para T13 (A3B1C1).....	163
Gráfico 65. Curva de deshidratado T14 (A3B1C2)	165
Gráfico 66. Velocidad de secado y humedad para T14 (A3B1C2).....	165
Gráfico 67. Curva de deshidratado T15 (A3B2C1)	167
Gráfico 68. Velocidad de aire y humedad para T15 (A3B2C1)	168
Gráfico 69. Curva de deshidratación T16 (A3B2C2)	170
Gráfico 70. Velocidad de secado y humedad para T16 (A3B2C2).....	170
Gráfico 71. Curva de deshidratado T17 (A3B3C1)	172
Gráfico 72. Velocidad de secado y humedad para T17 (A3B3C1).....	173
Gráfico 73. Curva de deshidratado T18 (A3B3C2)	175
Gráfico 74. Velocidad de secado y humedad para T18 (A3B3C2).....	175
Gráfico 75. Influencia de la temperatura y velocidad de secado	176
Gráfico 76. Caracterización del color en el producto terminado	181
Gráfico 77. Caracterización del aroma en el producto terminado	183
Gráfico 78. Caracterización del sabor en el producto terminado.....	184
Gráfico 79. Caracterización de la Textura del producto terminado	186
Gráfico 80. Aceptabilidad del producto terminado.....	187

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Recepción de la mashua	82
Fotografía 2. Pesaje	82
Fotografía 3. Seleccionado y pelado	83
Fotografía 4. Pesaje de la corteza	83
Fotografía 5. Pesaje del tubérculo.....	83
Fotografía 6. Lavado del tubérculo	84
Fotografía 7. Cortado en láminas	84
Fotografía 8. Producto en láminas.....	84
Fotografía 9. Escaldado de la mashua.....	85
Fotografía 10. Inmersión en jarabe	85
Fotografía 11. Tapado del producto.....	85
Fotografía 12. Escurrido del producto	86
Fotografía 13. Producto tamizado.....	86

Fotografía 14. Secado.....	86
Fotografía 15. Enfriado del producto	87
Fotografía 16. Pesaje del producto final	87
Fotografía 17. Empacado.....	88
Fotografía 18. Producto final empacado.....	88
Fotografía 19. Almacenado del producto terminado.....	88

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: Hojas para la evaluación sensorial	202
ANEXO 2: Análisis físico químico de la materia prima (mashua).....	205
ANEXO 3: Análisis de humedad y sólidos solubles en el procesos de deshidratación osmótica	206
ANEXO 4: Análisis de humedad y sólidos solubles del producto terminado	207
ANEXO 5: Análisis de actividad de agua del producto terminado	209
ANEXO 6: Análisis físico químico y microbiológico para los tres mejores tratamientos	211
ANEXO 7: Cálculos referenciales para snack de mashua mediante deshidratado osmótico y secado con aire caliente.....	212
ANEXO 8: Cantidad de calor transferido del aire al producto	216

RESUMEN

La presente investigación se desarrolló en los laboratorios de la Carrera de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Técnica del Norte, en la ciudad de Ibarra Ecuador. El objetivo fue evaluar los efectos de la deshidratación osmótica y secado sobre las características físico químicas y sensoriales del snack de mashua *Tropaeolum tuberosum*, con tres factores de estudio, como son: temperatura, velocidad de aire, y grosor de láminas.

El modelo estadístico utilizado en la investigación fue el diseño completamente al azar, con arreglo factorial AxBxC con dieciocho tratamientos y tres repeticiones, dando un total de cincuenta y cuatro unidades experimentales y con pesos de 454,54 g por unidad. En el análisis funcional se empleó la prueba de Tukey ($p < 0.05$) para tratamientos y Diferencia Media Significativa (DMS) ($\alpha < 0.05$) para factores. Las variables cuantitativas evaluadas fueron: análisis físico químicos al inicio (materia prima) y al final (tres mejores tratamientos), humedad, sólidos solubles y peso (proceso de deshidratación osmótica), peso final, sólidos solubles, humedad, actividad de agua, rendimiento. Mientras, las variables cualitativas organolépticas evaluadas fueron: color, aroma, sabor textura y aceptabilidad.

Los tratamientos con temperatura de 65°C, velocidad del aire de 1,5 m/s y 3,5 m/s y grosor de láminas de 4 mm y 7mm durante el secado tuvieron mayor efecto sobre las características físico químicas y sensoriales. Se obtuvo como resultado que el tratamiento T1 (temperatura de secado 55°C, velocidad de aire 1,5 m/s y grosor de láminas 4mm), conservó en mayor medida las propiedades nutricionales y sensoriales de la fruta fresca.

Palabras clave: deshidratación osmótica, temperatura, velocidad de secado, grosor de láminas

SUMMARY

This research was conducted in the laboratories of Agro-Industrial Engineering Career of Tècnica del Norte University in Ibarra city, Ecuador. The objective was to evaluate the effects of osmotic dehydration and drying above the physical-chemical and sensory characteristics of the snack of mashua *Tropaeolum tuberosum* with three study factors, such as temperature, air velocity and thickness of sheets. The statistical used in this research was completely a randomized design, factorial arrangement AxBxC with 18 treatments and 3 repetitions, giving a total of 54 experimental units and weight of 454.54 g. per unit. For the functional analysis Tukey test ($p < 0.05$) was used for treatments and Media Signifant Difference (DMS) ($\alpha < 0.05$) for factors. Quantitative evaluated variables were: physical and chemical analysis to start (raw material) and at the end (the best treatments) moisture, °Brix and Weight (process of osmotic dehydration), final weight, soluble solids, humidity, water activity, performance; while the organoleptic qualitative variables were evaluated: color, aroma, texture and flavor acceptability. Temperature treatments of 65° C, air velocity of 1.5 m/s and 3.5m/s and thickness of sheet of 4 mm and 7 mm during drying has a greater effect on the physical-chemical and sensory characteristics. It was obtained as a result that the T1 (drying temperature 55° C, air velocity 1.5 m/s and 4mm thick sheets) treatment retained further nutritional and sensory properties of the fresh fruit.

KEYWORDS: osmotic, dehydration, drying, treatments, water, texture



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 PROBLEMA

Hoy en día, existe un bajo consumo de raíces y tubérculos andinos como la mashua, oca y melloco, razón por la cual los agricultores han disminuido la siembra de estos tubérculos que son producidos en diferentes países, tales como: Colombia, Bolivia, Ecuador y Perú. El escaso conocimiento de los principios activos de la mashua conlleva a su bajo uso agroindustrial, siendo un limitante en su cultivo y consumo.

En Ecuador la mashua es cultivada por pequeñas asociaciones de productores las cuales pertenecen al MAGAP, en forma asociada con otras especies de tubérculos andinos, como son: mellocos, ocas y papas. Por lo tanto, resulta difícil cuantificar el área cultivada y los rendimientos. Mientras, en el sector urbano el consumo tiene una tendencia decreciente, provocando la disminución de las áreas de cultivo de mashua, a pesar que su consumo en ciertas zonas rurales se mantiene, sobretodo en la población de la tercera edad.

Según Rivera (2010) , la mashua es un tubérculo tradicional que se conoce poco en los mercados y se está perdiendo la costumbre de consumirla, sin dar importancia a la vitamina C que contiene (77,4 miligramos por cada 100 gramos), que corresponde a la ingesta diaria recomendada para un adulto.

Además, la vida útil de este tubérculo después de ser cosechado es corta, debido a su actividad de agua, por lo tanto la mashua se deteriora fácilmente una vez separada de la planta, provocando la pérdida de color, textura y propiedades nutritivas.

1.2 JUSTIFICACIÓN

La mashua es un cultivo originario de las comunidades indígenas, es reconocido como medicina natural y alimento nutritivo, presenta contenidos semejantes de almidón, azúcares y un alto contenido de vitamina C, con relación a las demás raíces y tubérculos.

La mashua es un producto altamente perecedero; comúnmente se debe a que es más susceptible a deterioros microbiológicos y/o fisiológicos, ocasionados por su alta cantidad de agua en su composición. En los procesos de conservación de tubérculos, a más de preservar su valor nutricional, también se evita perder los principios activos propios de la mashua.

La implementación de nuevas técnicas de conservación para la obtención de productos, ayudará a mejorar y mantener un margen de rentabilidad durante todo el año. Por lo tanto, la deshidratación osmótica es una alternativa tecnológica que permite prolongar la vida útil de los tubérculos, mejorando las características sensoriales, conservando su contenido nutricional y evitando su rápido deterioro, aunque son escasos los emprendimientos orientados a la agroindustria de la mashua.

Esta investigación está orientada a la obtención de un snack de mashua mediante un proceso combinado de deshidratación osmótica y secado con aire caliente, con la finalidad de prolongar el tiempo de conservación o vida útil comercial, que motive el consumo de la población y se beneficie de sus propiedades funcionales.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar los efectos de la deshidratación osmótica y secado sobre las características físico químicas y sensoriales del snack de mashua *Tropaeolum tuberosum*

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar a la mashua mediante análisis físico-químico
- Evaluar la humedad de la mashua en el proceso de deshidratación osmótica.
- Evaluar el efecto de la temperatura, velocidad de aire y el grosor de láminas sobre la calidad del producto final
- Evaluar la calidad del producto terminado mediante análisis físico-químicos (contenido de azúcares totales, peso, humedad, proteína, vitamina C, pH); microbiológicos (mohos, levaduras y recuento total de aerobios) y organolépticos (olor, color, sabor, textura y dureza).

1.4 HIPÓTESIS DE TRABAJO

1.4.1 HIPÓTESIS ALTERNATIVA

Hi: La temperatura, la velocidad del aire, y el grosor de láminas de la mashua influyen en las características físico químicas y sensoriales

1.4.2 HIPÓTESIS NULA

Ho: La temperatura, la velocidad del aire, y el grosor de láminas de la mashua no influyen en las características físico químicas y sensoriales

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 MASHUA

La mashua es una planta herbácea erecta, de tallos cilíndricos y hábitos rastreros. Esta planta posee un follaje compacto, con hojas de color verde oscuro en el haz y claras en el envés. Las hojas tienen lámina redondeada y el pecíolo inserto en el centro. Sus 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 (Samaniego, 2010).

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, alto porcentaje de carbohidratos y 80 % de agua. Debido a la presencia de isotiocianatos, la mashua tiene un sabor acre y picante, que desaparece con la cocción volviéndose dulce (Grau & Ortega, 2003).

2.1.1 ORIGEN DE LA MASHUA

La mashua es al parecer originaria de los Andes centrales, su cultivo se habría extendido por migraciones del hombre precolombino hasta Colombia y el norte de Argentina y Chile. A pesar de su rusticidad no existen referencias de introducción en otros países de América, posiblemente porque el sabor del tubérculo resulta poco agradable para quien lo prueba por primera vez. Los tubérculos poseen propiedades anafrodisiacas desde la época de los incas, quienes la incluían en la alimentación de sus soldados (Suquilanda, 2011).

En la actualidad, el cultivo de la mashua se extiende desde Colombia hasta Argentina y se conoce que ha sido introducida con éxito en Nueva Zelanda. Mientras que en los Andes del Ecuador, la mashua se cultiva en pequeñas parcelas de indígenas y campesinos con rendimientos que llegan hasta (34.09 Tm/ha).

2.1.2 DESCRIPCIÓN TAXONÓMICA DE LA MASHUA

La descripción taxonómica del tubérculo de la mashua es:

Tabla 1. Botánica de la mashua

Reino	Vegetal
Tipo/Phylum	Fanerógamas
Subtipo	Angiospermas
Clase	Dicotiledoneae
Orden	Geraniales
Familia	Tropaeoláceae
Género	Tropaeolum
Especie	Tuberosum
Nombre Científico	Tropaeolumtuberosum

Fuente:(FAO, 2008)

2.1.3 CONDICIONES AGROECOLÓGICAS PARA EL CULTIVO

2.1.3.1 Suelo

Los sectores más adecuados para el cultivo de la mashua, se encuentran desde los 2400 a 3700 metros sobre el nivel del mar, especialmente donde predominan los suelos negro-andinos. Este cultivo prefiere suelos de pH ligeramente ácido entre 5.3-7.5, que sean profundos y con un buen contenido de materia orgánica, puede cultivarse en suelos pobres, sin uso de fertilizantes y pesticidas; y aun en estas condiciones sus rendimientos duplican a los de la papa. El cultivo asociado con melloco, oca y papas nativas facilita el control de la incidencia de nematodos e insectos que atacan a la planta (Rivera, 2010).

2.1.3.2 Clima

El área adecuada para el cultivo de la mashua, es la misma que se requiere para el cultivo de la papa, es decir con una temperatura media anual que fluctúe entre los 6° y 14° Celsius, con una precipitación lluviosa de alrededor de 700 a 1200 milímetros anuales (7 000 a 12 000 metros cúbicos de agua por ciclo) (Suquilanda, 2011).

2.1.4 ÉPOCAS DE SIEMBRA

Las épocas de siembra más comunes para el cultivo de la mashua, son las siguientes:

- Siembra mayor: octubre a diciembre
- Siembra menor: mayo y junio

Se argumenta que la diversificación de las épocas de siembra, responden a una estrategia para evitar el daño que provocan las heladas que se hacen presentes entre los meses de julio, agosto y septiembre.

2.1.5 CULTIVO DE LA MASHUA

La mayoría de los tubérculos Andinos se siembran juntos porque poseen similares características de cultivo. Los suelos en los que se ha sembrado papa son propicios para cultivar mashua al año siguiente, con un suelo desgastado o con suelos con gran cantidad de materia orgánica.

Tabla 2. Cultivo

Primera etapa:	Siembra a emergencia	20- 30 días
Segunda etapa:	Emergencia a floración	100- 148 días
Tercera etapa:	Floración a tuberización	108- 155 días
Cuarta etapa:	Tuberización a cosecha	150- 280 días

Tuberización: Es el engrosamiento producido en las puntas de los tallos subterráneos de la planta, dando lugar al crecimiento de la mashua. La cosecha va a depender en gran parte del número de tubérculos que tenga la planta, por lo que una buena tuberización es un índice de una gran cosecha. La tuberización es favorecida por las temperaturas inferiores a 18 - 20° C y por los días cortos.

Aunque la mashua es el tubérculo andino más resistente a las plagas (en relación a la oca y al ulluco), la cuarta etapa de crecimiento se ve afectada por el ataque de las plagas y enfermedades tales como los gusanos de tierra, los gusanos aradores y la pudrición blanca, problemas que causan el deterioro del tubérculo (Almeida C. , 2008).

2.1.6 COSECHA DE LA MASHUA

Se cosecha entre los 6 y 8 meses; Los tubérculos se pueden almacenar hasta seis meses en lugares fríos y ventilados. Por su alto contenido de humedad y su superficie no cerosa, su tiempo de vida en almacenamiento es menor a sus similares. Para guardarlos en casa es aconsejable un lugar oscuro y cubierto de paja, protegiéndolos así por dos meses (Almeida C. , 2008).

Suberización: Consiste en cicatrizar las heridas leves de los tubérculos, por medio de una buena ventilación, alta humedad del ambiente (90%) y temperatura de 15-20 grados centígrados por espacio de 1 a 2 semanas.

2.1.7 COMPOSICIÓN QUÍMICA Y VALOR NUTRICIONAL

Los tubérculos de mashua tienen alrededor del 15% de proteínas, es rico en beta caroteno, en minerales como el K, P, Fe, Mn, Zn, Cu. Además de proporcionarnos carbohidratos, fibras y calorías. Tienen propiedades antioxidantes como el ácido ascórbico (vitamina C) y (vitamina B). Su valor nutritivo es mayor al de algunos cereales y tubérculos. A estos tubérculos se los consume conjuntamente con papas, ocas y mellocos. Contiene un balance apropiado de aminoácidos esenciales como la lisina aminoácidos limitantes en muchos cereales y leguminosos (Beltran & Mera, 2014).

En efecto la mashua contiene vitamina C, en una proporción de 77,4 mg/100 g, en relación con otros tubérculos como el melloco 11,40 mg/100g y la oca 38,40 mg/100g, por lo que se recomienda consumir este tubérculo (Ayala, 2004).

Tabla 3. Análisis Bromatológico de 68 Entradas de Mashua del Banco de Germoplasma del INIAP (Datos en Muestra Seca)

FUENTE	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO
V. Energético (Kcal/g)	4.31	4.59
Humedad (%)	80.3	92.8
Proteína (%)	7.22	13.99
Extracto Etéreo (%)	3.03	7.75
Materia Seca (%)	7.20	19.7
Fibra (%)	4.94	6.52
Cenizas (%)	4.19	5.45
Almidón (%)	20.01	79.46
Azucares totales	6.67	55.23
Datos de Muestra Fresca		
Ac. Ascórbico (mg/100g)	59.52	96.62
Vitamina C		
Nota: Datos obtenidos con muestra entera de tubérculo		

Fuente:(INIAP, 1996)

Tabla 4. Composición de la mashua

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD
Valor energético	52	Kcal/100g
Humedad	86	%
Cenizas	4,81	%
Proteínas	9,17	%
Extracto etéreo	4,61	%
Carbohidratos totales	75,4	%
Fibras	5,86	%
Almidón	46,92	%
Azucares total	42,81	%
Azucares reductores	35,83	%
Vitamina C	77,37	(mg/100g mf)
Lisina	33,78	mg/g
Tiamina	0,06	g
Riboflavina	0,08	g
Niacina	0,6	mg
Eq. Retinol	735,56	ug/100g mf
Calcio	0,006	%

Fosforo	0,32	%
Magnesio	0,11	%
Sodio	0,044	%
Potasio	1,99	%
Cobre	9	ppm
Hierro	42	ppm
Manganeso	7	ppm
Zinc	48	ppm

Fuente: (Espín, 2013)

2.1.8 FUNCIONALIDAD DE LOS COMPONENTES MÁS SIGNIFICATIVOS DE LA MASHUA

Medicinalmente, es conocida por aliviar afecciones de la próstata, vías urinarias y enfermedades de los riñones, así como depurativo de la sangre. Se han reportado sus usos en el tratamiento de dolor de garganta, dengue, malaria y efectos postparto. Es útil para tratar afecciones de la piel como eczema y manchas.

Sin embargo, el consumo excesivo de la mashua tiene efectos secundarios como reducir el apetito sexual, la fertilidad y el poder eréctil. Se dice, que desde tiempos incásicos se daba mashua a los guerreros para que olvidaran a sus mujeres, y con similares intenciones, mujeres campesinas todavía se las dan a sus esposos para que no las traicionen. Además, este tubérculo contiene fosforo lo cual ayuda en la formación de los huesos y dientes combinados con el calcio. Como consecuencia, el consumo en grandes cantidades podría tener efectos perjudiciales sobre el sistema nervioso (Almeida P. , 2014).

Por lo tanto, la propiedad de aliviar las afecciones del organismo de la mashua, se debe a la presencia de isotiocianato. Según Villacrés (2010), este compuesto

inhibe el crecimiento de las células inflamadas. Además atrapa a los radicales libres, sustancias que se acumulan por el estrés, las grasas, la contaminación, etc. Los radicales libres son los causantes del envejecimiento celular y de la formación de las células cancerígenas. El isotiocianato también es un precursor de aceites esenciales que interrumpen el crecimiento de tumores en el cuerpo, explicó Villacrés.

Según Loza (2010), nutricionista del centro NutriStetic, agregó que la mashua tiene la propiedad de ser un antioxidante que previene el envejecimiento celular, pues uno de sus componentes es la vitamina E. Mientras que la vitamina D, en cambio, sirve para la absorción del calcio y del complejo B, que ayuda en el metabolismo del organismo, también es fuente de carbohidratos complejos que dan energía al cuerpo.

Otra de sus cualidades curativas es que actúa como diurético. Loza explicó que las culturas andinas lo usaban como remedio para limpiar las vías urinarias y el riñón. El médico naturista Vargas (2010), explicó que esta propiedad hace que los riñones funcionen de mejor manera, porque produce mayor acidez en la orina y como consecuencia las personas orinan constantemente durante el día y eliminan las toxinas del organismo.

Entre las formas de preparación están: purés, budín, coladas, licuados y sopas. Si se ingiere con fines medicinales es aconsejable hacerlo en infusiones. Los tres especialistas coinciden en que pese a sus propiedades curativas se debe moderar el consumo. Por ser diurético puede ocasionar deshidratación y por esta causa se aconseja no incluir en la dieta de los niños. Vargas enfatizó que a los pacientes que padecen de hipotiroidismo y de bocio les puede complicar estas enfermedades porque no contiene yodo.

Por otra parte, si el consumo es para tratamiento medicinal se recomienda comerla diariamente hasta por 15 días, luego dejar pasar una semana y empezar otra vez el tratamiento. Si es por alimento entre dos y tres veces a la semana. La dosis no debe sobrepasar de un vaso si se toma en coladas o infusiones y de media taza en el caso de las preparaciones caseras. Al momento de realizar la compra del tubérculo, se debe fijarse que esté fresco, que su color esté amarillento, rojizo o morado y que no tenga manchas negras en la superficie, porque son signos de descomposición (Diario, 2010).

2.1.9 USOS DE LA MASHUA

La mashua se ha usado por muchos años principalmente para la alimentación humana y de animales, a su vez de manera medicinal para tratar una variedad de afecciones, quienes la consumían abundantemente en épocas pre incaicas juntamente con la papa, la oca, el camote, el maíz y el melloco. La preparación de este alimento ya formaba parte de las tradiciones gastronómicas ecuatorianas, con el sólo hecho de cultivarla, cocinarla y ponerla en un plato (Espín, 2013).

Puede ser consumida fresca en pequeñas cantidades, pero se recomienda que si va a ser consumida de manera habitual se la seque al sol de uno a tres días, o se le hierva por unos minutos y se cambien el agua de cocción. Esto se hace para reducir la cantidad de isotiocianatos, causantes del sabor picante de la mashua que para ciertas personas es desagradable. Si se va a usar para propósitos medicinales se recomienda que se la consuma fresca para aprovechar todas sus propiedades (Villacrés, 2014).

La mashua se la consume de varias maneras, ya sea en hervidos, horneados o asados; se la prepara sancochada después de haberla soleado con el fin de

azucararla; así es como la consume el poblador andino. Antes se la usaba como un acompañante del estofado de carne con huevos fritos y cebolla. Este tubérculo tierno no necesita ser pelado y sus hojas y flores se consumen cocidas y servidas a modo de ensaladas. A la mashua se la utilizaba en la elaboración de sopas, pucheros o caldos. Igualmente, se la usa en la panadería y repostería y en la elaboración de chips de dulce y mermeladas (Icaza & Zambrano, 2014).

Otra forma de consumir a la mashua es en forma de Kaya, para lo cual se la expone a la acción de la helada por varias noches consecutivas, luego de lo que es soleada y pisada para extraerle el agua; finalmente, se le extiende al sol para el secado.

2.2 CONSERVACIÓN DE LOS ALIMENTOS

La conservación de alimentos consiste en prolongar la vida útil del producto, previniendo o evitando el desarrollo de microorganismos (bacterias, levaduras y mohos), para que el alimento no se deteriore durante el almacenaje. Además se debe controlar cambios químicos y bioquímicos que provocan deterioro y de esta manera, obtener un alimento sin alteraciones en sus características organolépticas típicas (color, sabor y aroma) y poder ser consumido sin riesgo durante un cierto período (no inferior a un año) (Calderón & Jurado, 2008).

En general, los métodos de conservación se pueden clasificar en dos tipos:

2.2.1 MÉTODOS DE CONSERVACIÓN POR PERÍODOS CORTOS

- Refrigeración
- Almacenaje refrigerado con atmosfera modificada

- Tratamientos químicos superficiales
- Condiciones especiales de almacenaje
- Sistemas de almacenaje que involucran modificaciones de atmosfera

2.2.2 MÉTODOS DE CONSERVACIÓN POR ACCIÓN QUÍMICA

- Preservación con azúcar
- Adición de anhídrido sulfuroso
- Conservación por fermentación y salado
- Tratamientos con ácidos (adición de vinagre)
- Usos de aditivos químicos para control microbiano

2.3 DESHIDRATACIÓN DE LOS ALIMENTOS

La deshidratación es una operación unitaria que elimina el mayor porcentaje de agua en los alimentos, mediante la evaporación, siendo uno de los métodos más antiguos utilizados para su conservación. La deshidratación por reducción de su actividad de agua hasta un nivel bajo de 0,4% a 0,6%, ayuda a reducir las velocidades de otros mecanismos de deterioro biológico, prolongando la vida útil de los alimentos (Fellows, 2007).

Además el efecto conservante reduce también su peso y volumen, lo que reduce los gastos de transporte y almacenamiento aumentando la eficacia de los procesos. En algunos casos también sirve para poner al alcance del consumidor una mayor variedad de alimentos de más cómoda utilización (McCabe & Smith, 2007).

2.3.1 EFECTOS DE LA DESHIDRATACIÓN EN LOS ALIMENTOS

- Textura: es la principal causa de alteración de la calidad de los alimentos deshidratados. Se producen tensiones internas que producen roturas y distorsiones permanentes en las células. La superficie del alimento adquiere un aspecto arrugado y se produce endurecimiento superficial (acortezamiento, alimento seco en la superficie y húmedo en su interior)
- Redistribución de solutos: a medida que el agua se va eliminando los solutos se desplazan hacia la superficie del alimento
- Pérdida de aroma por evaporadores de compuestos volátiles. También por oxidación de pigmentos, vitaminas y lípidos durante el almacenamiento (baja actividad del agua). La oxidación durante el almacenamiento puede reducirse mediante el almacenamiento a baja temperatura, preservando los antioxidantes naturales del alimento y/o adicionando antioxidantes sintéticos (por ejemplo, ácido ascórbico o ácido cítrico en las frutas)
- Cambio de color por oxidación de carotenos, vitaminas y lípidos.
- Valor nutritivo: los cambios se deben al pre-tratamiento empleado, a la temperatura del proceso de deshidratación y a las condiciones de almacenamiento. En general, si el proceso de deshidratación es correcto se producen pocas alteraciones en las vitaminas

2.3.2 MÉTODOS DE DESHIDRATACIÓN

- Secado solar
- Aire caliente

- Microondas
- Liofilización
- Atomización
- Deshidratación osmótica

2.4 DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA

La deshidratación osmótica ha demostrado el potencial para obtener mejores productos alimenticios mediante la eliminación de agua, utilizando medios económicos y por la mejora de la calidad de los productos finales. Aunque la ósmosis es un proceso bien conocido, en los últimos años ha habido un creciente interés en ella (Shi & Xue, 2009).

La deshidratación osmótica es un método de conservación que combina tratamientos químicos y físicos; y consiste en sumergir el tubérculo en trozos, en una solución de agua con azúcar (jarabe), la cual obliga a salir el agua del tubérculo. Posteriormente el proceso se complementa con el secado con aire caliente. Utilizando este método es posible reducir hasta un 50% del peso inicial de las frutas y tubérculos, por cuanto se disminuye el tiempo necesario para el secado con aire caliente (Brennan, 2008).

Los productos deshidratados osmóticamente y luego secados con aire caliente hasta la humedad de conservación, poseen mejores características sensoriales, y en general mejor calidad que las frutas secadas únicamente con aire caliente Calderón & Jurado (2008). Todo esto debido a que con la aplicación de calor directo hace perder fácilmente las sustancias volátiles del producto, como son las vitaminas.

Sin embargo para que el proceso sea más eficiente y práctico. Se han empleado algunos métodos para acelerar la transferencia de agua, tales como el uso de una alta concentración de solución osmótica, alta temperatura de la solución, lo que prolonga el tiempo del tratamiento (Bambicha & Mascheroni, 2012)

2.4.1 PRINCIPIOS BÁSICOS DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA

El principio de osmosis como un fenómeno natural de eliminación de agua a partir de material biológico ha sido conocido durante mucho tiempo. En los últimos años ha habido un gran interés en este proceso. Tratamiento osmótico es en realidad una combinación de procesos de deshidratación y de impregnación, que pueden reducir al mínimo las modificaciones negativas de componentes de los alimentos frescos. Este proceso puede proporcionar la posibilidad de modificar las propiedades funcionales del material alimenticio, la mejora de la calidad general de los productos finales, la creación de nuevos productos atractivos, y el potencial de ahorro de energía (Shi & Xue, 2009).

2.4.1.1 Presión osmótica

Según Mujumdar et al.(2010) El agua como componente principal de la mayoría de los alimentos afecta a la estabilidad de los productos. Durante la deshidratación osmótica, el agua en solución está en una interacción con soluto. Esta interacción se caracteriza por el estado termodinámico de agua. Estado energético de cada sustancia que se puede definir como su energía interna o denominado potencial químico. Potencial químico es una función de la concentración, la temperatura y la presión, sin embargo en condiciones isotérmicas; sólo está determinada por la concentración y la presión. El potencial químico puede ser definido de acuerdo con la relación siguiente:

$$\mu_w = \mu_{ow} + R T_{abs} \ln a_w$$

Donde:

μ_w : potencial químico del agua

μ_{ow} : potencial químico en un estado estándar

T: temperatura absoluta

R: constante de los gases

a_w : coeficiente de actividad de agua

La energía se intercambia durante la interacción de dos sistemas con diferente estado de energía hasta alcanzar el estado de equilibrio. En condiciones isotérmicas, potenciales químicos de dos sistemas son los mismos, y se pueden conseguir por el cambio de cualquier concentración o presión. La presión osmótica es el exceso de presión que empuja el sistema para alcanzar el estado de equilibrio entre el disolvente puro y una solución y se expresa por la fórmula:

$$\Pi = - \frac{RT}{V} \ln a_w$$

Donde:

Π : es la presión osmótica y V es el volumen molar de agua.

En la deshidratación osmótica de frutas y verduras son utilizadas por la diferencia de presión osmótica entre los resultados de dos sistemas de transferencia de masa.

2.4.1.2 Transferencia de masa

El transporte de masa en la deshidratación osmótica tiene lugar a través de las membranas celulares semipermeables de los alimentos; estas ejercen alta resistencia a la transferencia de masa y reducen la velocidad de la deshidratación. El principal mecanismo de transferencia de masa es la difusión, la fuerza impulsora para la eliminación de agua es el gradiente de concentración entre la solución y el fluido intracelular. La cinética de transferencia de masa se describe generalmente a través de la pérdida de agua, la ganancia de sólidos y la reducción de peso (Naranjo, 2015).

Durante el proceso de deshidratación osmótica, se producen tres flujos en contracorriente de forma simultánea, los cuales son los siguientes:

- El flujo de agua desde el alimento hacia la solución hipertónica.
- La transferencia simultánea de soluto desde la solución hacia el alimento.
- El flujo de solutos naturales del alimento (azúcares, ácidos orgánicos, vitaminas, algunos compuestos del sabor, minerales) hacia la solución, el cual comúnmente es ínfimo

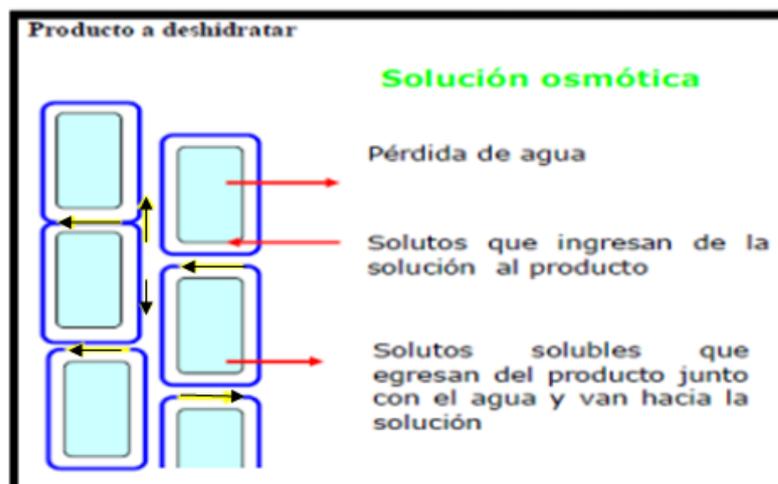


Figura 1. Transferencia de agua y soluto en la deshidratación osmótica

2.4.1.3 Variables del proceso.

- **Propiedades del alimento:** La variedad, el grado de madurez, la composición química, y la porosidad de los alimentos tienen un efecto significativo sobre la transferencia de masa. Por otro lado, el área de contacto entre el alimento y la solución osmótica es afectada por la forma, geometría y tamaño del alimento.
- **Solución osmótica:** Los agentes osmóticos comúnmente usados son; la sacarosa para frutas y el cloruro de sodio para vegetales, pescado, y carne. Otros agentes incluyen la glucosa, fructuosa, lactosa, dextrosa, maltosa, polisacáridos, malto dextrina, almidón, ácido cítrico, ácido ascórbico, cloruro de calcio y una combinación de los mismos. La velocidad de ganancia de sólidos se relaciona directamente con la concentración de la solución e inversamente con el tamaño de la molécula del soluto. Mientras que la velocidad de deshidratación es directamente proporcional a la concentración de la solución.

- Condiciones intrínsecas del proceso: Los factores más evaluados en los estudios de deshidratación osmótica son:
 - Temperatura
 - Concentración y composición de la solución osmótica
 - Tiempo de inmersión
 - Presión de trabajo
 - Relación producto/solución
 - Nivel de agitación

- Pre-tratamientos: Los tratamientos utilizados antes de la deshidratación osmótica como; el escaldado, pelado, recubrimientos, congelación/descongelación y alta presión, mejoran la transferencia de masa durante el proceso.

2.4.2 APLICACIÓN INDUSTRIAL DE TRATAMIENTO OSMÓTICO EN EL PROCESAMIENTO DE FRUTAS Y HORTALIZAS

El método de deshidratación osmótica acorta el tiempo de secado y reduce la pérdida de ácido ascórbico durante el secado. El proceso de osmosis a menudo ha sido propuesto como un primer paso, seguido de cualquier tipo de operación de secado tal como secado al aire caliente, secado al vacío, o secado por congelación. El material vegetal se sumerge en una solución acuosa de compuestos tales como glicerol, etanol, azúcar, y / o sal para deshidratar parcialmente el alimento con el fin de reducir la carga de agua para posterior ser secado y mejorar la calidad del producto final (Shi & Xue, 2009).

La deshidratación osmótica en general no dará un producto con un contenido de humedad suficientemente baja como para ser considerado auto-estable. Por lo tanto, este proceso se considera como un tratamiento previo o como un paso intermedio antes de los procesos de estabilización convencionales, mediante el secado con aire caliente, al vacío, liofilización y conservación en congelación, refrigeración, pasteurización, u otros procesos que ayudan a mejorar la calidad del producto final.

2.4.3 FACTORES QUE AFECTAN A LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA

2.4.3.1 Tratamientos previos del producto

Tratamientos previos como el escaldado ayuda a inactivar las enzimas y de esta manera se evita el pardeamiento; por ejemplo en piezas grandes de producto se puede acelerar el proceso de eliminación de agua debido a la relajación de los enlaces estructurales en el mismo. En el caso de piezas pequeñas, el escaldado puede aumentar la cantidad de soluto de la solución que entra a la célula(Brennan, 2008).

2.4.3.2 Composición y concentración de la solución osmótica

El tipo de azúcar usado en las soluciones osmóticas afecta la cinética de eliminación de agua, produce un aumento de los sólidos solubles y el equilibrio final en el contenido de agua. Sin embargo, esto influye directamente en los costos, por lo que se usa normalmente sacarosa, pero experimentalmente se han usado fructosa, glucosa, glucosa/fructosa y glucosa/mezcla de polisacáridos, lactosa y cloruro de sodio. En general, cuanto más alta sea la concentración de

azúcar más azúcar entrará en el alimento y mayor será la velocidad y la extensión del secado (Brennan, 2008).

2.4.3.3 Aditivos en la solución osmótica

Algunos aditivos contribuyen a mejorar la calidad del producto final; como la adición de calcio en la solución de azúcar ya que permite mejorar la textura del producto. También, la inclusión de 0.5-2% de sal en la solución de azúcar puede aumentar la velocidad de osmosis (Brennan, 2008).

2.4.3.4 Temperatura de la solución osmótica

“Las temperaturas usadas se encuentran en intervalos de 20-70°C, a mayores temperaturas existe el riesgo de que se dañen las paredes celulares, lo que provocaría una pérdida excesiva de material soluble, como vitaminas del alimento” (Brennan, 2008).

Al emplear temperaturas altas de forma rápida se forma una capa externa dura que evita el ingreso del sólido y disminuye la salida del agua, por lo que se recomienda incrementar la temperatura poco a poco y de esta forma evitar la pérdida de la vitamina C.

2.4.3.5 Geometría del producto a deshidratar

Mientras más delgado sea los trozos de alimento se concentran más rápido, debido a la mayor área superficial, además el agua tiene una corta distancia para viajar del interior de la pieza de alimento hacia la superficie (Brennan, 2008).

2.4.3.6 Relación producto/ jarabe y agitación de la solución

Se emplean proporciones de 1:4 a 1:5. A menor relación peso del alimento/solución, mayor es la pérdida de agua y la ganancia de sólidos. Una mezcla vigorosa podría provocar daño en la célula; para ello se podría mejorar la velocidad de secado recirculando la solución del tanque por medio de una bomba (Brennan, 2008).

2.4.3.7 Presión osmótica

La presión osmótica favorece el proceso de transferencia de agua ya que permite retirar los gases ocluidos en espacios intracelulares y ser ocupados por la solución osmótica, incrementando el área disponible para la transferencia de masa. Por otro lado la aplicación de vacío al proceso de deshidratación osmótica no afecta la ganancia de solutos por parte del alimento.

2.4.3.8 Naturaleza del alimento

Los alimentos son derivados de organismos vivos, que están compuestos de células. La estructura de estas células es uno de los contribuyentes de la

característica textural de los alimentos. La variabilidad observada en los alimentos está relacionada principalmente con la compactación del tejido, contenido inicial de sólidos solubles e insolubles, espacios intercelulares, presencia de gas, relación entre las diferentes fracciones de pectina (pectina hidrosoluble y propectina) y nivel de gelificación de la pectina (Suca & Suca, 2010).

Es decir, la compactación está directamente relacionada con la densidad aparente de los alimentos y esta, a su vez, tiene que ver con la porosidad. En algunos estudios se ha demostrado que una mayor porosidad del tejido, ayuda a aumentar la velocidad de transferencia de masa; por lo tanto, el proceso de deshidratación osmótica toma menos tiempo.

2.4.4 VENTAJAS DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA

Según Correa (2012), las ventajas de la deshidratación osmótica son:

- Mejora las características de color, sabor, textura, concentra los nutrientes y estabiliza el producto.
- La masa de la materia se reduce a la mitad
- La ausencia de oxígeno en el interior donde se halla el producto, evita las correspondientes reacciones de oxidación, que afectan directamente la apariencia del producto final.
- La inclusión de azúcares protege la pigmentación, por lo que su aplicación podría eliminar la necesidad de inactivar enzimas.
- El proceso de deshidratación osmótica aumenta en cierta forma la vida útil pero no la preserva, por ello es considerada como una alternativa potencial u operación suplementaria.

2.4.5 DESVENTAJAS DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA

Según Correa (2012), las desventajas de la deshidratación osmótica son:

- No puede aplicarse a todos los productos, solo se emplean a productos que presentan estructura sólida y pueden cortarse en trozos.
- Dificultad para conservar los jarabes almacenados bajo condiciones que eviten la fermentación
- Enturbiamiento de los jarabes, que se generan por el desprendimiento de solutos y partículas de los productos sumergidos.
- Presencia de insectos que se puede generar en los sitios donde se manejan estos jarabes debido a la atracción que estos tienen por los aromas, que con el tiempo se pueden tornar difíciles de erradicar.

2.5 SECADO

El secado es un método de conservación, que consiste en eliminar parte del agua disponible de un alimento, en condiciones ambientales o bien basadas en la exposición a una fuente de calor y corrientes de aire caliente (Calderón & Jurado, 2008).

Además, con la deshidratación se consigue un incremento de las posibilidades de conservación y una reducción de peso, hasta su quinta parte cuando se trata de raíces y tubérculos y hasta quince veces menos en vegetales de hojas. Estos beneficios hacen que se aconseje este proceso, ya que además de la conservación del alimento asegura una reducción substancial de los costos de almacenamiento y/o transporte (Casp & Abril, 2003).

No obstante, el secado es una operación que afecta profundamente a las características del alimento tratado. Sin embargo el valor nutricional de la mayoría de los alimentos deshidratados no se ve afectado de forma importante por el proceso, pero la mayor parte de ellos, una vez deshidratados, no presentan las características del producto fresco, ni en sabor ni en textura, y normalmente requieren mayor tiempo de cocción.

Como se definió anteriormente, según Calderón & Jurado (2008) el secado elimina parte del agua disponible de un alimento. Para lo cual se debe considerar aspectos fundamentales como los siguientes:

- **Temperatura empleada:** dependerá del alimento y del procedimiento (las temperaturas no debes ser muy altas para no formas costras
- **Humedad relativa del aire:** entre más seco sea el aire más humedad.
- **Velocidad del aire:** a mayor velocidad mayor humedad.
- **Duración de secado:** dependerá de la temperatura empleada, del producto y del tipo de secado.

2.5.1 SECADO DE PRODUCTOS ALIMENTICIOS

La eliminación de la humedad de los sólidos es una parte integral en la elaboración de alimentos. Casi todos los productos alimenticios se secan al momento de su preparación. Los objetivos principales de la deshidratación se resumen de la siguiente manera (Sokhansanj & Jayas, 2014):

2.5.1.1 Almacenamiento prolongando la vida

Un producto alimenticio seco es menos susceptible al deterioro causado por el crecimiento de bacterias, mohos e insectos. De esta manera la actividad de muchos microorganismos e insectos se inhibe en un entorno en el que la humedad relativa de equilibrio está por debajo del 70%. Del mismo modo, se reduce el riesgo de oxidación desfavorable y reacciones enzimáticas que acortan la vida útil de los alimentos.

2.5.1.2 Incremento de la calidad

Muchas cualidades favorables y los valores nutricionales de los alimentos o piensos se pueden mejorar mediante el secado. La palatabilidad se mejora, y se aumentan las conversiones del mismo modo digestibilidad y metabólicas. El secado también cambia de color, sabor y a menudo la aparición de un alimento.

2.5.1.3 Manejabilidad

El embalaje, la manipulación y el transporte de un producto seco son más fáciles y más baratos debido a que el peso y el volumen de un producto son menos en su forma seca. Un producto seco fluye más fácil que un producto húmedo; por tanto, las fuerzas de gravedad pueden ser utilizadas para la carga y descarga y transporte de corta distancia.

2.5.1.4 Saneamiento

El secado también se ha utilizado como un medio de higiene de los alimentos. Los insectos y otros microorganismos ya que son destruidos durante la aplicación de la difusión del calor y la humedad. El aspecto de saneamiento en el secado es un fenómeno de tiempo y temperatura.

2.5.2 FUNDAMENTOS DE LA ELIMINACIÓN DE AGUA

La presencia de agua en los alimentos contribuye de forma importante a su deterioro, por lo tanto, la disminución del contenido de agua en un alimento reduce la posibilidad de su alteración biológica y también, de forma apreciable las velocidades de otros mecanismos de deterioro (Casp & Abril, 2003).

2.5.2.1 Actividad de agua

El agua es el constituyente más abundante de la mayor parte de alimentos que se encuentran en estado natural, a excepción de los granos. Es por esto que su estudio toma vital importancia en la determinación de la vida útil de un producto, ya que es un medio ideal para que se produzcan toda clase de reacciones, además influye notablemente en las cualidades organolépticas del mismo. Por lo tanto, la disminución del contenido de agua en un alimento, reduce la posibilidad de su alteración biológica, lo que aumenta su valor agregado y aumenta su tiempo de vida útil, permitiendo la conservación de sus propiedades nutritivas (Cheftel & Cheftel, 1999).

Además según Ramírez (2009), el agua contenida en un alimento depende las propiedades reológicas y la textura de un alimento, la actividad de agua es la cantidad de agua libre que hay en un alimento disponible para reaccionar químicamente con otras sustancias y provocar el crecimiento microbiano, es decir, es el responsable de los mecanismos principales de deterioro: química, microbiológica y enzimática. Mientras, que el resto de agua que permanece en el alimento es el agua ligada, está combinada con otros elementos pero no interviene como reactante y no está disponible para los microorganismos, por tanto no afecta al crecimiento microbiano.

Sin embargo, toda el agua de los alimentos no se encuentra igualmente disponible para que sucedan reacciones, es así que se puede distinguir básicamente dos tipos de agua: libre y ligada.

- **El agua libre:** es la que se encuentra disponible para que sucedan todo tipo de reacciones, y es la que principalmente se elimina durante los procesos de conservación.
- **El agua ligada:** está mucho menos disponible para todo tipo de reacciones, se encuentra más unida al alimento en interacciones con los componentes del mismo. Sin embargo, el agua ligada puede estar más o menos fuertemente unida, de tal forma que el estado del agua presente en un alimento es tan importante, para la estabilidad del mismo, como su contenido total. El sistema más fácil para tener una medida de la mayor o menor disponibilidad del agua en los diversos alimentos es la actividad de agua (a_w). El (a_w) está definido como la medida de la presión de vapor relativa de las moléculas de agua en el espacio de cabeza por encima del alimento, el cual está en un recipiente aislado, comparado con la presión que ejerce el agua pura a la misma temperatura (Coloma, 2008).

$$a_w = \frac{P_w}{P_w^o}$$

Donde:

P_w = presión parcial de vapor de agua de una solución o de un alimento.

P_w^o = Presión parcial del vapor de agua pura a la misma temperatura.

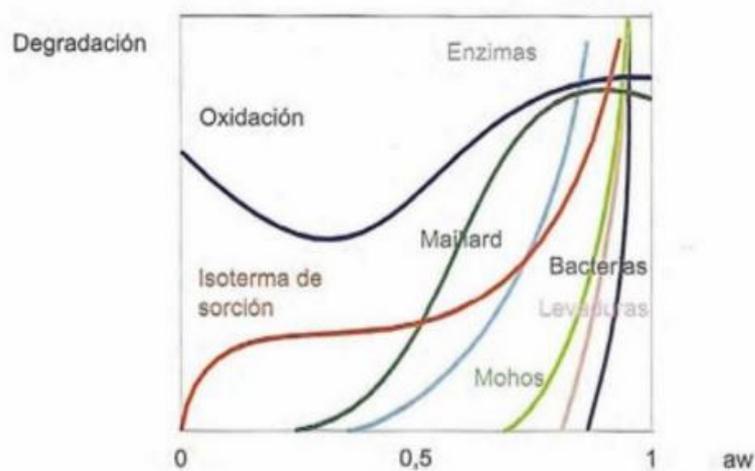


Gráfico 1. Degradación en función de la actividad de agua

Según Barbosa & Vega (2000), definieron distintos rangos de actividad de agua, en función de cuán unida esté el agua al alimento.

Tabla 5. Clasificación de alimentos por su actividad de agua

Actividad de agua	Tipo de Alimento
0 – 0,6	Alimentos Secos
0,6 – 0,9	Alimentos de Humedad Intermedia
0,9 – 1	Alimentos Perecibles (frutas, carne)

- **Isotermas de desorción**

A temperatura constante y bajo condiciones de equilibrio, existe la relación entre el contenido de humedad y la actividad de agua (o la humedad relativa de equilibrio), de la cual resultan dos curvas de velocidad de desorción.

El estado de equilibrio isoterma, depende del método en que ha sido alcanzado; si es (ganancia de agua), se denomina adsorción; y al contrario si hay una reducción de esta humedad (pérdida de agua), se denomina desorción.

El cambio en la velocidad de desorción por parte del alimento, es representado por medio de un gráfico 2 (curva), donde en el eje de las x se coloca la a_w , y en el eje de las y la humedad en base seca. Para la realización de este, se mantiene la muestra (alimento) en un medio con condiciones controladas, tales como presión y temperaturas constantes (Suárez, 2009).

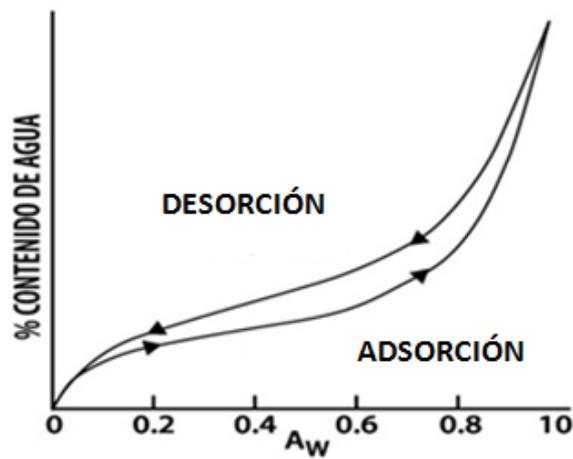


Gráfico 2. Fenómeno de histéresis

A medida que transcurre el secado (desorción), por la disminución de agua del alimento, los solutos pueden sobresaturarse, por lo que las isotermas de desorción alcanzan gran relevancia, dentro de las diferentes variantes de los procesos en la

industria alimenticia. Estas permiten determinar parámetros de proceso, y de utilidad en el diseño de equipos de secado, la selección del material de empaquetamiento, la predicción de la vida útil del producto, y la evolución en el contenido de humedad durante el almacenamiento.

2.5.2.2 Difusión de la humedad

Una cantidad importante de agua se elimina de los alimentos mediante su difusión, en fase líquida y/o vapor, a través de su estructura interior. Al movimiento del agua líquida le seguirá su evaporación en algún punto en el interior del alimento, pudiendo estudiarse el flujo difusional como si fuera difusión molecular, así el flujo de agua es una función del gradiente de la presión de vapor, de la difusividad del vapor en el aire, de la distancia a recorrer y de la temperatura. Además dado que para evaporar el agua es necesario calor, el proceso supone realmente un transporte simultáneo de materia y calor (McCabe & Smith, 2007).

La eliminación de la humedad del producto dependerá, en parte, de la transferencia de materia por convección hacia la superficie del producto. Aunque este proceso puede no ser el limitante de la velocidad, no debe olvidarse la importancia de mantener las condiciones límite óptimas para el transporte de humedad (Singh & Heldman, 2015).

2.5.2.3 Estabilidad de los alimentos secos

La estabilidad de los alimentos tiene estrecha relación con la actividad del agua y su conocimiento es más relevante que el contenido de humedad, ya que es mucho más importante conocer la disponibilidad que tiene el agua en el alimento para

que se desarrollen las reacciones de deterioro con el contenido total de la misma (Coloma, 2008).

Entre los factores que pueden disminuir la estabilidad del producto encontramos:

- Cambios microbianos
- Reacciones enzimáticas y no enzimáticas
- Cambios físicos y estructurales
- Destrucción de nutrientes, aroma y gusto

Sin embargo, todas estas reacciones o cambios ocurren a distintas actividades de agua. Por lo tanto, es necesario hacer un análisis del producto y determinar cuál o cuáles de estos factores son los de mayor importancia en la estabilidad del producto. Con el fin de determinar la vida útil de los productos alimenticios es importante definir los parámetros como la humedad crítica o el rango de actividad de agua en donde el producto mantiene buenas características organolépticas o microbiológicas

Por otro lado, en el proceso de Deshidratación Osmótica se adiciona azúcares, donde se considera que la movilidad de las moléculas del agua se incrementa reduciendo la estabilidad

2.5.3 PROCESOS BÁSICOS DE SECADO

Según Casp & Abril (2003). El secado es un procedimiento de conservación que al eliminar la totalidad del agua libre de un alimento, impide toda actividad microbiana y reduce la actividad enzimática. Existen diferentes denominaciones de este sistema de conservación: desecación, secado y deshidratación, que pueden

considerarse sinónimos aunque algunos autores establecen diferencias, únicamente cuantitativas, entre ellos:

- **Desecación**

Es la eliminación de agua hasta una humedad final que esté en equilibrio con la del aire de secado. Esta humedad final oscila entre 0,12 y 0,14 kg de agua por kg de producto húmedo. El valor alcanzado debe ser suficientemente bajo para inhibir el crecimiento microbiano así como para limitar las reacciones enzimáticas.

- **Deshidratación**

Es la eliminación del agua de un producto hasta un nivel próximo al 0% de humedad. El agua se elimina de los alimentos por medio de su difusión, a fase líquida o vapor, a través de su estructura interior.

- **Deshidratación por aire caliente**

Esta operación se efectúa aplicando aire caliente al producto, el agua en los tejidos vegetales se evapora. El vapor es absorbido por el aire y alejado del producto.

Según Meyer & Paltrinieri (2007). “La temperatura máxima que se puede utilizar es de 70°C, iniciando el secado con una temperatura elevada, el agua de los tejidos superficiales se evapora demasiado rápido. Esto dificulta la salida del agua de los tejidos internos, dando como resultados productos de baja calidad.”.

2.5.4 MECANISMO DE SECADO

Hay dos métodos para remover la humedad.

- **Evaporación.-** Esta ocurre cuando la presión del vapor de la humedad en la superficie del sólido es igual a la presión atmosférica. Esto se debe al aumento de temperatura de la humedad hasta el punto de ebullición. Si el material que está siendo secado es sensible al calor, entonces la temperatura a la cual la evaporación ocurre, la temperatura puede ser disminuida, bajando la presión (evaporación al vacío). Si la presión disminuye, baja más allá del punto triple, entonces la fase líquida no puede existir y la humedad en el producto es congelada (Mulero, 1999).
- **Vaporización.-** El secado es llevado a cabo por convección, pasando aire caliente sobre el producto. El aire es enfriado por el producto y la humedad es transferida hacia el aire. En este caso la presión del vapor de la humedad sobre el sólido es menor que la presión atmosférica (Mulero, 1999).

Cuando un sólido húmedo es sometido a tratamientos térmicos, dos procesos ocurrirán simultáneamente:

- a) Habrá transferencia de energía (comúnmente como calor) de los alrededores para evaporar la humedad de la superficie.
- b) Habrá transferencia de la humedad interna hacia la superficie del sólido.

La velocidad a la cual el secado es realizado está determinada por la velocidad a la cual los dos procesos, mencionados anteriormente, se llevan a cabo. La transferencia de energía, en forma de calor, de los alrededores hacia el sólido húmedo puede ocurrir como resultado de convección, conducción y/o radiación y en algunos casos se puede presentar una combinación de estos efectos.

2.5.4.1 Mecanismo de transmisión de calor

- **Convección**

En el secado por convección el calor necesario para la evaporación del líquido se transmite por un agente gaseoso o un vapor que pasa por encima del sólido o lo atraviesa (Geankoplis, 1998).

La ecuación general en régimen estacionario es la siguiente (Marcilla, 1999):

$$q_c = -hA'(t - t_i)$$

Donde:

q_c : es el caudal de calor transferido por convección,

h : es el coeficiente individual de transferencia de calor en $J / (sm^2 K)$

A' : es la superficie de transferencia por convección (m^2).

- **Conducción**

En el secado por conducción el producto que debe secarse se encuentra en recipientes calentado o se desplaza por encima de estos. El calor también se difunde en el sólido a través de la conductividad del propio sólido (Geankoplis, 1998)

La ecuación que rige el transporte molecular por conducción en una dirección es (Marcilla, 1999):

$$q_k = -kAdt/dh$$

Donde:

q_k : es el caudal de calor transferido en J/s,

k : es la conductividad del medio en J/ (smK),

A : es la superficie a través de la cual tiene lugar la transferencia (m^2),

t : es la temperatura en K

h : la distancia en la dirección en la que tiene lugar la transferencia (m).

- **Radiación**

Es la transmisión de energía a través del espacio por medio de ondas electromagnéticas. Si la radiación atraviesa un espacio vacío, no se transforma calor ni en ninguna otra forma de energía, ni se desvía de su camino. Se encuentra materia en su camino la radiación será reflejada, transmitida o absorbida en calor (Espinoza, 2012).

La ecuación que rige el transporte molecular por conducción en una dirección es (Marcilla, 1999):

$$q_R = -h_R A'' (t_R - t_i)$$

Donde:

q_R : es el flujo de calor transferido por radiación

h_R : es el coeficiente de transmisión de calor por radiación (J/sm^2K)

A'' : es el área (m^2) que recibe la radiación

t_R : es la temperatura de la superficie radiante en K

2.5.5 TRANSFERENCIA DE MASA Y CALOR EN EL SECADO CON AIRE CALIENTE

Un elemento fundamental en el proceso de secado es el estudio de la intensidad de la transferencia de masa en el mismo. Para esto es necesario conocer los elementos más útiles de la transferencia de calor y masa que funcionan en los secaderos de contacto directo. Esta depende de una serie de factores que van desde condiciones internas y externas (Cajamarca, 2010).

Independientemente del mecanismo de transmisión de calor el cual puede ser por conducción, convección, radiación o una combinación de cualquiera de estos, el calor tiene que pasar primero a la superficie exterior y desde esta al interior del sólido. Excepto el secado por electricidad de alta frecuencia, que genera el calor intercambiante, esto conduce a la circulación de calor desde el interior hasta la superficie exterior (Cajamarca, 2010).

2.5.5.1 Transferencia de masa

En el procesado de alimentos, a menudo es posible seleccionar determinadas reacciones químicas mediante la elección de las condiciones idóneas y por tanto, obtener los productos deseados de la manera más eficiente posible. Sin embargo, normalmente suelen producirse diferentes subproductos además de los productos deseados. Estos productos secundarios pueden separarse del producto primario de interés y, aunque no deseados desde el punto de vista del proceso, pueden presentar un considerable valor económico (McCabe & Smith, 2007).

2.5.5.2 Transferencia de calor

El secado de sólidos húmedos es por definición un proceso termodinámico. Aunque es a menudo complicado por difusión en el sólido a través de un gas, es posible secar muchos materiales simplemente calentándolos por encima del punto de ebullición del líquido quizás bastante por arriba, para liberar las últimas trazas del material adsorbido (McCabe & Smith, 2007).

Los materiales húmedos, por ejemplo, se puede secar por exposición a vapor altamente sobrecalentado. Aquí no hay limitantes a la difusión; el problema es simplemente de transferencia de calor.

Sin embargo la mayoría de los secados adiabáticos, en los que se encuentra presente el aire o gas inerte, la temperatura superficial depende de las velocidades de transferencia de masa y de transferencia de calor. Sin embargo, muchos secadores se diseñan solo sobre la base de consideraciones de transferencia de calor.

2.6 CINÉTICA DEL SECADO

La cinética del secado de un material no es más que la pérdida de la humedad del sólido húmedo y de la intensidad de evaporación con el tiempo o variables relacionadas con este.

2.6.1 CURVAS DE SECADO

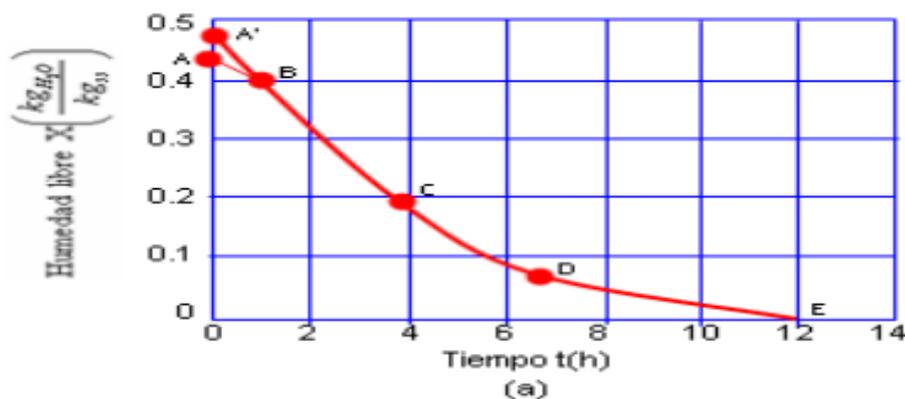


Gráfico 3. Curva: humedad del producto en función del tiempo de secado

En el gráfico 3 se observa que, es recta entre los puntos B y C, por lo que la pendiente y la velocidad son constantes durante este periodo. Este periodo de velocidad constante de secado corresponde a la línea BC en el gráfico 4. En el punto C de ambos gráficos, la velocidad de secado comienza a disminuir en el periodo de velocidad decreciente, hasta llegar al punto D. En este primer periodo de velocidad decreciente, la velocidad corresponde a la línea CD en el gráfico 4, y por lo general es lineal (Cuya, 2009).

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

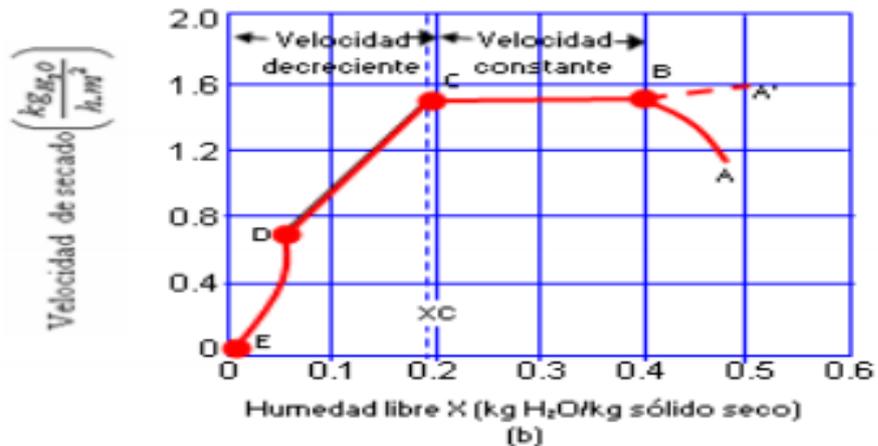


Gráfico 4. Curva: velocidad del secado y humedad del producto

En la gráfica 4, se muestra la curva de la velocidad de secado para condiciones de secado constante. Empezando en el tiempo cero, el contenido inicial de humedad libre corresponde al punto A. Al principio, el sólido suele estar a una temperatura inferior de la que tendrá al final, y la velocidad de evaporación va en aumento. Al llegar al punto B, la temperatura de la superficie alcanza su valor de equilibrio (Cuya, 2009).

Por otra parte, si el sólido está bastante caliente al principio de la operación, la velocidad de secado puede iniciarse en un punto A'. Este periodo inicial de ajuste en estado no estacionario suele ser bastante corto y por lo general se pasa por alto en el análisis de los tiempos de secado.

2.6.2 VELOCIDAD DECRECIENTE DE SECADO

La velocidad a la cual la humedad puede pasar a través del sólido como resultado de la concentración de gradientes entre las partes más profundas y la superficie es el paso a controlar. Dado que, la profundidad media del nivel de humedad incrementa progresivamente y la conductividad de calor de las zonas externas secas es muy pequeña, la velocidad de secado es cada vez más influenciada por la conducción de calor. Sin embargo, si el producto seco tiene una densidad alta y cavidad pequeña con poros pequeños, el secado es determinado no tanto por la conducción de calor pero, si por una resistencia alta a la difusión dentro del producto. Como la concentración de humedad disminuye por el secado, la velocidad de movimiento de humedad interna también disminuye (Mulero, 1999).

2.6.3 HUMEDAD DE EQUILIBRIO

Cuando una sustancia se expone al aire (no saturado) comenzará a evaporarse o condensarse agua en él hasta que las presiones parciales del vapor contenido en el aire y del líquido contenido en el sólido se igualen. Entonces el sólido y el aire estarán en equilibrio, llamándose humedad en equilibrio, X^* , al contenido de agua en base seca que tiene el sólido en ese momento y siempre que no cambien las circunstancias externas (temperatura o humedad principalmente). Para una temperatura dada, la humedad en equilibrio del sólido dependerá, por tanto, de la humedad relativa que tenga el aire. Al representar gráficamente HR frente a X^* (o viceversa) se obtiene una curva de equilibrio, que será distinta para cada sustancia y para cada temperatura (Mulero, 1999).

2.7 PERIODOS DE SECADO

El proceso de secado está dividido en tres fases: una fase inicial de precalentamiento o inducción, seguido de otra de secado constante y una o más fases de velocidad de secado decreciente (Casp & Abril, 2003).

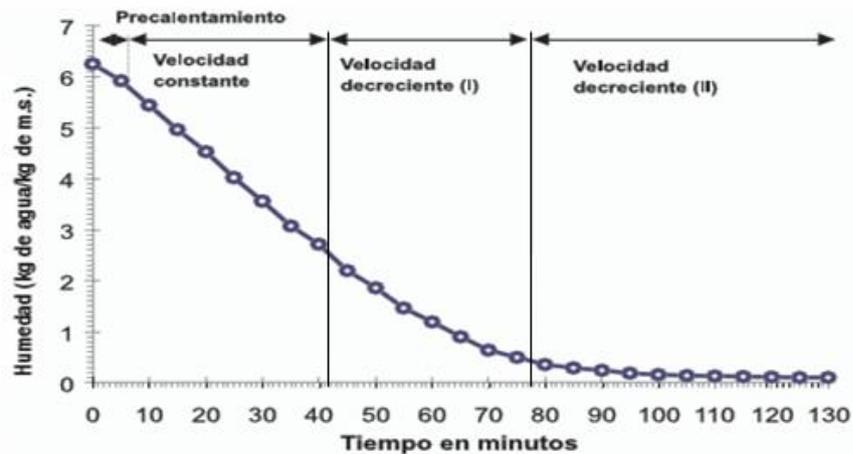


Gráfico 5. Periodos del secado

En el secado por convección se puede distinguir las siguientes tres etapas básicas diferenciadas entre sí por las velocidades de secado.

Un periodo de precalentamiento, que transcurre mientras el producto y el agua en el contenido se calienta ligeramente, hasta alcanzar la temperatura de bulbo húmedo característica de ambiente seco. El producto a secar al principio está frío, su presión de vapor es igualmente baja, por lo tanto la velocidad de transferencia de masa es muy lenta. Por el contrario, el gradiente de temperatura entre el aire caliente y la superficie fría del producto es elevado, en consecuencia a la transferencia de calor que es alta (Casp & Abril, 2003)

Un periodo de velocidad constante, durante el cual 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 esta 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. 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 humedad crítica (Casp & Abril, 2003)

Por lo tanto, en la curva de secado este período se deberá ajustar a una recta la humedad crítica que coincide con el punto en que la recta ajustada se separa de la curva de secado.

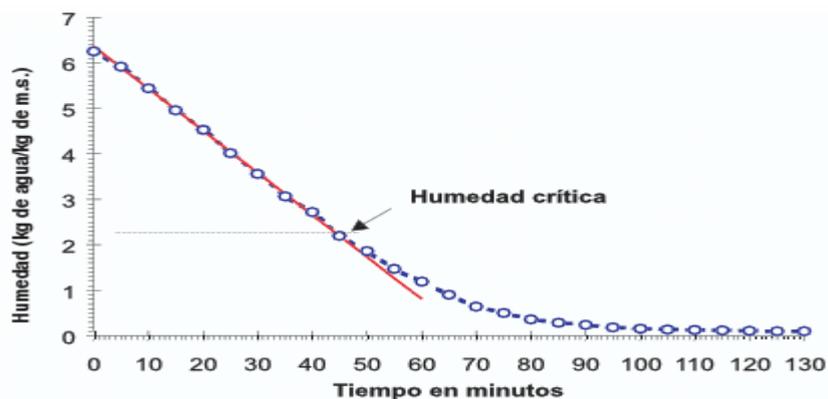


Gráfico 6. Periodo de velocidad de secado constante

La humedad crítica no es una propiedad del alimento, sino que depende del tamaño de partículas de las condiciones del aire de secado.

En el período 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 de este período, es el entorno secante, el aire, el que impone la velocidad de secado, que se incrementa al hacerlo la temperatura (Casp & Abril, 2003).

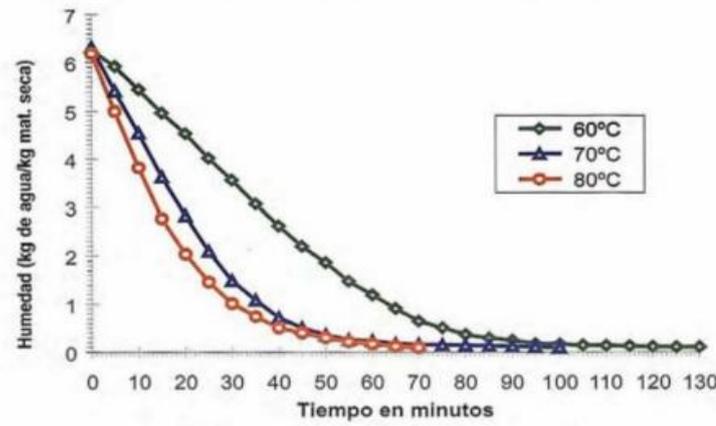


Gráfico 7. Influencia de la temperatura del aire de secado

Un período de velocidad decreciente, que comienza cuando la superficie del producto en contacto con el aire de secado alcanza el umbral de higroscopicidad (para los materiales higroscópicos). Desde el punto de vista macroscópico, esto corresponde a alcanzar la humedad crítica. La zona de evaporación “frente de secado” que se encontraba en la superficie, se desplaza hacia el interior del producto (Casp & Abril, 2003).

La brusca reducción de la superficie efectiva de transferencia, debido a un alimento insuficiente de agua libre, es la causa de la disminución de la velocidad de secado.

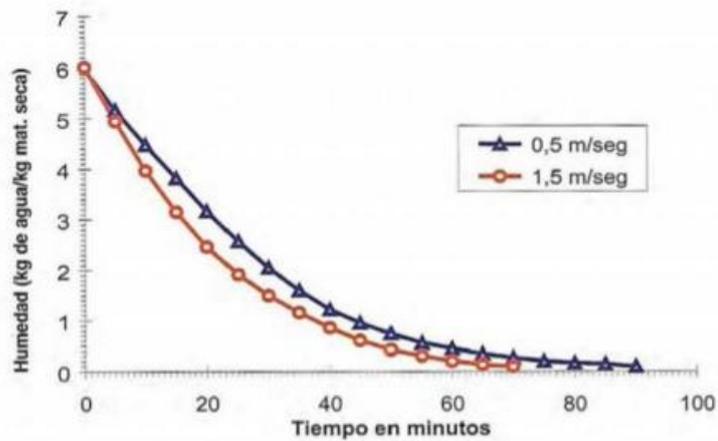


Gráfico 8. Influencia de la velocidad del aire de secado

Un segundo período de velocidad decreciente, o periodo de velocidad final. Este período solo existe para los materiales higroscópicos. El flujo másico se reduce más rápidamente que en el período anterior. En este período, el conjunto del producto está en el dominio de la higroscopia. En el alimento no queda más que agua ligada que se evacua muy lentamente (difusión –sorción) esta fase termina cuando el producto alcanza la humedad de equilibrio, que depende como es lógico de las condiciones de secado (Casp & Abril, 2003).

2.8 PREPARACIÓN DE LOS PRODUCTOS PARA EL SECADO

La efectividad de los tratamientos de conservación de los alimentos depende de su carga microbiana, cuando más elevada sea más difícil es que sean más efectivos, es necesario por tanto en todo momento evitar el incremento de la contaminación antes de la conservación(Casp & Abril, 2003).

Por tanto es necesario realizar en primer lugar un lavado de los productos a secar, con el fin de garantizar una higiene constante para evitar todo desarrollo de microorganismos, se recomienda el lavado y remojo con agua clorada seguido de un enjuagado con agua limpia.

Además en la preparación de los productos hay que encontrar un compromiso entre la presentación final y la facilidad de secado, como regla general, interesa aumentar la superficie del intercambio aire/ producto (trozos pequeños, colocados en el secadero sin que se toquen en capas delgadas), esto presenta varias ventajas, permite disminuir la duración de la primera fase cuando más pequeños sean los trozos y estén en capa delgada, antes alcanzará el producto la temperatura a partir de la cual el secado es efectivo más efectivo (Casp & Abril, 2003).

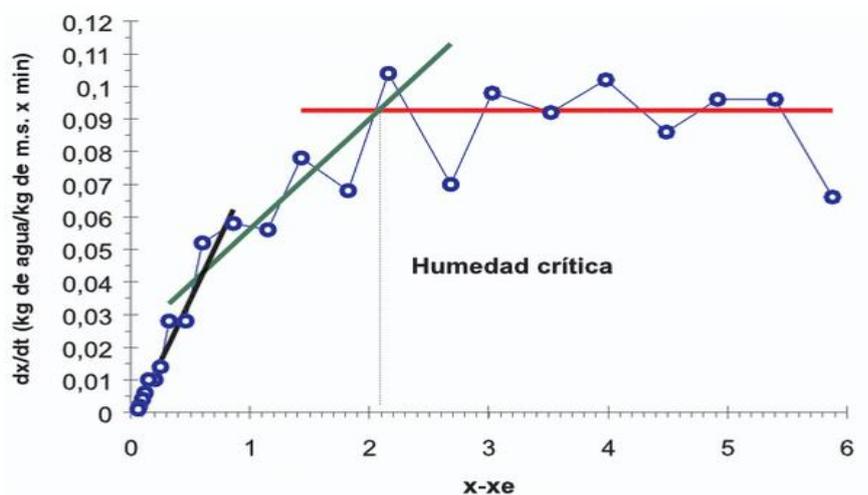


Gráfico 9. Periodos de velocidad decreciente

2.9 TEORÍAS DEL SECADO

2.9.1 TEORÍA DE LA DIFUSIÓN

El movimiento de humedad por difusión líquida es el principal mecanismo de flujo durante la deshidratación de productos alimenticios, por lo que se puede representar el proceso por la ecuación de Fick que describe la transferencia de humedad (Chiné, 2016).

$$\frac{dx}{dt} = D \frac{d^2x}{dy^2}$$

Donde:

X: contenido de humedad del producto

t: tiempo

Y: dimensión en la dirección que ocurre la transferencia

D: coeficiente de difusión

Utilizando como fuerza impulsora gradientes de humedad. El lado izquierdo de la ecuación representa la fuerza impulsora y es una fase condensada, mientras que el término del lado derecho describe el transporte que ocurre a través de la fase de vapor. A cualquier tiempo hay más humedad en la fase condensada que en la fase gaseosa; de ahí que, conforme se va perdiendo humedad por difusión a través de vapor, se está continuamente reemplazando por evaporación de la fase condensada (Hernández & Quinto, 2005).

La ecuación de difusión que explica el transporte de masa ha sido resuelta analíticamente para varias formas geométricas bajo ciertas condiciones fronteras iniciales y finales, como son:

- El material a secar tiene al inicio un contenido de humedad uniformemente distribuido
- La superficie del alimento alcanza instantáneamente el equilibrio con el aire del secador
- La superficie se mantiene bajo condiciones externas constantes a cualquier tiempo

Se suponen también las siguientes consideraciones que simplifican la solución:

- El coeficiente difusional se mantiene constante al mantenerse constante las condiciones de secado, además no depende de la concentración de humedad dentro del producto
- El producto a deshidratar es homogéneo (isotrópico) y tiene una forma regular simple y simétrica
- Las dimensiones del producto permanecen constantes durante el proceso. Pero no para productos biológicos por lo que la mayoría de las veces la dimensión característica se calcula a partir del volumen del alimento después del secado
- El movimiento del líquido resulta de un gradiente de humedad en la partícula

Dependiendo del tipo de geometría considerado, la solución de la ecuación de Fick toma diferentes formas (Ibarz, 2015).

Lámina

$$\frac{x - x^*}{x_o - x^*} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{h_n^2} \exp\left(\frac{-h_n^2 \pi^2 D_{ef} t}{4L^2}\right)$$

Donde:

X: contenido de humedad en el tiempo t

X_o: contenido de humedad inicial

X^{*}: contenido de humedad de equilibrio

L: radio es el espesor de la lámina

h_n: 2n-1

El principal mecanismo en el secado de sólidos es la difusión del agua en sólidos de estructura fina y en los capilares, poros y pequeños huecos llenos con vapor. El vapor difunde hasta que alcanza la superficie donde pasa a la corriente global del aire

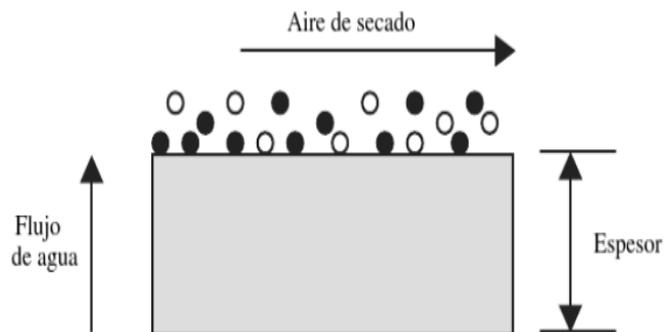


Figura 2. Mecanismos de difusión superficial y transporte de vapor de agua

La relación entre la difusividad y la humedad se presenta en el gráfico 10. La región A-B representa la adsorción monomolecular en la superficie del sólido que consiste en el movimiento del agua por difusión de la fase de vapor. La región B-C cubre la desorción multimolecular donde la humedad empieza el movimiento en la fase líquida. En la región C-D juega un papel importante la microcapilaridad, donde la humedad emigra fácilmente en los poros llenos de agua. En la región D-E la humedad ejerce su máxima presión de vapor y la migración de la humedad es debida primordialmente a la capilaridad(Ibarz, 2015).

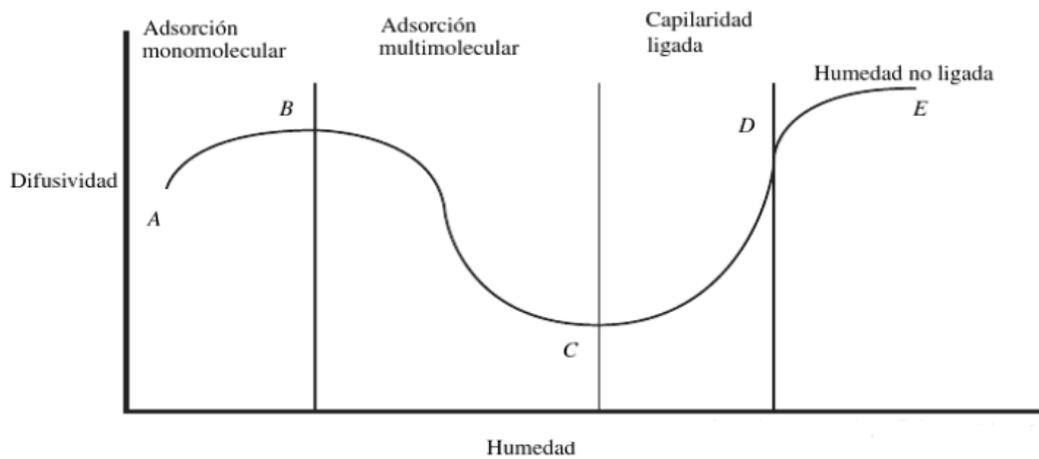


Gráfico 10. Relación entre el contenido de humedad y difusividad

La justificación para la aceptación de esta teoría es que la solución de la ecuación de difusión tiene un comportamiento logarítmico similar a las curvas experimentales de secado. El movimiento de humedad a través de la difusión líquida no puede ser negado, y teorías más sofisticadas retoman la ley de Fick como representativa para el movimiento del líquido y vapor (Hernández & Quinto, 2005).

El problema, entonces, se centra en la consideración de que el movimiento de líquido sea el único mecanismo para la transferencia de humedad en todas las etapas de secado. Aplicar la ecuación de difusión líquida como ecuación general,

equivale a asumir la difusión isotérmica, para luego despreciar los gradientes de temperatura dentro del sólido.

Como se ha demostrado a partir de las teorías más recientes, la teoría de difusión no toma en cuenta el encogimiento o endurecimiento del esqueleto del cuerpo sólido, o las isothermas de adsorción. Así, el significado físico del coeficiente de difusión es mal interpretado al considerarse como el resultado simultáneo de varios efectos. Por otra parte, también debe recordarse que es dependiente de la concentración y de la temperatura (Hernández & Quinto, 2005).

2.9.2 TEORÍA DE FLUJO CAPILAR

La capilaridad se refiere al flujo de un líquido a través de intersticios y sobre la superficie de un sólido, debido a atracciones, moleculares entre el líquido y el sólido. El agua que está sujeta dentro del intersticio, ya sea como líquido cubriendo la superficie o como agua libre e las cavidades celulares, está disponible a movimientos por capilaridad y gravedad, presentándose en forma de canales para un flujo continuo (Scribd, 2016).

Además, el uso de la ecuación de Poiseuille para flujo laminar capilar sería adecuado para describir este fenómeno, pero en productos alimenticios se ha visto que, cuando domina el proceso capilar, la velocidad de secado es directamente proporcional al contenido de humedad. Así, partiendo de las ecuaciones

$$W = - \frac{Lss}{A} \frac{dX}{dt}$$
$$dt = - \frac{Lss}{A} \frac{dX}{d}$$

Y si el proceso de transferencia de masa es regulado por flujo capilar, W es proporcional a X:

$$W = W_c \frac{X}{X_c}$$

Sustituyendo en la ecuación anterior e integrando entre los límites adecuados:

$$\int_0^t dt = \frac{-L_{ss} X_c}{A W_c} \int_{X_c}^X \frac{dX}{X}$$

$$t = \frac{-L_{ss} X_c}{A W_c} \ln \frac{X_c}{X}$$

Como $L_{ss}/A = y_{pss}$:

$$W_c = W_{cte} = \frac{hc (T_a - T_s)}{\Delta H_v}$$

$$t = \frac{y_{pss} \Delta H_v X_c}{hc (T_a - T_s)} \ln \frac{X_c}{X}$$

Donde:

W: velocidad

W_{cte}: velocidad constante

W_c: velocidad crítica

L_{ss}/A: densidad de empaque

X: humedad

X_c: humedad crítica

t: tiempo

hc: coeficiente de transferencia interfacial de energía

T_a: temperatura de bulbo seco del aire

Ts: temperatura superficial

ρ_{ss} : contenido de sólidos secos

y: espesor del sólido

ΔH_v : calor latente de vaporización

En esta expresión se ve que el tiempo de secado es directamente proporcional al espesor, a diferencia del fenómeno de difusión, en donde el tiempo es proporcional al cuadrado del espesor

El efecto de las variables de temperatura, humedad relativa y velocidad del aire es similar al que se observa en el período a velocidad constante. En el área de secado de alimentos, la teoría de flujo capilar ha sido aceptada como uno de los mecanismos fundamentales, principalmente para la etapa de secado con alto contenido de humedad (Scribd, 2016).

2.10 SECADORES DE BANDEJAS

Este tipo de secadores se utilizan normalmente para materiales granulares o particulados. El material a secar se sitúa en una serie de bandejas. Estas bandejas pueden calentarse por la parte inferior por medio de serpentines o resistencias, y el secado se lleva a cabo por medio de circulación de aire sobre el material. En algunos casos el aire se calienta previamente al paso por el secador.

Sin embargo en muchos de ellos se utiliza recirculación de aire y recalentamiento antes del paso por cada bandeja. Este procedimiento presenta dos ventajas. Por una parte se requieren menores cantidades de aire para conseguir el mismo grado de secado. Por otra, si se tuviera que eliminar la misma cantidad de agua con una

sola etapa, la misma cantidad de aire debería calentarse a una temperatura más elevada. La evolución del aire en este tipo de secaderos ya se ha estudiado en anteriores apartados(Marcilla, 1999).

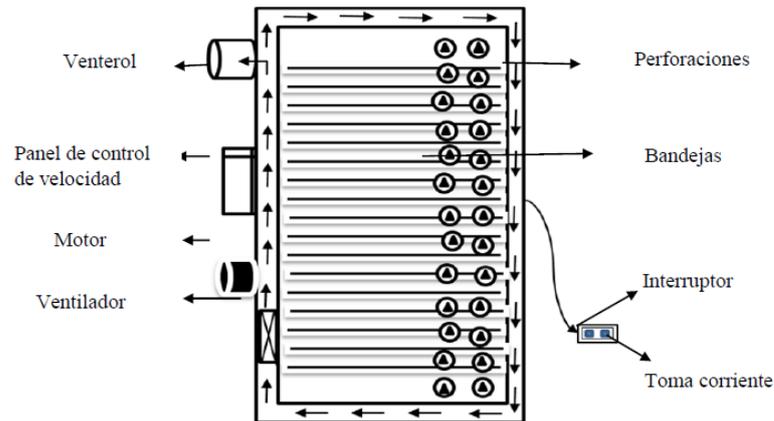


Figura 3. Secadores de bandeja

Las áreas de las bandejas suelen oscilar entre $0.3-1 \text{ m}^2$ con espesores de material entre 10 y 100 mm, dependiendo del tamaño de partícula del sólido. Se suelen emplear velocidades de aire del orden de 1 a 10 m/s. Para reducir el consumo de energía y conservar el calor se suelen emplear relaciones de circulación del orden del 85-95%.

El consumo de vapor puede resultar, en las condiciones más favorables entre 2.5-3 kg/kg humedad eliminada. La capacidad de eliminación de humedad depende de muchos factores, pero suele oscilar entre 3×10^{-5} a $30 \times 10^{-5} \text{ kg}/(\text{m}^2 \text{s})$ con aire entre 300-360 K (Jimenez, 2013).

2.10.1 FUNDAMENTO DEL SECADO POR AIRE CALIENTE

Este tipo de secado se caracteriza por tener una serie de bandejas en donde es colocado el alimento. Las bandejas se colocan dentro de un compartimiento del secador en donde es expuesto al aire caliente. El secador cuenta con un ventilador y una serie de resistencias eléctricas a la entrada que permiten generar aire caliente el cual es llevado a través de la sección de bandejas (Rocca, 2010).

Con este método, el aire caliente se pone en contacto con el material húmedo a secar para facilitar la transferencia de calor y masa, siendo la convección el mecanismo principalmente implicado. Se les llama también, por lo tanto, secaderos directos o por convección. El aire caliente arrastra fuera del secadero el aire húmedo producido.

2.11 DIAGRAMA PSICROMÉTRICO

Es el estudio de las propiedades termodinámicas de la mezcla de aire seco y vapor de agua, al cual se le asocia un método para controlar las propiedades térmicas de esta mezcla mediante un diagrama psicrométrico (Díaz & Kass, 2010).

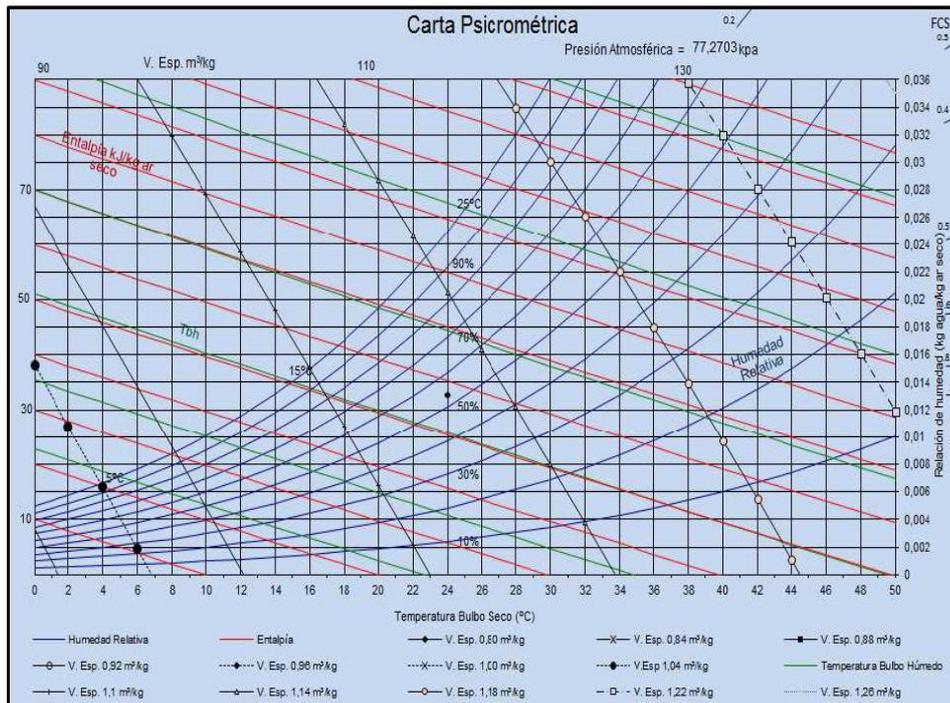


Figura 4. Diagrama Psicrométrico

Diagrama psicrométrico, es una gráfica de las propiedades correlacionadas de temperatura y humedad, cuya utilidad esta en determinar cómo varían estas propiedades al cambiar la humedad en el aire. Estas propiedades correlacionadas son las siguientes:

- **% Humedad Relativa**

La humedad relativa (hr), es un término utilizado para expresar la cantidad de humedad en una muestra dada de aire, en comparación con la cantidad de humedad que el aire tendría, estando totalmente saturado y a la misma temperatura de la muestra. La humedad relativa se expresa en porciento, tal como 50%, 75%, 30%, etc (Orrego, 2003).

$$\%Hr = (P_{vH_2O}/P_{vH_2O}^*) * 100$$

Donde:

P_{vH_2O} : Presión de vapor del agua en aire.

$P_{vH_2O}^*$: Presión de vapor del agua líquida, se obtiene de tablas.

Cuando $P_{vH_2O} = P_{vH_2O}^*$ el aire está saturado de humedad, es decir, el aire es 100% húmedo.

- **Humedad Absoluta**

El término "humedad absoluta" (ha), se refiere al peso del vapor de agua por unidad de volumen. Esta unidad de volumen, generalmente es un espacio de un metro cúbico (o un pie cúbico). En este espacio, normalmente hay aire también, aunque no necesariamente (Orrego, 2003)

$$y = W_{H_2O} / W_{Aire\ Seco}$$

Donde:

W: peso

Y= *humedad absoluta*

Los valores del diagrama no son constantes, varían según la altura sobre el nivel del mar

- **Temperatura o punto de rocío**

Temperatura de rocío es la temperatura a la que una muestra de aire húmedo en las mismas condiciones de presión alcanza la saturación de vapor de agua. En este punto de saturación, el vapor de agua comenzaría a condensarse en agua líquida o (si estuviera por debajo del punto de congelación) en escarcha, al continuar quitando calor (Orrego, 2003).

El punto de rocío se mide con facilidad y aporta información de utilidad, pero normalmente no se considera como una propiedad independiente.

- **Temperatura de bulbo húmedo**

Es la que se alcanza cuando el bulbo de un termómetro de mercurio cubierto con un paño húmedo se expone a una corriente de aire sin saturar que fluye a elevadas velocidades (alrededor de 5 m/s). O también, el termómetro con el bulbo cubierto con el paño húmedo puede moverse en el seno del aire sin saturar.

Cuando el paño se expone al aire sin saturar, parte del agua se evapora debido a que la presión de vapor del paño húmedo saturado es mayor que la del aire sin saturar (Singh & Heldman, 2015).

El proceso de evaporación consume calor latente del paño húmedo y produce un descenso de la temperatura del bulbo cubierto. Cuando la temperatura del paño desciende por debajo de la temperatura del bulbo seco del aire, el calor sensible fluye desde el aire hacia el paño y tiende a aumentar su temperatura.

El estado estacionario se alcanza cuando el flujo de calor desde el aire hacia el paño es igual al calor latente de vaporización necesario para evaporar la humedad del paño. Esta temperatura de equilibrio, indicada por el termómetro de bulbo húmedo o por un sensor de temperatura convenientemente modificado, se denomina temperatura de bulbo húmedo (Singh & Heldman, 2015).

- **Temperatura de bulbo seco**

Temperatura de bulbo seco es la temperatura del aire indicada por un termómetro común. Se da en el eje horizontal del diagrama psicrométrico.

- **Entalpía**

La entalpía es el contenido de calor del aire húmedo. Contenido de calor se basa en un cómodo 0 ° C. líneas de entalpía son casi paralelas a las líneas de bulbo húmedo en el diagrama de Mollier (Sokhansanj & Jayas, 2014).

- **Volumen específico**

El volumen específico del aire húmedo, es el volumen que ocupa la mezcla de aire seco y vapor de agua por unidad de masa de aire seco. Estas líneas están representadas en un ángulo aproximado de 60° con la horizontal y van aumentando de valor de izquierda a derecha. Por lo general, el espacio de cada línea representa un cambio de volumen específico de 0,05 m³/kg (Vega, 2011).

2.12 ALIMENTOS TIPO SNACKS

Los alimentos tipo snack siempre han tenido una parte importante en la vida y dieta de todas las personas, estos son aperitivos, piqueos, bocaditos, botana, etc., no reemplazan a los alimentos principales. Generalmente se utiliza para satisfacer el hambre temporalmente, proporcionar una mínima cantidad de energía para el cuerpo, o simplemente por placer (Urbano, 2014)

Este tipo de alimentos generalmente contienen cantidades representativas de edulcorantes, sal, conservantes, saborizantes, y otros ingredientes atractivos, como el chocolate, maníes y sabores diseñados especialmente para atraer al consumidor.

Los snacks son alimentos ingeridos como entremés, han sido ideados para ser consumidos por placer o como complemento energético o nutritivo, pero no constituyen por sí mismo ninguna comida principal del día, existe una variedad enorme de alimentos como: cereales, tubérculos, carne, pescado, etc., que pueden ser transformados industrialmente en snacks (Higuera & Prado, 2013)

2.12.1 CLASIFICACIÓN DE LOS SNACKS

Los snacks se clasifican de acuerdo al tipo de técnicas que has sido usadas, así, se encuentran los snacks obtenidos mediante un proceso de frituras (chips de tubérculos y frutas) y lo que se pasan por un proceso de extrusión (hojuelas de maíz, cebada, chitos, etc.) además existen las confituras obtenidas mediante deshidratación osmótica (Urbano, 2014)

2.12.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS SNACKS

Según Estévez & Vinueza (2011), dicen que las características que debe reunir un snack son cuatro:

- Tener un sabor excelente: las personas normalmente seleccionan un alimento en función de su sabor y poco se fijan de los aspectos nutricionales
- Conveniencia apropiada: un snack debe adaptarse a las situaciones cotidianas para que las personas puedan seguir con su ritmo normal sin que este se vea afectado como consecuencia de comer un snack
- Simple y de fácil uso y consumo: no necesitamos, en la mayoría de los casos calentarlos antes de comerlos, o agregarles otros ingredientes que sean necesarios para consumirlos. Un snack debe estar listo para su consumo directo.
- Empaque innovador: la comida entra primero por los ojos que por la boca. Los snacks deben tener un empaque atractivo, que induzca al consumidor a confiar en las sensaciones que promete el producto

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La presente investigación se llevó a cabo en los laboratorios de las Unidades Educativas, pertenecientes a la Carrera de Ingeniería Agroindustrial de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales de la Universidad Técnica del Norte.

3.1.1 UBICACIÓN

Tabla 6. Características generales y datos meteorológicos

Cantón	Ibarra
Provincia	Imbabura
Parroquia	San Francisco
Altitud	2226,26 m.s.n.m.
Latitud	00° 19' 47" N
Longitud	78° 07'56" O
Humedad Relativa Promedio	72%
Precipitación	52,5 mm.
Temperatura media	17,7 °C
Presión media	781,6 hPa

Nota: Estación meteorológica Yuyucocha de la Universidad Técnica del Norte

3.1.2 CONDICIONES AMBIENTALES DEL AIRE DURANTE EL PROCESO DE SECADO.

En esta tabla se presentan los valores medidos de temperatura de bulbo seco y bulbo húmedo, donde se realizó la investigación durante la fase de secado la cual nos permite conocer las condiciones a la que está expuesta el aire del ambiente.

Tabla 7. Datos de las condiciones ambientales del aire por día

Día	Tratamiento	Temperatura bulbo seco	Temperatura bulbo húmedo
1	1	24	19
2	2	25	17
3	3	23	18
4	4	23	18
5	5	25	17
6	6	22	18
7	7	24	19
8	8	24	19
9	9	26	17
Σ		216	162
X=		24	18

En esta tabla podemos observar los datos de las condiciones ambientales con las que se estuvo realizando la fase experimental bulbo húmedo y bulbo seco tomadas diariamente hasta la culminación de todos los tratamientos.

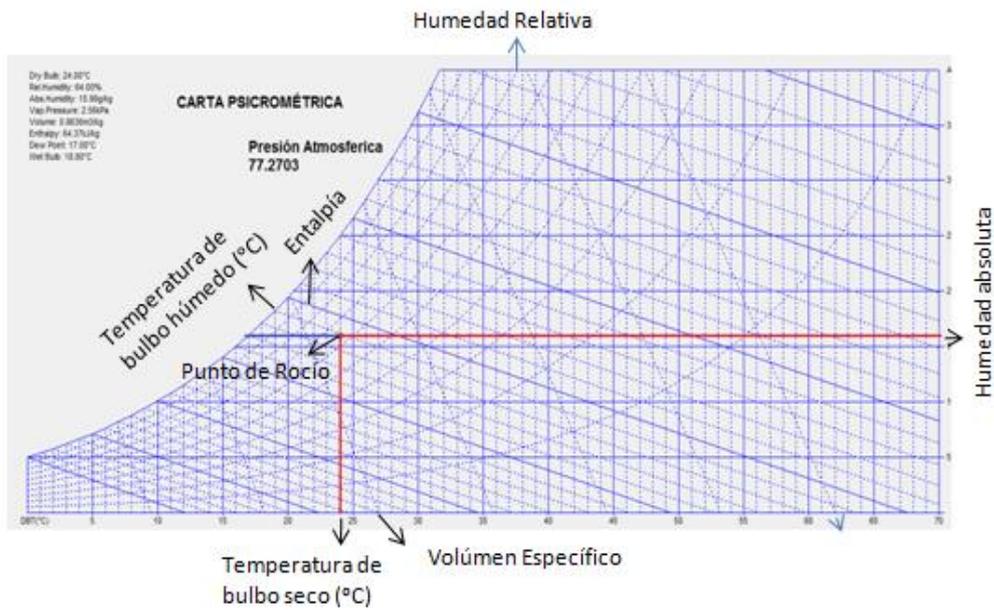


Gráfico 11. Propiedades psicrométricas del aire a la presión biométrica de Ibarra

Tabla 8. Condiciones del aire

Bulbo seco	24,00°C
Humedad relativa	64,00%
Humedad absoluta	15,99 g/kg
Presión de vapor	2,56kPa
Volumen específico	0,8636 m ³ /Kg
Entalpía	64,37KJ/Kg
Punto de rocío	17,00°C
Bulbo húmedo	18,80°C

En la tabla 8 podemos observar las condiciones del aire en la cual se realizó el estudio, la fase experimental para la obtención de snack de mashua.

3.1.2.1 Condiciones del aire para el factor A, temperatura (55°C, 60°C y 65°C)

Tabla 9. Datos del aire a temperatura de 55°C

PROPIEDADES DEL AIRE	DENTRO DEL SECADOR	SALIDA DEL VENTEROL
Bulbo seco	55,00°C	45,00°C
Humedad relativa	10,05%	18,05%
Humedad absoluta	16,00 g/kg	19.86g/kg
Presión de vapor	2,56kPa	2,54kPa
Volumen específico	0,9522 m ³ /Kg	0,9235 m ³ /Kg
Entalpía	95,39KJ/Kg	85,15KJ/Kg
Punto de rocío	17,00°C	17,00°C
Bulbo húmedo	25,71 °C	23,63°C

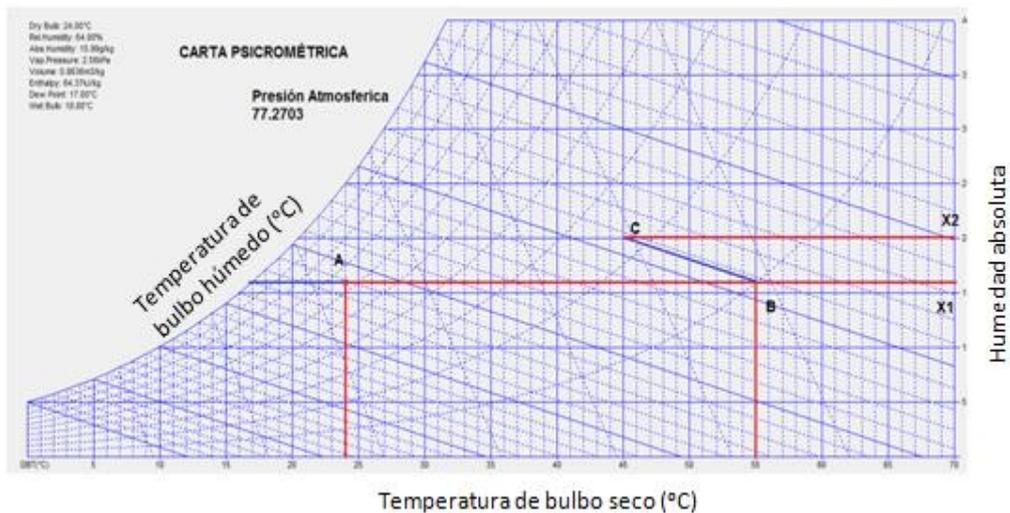


Gráfico 12. Propiedades del aire caliente a 55°C

$$H_{2O} = X_2 - X_1$$

$$H_{2O} = 19,86 \frac{g}{Kg} - 16,00 \frac{g}{Kg}$$

$$H_{2O} = 3,86 g/Kg$$

El aire a una temperatura de 55°C contiene 16,00 g_v/kg_{As} de humedad absoluta y a la salida del secador una temperatura de 45°C con una humedad absoluta de 19,86 g_v/kg_{As} por lo tanto la cantidad de agua evaporada es de 3,86 g_v/kg_{As} para todos los tratamientos sometidos a temperatura de 55°C

Tabla 10. Datos del aire a temperatura de 60°C

PROPIEDADES DEL AIRE	DENTRO DEL SECADOR	SALIDA DEL VENTEROL
Bulbo seco	60,00 °C	52,00 °C
Humedad relativa	7,40 %	11,90 %
Humedad absoluta	15,99 g/kg	17,83 g/kg
Presión de vapor	2,56kPa	2,53 kPa
Volumen específico	0.9695 m ³ /Kg	0.9434 m ³ /Kg
Entalpía	100,39 KJ/Kg	91,98 KJ/Kg
Punto de rocío	17,00°C	17,00°C
Bulbo húmedo	26,58°C	25,11°C

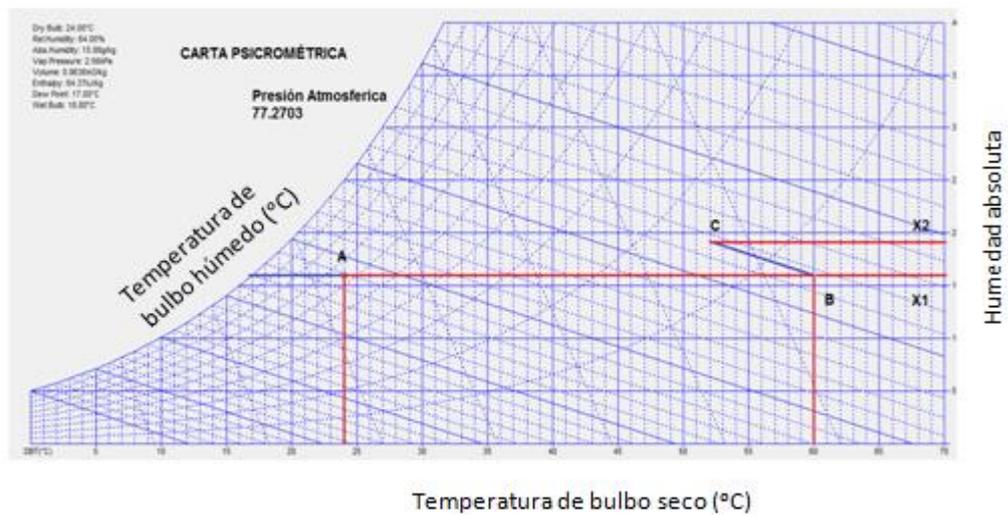


Gráfico 13. Propiedades del aire caliente a 60°C

$$H2O = X2 - X1$$

$$H2O = 17,83 \frac{g}{Kg} - 15,99 \frac{g}{Kg}$$

$$H2O = 1,84 g/Kg$$

El aire a una temperatura de 60°C contiene 15,99 g_v/kg_{As} de humedad absoluta y a la salida del secador una temperatura de 52°C con una humedad absoluta de 17,83 g_v/kg_{As} por lo tanto la cantidad de agua evaporada es de 1,84 g_v/kg_{As} para todos los tratamientos sometidos a temperatura de 60°C

Tabla 11. Datos del aire a temperatura de 65°C

PROPIEDADES DEL AIRE	DENTRO DEL SECADOR	SALIDA DEL VENTEROL
Bulbo seco	65,00 °C	57,00 °C
Humedad relativa	5,41 %	8,91 %
Humedad absoluta	16,11 g/kg	17,01 g/kg
Presión de vapor	2,58 kPa	2,56 kPa
Volumen específico	0.9804 m ³ /Kg	0.9579 m ³ /Kg
Entalpía	105,69 KJ/Kg	97,42 KJ/Kg
Punto de rocío	17,00 °C	17,00 °C
Bulbo húmedo	27,52 °C	26,06°C

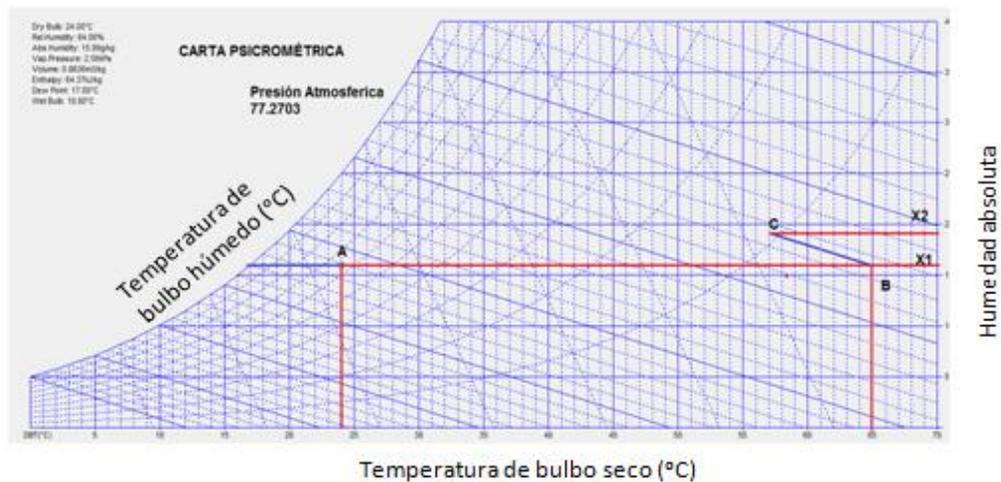


Gráfico 14. Propiedades del aire caliente a 65°C

$$H2O = X2 - X1$$
$$H2O = 17,01 \frac{g}{Kg} - 16,11 \frac{g}{Kg}$$
$$H2O = 0,90 g/Kg$$

El aire a una temperatura de 65°C contiene 16,11g_v/kg_{As} de humedad absoluta y a la salida del secador una temperatura de 57°C con una humedad absoluta de 17,01g_v/kg_{As} por lo tanto la cantidad de agua evaporada es de 0,90g_v/kg_{As} para todos los tratamientos sometidos a temperatura de 65°C.

3.2 MATERIALES

3.2.1 MATERIA PRIMA E INSUMOS

Materia prima

- Mashua

Insumos

- Azúcar blanca refinada
- Agua

3.2.2 MATERIALES Y EQUIPOS

- Balanza analítica de capacidad 1000 g
- Balanza analítica de capacidad 15 kg
- Refractómetro (escala 58 a 90 ° Brix) Resolución 0,5 %
- Refractómetro (escala 28 a 62 ° Brix) Resolución 0,5 %
- Deshidratador de bandejas
- Rallador graduado de medidas de 4 mm y 7 mm

- Pelador
- Recipientes
- Recipientes plásticos
- Termómetro digital (escala -10° - 150° C)
- Equipos de laboratorio
- Bandejas
- Etiquetas
- Guantes térmicos
- Guantes de látex
- Indumentaria aséptica (mandil, cofia, mascarilla, botas)
- Material de oficina
- Utensilios

3.3 MÉTODOS

3.3.1 FACTORES EN ESTUDIO

FACTOR A: Temperatura

A1: 55°C

A2: 60°C

A3: 65°C

FACTOR B: Velocidad del aire

B1: 1, 5 m/s

B2: 2, 5 m/s

B3: 3, 5 m/s

FACTOR C: Grosor de láminas

C1: 4 mm

C2: 7 mm

3.3.2 TRATAMIENTOS

De la combinación de los factores A, B y C (temperatura, velocidad de aire, grosor de láminas), se estructuraron 18 tratamientos los cuales se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 12. Resultado de la combinación de los factores.

TRAT.	Tº	VELOCIDAD DEL AIRE	GROSOR LÁMINAS	COMBINACIÓN	DESCRIPCIÓN
T1	A1	B1	C1	A1B1C1	55°C + 1,5 m/s + 4 mm
T2	A1	B1	C2	A1B1C2	55°C + 1,5 m/s + 7 mm
T3	A1	B2	C1	A1B2C1	55°C + 2,5 m/s + 4 mm
T4	A1	B2	C2	A1B2C2	55°C + 2,5 m/s + 7 mm
T5	A1	B3	C1	A1B3C1	55°C + 3,5 m/s + 4 mm
T6	A1	B3	C2	A1B3C2	55°C + 3,5 m/s + 7 mm
T7	A2	B1	C1	A2B1C1	60°C + 1,5 m/s + 4 mm
T8	A2	B1	C2	A2B1C2	60°C + 1,5 m/s + 7 mm
T9	A2	B2	C1	A2B2C1	60°C + 2,5 m/s + 4 mm
T10	A2	B2	C2	A2B2C2	60°C + 2,5 m/s + 7 mm
T11	A2	B3	C1	A2B3C1	60°C + 3,5 m/s + 4 mm
T12	A2	B3	C2	A2B3C2	60°C + 3,5 m/s + 7 mm
T13	A3	B1	C1	A3B1C1	65°C + 1,5 m/s + 4 mm
T14	A3	B1	C2	A3B1C2	65°C + 1,5 m/s + 7 mm
T15	A3	B2	C1	A3B2C1	65°C + 2,5 m/s + 4 mm
T16	A3	B2	C2	A3B2C2	65°C + 2,5 m/s + 7 mm
T17	A3	B3	C1	A3B3C1	65°C + 3,5 m/s + 4 mm
T18	A3	B3	C2	A3B3C2	65°C + 3,5 m/s + 7 mm

3.3.3 DISEÑO EXPERIMENTAL

Se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA), con arreglo factorial:

A x B x C

3.3.4 CARACTERÍSTICAS DEL EXPERIMENTO

Tratamientos:	Diez y ocho (18)
Repeticiones:	Tres (3)
Unidad experimental:	Cincuenta y cuatro (54)

3.3.5 UNIDAD EXPERIMENTAL

El tamaño de la unidad experimental que se utilizó para el proceso de deshidratación osmótica y secado fue 454.54 gramos de mashua.

3.3.6 ANÁLISIS DE VARIANZA

Tabla 13.Esquema del análisis de varianza

FUENTE DE VARIACIÓN	GL
Total	53
Tratamientos	17
A= Temperatura	2
B= Velocidad de aire	2
C= Grosor de láminas	1
A x B	4
A x C	2
B x C	2
A x B x C	4
Error experimental	36

3.3.7 ANÁLISIS FUNCIONAL

- Tratamientos: Prueba de Tukey al 5%
- Factores: Diferencia Mínima Significativa (DMS)
- Pruebas no paramétricas: Friedman 5%

3.4 VARIABLES A EVALUARSE

3.4.1 VARIABLES CUANTITATIVAS

1. Materia prima :

- Análisis físico-químicos.-consistió en determinar los componentes de la mashua

Tabla 14.Análisis físico químico de la mashua en base húmeda

Parámetro analizado	unidad	Método de ensayo
Humedad	%	AOAC 925.10
Cenizas	%	AOAC 923.03
Proteína Total	%	AOAC 920.87
Extracto Etéreo	%	AOAC 920.85
Fibra Bruta	%	AOAC 978.10
Almidón	%	AOAC 906.03
Azúcares Totales	%	AOAC 932.14C
Carbohidratos Totales	%	Cálculo
Energía	Kcal/100g	Cálculo
Ácido Ascórbico	Mg/100g	AOAC 967.21
pH	----	AOAC 981.12
Sólidos solubles	°Brix	AOAC 932.14C

2. Proceso de deshidratación osmótica

- Humedad.- se analizó al inicio y al final con el fin de observar cómo va aumentando o disminuyendo la humedad en el proceso desde la recepción hasta obtener el deshidratado osmótico
- Sólidos solubles.- se realizó con la finalidad de determinar la concentración de sólidos solubles para lo cual se utilizó un refractómetro de escala 58°- 90°Brix (resolución 0,5%)

3. Producto final

- Peso
- Sólidos solubles (°Brix)
- Humedad
- Actividad de agua (a_w)
- Curvas de secado

3.4.2 VARIABLES CUALITATIVAS

- Color
- Aroma
- Sabor
- Dureza/ textura

Estas características organolépticas nos permiten evaluar a través de los sentidos el grado de aceptabilidad o rechazo del producto, este análisis se realizó con un panel de 12 degustadores; las hojas de encuestas para la evaluación sensorial se detallan en el anexo 1.

Los datos registrados se los identificará a través de las pruebas no paramétricas de FRIEDMAN, basada en la siguiente fórmula:

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

Donde:

r= Número de degustadores

t= Tratamientos

R= Rangos

Luego de realizar el análisis sensorial se efectuó la tabulación de los datos obtenidos, mediante los cuales se determinó uno de los tres mejores tratamientos; a los cuales se realizó los siguientes análisis físico-químicos (base seca) y microbiológicos.

- Humedad
- Cenizas
- Proteína
- Extracto etéreo
- Fibra
- Almidón
- Azúcares totales
- Carbohidratos totales
- Ácido ascórbico
- pH
- Sólidos solubles
- Recuento aerobios
- Recuento mohos
- Recuento levaduras

Para el mejor tratamiento:

- Rendimiento

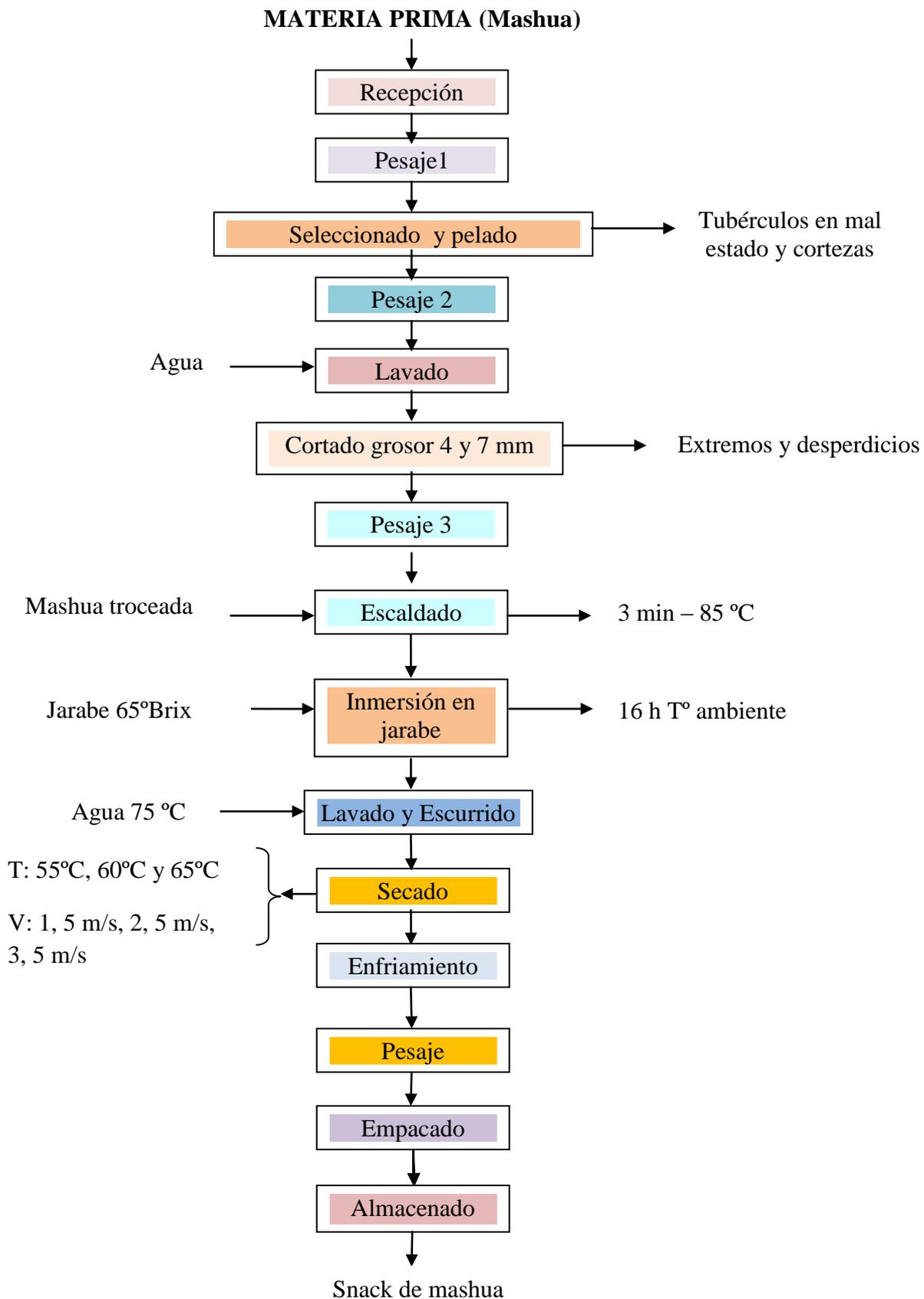
$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{peso final}}{\text{peso inicial}} \times 100$$

3.5 MANEJO ESPECÍFICO DEL EXPERIMENTO

Para la obtención del snack de mashua mediante deshidratación osmótica y secado, se realizó los siguientes diagramas de proceso.

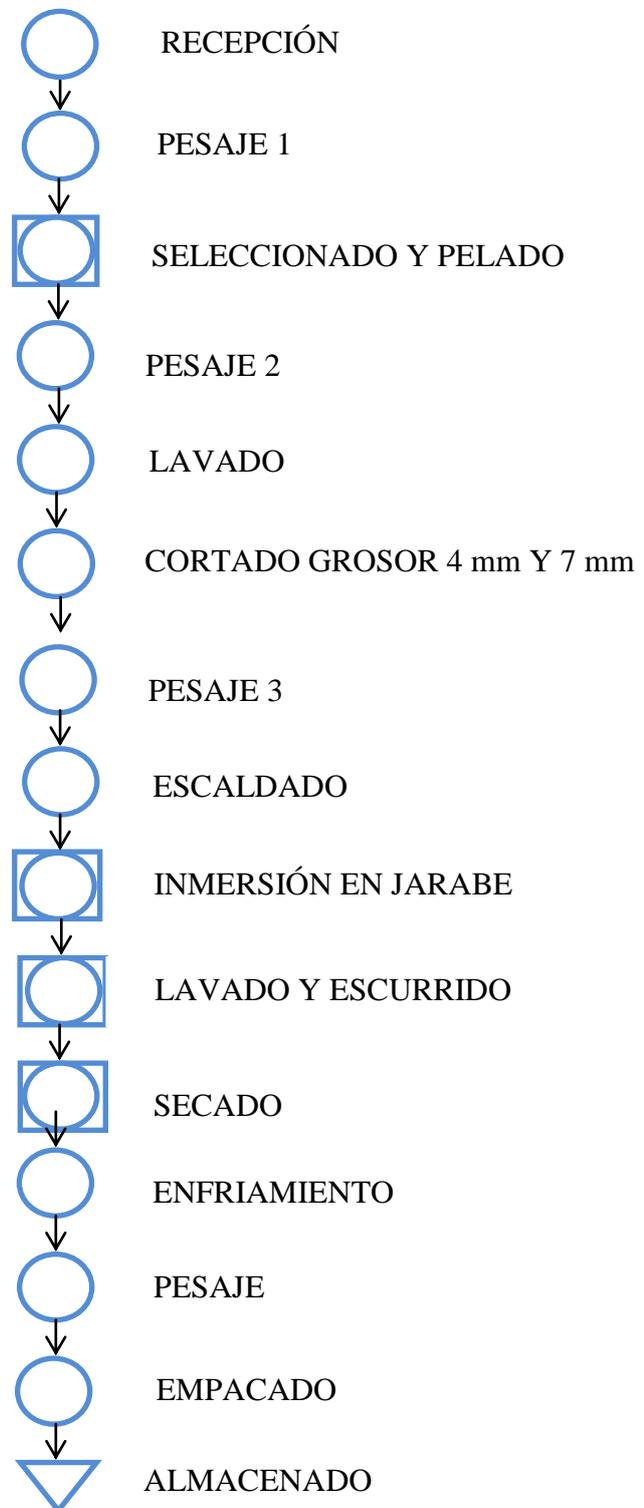
3.5.1 DIAGRAMA DE BLOQUES PARA LA OBTENCIÓN DE SNACK

DE MASHUA



3.5.2 DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA ELABORACIÓN DE SNACK DE MASHUA

MASHUA



3.5.3 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

Recepción.- la materia prima (mashua) proveniente de la provincia de Chimborazo, se receiptó en el mercado Amazonas de Ibarra en fundas plásticas, los cuales se almacenaron a temperatura ambiente (17°C a 22°C) para evitar su rápido deterioro



Fotografía 1. Recepción de la mashua

Pesaje 1.- los tubérculos se pesaron, para determinar la cantidad de materia prima con la cual se inicia el proceso, con la finalidad de establecer el rendimiento para el producto final.



Fotografía 2. Pesaje

Seleccionado y pelado.- se realizó una selección manual de los tubérculos, retirando aquellos que presentan magulladuras, golpes o signos de deterioro a simple vista y se procedió al pelado utilizando cuchillos de acero inoxidable.



Fotografía 3. Selección y pelado

Pesaje 2.- se procedió a pesar nuevamente y así determinar la cantidad de corteza, extremos y desperdicios que fueron eliminados del tubérculo.



Fotografía 4. Pesaje de la corteza



Fotografía 5. Pesaje del tubérculo pelado

Lavado.- se realizó con abundante agua potable, para remover la tierra adherida en los surcos del tubérculo con la finalidad de eliminar las impurezas de la materia prima para evitar cualquier tipo de contaminación.



Fotografía 6. Lavado del tubérculo

Cortado.- los tubérculos fueron cortados en láminas de 4 y 7 mm de grosor, con la ayuda de un rallador manual graduado, la finalidad es obtener una mayor área de transferencia de los sólidos solubles desde el jarabe hacia la mashua troceada durante el proceso



Fotografía 7. Cortado en láminas



Fotografía8. Producto en láminas

Escaldado.- las mashuas troceadas se sometieron a un escaldado con agua a una temperatura de 85 °C durante 3 minutos, al término de este tiempo se escurrió



Fotografía 9. Escaldado de la mashua

Inmersión en jarabe.- se procedió a sumergir las láminas de mashua en el jarabe con una concentración de 65° Brix, a temperatura ambiente y durante un tiempo de 12 horas, se realizó el proceso en envases plásticos cubiertos con papel aluminio. Datos obtenidos mediante pruebas preliminares.



Fotografía 10. Inmersión en jarabe



Fotografía11. Tapado del producto

Escurrido.-se retiraron las láminas de la solución osmótica y se tamizaron para escurrir el exceso de solución, el tubérculo se sumergió en agua a una temperatura de 70-75°C, con la finalidad de eliminar el jarabe residual y así evitar una posterior cristalización de jarabe durante el secado. Todo esto debido a pruebas preliminares que permitió establecer los parámetros.



Fotografía 12. Escurrido del producto



Fotografía 13. Producto tamizado

Secado.- las láminas de mashua deshidratadas osmóticamente se colocó en bandejas, se realizó en un deshidratador con aire caliente a temperaturas de 55°C, 60°C y 65°C, y velocidad de aire de 1,5, 2,5 y 3,5 m/s.

TEMPERATURA	VELOCIDAD
55°C	1,5 m/s
	2,5 m/s
	3,5 m/s
60°C	1,5 m/s
	2,5 m/s
	3,5 m/s
65°C	1,5 m/s
	2,5 m/s
	3,5 m/s



Fotografía 14. Secado

Enfriamiento.- luego del secado se dejó reposar el producto a temperatura ambiente (17°C a 22°C) cubiertas con papel aluminio con la finalidad de que las láminas de mashua no adquiera humedad y evitar una posible contaminación.



Fotografía 15. Enfriado del producto

Pesaje.- el producto final se pesó para calcular el rendimiento del producto y verificar la cantidad de pérdida de peso.



Fotografía 16. Pesaje del producto final

Empacado.- el producto final se empacó manualmente en fundas herméticas para evitar que el producto entre en contacto con el aire, manteniéndolos frescos por más tiempo.



Fotografía 17. Empacado



Fotografía18. Producto final empacado

Almacenamiento.- el producto final se guardó en un lugar fresco, seco y oscuro a temperaturas ambientales (17°C a 22°C)



Fotografía 19. Almacenado del producto terminado

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente trabajo de investigación “Efectos de la deshidratación osmótica y secado sobre las características físico químicas y sensoriales de snack de mashua *Tropaeolum tuberosum*”, se dan a conocer los resultados obtenidos.

4.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS DE LA MASHUA

Los análisis físico químicos de la mashua, se realizaron en el Laboratorio de Análisis Físico- Químicos y microbiológicos de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales de la Universidad Técnica del Norte, con la finalidad de determinar las características de la materia prima de la investigación, como son: contenido de humedad, cenizas, proteína, extracto etéreo, fibra, almidón, azúcares totales, carbohidratos totales, energía, ácido ascórbico, pH y sólidos solubles.

Tabla 15. Análisis físico- químico de la mashua

Parámetro analizado	Unidad	Resultado
Humedad	%	86,00
Cenizas	%	0,71
Proteína Total	%	1,32
Extracto Etéreo	%	0,67
Fibra Bruta	%	0,84
Almidón	%	6,18
Azúcares Totales	%	4,09
Carbohidratos Totales	%	12,31
Energía	Kcal/100g	56,49
Ácido Ascórbico	mg/100g	75,60
pH	-----	5,55
Sólidos solubles	°Brix	6,25

Según Grau & Ortega(2003). El contenido de agua de los tubérculos de mashua es alto, que va desde 79 hasta 94% de la materia fresca, constituyéndose en uno de los principales parámetros que influye en el proceso de deshidratación, ya que a mayor porcentaje de humedad en la materia prima mayor es el tiempo de

deshidratación. Como consecuencia del proceso de deshidratación se concentran los sólidos solubles y nutrientes, mejorando las características sensoriales y prolongando su vida útil.

Además, la mashua con relación a la oca, melloco y papas nativas presenta un mayor contenido nutricional. Sin embargo, el desconocimiento de las propiedades nutricionales y funcionales, hace que existan escasas industrias dedicadas a la transformación de la mashua(Ayala, 2004).

4.2 EVALUACIÓN DE LA HUMEDAD Y SÓLIDOS SOLUBLES (°Brix) EN EL PROCESO DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA

Para la determinación de la humedad, sólidos solubles y el peso durante el proceso de deshidratación osmótica, se realizó el muestreo cada 60 minutos, hasta llegar a un peso constante. El ensayo dura 12 horas luego de sumergido el producto en el jarabe, con una concentración de 65° Brix un espesor de láminas de mashua de 4 mm y 7 mm y un peso inicial de 454,54 g.

Tabla 16. Datos del proceso de deshidratación osmótica

TIEMPO (h)	GROSOR 4 mm				GROSOR 7 mm			
	PESO (kg)	HUMEDAD kg _{H2O} /kg _{SS}	°BRIX (Producto)	°BRIX (Jarabe)	PESO (kg)	HUMEDAD kg _{H2O} /kg _{SS}	°BRIX (Producto)	°BRIX (Jarabe)
	4 mm	4 mm	4 mm	4 mm	7 mm	7 mm	7 mm	7 mm
0	0,4545	6,1429	6,25	65,00	0,4545	6,1429	6,25	65,00
1	0,4363	4,5866	6,67	64,13	0,4250	4,8997	6,57	64,48
2	0,4181	4,0378	7,09	63,24	0,4001	4,0761	6,82	64,12
3	0,3987	3,2553	7,53	62,42	0,3912	3,3956	7,21	63,58
4	0,3813	2,6630	7,84	61,22	0,3781	2,8986	7,53	63,12
5	0,3632	2,4247	8,36	60,32	0,3589	2,5537	7,85	63,00
6	0,3447	2,1270	8,81	59,72	0,3398	2,2165	8,27	62,49
7	0,3266	1,8835	9,23	58,80	0,3157	1,9291	8,59	62,00
8	0,3050	1,5013	9,63	57,92	0,2850	1,6511	8,90	61,24
9	0,2571	1,3883	10,07	57,05	0,2452	1,4956	9,02	60,45
10	0,2360	1,2538	10,41	56,16	0,2282	1,3196	9,28	59,18
11	0,2357	1,0206	10,45	55,42	0,2252	1,3031	9,38	58,46
12	0,2350	1,0198	10,50	54,28	0,2250	1,3026	9,50	58,28

- Graficando el comportamiento de las pérdidas de pesos durante la deshidratación osmótica, registrados en la tabla 16 cada 60 minutos con un peso inicial de 454,54 g tanto en láminas de mashua de 4 mm y 7 mm de grosor. Se observa una pérdida de peso similar hasta las 9 horas mientras que cuando sobrepasa este tiempo se observa que el producto en los dos espesores se estabiliza.

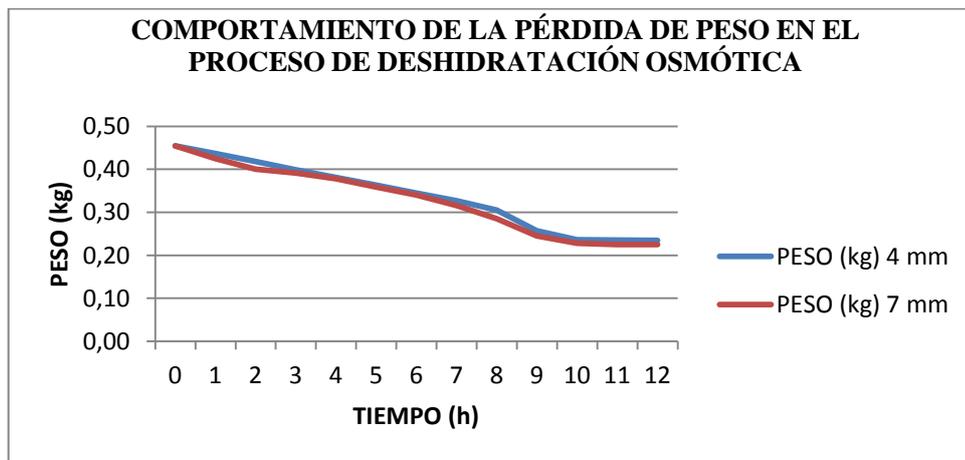


Gráfico 15. Comportamiento de la pérdida de peso en el proceso de deshidratación osmótica

En el gráfico 15, se observa que a mayor tiempo de reposo del producto fresco en la solución, el peso disminuye debido a que la pérdida de agua es mayor en el producto, es decir que el espesor de la lámina influye en el proceso de deshidratación osmótica ya que a menor espesor de la lámina, el agua se elimina con mejor facilidad obteniendo mayor peso de producto final.

Según García & Muñiz (2013). La pérdida de peso durante el proceso de Deshidratación Osmótica, es una consecuencia natural de esta propiedad por las características previamente explicadas del proceso de osmosis, donde ocurre una salida importante de agua desde el producto hacia la solución, pero a su vez una entrada de soluto desde la solución hacia el alimento. En la investigación de

deshidratación osmótica y secado de mashua resulta que a 4 mm de espesor de la lámina se logra mayor absorción de soluto respecto a 7 mm.

- Graficando el comportamiento de las pérdidas de humedad durante la deshidratación osmótica, registrados en la tabla 16 cada 60 minutos con una humedad inicial del 86% tanto en láminas de mashua de 4mm y 7 mm de grosor. Se observa una pérdida de humedad homogénea en todo el proceso de osmosis, así llegando a tener una pérdida de humedad constante a partir de las 9 horas.

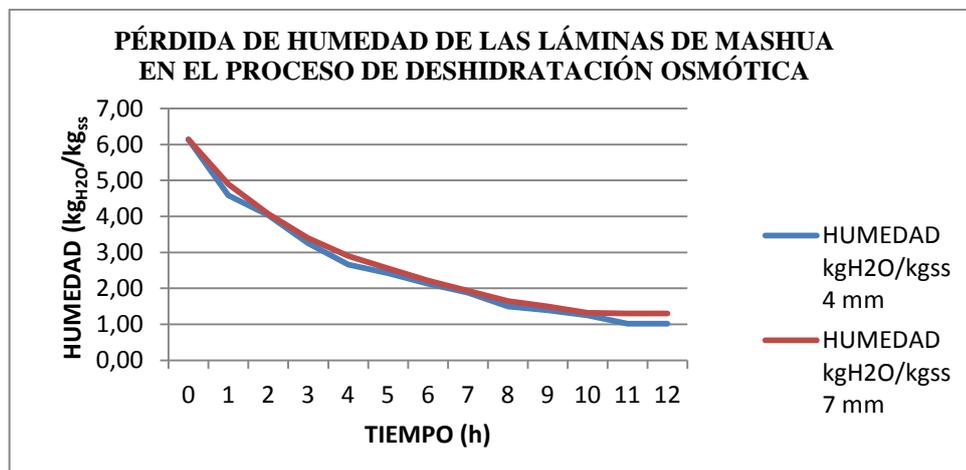


Gráfico 16. Pérdida de humedad de las láminas de mashua en el proceso de deshidratación osmótica

En el gráfico 16, se determinó el porcentaje de humedad cada 60 minutos, luego de la extracción del jarabe y el lavado del producto (láminas de mashua), alcanzando su máxima pérdida a las 12 horas de sumergido el producto en una solución hipotónica, tomando en cuenta que a 4mm de espesor la pérdida de humedad es mayor; logrando una humedad final de las láminas de mashua de 1,0198 y 1,3026 kgH₂O/kgss con 4 y 7 mm de espesor.

Según García & Muñiz (2013), el contenido de humedad de un producto deshidratado osmóticamente depende de las condiciones externas, temperatura, flujo de aire, superficie y composición físico química de la materia prima permitiendo así reducir el porcentaje de humedad previo a un secado. En la investigación de deshidratación osmótica y secado de mashua resulta que a 4 mm de espesor de la lámina reduce mayor contenido de humedad en comparación a las láminas de 7 mm

- Graficando la concentración de sólidos solubles del producto durante el proceso de deshidratación osmótica, registrados en la tabla 16 cada 60 minutos con una concentración inicial de 6,25 °Brix tanto en láminas de mashua de 4 mm y 7 mm de grosor. Se observa que la concentración aumenta respectivamente para los dos grosores.

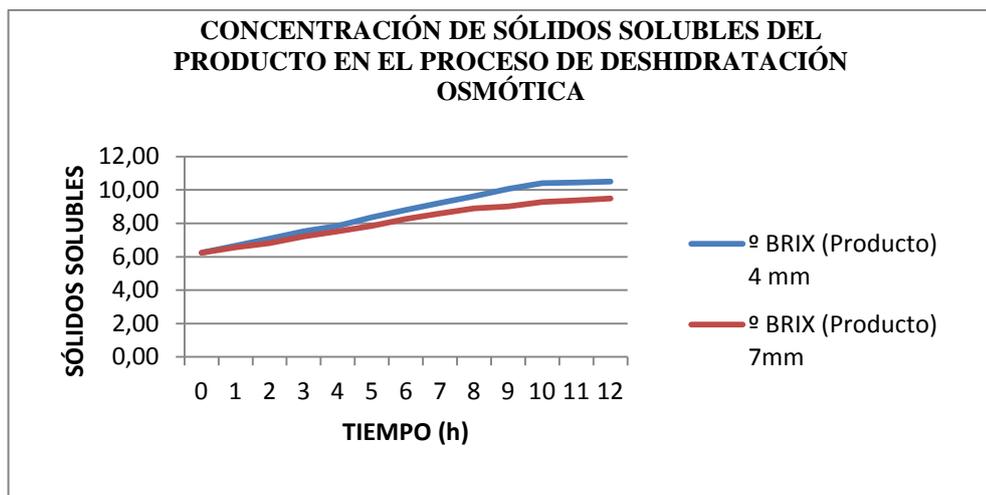


Gráfico 17. Concentración de sólidos solubles del producto en el proceso de deshidratación osmótica

En el gráfico 17, se observa el incremento de la concentración de sólidos solubles en el producto, luego de sumergido por 12 horas en un jarabe de 65° Brix. El proceso inicia con una concentración de 6,25 °Brix en el producto y finaliza con 10,50 y 9,50°Brix para 4 y 7 mm de espesor respectivamente.

Según Bambicha & Mascheroni(2012), Indicó que la concentración osmótica de alimentos se realiza hasta alcanzar una reducción de peso del 50%, sin embargo este proceso permite poner en contacto el producto alimenticio con una solución de azúcar y así eliminar agua en el producto. La cinética de los procesos osmóticos normalmente se expresa en términos de la pérdida de agua, pérdida de peso y la concentración de sólidos solubles. La investigación realizada mediante deshidratación osmótica y secado de mashua, alcanzo una concentración de 10,50 y 9,50 ° Brix es decir que a menor espesor de láminas mayor concentración de sólidos solubles.

- Graficando la pérdida de sólidos solubles del jarabe durante el proceso de deshidratación osmótica, registrados en la tabla 16 cada 60 minutos con una concentración inicial de 65°Brix tanto en láminas de mashua de 4 mm y 7 mm de grosor. Se observa que la concentración disminuye respectivamente para los dos grosores.

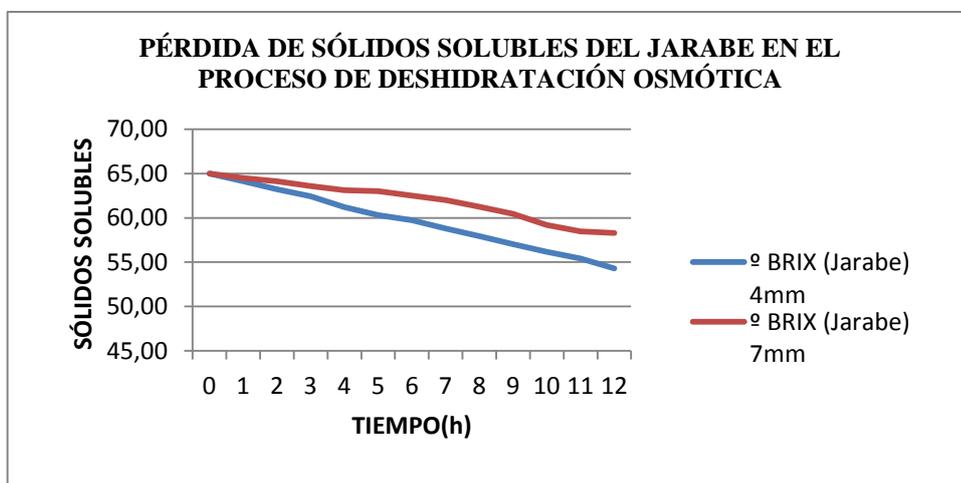


Gráfico 18. Pérdida de sólidos solubles del jarabe y humedad durante el proceso de deshidratación osmótica

En el gráfico 18, se observa la pérdida de sólidos solubles en la solución, debido a que ocurre una salida importante de agua desde el producto hacia la solución, pero a su vez una entrada de soluto desde la solución hacia el alimento este proceso tardo 12 horas empezando con una concentración de sólidos solubles de 65° Brix y finalizando con 54,28 y 58,28 ° Brix respectivamente. Donde podemos observar que a mayor concentración de sólidos solubles en el producto menor será la concentración de estos en el jarabe.

Según Martínez(2012), la velocidad de deshidratación o de transferencia de agua de la fruta a la disolución osmótica depende de las características de la materia prima, composición físico química, concentración del agente osmótico, temperatura, agitación, tiempos de inmersión, relación fruta/jarabe y superficie expuesta.

4.3 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD FÍSICO QUÍMICA DEL SNACK DE MASHUA

Para la evaluación de la calidad se realizaron los siguientes análisis estadísticos los cuales nos permitieron observar el comportamiento durante la deshidratación osmótica y secado con aire caliente.

4.4 PESO FINAL DEL PRODUCTO DESHIDRATADO OSMÓTICAMENTE

En la siguiente tabla se presentan los pesos finales del producto deshidratado osmóticamente.

Tabla 17. Pesos del producto deshidratado osmóticamente (g)

TRAT.	TRAT.	REPETICIONES			Σ TRAT	X
		1	2	3		
T1	A1B1C1	394,00	395,00	393,00	1182,00	394,00
T2	A1B1C2	324,00	324,00	324,00	972,00	324,00
T3	A1B2C1	338,00	337,00	336,00	1011,00	337,00
T4	A1B2C2	319,00	318,00	317,00	954,00	318,00
T5	A1B3C1	319,00	319,00	319,00	957,00	319,00
T6	A1B3C2	252,00	252,00	252,00	756,00	252,00
T7	A2B1C1	303,00	303,00	303,00	909,00	303,00
T8	A2B1C2	320,00	320,00	320,00	960,00	320,00
T9	A2B2C1	255,00	255,00	255,00	765,00	255,00
T10	A2B2C2	327,00	326,00	325,00	978,00	326,00
T11	A2B3C1	359,00	359,00	359,00	1077,00	359,00
T12	A2B3C2	300,00	300,00	300,00	900,00	300,00
T13	A3B1C1	374,00	374,00	374,00	1122,00	374,00
T14	A3B1C2	366,00	366,00	366,00	1098,00	366,00
T15	A3B2C1	438,00	438,00	438,00	1314,00	438,00
T16	A3B2C2	276,00	277,00	278,00	831,00	277,00
T17	A3B3C1	360,00	361,00	359,00	1080,00	360,00
T18	A3B3C2	383,00	383,00	383,00	1149,00	383,00
	Σ REP	6007,00	6007,00	6001,00	18015,00	333,61

Para mayor comprensión del comportamiento de los tratamientos se construyó el siguiente gráfico.

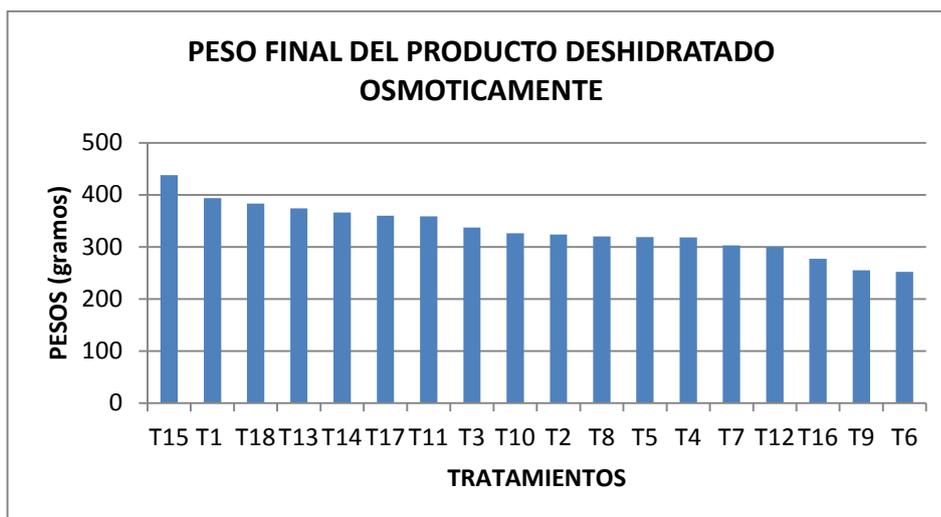


Gráfico 19. Pesos finales del producto deshidratado osmóticamente

En el gráfico 19, se observó que los tratamientos T18, T15 y T1 presentan los mayores pesos después de la deshidratación osmótica, que oscilan entre 383 a 438 gramos. Los demás tratamientos presentan pesos menores que oscilan entre 252 a 374 gramos. Por lo tanto, el tratamiento T15 presenta un mayor rendimiento en el proceso de deshidratación osmótica.

El mayor peso de los tratamientos T18, T15 y T1 es debido posiblemente a la mayor permeabilidad y porosidad del producto, que provocó una mayor transferencia de solutos desde la solución al interior del alimento, dando lugar a cambios significativos en la arquitectura del tejido. Es decir, la célula se deforma y reduce en tamaño por la pérdida de agua, donde la membrana celular externa y la pared celular interna reducen su peso de hasta un 50 % y absorben mayor cantidad de soluto de la solución, esto está de acuerdo con (Jangam, Law, & Mujumdar, 2010) & (Machacuay, 2009).

4.5 PESO FINAL DEL PRODUCTO TERMINADO SECADO POR AIRE CALIENTE

En la siguiente tabla se presentan los pesos finales del producto al finalizar el proceso de secado, teniendo en cuenta que se realizó un proceso previo de deshidratación osmótica.

Tabla 18. Pesos del producto seco (g)

TRAT.	TRAT.	REPETICIONES			Σ TRAT	X
		1	2	3		
T1	A1B1C1	219,00	218,00	219,00	656,00	218,67
T2	A1B1C2	199,00	199,00	203,00	601,00	200,33
T3	A1B2C1	203,00	204,00	206,00	613,00	204,33
T4	A1B2C2	192,00	192,00	191,00	575,00	191,67
T5	A1B3C1	188,00	189,00	188,00	565,00	188,33
T6	A1B3C2	169,00	173,00	174,00	516,00	172,00
T7	A2B1C1	189,00	189,00	189,00	567,00	189,00
T8	A2B1C2	191,00	187,00	189,00	567,00	189,00
T9	A2B2C1	166,00	169,00	169,00	504,00	168,00
T10	A2B2C2	202,00	202,00	203,00	607,00	202,33
T11	A2B3C1	200,00	203,00	204,00	607,00	202,33
T12	A2B3C2	185,00	183,00	181,00	549,00	183,00
T13	A3B1C1	205,00	209,00	207,00	621,00	207,00
T14	A3B1C2	202,00	205,00	207,00	614,00	204,67
T15	A3B2C1	206,00	212,00	211,00	629,00	209,67
T16	A3B2C2	183,00	184,00	182,00	549,00	183,00
T17	A3B3C1	206,00	206,00	208,00	620,00	206,67
T18	A3B3C2	201,00	220,00	213,00	634,00	211,33
	Σ REP	3506,00	3544,00	3544,00	10594,00	196,19

Con los datos obtenidos al finalizar el proceso de secado, se realiza el análisis estadístico mediante el análisis de varianza, con el fin de establecer diferencias entre los tratamientos.

Tabla 19. Análisis de varianza del peso del producto terminado

F.V.	G.L.	S.C	C.M	F. Cal.	Signif.	F.T 5%	F. 1%
Total	53,00	10154,15					
Tratam.	17,00	9860,81	580,05	71,19	**	1,93	2,53
Factor A	2,00	1115,59	557,80	68,46	**	3,27	5,26
Factor B	2,00	4406,70	2203,35	270,41	**	4,12	7,41
Factor C	1,00	1734,00	1734,00	212,81	**	3,27	5,26
I (AX B)	4,00	891,19	222,80	27,34	**	3,27	5,26
I (AXC)	2,00	722,11	361,06	44,31	**	2,64	3,91
I (BXC)	2,00	240,11	120,06	14,73	**	3,27	5,26
I (AXBXC)	4,00	751,11	187,78	23,05	**	2,64	3,91
E. EXP.	36,00	293,33	8,15				

$$CV = 1,46\%$$

** : Altamente significativo (Tukey al 1%)

El análisis de varianza efectuado para la variable peso final después del secado, presenta alta significación estadística para tratamientos, factor A (temperaturas), factor B (velocidad del aire), factor C (grosor de láminas), y las interacciones AxB, AxC, BxC y AxBxC. Es decir que la pérdida de peso depende de las condiciones de secado.

Al existir diferencia significativa se procedió a realizar las pruebas de Tukey al 5% para tratamientos, diferencia media significativa para los factores A, B y C; y gráficas para las interacciones.

Tabla 20. Prueba Tukey al 5 % para tratamientos para la variable peso final (g)

TRATAMIENTOS		MEDIA	RANGOS
T1	A1B1C1	218,67	a
T18	A3B3C2	211,33	a
T15	A3B2C1	209,67	b
T13	A3B1C1	207,00	b
T17	A3B3C1	206,67	b
T14	A3B1C2	204,67	b
T3	A1B2C1	204,33	b
T10	A2B2C2	202,33	b
T11	A2B3C1	202,33	b
T2	A1B1C2	200,33	c
T4	A1B2C2	191,67	d
T8	A2B1C2	189,00	d
T7	A2B1C1	189,00	d
T5	A1B3C1	188,33	d
T16	A3B2C2	183,00	d
T12	A2B3C2	183,00	d
T6	A1B3C2	172,00	e
T9	A2B2C1	168,00	e

En la tabla de Tukey($p < 0.05$) se observa que existe cinco rangos para tratamientos, presentando pesos medios entre 218,67 a 168,00g por consiguiente los tratamientos presentan diferencias estadísticas y por otro lado, desde el punto de vista del rendimiento, los tratamientos T1 y T18 presentaron mayores rendimientos al proceso de secado.

Tabla 21. Prueba diferencia media significativa para el factor A (Temperaturas)

FACTOR	MEDIAS	RANGO
A2	199,83	a
A1	198,94	b
A3	189,78	c

Al realizar el análisis de diferencia media significativa ($DMS\alpha < 0.05$) en el factor A, se observa que el nivel A2 temperatura (60°C) es el mejor y le corresponde al rango (a), debido a que las láminas de mashua deshidratadas osmóticamente y secadas con aire caliente presentan un peso final mayor con relación a los niveles A1 y A3. Es decir, que esta temperatura es la más apta para el proceso de secado.

Tabla 22. Prueba diferencia media significativa para el factor B (Velocidad del aire)

FACTOR	MEDIAS	RANGO
B1	204,17	a
B2	200,83	b
B3	183,56	c

Al realizar el análisis de diferencia media significativa ($DMS\alpha < 0.05$) para el factor B, se observa que el nivel B1 (velocidad de aire de secado a 1,5 m/s) es el mejor y le corresponde al rango (a), debido a que las láminas de mashua deshidratadas osmóticamente y secadas con aire caliente presentan un peso final mayor en relación con los niveles B2 y B3. Es decir, que esta velocidad es más apta para el proceso de secado

Tabla 23. Prueba diferencia media significativa para el factor C (Grosor de láminas)

FACTOR	MEDIAS	RANGO
C1	201,85	a
C2	190,52	b

Al realizar el análisis de diferencia media significativa ($DMS\alpha < 0.05$) para el factor C, se observa que el nivel C1 grosor de láminas (4mm) es el mejor y le corresponde al rango (a), debido a que las láminas de mashua deshidratadas osmóticamente y secadas con aire caliente presentan un peso final mayor con

relación al nivel C2. Es decir, que este grosor de láminas es el más apto para el proceso de deshidratación y secado

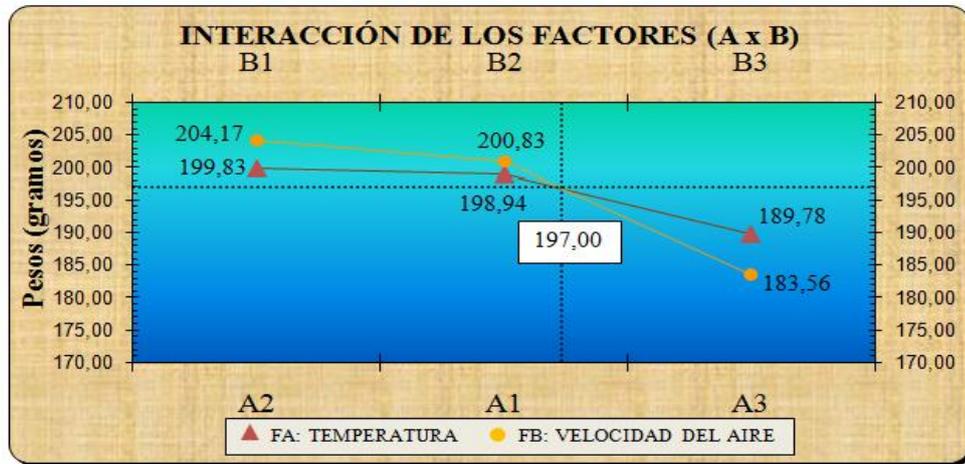


Gráfico 20. Efecto de la interacción de los pesos finales después del secado entre A (Temperatura) y B (velocidad del aire)

En el gráfico 20 se observa, que el punto de interacción entre los factores **A** (Temperatura) y **B** (Velocidad del aire) en la variable peso final del producto deshidratado osmóticamente y secadas es de 197,00 gramos. Es decir, que este valor depende directamente de la interacción entre la temperatura A1 (55°C) y velocidad del aire B2 (2,5 m/s).

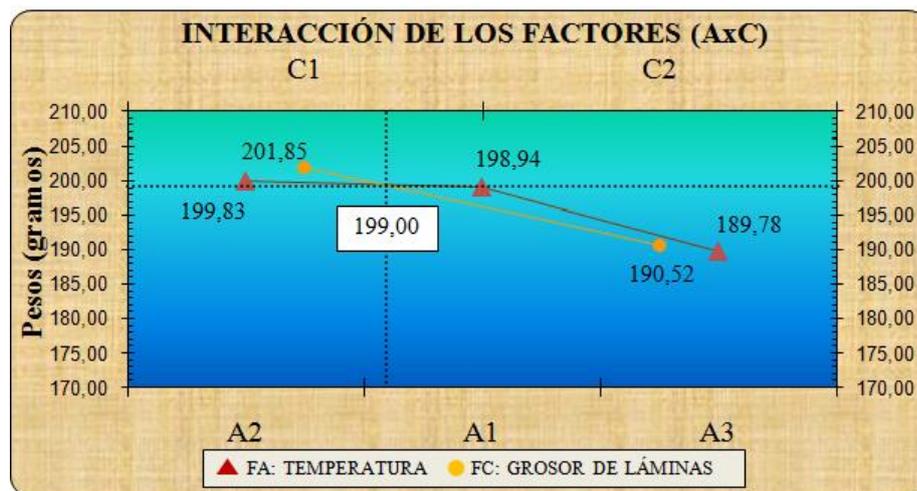


Gráfico 21. Efecto de la interacción de los pesos finales después del secado entre A (Temperatura) y C (Grosor de láminas)

En el gráfico 21 se observa, que el punto de interacción entre los factores **A** (Temperatura) y **C** (grosor de láminas) en la variable peso del producto deshidratado osmóticamente y secadas es de 199,00gramos. Es decir, que este valor depende directamente de la interacción entre la temperatura A1 (55°C) y grosor C1 (4mm). Lo cual significa que a menor diámetro, el tiempo de secado disminuye.

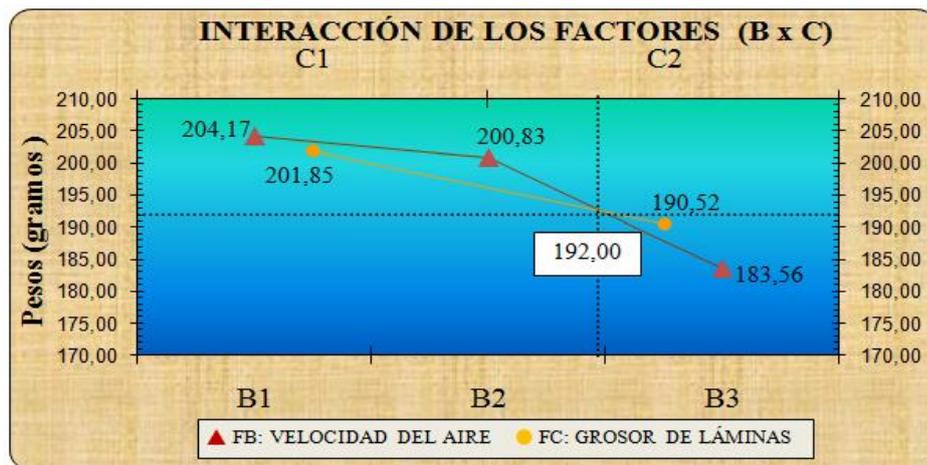


Gráfico 22. Efecto de la interacción de los pesos después del secado entre B (Velocidad del aire) y C (Grosor de láminas).

En el gráfico 22se observa, que el punto de interacción entre los factores **B** (Velocidad del aire) y **C** (grosor de láminas) en la variable peso final del producto deshidratado osmóticamente y secado con aire caliente es 192,00gramos. Es decir, que este valor depende directamente de la interacción entre la velocidad B3 (3,5 m/s) y grosor de láminas C2 (7mm).

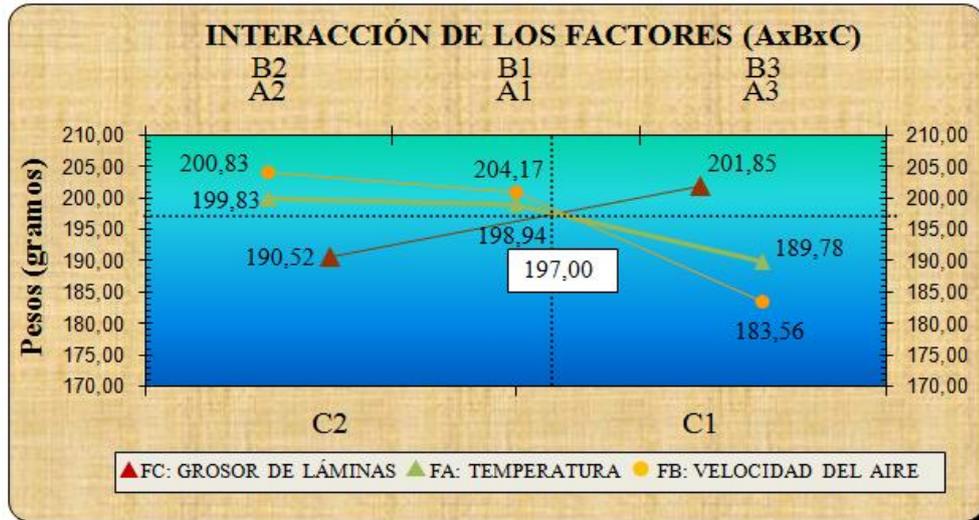


Gráfico 23. Efecto de la interacción de los pesos finales después del secado entre A (Temperaturas), B (Velocidad del aire) y C (Grosor de láminas).

En el gráfico 23 se observa, que el punto de interacción entre los factores A (Temperatura), B (Velocidad del aire) y C (grosor de láminas) en la variable peso del producto deshidratado osmóticamente y secado con aire caliente es de 197,00 gramos. Es decir, que este valor depende directamente de las interacciones entre la temperatura A1 (55°C), velocidad B1 (1,5 m/s) y grosor de láminas C1 (4mm). Lo cual significa, que en estas condiciones de secado el producto mantiene sus propiedades nutricionales.

Para mayor comprensión del comportamiento de los tratamientos se construyó el siguiente gráfico.

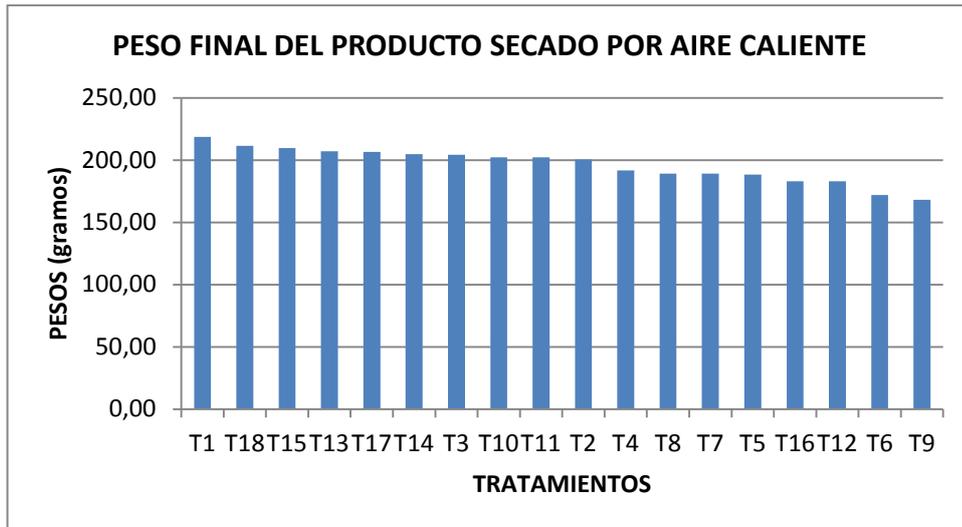


Gráfico 24. Pesos finales en el producto deshidratado y secado con aire caliente

En el gráfico 24 se observa, que los tratamientos T1 (55°C + 1,5 m/s + 4 mm), T18 (65°C + 3,5 m/s + 7 mm), y T15 (65°C + 2,5 m/s + 4 mm), son los más recomendados al presentar el mayor peso después de la deshidratación osmótica secado con aire caliente cuyos niveles van desde 210 a 219 gramos, siendo los más óptimos para el proceso.

Los tratamientos T1, T18 y T15 presentan mayor peso ya que al ser secado por aire caliente conlleva a una apreciable reducción del peso y volumen de los alimentos que se deshidratan hasta lograr una estabilidad. Como consecuencia de las altas temperaturas y velocidad de secado que hacen que el producto se evapore y elimine agua, así provocando que los índices de calidad del producto final presenten cambios muy variables con respecto al producto fresco, esto menciona (Marín & Lemus, 2006).

4.6 SÓLIDOS SOLUBLES EN EL PRODUCTO TERMINADO

En la siguiente tabla se representan los valores de los sólidos solubles (°Brix) del producto terminado tomando en cuenta que se realizó un proceso previo de deshidratación osmótica.

Tabla 24. Sólidos solubles en el producto terminado (°Brix)

TRAT.	TRAT.	REPETICIONES			Σ TRAT	X
		1	2	3		
T1	A1B1C1	87,82	87,33	85,99	261,14	87,05
T2	A1B1C2	60,01	59,89	67,99	187,89	62,63
T3	A1B2C1	75,02	73,34	72,99	221,35	73,78
T4	A1B2C2	62,98	59,40	63,23	185,61	61,87
T5	A1B3C1	71,62	70,23	69,45	211,30	70,43
T6	A1B3C2	66,90	66,35	66,76	200,01	66,67
T7	A2B1C1	82,42	82,00	83,23	247,65	82,55
T8	A2B1C2	65,91	65,12	64,54	195,57	65,19
T9	A2B2C1	80,62	79,87	78,10	238,59	79,53
T10	A2B2C2	64,94	63,03	64,67	192,64	64,21
T11	A2B3C1	78,82	77,56	76,45	232,83	77,61
T12	A2B3C2	63,04	60,35	65,00	188,39	62,80
T13	A3B1C1	86,02	85,90	84,08	256,00	85,33
T14	A3B1C2	67,88	66,52	67,00	201,40	67,13
T15	A3B2C1	84,22	84,00	83,67	251,89	83,96
T16	A3B2C2	62,02	59,56	60,01	181,59	60,53
T17	A3B3C1	70,20	70,12	68,90	209,22	69,74
T18	A3B3C2	68,86	65,98	67,89	202,73	67,58
	Σ REP	1299,30	1276,55	1289,95	3865,80	1288,59

Con los datos obtenidos en el laboratorio se procede a determinar si los diferentes tratamientos muestran diferencias significativas con la ayuda del análisis de varianza.

Tabla 25. Análisis de varianza de los sólidos solubles

F.V	GL	SC	CM	F. cal	Signif	F. Tab 5%	F. Tab 1%
Total	53,00	4111,66					
Tratam.	17,00	4019,46	236,44	92,32	**	2,01	2,7
FA	2,00	39,23	19,62	7,66	**	3,32	5,39
FB	2,00	331,13	165,56	64,65	**	3,32	5,39
FC	1,00	2876,78	2876,78	1123,31	**	4,17	7,56
I (AxB)	4,00	60,04	15,01	5,86	**	2,69	4,02
I (AxC)	2,00	13,68	6,84	2,67	ns	3,32	5,39
I (BxC)	2,00	420,28	210,14	82,05	**	3,32	5,39
I (AxBxC)	4,00	278,33	69,58	27,17	**	2,69	4,02
E. EXP:	36,00	92,20	2,56				

$$CV = 2,24 \%$$

** : Altamente significativo

ns : no significativo

El análisis de varianza efectuado para la variable sólidos solubles (°Brix), presenta alta significancia estadística para tratamientos, factor A (temperaturas), factor B (velocidad del aire), factor C (grosor de láminas), y las interacciones AxB, BxC y AxBxC. Es decir, que los sólidos solubles del producto terminado depende de la concentración y tiempo de inmersión en el jarabe.

Al existir diferencia significativa se procedió a realizar las pruebas de Tukey al 5% para tratamientos, diferencia media significativa para los factores A, B y C; y gráficas para las interacciones.

Tabla 26. Prueba Tukey al 5 % para tratamientos ensólidos solubles

TRATAMIENTOS		MEDIA	RANGOS
T1	A1B1C1	87,05	a
T13	A3B1C1	85,33	a
T15	A3B2C1	83,96	b
T7	A2B1C1	82,55	c
T9	A2B2C1	79,53	c
T11	A2B3C1	77,61	d
T3	A1B2C1	73,78	e
T5	A1B3C1	70,43	f
T17	A3B3C1	69,74	g
T18	A3B3C2	67,58	h
T14	A3B1C2	67,13	h
T6	A1B3C2	66,67	i
T8	A2B1C2	65,19	j
T10	A2B2C2	64,21	j
T12	A2B3C2	62,80	j
T2	A1B1C2	62,63	j
T4	A1B2C2	61,87	j
T16	A3B2C2	60,53	j

En la tabla de Tukey ($p < 0.05$) se observa que existe diez rangos para tratamientos presentando contenido en sólidos solubles que van desde 60,53 a 87,05 °Brix de concentración. Por consiguiente los tratamientos presentan diferencia estadística siendo T1, T13 y T15 los más recomendados al presentan mayor concentración en el proceso de secado.

Tabla 27. Prueba diferencia media significativa para el factor A (Temperaturas)

FACTOR	MEDIAS	RANGO
A3	72,38	a
A2	71,98	a
A1	70,41	b

Al realizar el análisis de diferencia media significativa ($DMS\alpha < 0.05$) en el factor A, se observa que el nivel A3 temperatura (65°C) es la mejor y le corresponde al rango (a), debido a que las láminas de mashua deshidratadas osmóticamente y secadas con aire caliente, presenta la mayor concentración de sólidos solubles en relación a los niveles A2 y A1. Es decir que esta temperatura es la más apta para el proceso.

Tabla 28. Prueba diferencia media significativa para el factor B (Velocidad del aire)

FACTOR	MEDIAS	RANGO
B1	74,98	a
B2	70,65	b
B3	69,14	b

Al realizar el análisis de diferencia media significativa ($DMS\alpha < 0.05$), para el factor B, se observa que el nivel B1 velocidad de aire (1,5 m/s) es la mejor y le corresponde al rango (a), debido a que las láminas de mashua deshidratadas osmóticamente y secadas con aire caliente presentan una concentración de sólidos solubles mayor con relación a los niveles B2 y B3. Es decir, que esta velocidad es la más apta para el proceso

Tabla 29. Prueba diferencia media significativa para el factor C (Grosor de láminas)

FACTOR	MEDIAS	RANGO
C1	78,89	a
C2	64,29	b

Al realizar en análisis de diferencia media significativa ($DMS\alpha < 0.05$), se observa que el nivel C1 grosor de láminas (4mm) es el mejor y le corresponde al rango (a),

debido a que las láminas de mashuas deshidratadas osmóticamente y secadas con aire caliente presentan una concentración de sólidos solubles más alta en relación al nivel C2. Es decir, que este grosor de láminas es el más apto para el proceso de deshidratación y secado

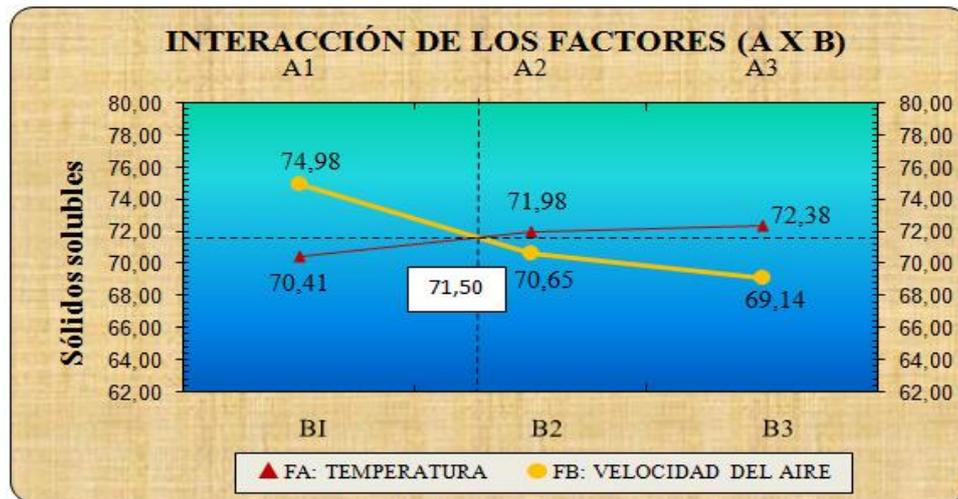


Gráfico 25. Efecto de la interacción de los sólidos solubles (°Brix) entre A (Temperatura) y B (velocidad del aire)

En el gráfico 25 se observa, que el punto de interacción entre los factores **A** (Temperatura) y **B** (Velocidad del aire) en la variable sólidos solubles (°Brix) del producto terminado es de 71,50° Brix. Es decir, que este valor depende directamente de la interacción entre la temperatura A2 (60°C) y velocidad del aire B2 (2,5 m/s).

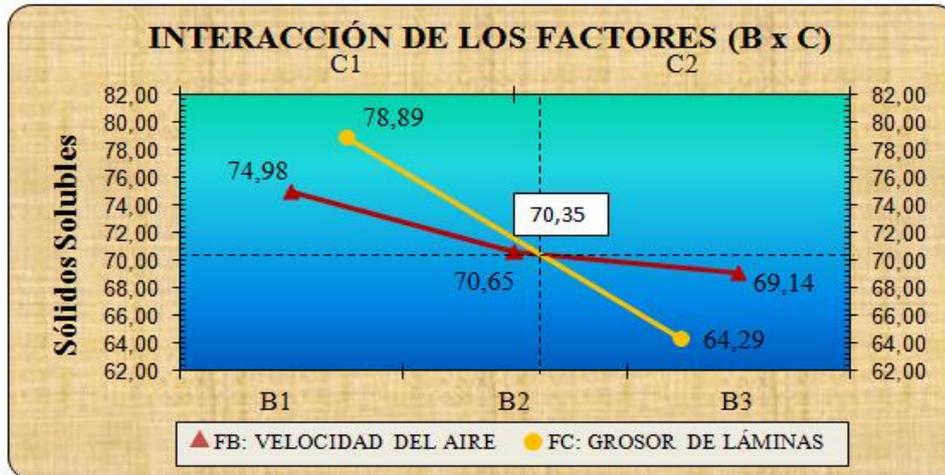


Gráfico 26. Efecto de la interacción de los sólidos solubles (°Brix) entre B (Velocidad del aire) y C (Grosor de láminas).

En el gráfico 26 se observa, que el punto de interacción entre los factores **B** (Velocidad del aire) y **C** (grosor) en la variable sólidos solubles (°Brix) del producto terminado es de 70,35°Brix. Es decir, que este valor depende directamente de la interacción entre la velocidad B2 (2,5 m/s) y grosor C2 (7mm)

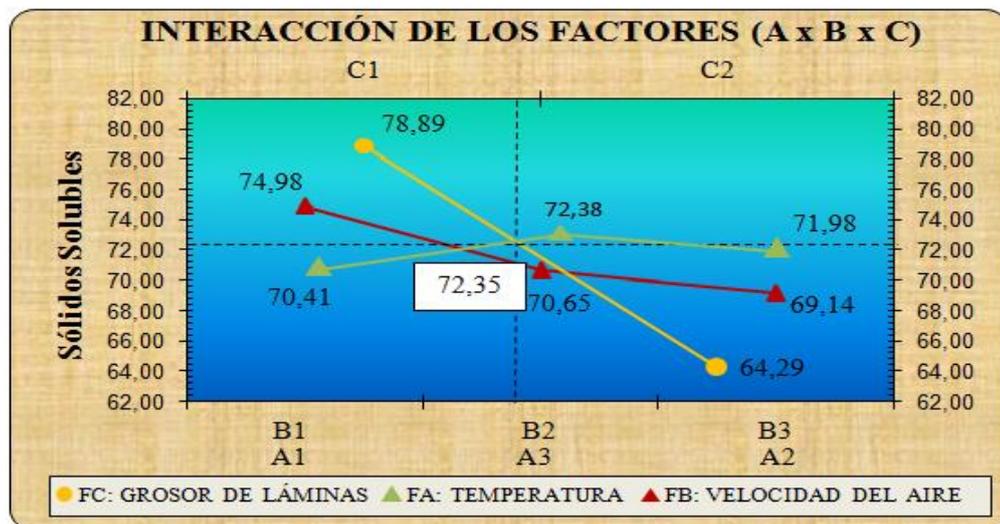


Gráfico 27. Efecto de la interacción de los sólidos solubles (°Brix) entre A (Temperaturas), B (Velocidad del aire) y C (Grosor de láminas).

En el gráfico 27 se observa, que el punto de interacción entre los factores **A** (Temperatura), **B** (Velocidad del aire) y **C** (grosor de láminas) en la variable sólidos solubles (°Brix) del producto terminado es de 72,35°Brix. Es decir, que este valor depende de las interacciones entre la temperatura A3 (65°C), velocidad B2 (2,5 m/s) y grosor de láminas C1 (4mm).

Para mayor comprensión del comportamiento de los tratamientos se construyó el siguiente gráfico.

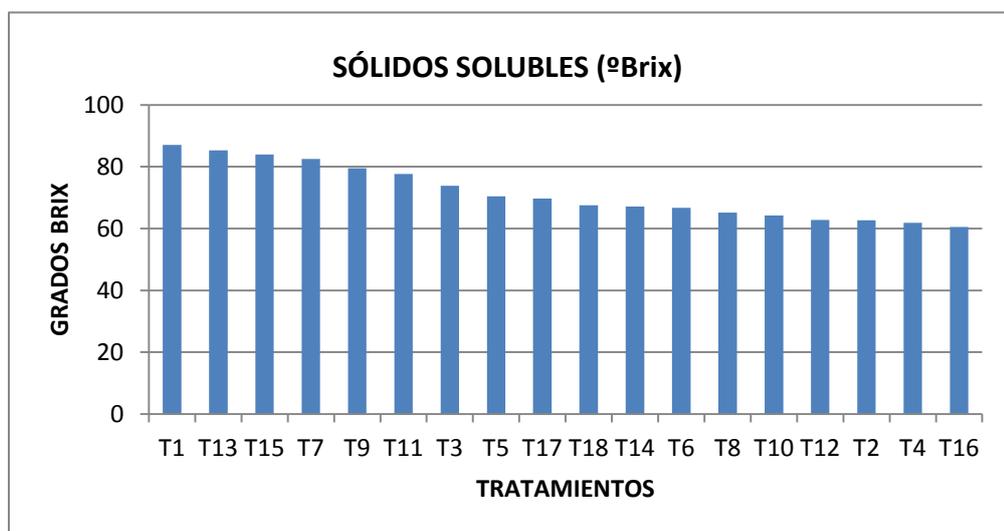


Gráfico 28. Sólidos solubles (°Brix) en el producto final

En el gráfico 28 se observa, que los tratamientos T1 (55°C + 1,5 m/s + 4 mm), T13 (65°C + 1,5 m/s + 4 mm) y T15 (65°C + 2,5 m/s + 4 mm) presentaron la mayor concentración de sólidos solubles cuyos niveles van desde 83,96 a 87,05 ° Brix, siendo los más óptimos para el proceso.

Debido a que los sólidos solubles afectan la cinética de eliminación de agua, produciendo un aumento de la concentración y el equilibrio final en el contenido de agua. Es decir, a mayor concentración del producto deshidratado osmóticamente mayor será la velocidad y la extensión del secado. Esto menciona (Net, 2010)

Además Contreras (2008) menciona, que el producto pierde agua y concentra los sólidos solubles externos, se encoge, se deforma y reduce su volumen. También se ha comprobado que la velocidad a la que sale el agua del alimento hacia la disolución concentrada, es mayor que la entrada de los sólidos solubles hacia el interior del producto.

4.7 HUMEDAD EN EL PRODUCTO TERMINADO

En la siguiente tabla se representan los valores de la humedad del producto terminado

Tabla 30. Humedad en el producto terminado (%)

TRAT.	TRAT.	REPETICIONES			Σ TRAT	X
		1	2	3		
T1	A1B1C1	0,59	0,57	0,57	1,73	0,58
T2	A1B1C2	0,68	0,70	0,70	2,08	0,69
T3	A1B2C1	0,62	0,64	0,60	1,86	0,62
T4	A1B2C2	0,82	0,81	0,78	2,41	0,80
T5	A1B3C1	1,03	0,98	0,99	3,00	1,00
T6	A1B3C2	1,69	1,69	1,70	5,08	1,69
T7	A2B1C1	1,13	1,09	1,10	3,32	1,11
T8	A2B1C2	0,97	0,96	0,95	2,88	0,96
T9	A2B2C1	1,49	1,50	1,51	4,50	1,50
T10	A2B2C2	0,70	0,68	0,69	2,07	0,69
T11	A2B3C1	0,73	0,72	0,70	2,15	0,72
T12	A2B3C2	1,57	1,59	1,59	4,75	1,58
T13	A3B1C1	0,52	0,50	0,48	1,50	0,50
T14	A3B1C2	0,48	0,50	0,49	1,47	0,49
T15	A3B2C1	0,58	0,60	0,59	1,77	0,59
T16	A3B2C2	1,66	1,65	1,68	4,99	1,66
T17	A3B3C1	0,60	0,61	0,63	1,84	0,61
T18	A3B3C2	0,42	0,40	0,41	1,23	0,41
	Σ REP.	16,28	16,19	16,16	48,63	0,90

Con los datos obtenidos en el laboratorio se procede a determinar si los diferentes tratamientos muestran diferencias significativas con la ayuda del Análisis de varianza

Tabla 31.Análisis de varianza en la humedad del producto

F.V.	G.L.	S.C	C.M	F. Cal.	Signif.	F.T 5%	F. 1%
Total	53,00	9,47					
Tratam.	17,00	9,46	0,56	2443,94	**	1,93	2,53
FA	2,00	2,47	1,24	5424,32	**	3,27	5,26
FB	2,00	0,60	0,30	1321,49	**	4,12	7,41
FC	1,00	4,22	4,22	18512,85	**	3,27	5,26
I (AX B)	4,00	0,59	0,15	650,32	**	3,27	5,26
I (AXC)	2,00	0,95	0,47	2082,61	**	2,64	3,91
I (BXC)	2,00	0,11	0,06	246,76	**	3,27	5,26
I(AXBXC)	4,00	0,52	0,13	570,63	**	2,64	3,91
E. EXP.	36,00	0,01	0,00				

$$CV = 1,68\%$$

** : Altamente significativo

El análisis de varianza efectuado para la variable humedad, presenta alta significancia estadística para tratamientos, factor A (temperaturas), factor B (velocidad del aire), factor C (grosor de láminas), y las interacciones AxB, AxC, BxC y AxBxC. Es decir, que la humedad del producto depende del tiempo de secado.

Al existir diferencia significativa se procedió a realizar las pruebas de Tukey al 5% para tratamientos, diferencia media significativa para los factores A, B y C; y gráficas para las interacciones

Tabla 32. Prueba Tukey al 5 % para tratamientos en la humedad del producto

TRATAMIENTOS		MEDIA	RANGOS
T6	A1B3C2	1,69	a
T16	A3B2C2	1,66	a
T12	A2B3C2	1,58	b
T9	A2B2C1	1,50	c
T7	A2B1C1	1,11	d
T5	A1B3C1	1,00	e
T8	A2B1C2	0,96	e
T4	A1B2C2	0,80	f
T11	A2B3C1	0,72	g
T2	A1B1C2	0,69	g
T10	A2B2C2	0,69	g
T3	A1B2C1	0,62	h
T17	A3B3C1	0,61	h
T15	A3B2C1	0,59	h
T1	A1B1C1	0,58	h
T13	A3B1C1	0,50	i
T14	A3B1C2	0,49	i
T18	A3B3C2	0,41	j

En la tabla de Tukey ($p < 0.05$) se observa que existe nueve rangos para tratamientos presentando valores de humedad de la láminas de mashua que van desde 1,69 a 0,41gramos. Por consiguiente los tratamientos presentan diferencia estadística siendo T14 y T18 los más recomendados al presentar porcentajes de humedad más bajos

Tabla 33. Prueba diferencia media significativa para el factor A (Temperaturas)

FACTOR	MEDIAS	RANGO
A1	1,07	a
A2	1,03	b
A3	0,60	c

Al realizar el análisis de diferencia media significativa ($DMS\alpha < 0.05$) en el factor A, se observa que el nivel A3 temperatura (65°C) es el mejor y le corresponde al rango (c), debido a que las mashuas deshidratadas osmóticamente y secadas con aire caliente presenta una humedad en la láminas de mashua menor en relación a los niveles A1 y A2. Es decir, que está temperatura es la más apta para el proceso de deshidratación

Tabla 34. Prueba diferencia media significativa para el factor B (Velocidad del aire)

FACTOR	MEDIAS	RANGO
B2	1,05	a
B1	0,86	b
B3	0,80	c

Al realizar el análisis de diferencia media significativa ($DMS\alpha < 0.05$) en el factor B, se observa que el nivel B3 velocidad de aire ($3,5 \text{ m/s}$) es la mejor y le corresponde al rango (c), debido a que las mashuas deshidratadas osmóticamente y secadas con aire caliente presentan una humedad en la láminas de mashua menor en relación a los niveles B2 y B1. Es decir, que a mayor velocidad de aire menor tiempo de secado.

Tabla 35. Prueba diferencia media significativa para el factor C (Grosor de láminas)

FACTOR	MEDIAS	RANGO
C1	1,18	a
C2	0,62	b

Al realizar el análisis de diferencia media significativa ($DMS\alpha < 0.05$) para el factor C, se observa que el nivel C2 grosor de láminas (7mm) es el mejor y le

corresponde al rango (b), debido a que las mashuas deshidratadas osmóticamente y secadas con aire caliente presentan una humedad en las láminas de mashua menor en relación al nivel C1. Es decir que a mayor diámetro la eliminación de agua tiende a secarse por un tiempo más largo

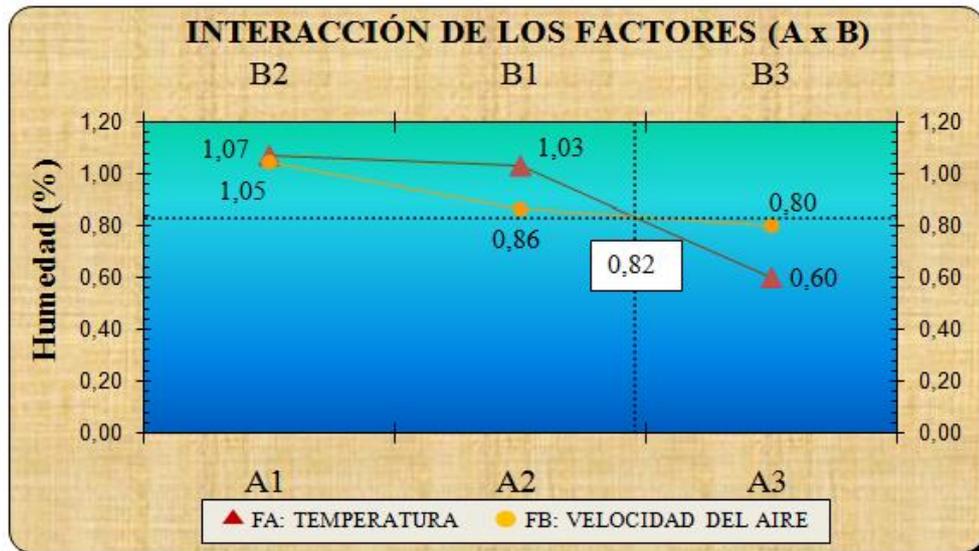


Gráfico 29. Efecto de la interacción de la humedad de las láminas de mashua entre A (Temperatura) y B (velocidad del aire)

En el gráfico 29 se observa, que el punto de interacción entre los factores **A** (Temperatura) y **B** (Velocidad del aire) en la variable humedad del producto terminado es de 0,82%. Es decir, que este valor depende directamente de la interacción entre la temperatura A2 (60°C) y velocidad del aire B1 (1,5 m/s).

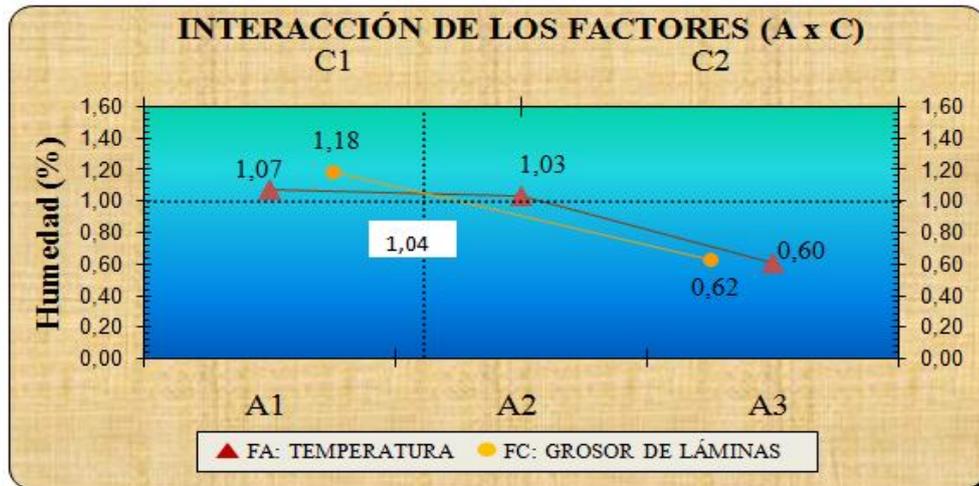


Gráfico 30. Efecto de la interacción de la humedad de las láminas de mashua entre A (Temperatura) y C (Grosor de láminas)

En el gráfico 30 se observa, que el punto de interacción entre los factores A (Temperatura) y C (grosor de láminas) en la variable humedad del producto terminado es de 1,04%. Es decir, que este valor depende directamente de la interacción entre la temperatura A2 (60°C) y grosor C1 (4mm).

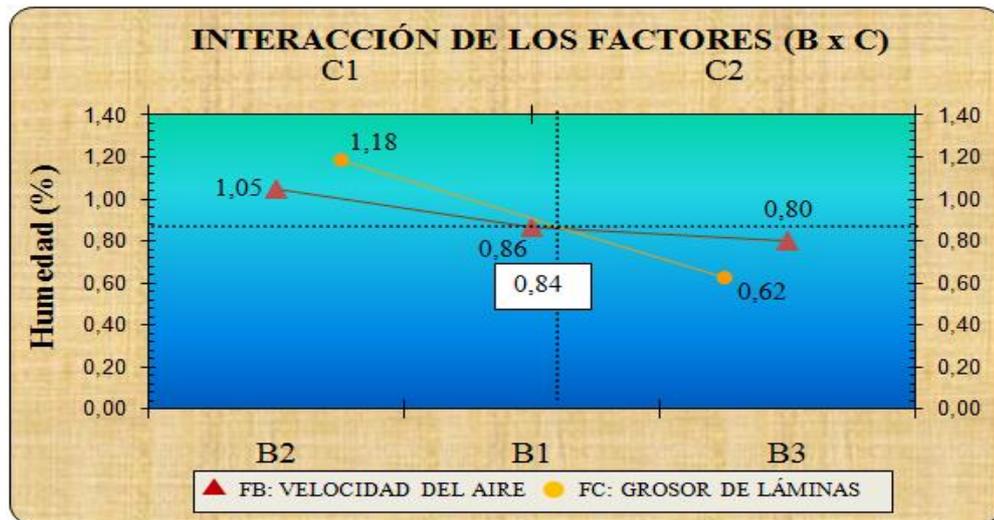


Gráfico 31. Efecto de la interacción de la humedad de las láminas de mashua entre B (Velocidad del aire) y C (Grosor de láminas).

En el gráfico 31 se observa, que el punto de interacción entre los factores **B** (Velocidad del aire) y **C** (grosor) en la variable humedad del producto terminado es de 0,84%. Es decir, que este valor depende directamente de la interacción entre la velocidad B2 (1,5 m/s) y grosor C1 (7 mm).

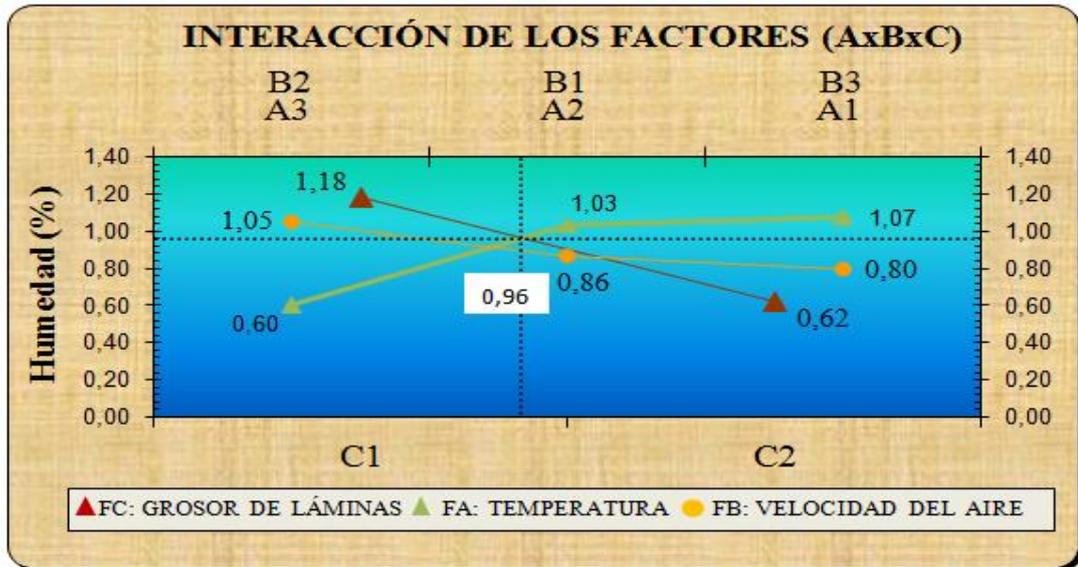


Gráfico 32. Efecto de la interacción de la humedad de las láminas de mashua entre A (Temperaturas), B (Velocidad del aire) y C (Grosor de láminas).

En el gráfico 32 se observa, que el punto de interacción entre los factores **A** (Temperatura), **B** (Velocidad del aire) y **C** (grosor) en la variable humedad del producto terminado es de 0,96%. Es decir, que este valor depende directamente de las interacciones entre la temperatura A2 (60°C), velocidad B1 (1,5 m/s) y grosor de láminas C1 (4mm).

Para mayor comprensión del comportamiento de los tratamientos se construyó el siguiente gráfico.

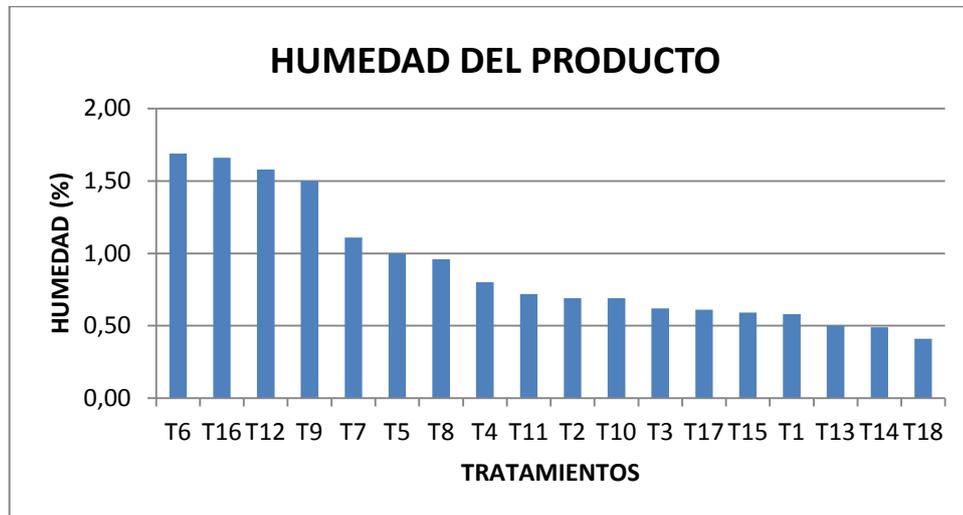


Gráfico 33. Humedad en el producto final (láminas de mashua)

En el gráfico 33 se observa, que los tratamientos T18 (65°C + 3,5 m/s + 7 mm), T14 (65°C + 1,5 m/s + 7 mm) y T13 (65°C + 1,5 m/s + 4 mm) presentaron la menor humedad en las láminas de mashua cuyos niveles van desde 0,41 a 0,50%, siendo los más óptimos para el proceso.

La remoción de agua en forma de vapor desde la superficie del sólido depende de condiciones externas de temperatura, flujo y humedad del aire, área de la superficie del material expuesta y presión esto menciona Ulloa (2012) mientras que el movimiento del agua a través del sólido depende de su composición física, la temperatura y su porcentaje de humedad según (Garcia & Hernández, 2013).

Además, Gearkoplis (1998) dice: los microorganismos dejan de ser activos cuando el contenido de agua se reduce por debajo del 10% en peso, sin embargo,

generalmente es necesario reducir este contenido de humedad por debajo del 5% en peso, para preservar el sabor y su valor nutritivo.

4.8 ACTIVIDAD DE AGUA EN EL PRODUCTO TERMINADO

En la siguiente tabla se representan los valores de la actividad de agua (A_w) del producto terminado

Tabla 36. Actividad de agua en el producto terminado

TRAT.	TRAT.	REPETICIONES			Σ TRAT	X
		1	2	3		
T1	A1B1C1	0,55	0,55	0,55	1,65	0,55
T2	A1B1C2	0,57	0,57	0,57	1,71	0,57
T3	A1B2C1	0,56	0,56	0,56	1,68	0,56
T4	A1B2C2	0,62	0,61	0,62	1,85	0,62
T5	A1B3C1	0,61	0,60	0,61	1,82	0,61
T6	A1B3C2	0,66	0,66	0,66	1,98	0,66
T7	A2B1C1	0,59	0,59	0,58	1,76	0,59
T8	A2B1C2	0,60	0,60	0,60	1,80	0,60
T9	A2B2C1	0,65	0,65	0,65	1,95	0,65
T10	A2B2C2	0,57	0,57	0,57	1,71	0,57
T11	A2B3C1	0,57	0,57	0,57	1,71	0,57
T12	A2B3C2	0,65	0,65	0,65	1,95	0,65
T13	A3B1C1	0,54	0,54	0,53	1,61	0,54
T14	A3B1C2	0,53	0,54	0,54	1,61	0,54
T15	A3B2C1	0,55	0,56	0,55	1,66	0,55
T16	A3B2C2	0,66	0,66	0,66	1,98	0,66
T17	A3B3C1	0,56	0,56	0,56	1,68	0,56
T18	A3B3C2	0,52	0,52	0,52	1,56	0,52
	Σ REP	10,56	10,56	10,55	31,67	0,59

Con los datos obtenidos en el laboratorio se procede a determinar si los diferentes tratamientos muestran diferencias significativas con la ayuda del análisis de varianza

Tabla 37. Análisis de varianza

F.V.	G.L.	S.C	C.M	F. Cal.	Signif.	F.T 5%	F. 1%
Total	53,00	0,10					
Tratam.	17,00	0,10	0,01	546,52	**	1,93	2,53
FA	2,00	0,03	0,02	1432,17	**	3,27	5,26
FB	2,00	0,01	0,00	420,17	**	4,12	7,41
FC	1,00	0,05	0,05	4108,17	**	3,27	5,26
I (AX B)	4,00	0,01	0,00	120,42	**	3,27	5,26
I (AXC)	2,00	0,01	0,00	301,17	**	2,64	3,91
I (BXC)	2,00	0,00	0,00	48,17	**	3,27	5,26
I (AXBXC)	4,00	0,00	0,00	74,42	**	2,64	3,91
E. EXP.	36,00	0,00	0,00				

$$CV = 0,57\%$$

** : Altamente significativo

El análisis de varianza efectuado a la variable actividad de agua, presenta alta significancia estadística para tratamientos, factor A (temperaturas), factor B (velocidad del aire), factor C (grosor de láminas), y las interacciones AxB, AxC, BxC y AxBxC. Es decir, que a menor actividad de agua más estabilidad del producto a la presencia de microorganismos.

Al existir diferencia significativa se procedió a realizar las pruebas de Tukey al 5% para tratamientos, diferencia media significativa para los factores A, B y C; y gráficas para las interacciones

Tabla 38. Prueba Tukey al 5 % para tratamientos para la actividad de agua

TRATAMIENTOS		MEDIA	RANGOS
T6	A1B3C2	0,66	a
T16	A3B2C2	0,66	a
T9	A2B2C1	0,65	a
T12	A2B3C2	0,65	a
T4	A1B2C2	0,62	b
T5	A1B3C1	0,61	b
T8	A2B1C2	0,6	c
T7	A2B1C1	0,59	c
T2	A1B1C2	0,57	d
T11	A2B3C1	0,57	d
T10	A2B2C2	0,57	d
T3	A1B2C1	0,56	d
T17	A3B3C1	0,56	d
T15	A3B2C1	0,55	e
T1	A1B1C1	0,55	e
T13	A3B1C1	0,54	e
T14	A3B1C2	0,54	e
T18	A3B3C2	0,52	f

En la tabla de Tukey ($p < 0.05$) se observa que existe seis rangos para tratamientos presentando un contenido en actividad acuosa que van desde 0,52 hasta 0,66 en concentración. Por consiguiente los tratamientos presentan diferencia estadística siendo T18 y T14 los más recomendados al presentar un porcentaje de actividad de agua más bajos con relación a los demás tratamientos.

Tabla 39. Prueba diferencia media significativa para el factor A (Temperaturas)

FACTOR	MEDIAS	RANGO
A1	0,61	a
A2	0,60	b
A3	0,55	c

Al realizar en análisis de diferencia media significativa ($DMS\alpha < 0.05$) en el factor A, se observa que el nivel A3 temperatura (65°C) es el mejor y le corresponde al rango (c), debido a que las mashuas deshidratadas osmóticamente y secadas presentan una actividad de agua menor en relación a los niveles A1 y A2. Es decir que esta temperatura es la más apta para el proceso

Tabla 40. Prueba diferencia media significativa para el factor B (Velocidad del aire)

FACTOR	MEDIAS	RANGO
B2	0,60	a
B1	0,58	b
B3	0,57	c

Al realizar en análisis de diferencia media significativa ($DMS\alpha < 0.05$) en el factor B, se observa que el nivel B3 velocidad de aire ($3,5 \text{ m/s}$) es el mejor y le corresponde al rango (c), debido a que las mashuas deshidratadas osmóticamente y secadas presenta una actividad de agua menor en relación a los niveles B2 y B1. Es decir, que esta velocidad de aire es la más apta para el proceso

Tabla 41. Prueba diferencia media significativa para el factor C (Grosor de láminas)

FACTOR	MEDIAS	RANGO
C1	0,62	a
C2	0,56	b

Al realizar el análisis de diferencia media significativa ($DMS\alpha < 0.05$) en el factor C, se observa que el grosor C2 grosor de láminas (7mm) es el mejor, ya que las mashuas deshidratadas osmóticamente y secadas presentan una actividad de agua

menor al nivel C1. Es decir que este grosor de láminas es el más apto para el proceso d deshidratación y secado

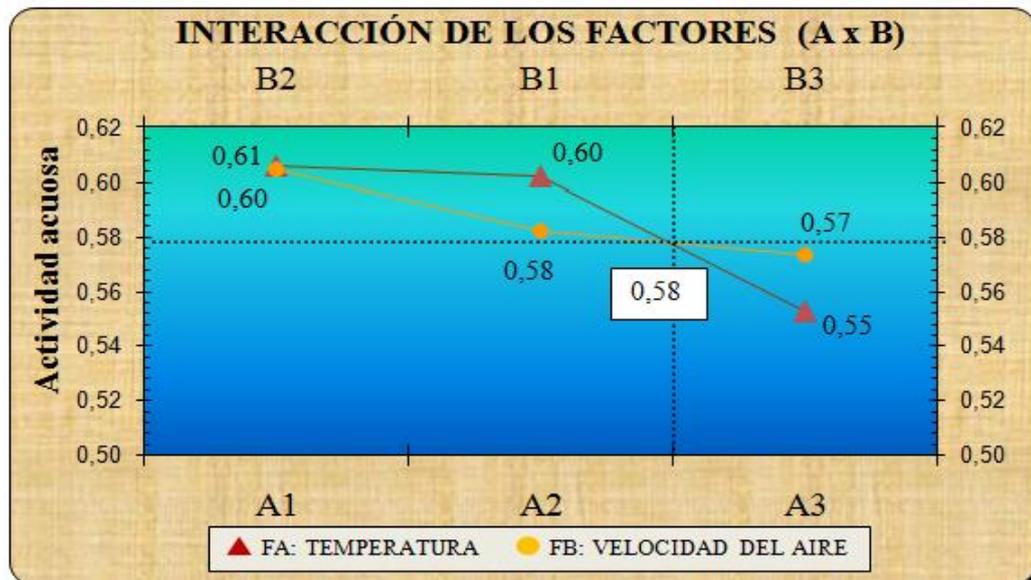


Gráfico 34. Efecto de la interacción de los Actividad acuosa entre A (Temperatura) y B (velocidad del aire)

En el gráfico 34 se observa, que el punto de interacción entre los factores **A** (Temperatura) y **B** (Velocidad del aire) en la variable Actividad acuosa del producto terminado es de 0,58%. Es decir, que este valor depende directamente de la interacción entre la temperatura A2 (60°C) y velocidad del aire B1 (1,5 m/s).

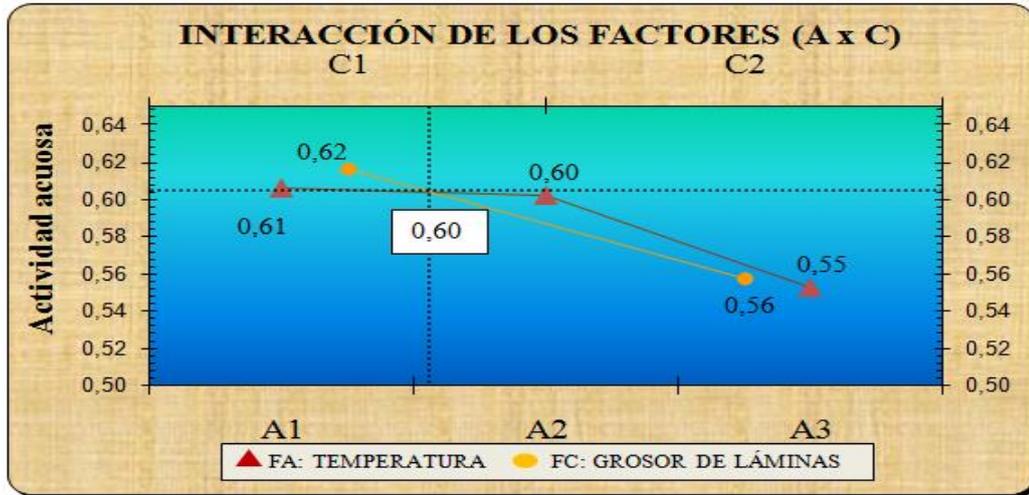


Gráfico 35. Efecto de la interacción de los Actividad acuosa entre A (Temperatura) y C (Grosor de láminas)

En el gráfico 35 se observa, que el punto de interacción entre los factores A (Temperatura) y C (grosor de láminas) en la variable Actividad acuosa del producto terminado es de 0,60. Es decir, que este valor depende directamente de la interacción entre la temperatura A2 (60°C) y grosor C1 (4mm).

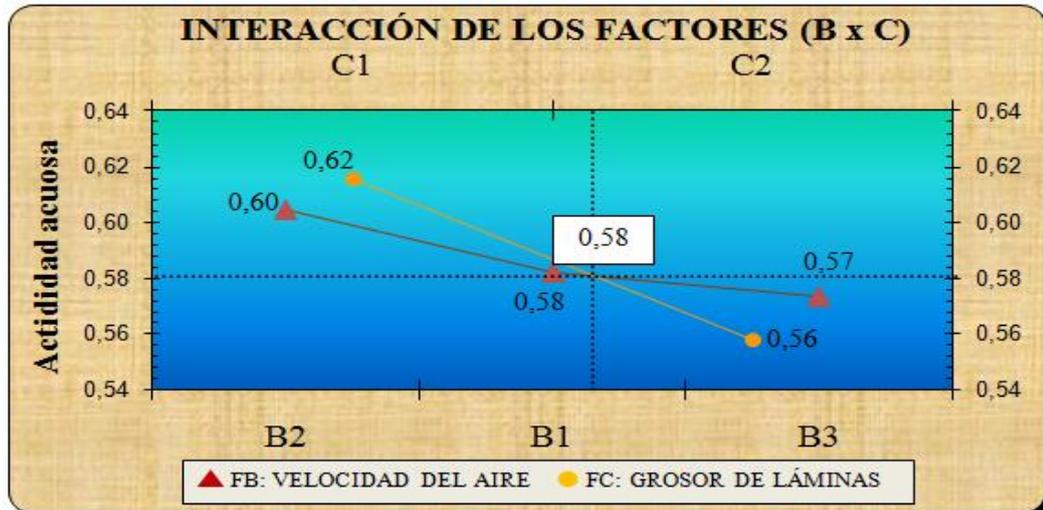


Gráfico 36. Efecto de la interacción de los Actividad acuosa entre B (Velocidad del aire) y C (Grosor de láminas).

En el gráfico 36 se observa, que el punto de interacción entre los factores **B** (Velocidad del aire) y **C** (grosor) en la variable Actividad acuosa del producto terminado es de 0,58. Es decir, que este valor depende directamente de la interacción entre la velocidad B1 (1,5 m/s) y grosor C2 (7mm).

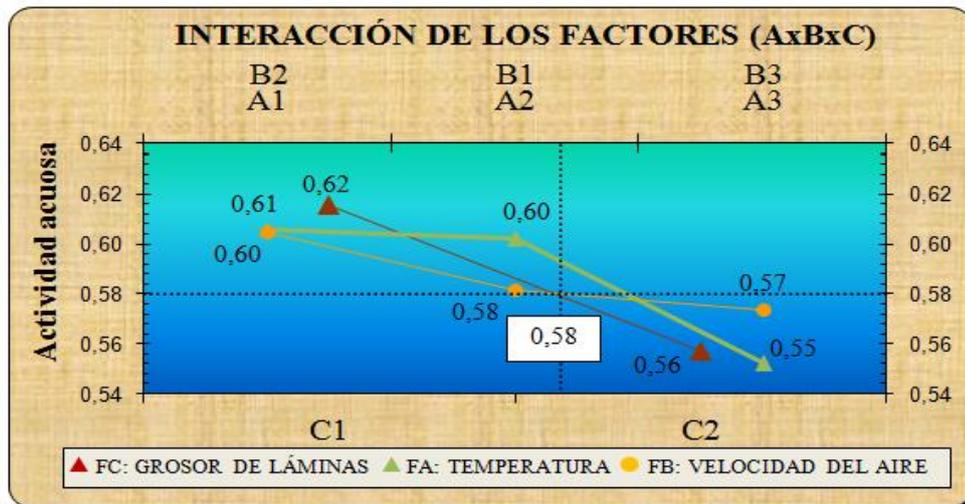


Gráfico 37. Efecto de la interacción de los Actividad acuosa entre A (Temperaturas), B (Velocidad del aire) y C (Grosor de láminas).

En el gráfico37 se observa, que el punto de interacción entre los factores **A** (Temperatura), **B** (Velocidad del aire) y **C** (grosor) en la variable Actividad acuosa del producto terminado es de 0,58. Es decir, que este valor depende directamente de las interacciones entre la temperatura A2 (60°C), velocidad B1 (1,5 m/s) y grosor C2 (7mm).

Para mayor comprensión del comportamiento de los tratamientos se construyó el siguiente gráfico.

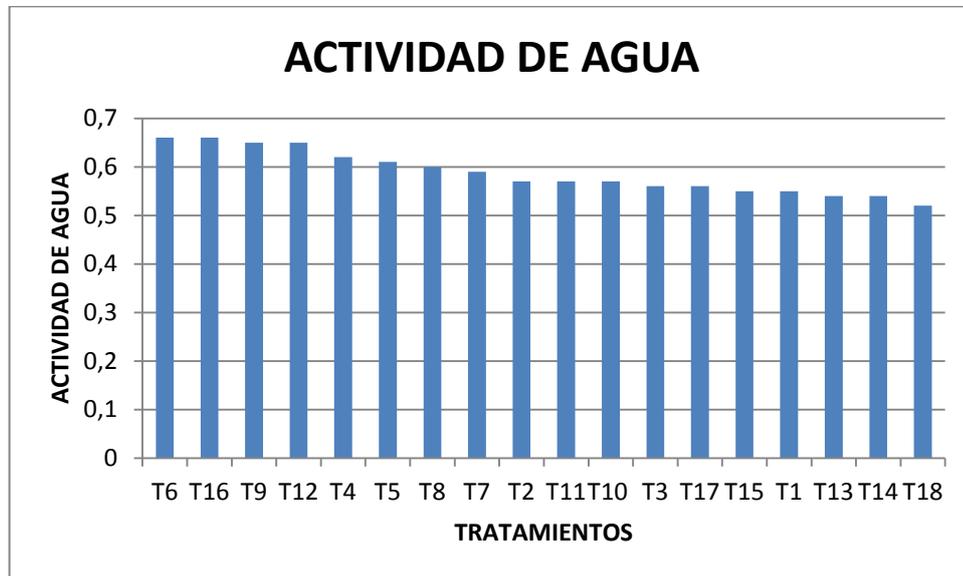


Gráfico 38. Actividad acuosa en el producto final

En el gráfico 38 se observa, que los tratamientos T18 ($65^{\circ}\text{C} + 3,5 \text{ m/s} + 7 \text{ mm}$), T14 ($65^{\circ}\text{C} + 1,5 \text{ m/s} + 7 \text{ mm}$) y T13 ($65^{\circ}\text{C} + 1,5 \text{ m/s} + 4 \text{ mm}$) presentaron la menor concentración de actividad acuosa cuyos niveles van desde 0,52 hasta 0,54, siendo los más óptimos para el proceso, al estar dentro de los rangos $a_{w,0,60}$ donde nos dice que no hay crecimiento microbiano, pero sí puede haber microorganismos como residentes durante largos periodos de tiempo.

Además Ramírez(2009) menciona que la actividad de agua es la cantidad de agua libre que hay en un alimento disponible para reaccionar químicamente con otras sustancias y provocar el crecimiento microbiano. Mientras que el resto de agua que permanece en el alimento es el agua ligada, está combinada con otros elementos y no está disponible para los microorganismos, por tanto no afecta al crecimiento microbiano.

En consecuencia Arenas (2012) menciona que la actividad acuosa (a_w) es un parámetro muy importante en el control y conservación de alimentos. Ayuda a predecir la estabilidad y vida útil de los mismos, ya que es un indicador del crecimiento microbiano de los alimentos y de la velocidad de deterioro.

Debido a que la cantidad de agua depende de la humedad del producto terminado a mayor actividad acuosa el crecimiento microbiano incrementa es por eso que al estar dentro de los rangos de $a_w < 0,60$ donde nos dice que no hay crecimiento microbiano, durante largos periodos de tiempo así alargando su vida útil y manteniendo una estabilidad en el producto terminado.

4.9 EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA TEMPERATURA, VELOCIDAD DEL AIRE Y GROSOR DE LÁMINAS EN EL PROCESO DE SECADO

CINÉTICA DE SECADO

4.9.1 CURVA DE SECADO T1 (TEMPERATURA 55°C+ VELOCIDAD DEL AIRE 1,5 m/s + GROSOR DE LÁMINAS 4mm)

Para el tratamiento 1 el tiempo de deshidratado para obtener snack de mashua fue de 5 horas como se indica en la tabla

Tabla 42. Datos obtenidos para el tratamiento 1 (A1B1C1)

TIEMPO HORAS	PESO kg	PESO SÓLIDO SECO kg _{ss}	HUMEDAD Kg _{H2O} /kg _{ss}	HUMEDAD MEDIA kg _{H2O} /kg _{ss}	VELOCIDAD Kg _{H2O} /hm ²
0,00	0,3940	0,1951	1,0198		
0,15	0,3620	0,1951	0,9368	0,9783	0,6488
0,30	0,3300	0,1951	0,8540	0,8954	0,6476
0,45	0,3027	0,1951	0,7867	0,8204	0,5261
1,00	0,2790	0,1951	0,7220	0,7544	0,5059
1,15	0,2597	0,1951	0,6720	0,6970	0,3912
1,30	0,2473	0,1951	0,6401	0,6560	0,2496
1,45	0,2383	0,1951	0,6168	0,6284	0,1821
2,00	0,2317	0,1951	0,5995	0,6082	0,1349
2,15	0,2287	0,1951	0,5918	0,5956	0,0607
2,30	0,2260	0,1951	0,5849	0,5883	0,0540
2,45	0,2237	0,1951	0,5788	0,5818	0,0472
3,00	0,2213	0,1951	0,5728	0,5758	0,0472
3,15	0,2207	0,1951	0,5711	0,5719	0,0135
3,30	0,2200	0,1951	0,5693	0,5702	0,0135
3,45	0,2197	0,1951	0,5685	0,5689	0,0067
4,00	0,2193	0,1951	0,5676	0,5680	0,0067
4,15	0,2190	0,1951	0,5668	0,5672	0,0067
4,30	0,2187	0,1951	0,5659	0,5663	0,0067
4,45	0,2187	0,1951	0,5659	0,5659	0,0000
5,00	0,2187	0,1951	0,5659	0,5659	0,0000

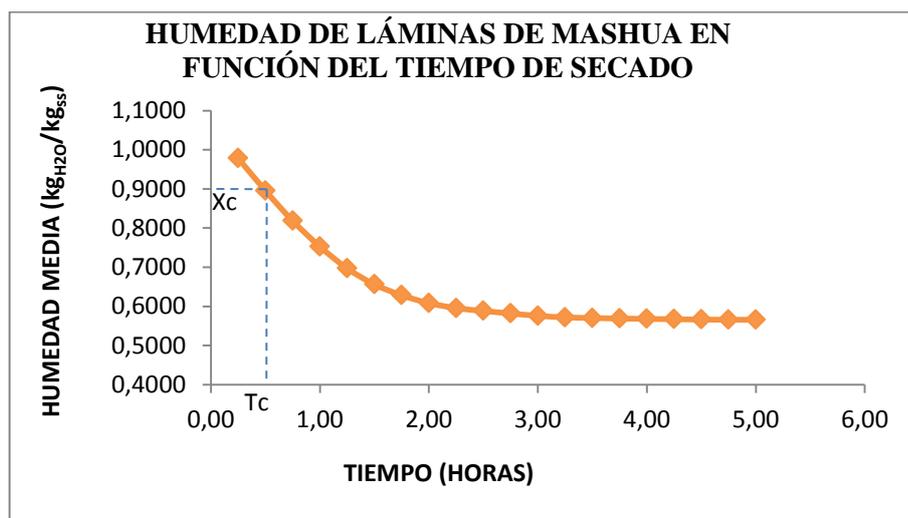


Gráfico 39. Curva de deshidratado T1 (A1B1C1)

En el gráfico 39, se puede observar que la humedad del producto disminuye conforme el tiempo de secado va transcurriendo, obteniendo de esta manera un porcentaje de humedad de 0,58 % para el T1 (A1B1C1), y con un peso constante de 218,67 g a las 5 horas de secado.

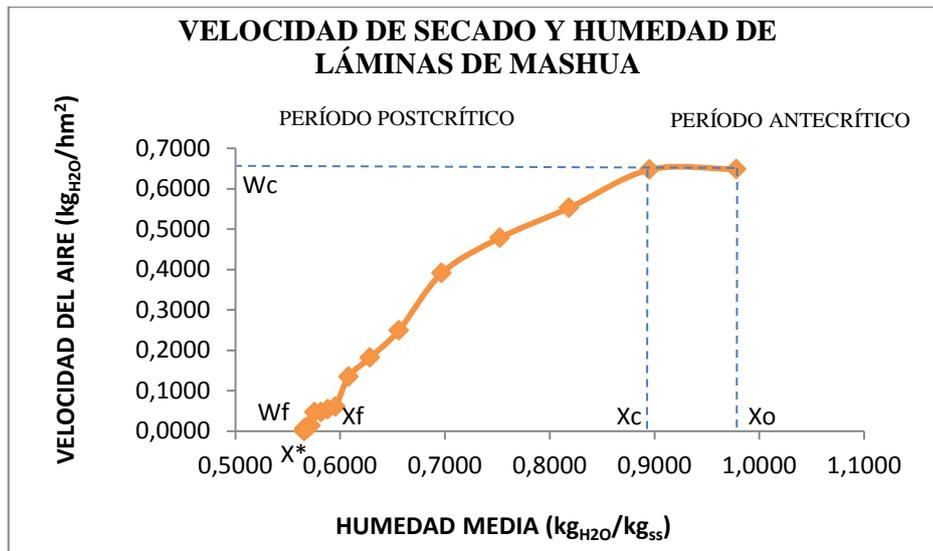


Gráfico 40. Velocidad de secado y humedad para T1 (A1B1C1)

En el gráfico 40, se puede observar la relación entre la velocidad de secado y humedad donde inicia con un tiempo antecrítico de 0,30 horas, este período resulta mínimo debido al pre-tratamiento de osmosis que se realizó anterior al secado el cual permite que se elimine la mayor cantidad de agua libre y ligada del producto.

Este proceso de secado empieza con una humedad inicial ($X_o = 0,9783 \text{ kg}_{H_2O}/\text{kg}_{ss}$) y concluye en la humedad crítica ($X_c = 0,8954 \text{ kg}_{H_2O}/\text{kg}_{ss}$), con una velocidad de secado ($W_c = 0,6476 \text{ kg}_{H_2O}/\text{hm}^2$). Mientras que el tiempo postcrítico con una duración de 4,30 horas, empieza a partir de la humedad crítica ($X_c = 0,8954 \text{ kg}_{H_2O}/\text{kg}_{ss}$) y termina en la humedad final ($X_f = 0,5663 \text{ kg}_{H_2O}/\text{kg}_{ss}$), con una

velocidad de secado ($W_f = 0,0067 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{hm}^2$) y una humedad de equilibrio ($X^* = 0,5659 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ss}}$) obteniendo así una snack de mashua.

4.9.2 CURVA DE SECADO T2 (TEMPERATURA 55°C+ VELOCIDAD DEL AIRE 1,5 m/s + GROSOR DE LÁMINAS 7mm)

Para el tratamiento 2 el tiempo de deshidratado para obtener snack de mashua fue de 5:30 horas como se indica en la tabla

Tabla 43. Datos obtenidos para el tratamiento 2 (A1B1C2)

TIEMPO HORAS	PESO kg	PESO SÓLIDO SECO kg_{ss}	HUMEDAD $\text{Kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ss}}$	HUMEDAD MEDIA $\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ss}}$	VELOCIDAD $\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{hm}^2$
0,00	0,3260	0,1415	1,3031		
0,15	0,3087	0,1415	1,2342	1,2687	0,8274
0,30	0,2917	0,1415	1,1663	1,2002	0,8169
0,45	0,2767	0,1415	1,1063	1,1363	0,7208
1,00	0,2637	0,1415	1,0543	1,0803	0,6247
1,15	0,2527	0,1415	1,0103	1,0323	0,5286
1,30	0,2433	0,1415	0,9730	0,9916	0,4485
1,45	0,2353	0,1415	0,9410	0,9570	0,3844
2,00	0,2280	0,1415	0,9117	0,9263	0,3524
2,15	0,2213	0,1415	0,8850	0,8983	0,3203
2,30	0,2163	0,1415	0,8650	0,8750	0,2403
2,45	0,2147	0,1415	0,8584	0,8617	0,0801
3,00	0,2130	0,1415	0,8517	0,8550	0,0801
3,15	0,2110	0,1415	0,8437	0,8477	0,0961
3,30	0,2090	0,1415	0,8357	0,8397	0,0961
3,45	0,2080	0,1415	0,8317	0,8337	0,0481
4,00	0,2070	0,1415	0,8277	0,8297	0,0481
4,15	0,2063	0,1415	0,8250	0,8264	0,0320
4,30	0,2057	0,1415	0,8224	0,8237	0,0320
4,45	0,2053	0,1415	0,8210	0,8217	0,0160
5,00	0,2050	0,1415	0,8197	0,8204	0,0160
5,15	0,2047	0,1415	0,8184	0,8190	0,0160
5,30	0,2047	0,1415	0,8184	0,8184	0,0000

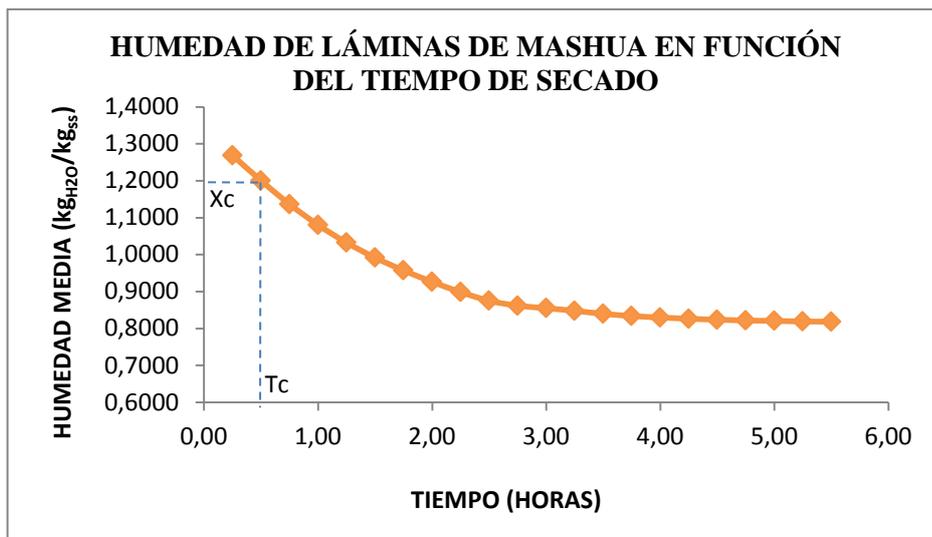


Gráfico 41. Curva de deshidratado T2 (A1B1C2)

En el gráfico 41, se puede observar que la humedad del producto disminuye conforme el tiempo de secado va transcurriendo, obteniendo de esta manera un porcentaje de humedad de 0,69% para el T2 (A1B1C2), y con un peso constante de 200,33 g a las 5:30 horas de secado.

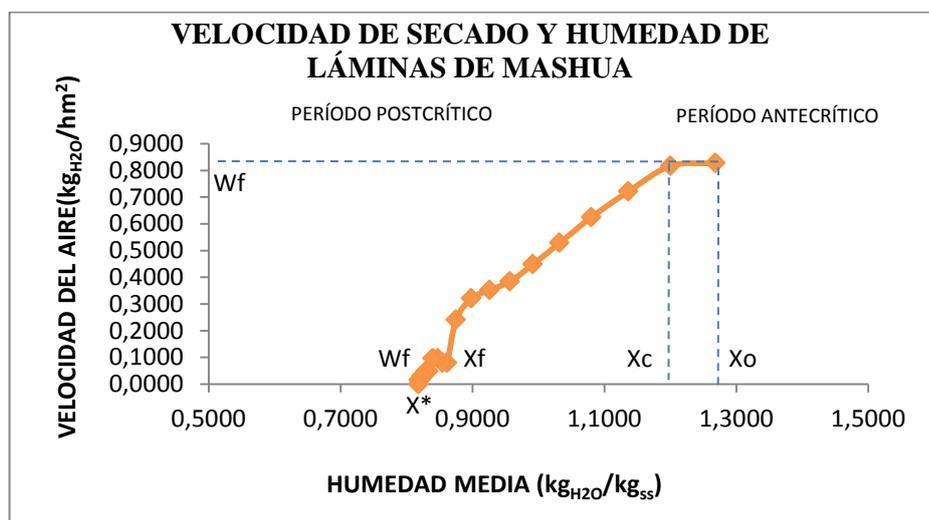


Gráfico 42. Velocidad de secado y humedad para T2 (A1B1C2)

En el gráfico 42, se puede observar la relación entre la velocidad de secado y la humedad donde inicia con un tiempo antecrítico de 0,30 horas, este período resulta mínimo debido al pre-tratamiento de osmosis que se realizó anterior al secado el cual permite que se elimine la mayor cantidad de agua libre y ligada del producto.

Este proceso de secado empieza con una humedad inicial ($X_o = 1,2687 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ss}}$) y concluye en la humedad crítica ($X_c = 1,2002 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ss}}$), con una velocidad de secado ($W_c = 0,8169 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{hm}^2$). Mientras que el tiempo postcrítico con una duración de 5:00 horas, empieza a partir de la humedad crítica ($X_c = 1,2002 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ss}}$) y termina en la humedad final ($X_f = 0,8190 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ss}}$), con una velocidad de secado ($W_f = 0,0160 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{hm}^2$) y una humedad equilibrio ($X^* = 0,8184 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ss}}$) obteniendo así un snack de mashua

4.9.3 CURVA DE SECADO T3 (TEMPERATURA 55°C+ VELOCIDAD DEL AIRE 2,5 m/s + GROSOR DE LÁMINAS 4mm)

Para el tratamiento 3 el tiempo de deshidratado para obtener snack de mashua fue de 4:00 horas como se indica en la tabla

Tabla 44. Datos obtenidos para el tratamiento T3 (A1B2C1)

TIEMPO HORAS	PESO		HUMEDAD $\text{Kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{Kg}_{\text{SS}}$	HUMEDAD	
	PESO kg	SÓLIDO SECO kg_{SS}		MEDIA $\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{SS}}$	VELOCIDAD $\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{hm}^2$
0,00	0,3600	0,1782	1,0198		
0,15	0,3190	0,1782	0,9038	0,9618	0,9073
0,30	0,2793	0,1782	0,7914	0,8476	0,8794
0,45	0,2500	0,1782	0,7083	0,7499	0,6503
1,00	0,2250	0,1782	0,6375	0,6729	0,5542
1,15	0,2200	0,1782	0,6233	0,6304	0,1108
1,30	0,2137	0,1782	0,6054	0,6144	0,1404
1,45	0,2117	0,1782	0,5997	0,6026	0,0443
2,00	0,2110	0,1782	0,5978	0,5988	0,0148
2,15	0,2093	0,1782	0,5931	0,5955	0,0369
2,30	0,2087	0,1782	0,5912	0,5922	0,0148
2,45	0,2080	0,1782	0,5893	0,5903	0,0148
3,00	0,2077	0,1782	0,5884	0,5889	0,0074
3,15	0,2073	0,1782	0,5874	0,5879	0,0074
3,30	0,2070	0,1782	0,5865	0,5870	0,0074
3,45	0,2070	0,1782	0,5865	0,5865	0,0000
4,00	0,2070	0,1782	0,5865	0,5865	0,0000

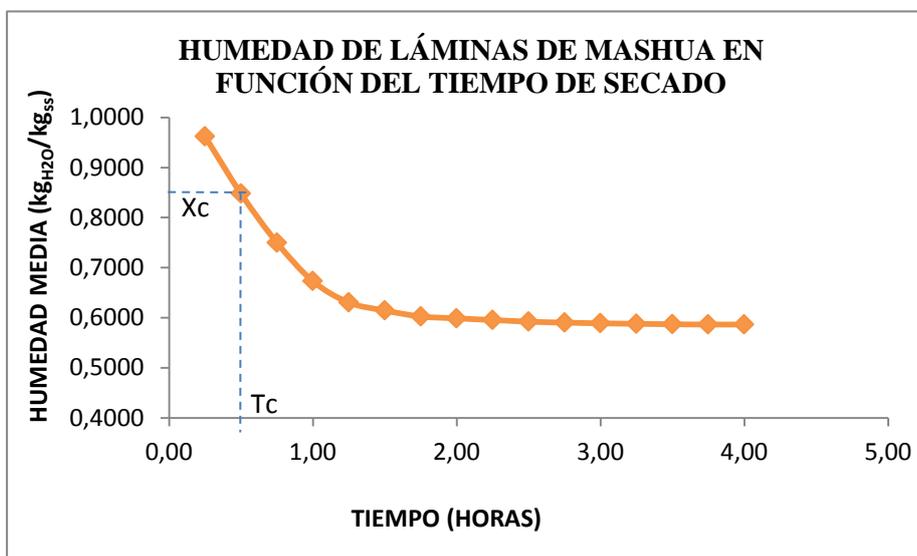


Gráfico 43. Curva de deshidratado T3 (A1B2C1)

En el gráfico 43, se puede observar que la humedad del producto disminuye conforme el tiempo de secado va transcurriendo, obteniendo de esta manera un porcentaje de humedad de 0,62% para el T3 (A1B2C1), y con un peso constante de 204,33 g a las 4:00 horas de secado.

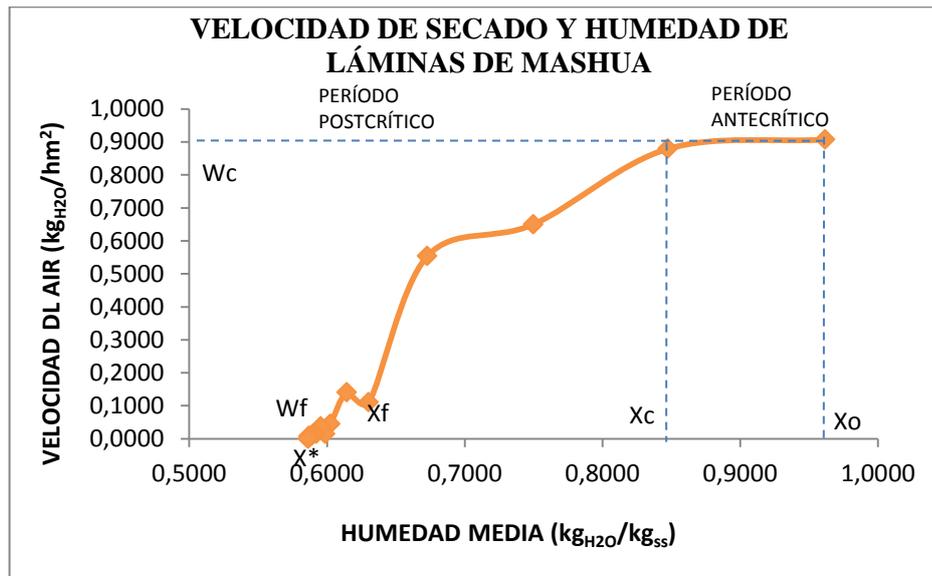


Gráfico 44. Velocidad de secado y humedad para T3 (A1B2C1)

En el gráfico 44, se puede observar la relación entre la velocidad de secado y humedad donde inicia con un tiempo antecrítico de 0,30 horas, este período resulta mínimo debido al pre-tratamiento de osmosis que se realizó anterior al secado el cual permite que se elimine la mayor cantidad de agua libre y ligada del producto.

Este proceso de secado empieza con una humedad inicial de ($X_o = 0,9618$ kg_{H2O}/kg_{ss}) y concluye en la humedad crítica ($X_c = 0,8476$ kg_{H2O}/kg_{ss}), con una velocidad de secado ($W_c = 0,8794$ kg_{H2O}/hm²). Mientras que el tiempo postcrítico con una duración de 3:30 horas, empieza a partir de la humedad crítica ($X_c = 0,8476$ kg_{H2O}/kg_{ss}) y termina en la humedad final ($X_f = 0,5870$ kg_{H2O}/kg_{ss}), con

una velocidad de secado ($Wf= 0,074 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{hm}^2$) y una humedad de equilibrio ($X^*= 0,5865 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ss}}$) obteniendo así un snack de mashua

4.9.4 CURVA DE SECADOT4 (TEMPERATURA 55°C+ VELOCIDAD DEL AIRE 2,5 m/s + GROSOR DE LÁMINAS 7mm)

Para el tratamiento 4 el tiempo de deshidratado para obtener snack de mashua fue de 5:00 horas como se indica en la tabla

Tabla 45.Datos obtenidos para el tratamiento T4 (A1B2C2)

TIEMPO HORAS	PESO kg	PESO SÓLIDO SECO kg_{ss}	HUMEDAD $\text{Kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{Kg}_{\text{ss}}$	HUMEDAD MEDIA $\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ss}}$	VELOCIDAD $\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{hm}^2$
0,00	0,3200	0,1389	1,3031		
0,15	0,2933	0,1389	1,1949	1,2490	1,2985
0,30	0,2677	0,1389	1,0903	1,1426	1,2546
0,45	0,2500	0,1389	1,0184	1,0543	0,8636
1,00	0,2367	0,1389	0,9640	0,9912	0,6517
1,15	0,2260	0,1389	0,9206	0,9423	0,5214
1,30	0,2153	0,1389	0,8771	0,8989	0,5214
1,45	0,2117	0,1389	0,8622	0,8697	0,1792
2,00	0,2083	0,1389	0,8486	0,8554	0,1629
2,15	0,2080	0,1389	0,8473	0,8480	0,0163
2,30	0,2077	0,1389	0,8459	0,8466	0,0163
2,45	0,2067	0,1389	0,8418	0,8439	0,0489
3,00	0,2053	0,1389	0,8364	0,8391	0,0652
3,15	0,2050	0,1389	0,8351	0,8357	0,0163
3,30	0,2047	0,1389	0,8337	0,8344	0,0163
3,45	0,2043	0,1389	0,8323	0,8330	0,0163
4,00	0,2037	0,1389	0,8296	0,8310	0,0326
4,15	0,2030	0,1389	0,8269	0,8283	0,0326
4,30	0,2023	0,1389	0,8242	0,8255	0,0326
4,45	0,2023	0,1389	0,8242	0,8242	0,0000
5,00	0,2023	0,1389	0,8242	0,8242	0,0000

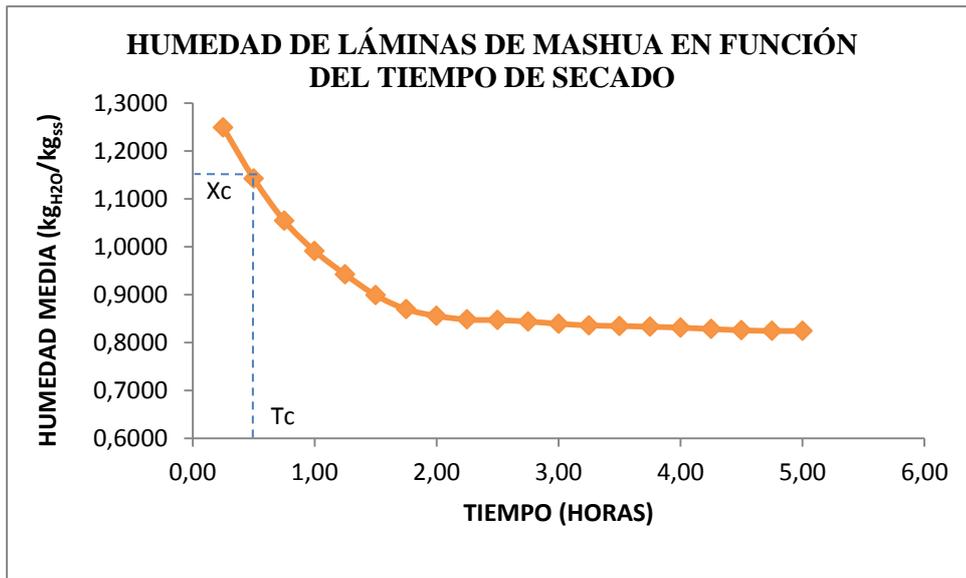


Gráfico 45. Curva de deshidratado T4 (A1B2C2)

En el gráfico 45, se puede observar que la humedad del producto disminuye conforme el tiempo de secado va transcurriendo, obteniendo de esta manera un porcentaje de humedad de 0,80% para el T4 (A1B2C2), y con un peso constante de 191,67 g a las 5:00 horas de secado.

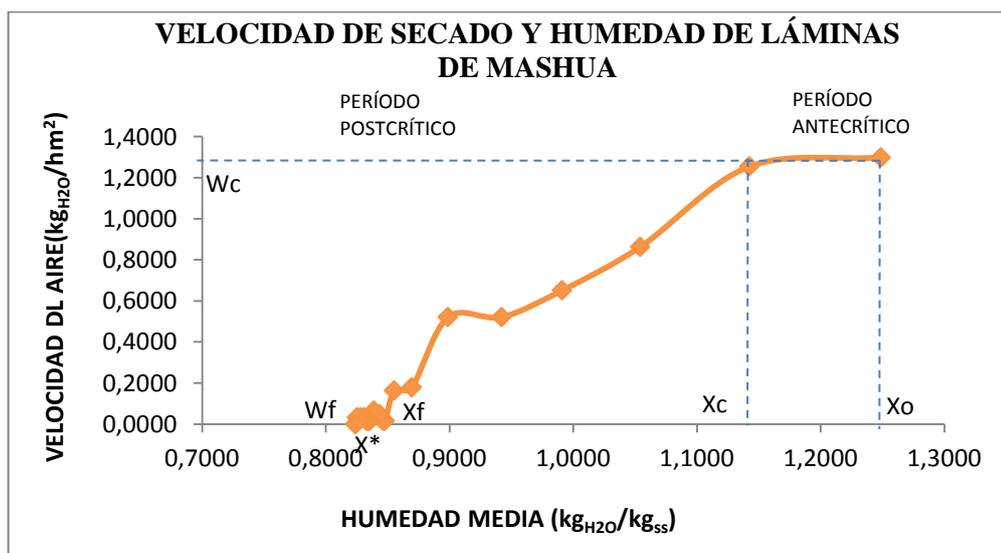


Gráfico 46. Velocidad de secado y humedad para T4 (A1B2C2)

En el gráfico 46, se puede observar la relación entre la velocidad de secado y la humedad donde inicia con un tiempo antecrítico de 0,30 horas, este período resulta mínimo debido al pre-tratamiento de osmosis que se realizó anterior al secado el cual permite que se elimine la mayor cantidad de agua libre y ligada del producto.

Este proceso de secado empieza con una humedad inicial de ($X_o = 1,2490 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ss}}$) y concluye en la humedad crítica ($X_c = 1,1426 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ss}}$), con una velocidad de secado ($W_c = 1,2546 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{hm}^2$). Mientras que el tiempo postcrítico con una duración de 4:30 horas, empieza a partir de la humedad crítica ($X_c = 1,1426 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ss}}$) y termina en la humedad final ($X_f = 0,8255 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ss}}$), con una velocidad de secado ($W_f = 0,0326 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{hm}^2$) y una humedad de equilibrio ($X^* = 0,8242 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ss}}$) obteniendo un snack de mashua

4.9.5 CURVA DE SECADO T5 (TEMPERATURA 55°C+ VELOCIDAD DEL AIRE 3,5 m/s + GROSOR DE LÁMINAS 4mm)

Para el tratamiento 5 el tiempo de deshidratado para obtener snack de mashua fue de 5 horas como se indica en la tabla

Tabla 46. Datos obtenidos para el tratamiento T5 (A1B3C1)

TIEMPO HORAS	PESO		HUMEDAD $\text{Kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{Kg}_{\text{SS}}$	HUMEDAD	
	PESO kg	SÓLIDO SECO kg_{SS}		MEDIA $\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{SS}}$	VELOCIDAD $\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{hm}^2$
0,00	0,3190	0,1579	1,0198		
0,15	0,2887	0,1579	0,9230	0,9714	0,7563
0,30	0,2587	0,1579	0,8271	0,8751	0,7498
0,45	0,2353	0,1579	0,7525	0,7898	0,5832
1,00	0,2163	0,1579	0,6917	0,7221	0,4749
1,15	0,2080	0,1579	0,6651	0,6784	0,2083
1,30	0,2013	0,1579	0,6438	0,6544	0,1666
1,45	0,1983	0,1579	0,6342	0,6390	0,0750
2,00	0,1953	0,1579	0,6246	0,6294	0,0750
2,15	0,1943	0,1579	0,6214	0,6230	0,0250
2,30	0,1930	0,1579	0,6171	0,6193	0,0333
2,45	0,1923	0,1579	0,6150	0,6161	0,0167
3,00	0,1917	0,1579	0,6129	0,6139	0,0167
3,15	0,1910	0,1579	0,6107	0,6118	0,0167
3,30	0,1903	0,1579	0,6086	0,6097	0,0167
3,45	0,1900	0,1579	0,6075	0,6081	0,0083
4,00	0,1897	0,1579	0,6065	0,6070	0,0083
4,15	0,1893	0,1579	0,6054	0,6059	0,0083
4,30	0,1890	0,1579	0,6043	0,6049	0,0083
4,45	0,1890	0,1579	0,6043	0,6043	0,0000
5,00	0,1890	0,1579	0,6043	0,6043	0,0000

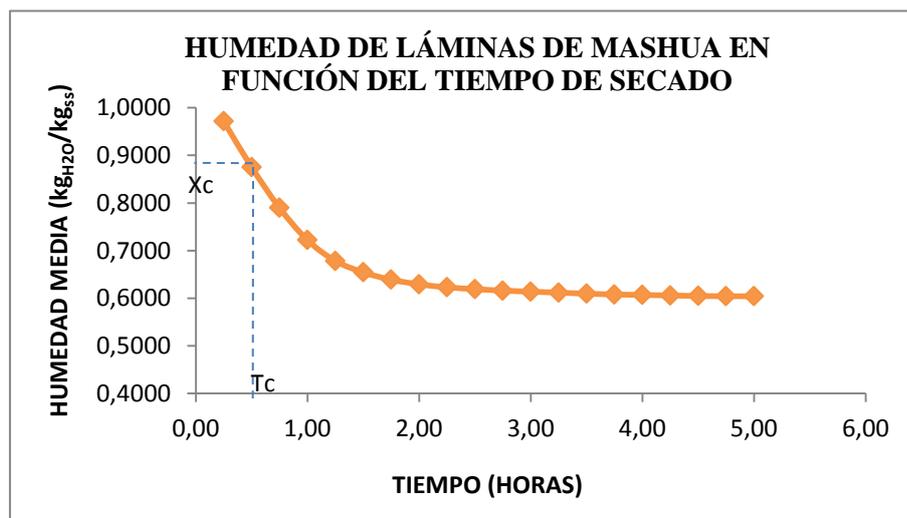


Gráfico 47. Curva de deshidratado T5 (A1B3C1)

En el gráfico 47, se puede observar que la humedad del producto disminuye conforme el tiempo de secado va transcurriendo, obteniendo de esta manera un porcentaje de humedad de 1,00 % para el T5 (A1B3C1), y con un peso constante de 188,33 g a las 5:00 horas de secado.

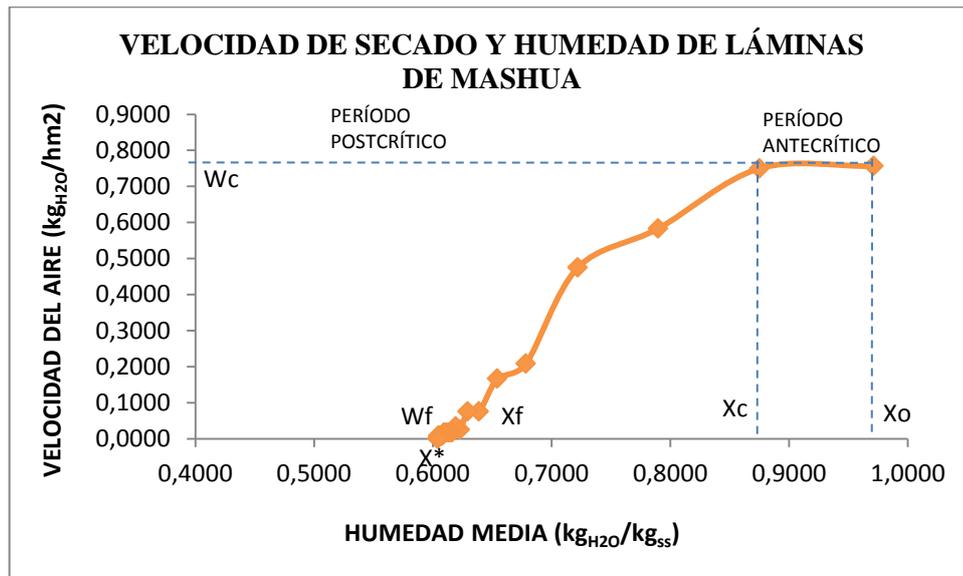


Gráfico 48. Velocidad de secado y humedad para T5 (A1B3C1)

En el gráfico 48, se puede observar la relación entre la velocidad de secado y la humedad donde inicia con un tiempo antecrítico de 0,30 horas, este período resulta mínimo debido al pre-tratamiento de osmosis que se realizó anterior al secado el cual permite que se elimine la mayor cantidad de agua libre y ligada del producto.

Este proceso de secado empieza con una humedad inicial ($X_o = 0,9714 \text{ kg}_{H_2O}/\text{kg}_{ss}$) y concluye en la humedad crítica ($X_c = 0,8751 \text{ kg}_{H_2O}/\text{kg}_{ss}$), con una velocidad de secado ($W_c = 0,7498 \text{ kg}_{H_2O}/\text{hm}^2$). Mientras que el tiempo postcrítico con una duración de 4:30 horas, empieza a partir de la humedad crítica ($X_c = 0,8751 \text{ kg}_{H_2O}/\text{kg}_{ss}$) y termina en la humedad final ($X_f = 0,6049 \text{ kg}_{H_2O}/\text{kg}_{ss}$), con una

velocidad de secado ($W_f = 0,0083 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{hm}^2$) y una humedad de equilibrio ($X^* = 0,6043 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ss}}$) obteniendo un snack de mashua

4.9.6 CURVA DE SECADO T6 (TEMPERATURA 55°C+ VELOCIDAD DEL AIRE 3,5 m/s + GROSOR DE LÁMINAS 7mm)

Para el tratamiento 6 el tiempo de deshidratado para obtener snack de mashua fue de 5:30 horas como se indica en la tabla

Tabla 47. Datos obtenidos para el tratamiento T6 (A1B3C2)

TIEMPO HORAS	PESO kg	PESO SÓLIDO SECO kg_{ss}	HUMEDAD $\text{Kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{Kg}_{\text{ss}}$	HUMEDAD MEDIA $\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ss}}$	VELOCIDAD $\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{hm}^2$
0,00	0,2520	0,1094	1,3031		
0,15	0,2367	0,1094	1,2240	1,2635	0,9507
0,30	0,2217	0,1094	1,1464	1,1852	0,9326
0,45	0,2107	0,1094	1,0895	1,1180	0,6839
1,00	0,2023	0,1094	1,0464	1,0680	0,5181
1,15	0,1953	0,1094	1,0102	1,0283	0,4352
1,30	0,1900	0,1094	0,9827	0,9964	0,3316
1,45	0,1870	0,1094	0,9671	0,9749	0,1865
2,00	0,1840	0,1094	0,9516	0,9594	0,1865
2,15	0,1817	0,1094	0,9396	0,9456	0,1451
2,30	0,1793	0,1094	0,9275	0,9335	0,1451
2,45	0,1780	0,1094	0,9206	0,9240	0,0829
3,00	0,1767	0,1094	0,9137	0,9171	0,0829
3,15	0,1760	0,1094	0,9102	0,9120	0,0415
3,30	0,1750	0,1094	0,9051	0,9077	0,0622
3,45	0,1743	0,1094	0,9016	0,9033	0,0415
4,00	0,1737	0,1094	0,8982	0,8999	0,0415
4,15	0,1730	0,1094	0,8947	0,8965	0,0415
4,30	0,1727	0,1094	0,8930	0,8939	0,0207
4,45	0,1723	0,1094	0,8913	0,8921	0,0207
5,00	0,1720	0,1094	0,8896	0,8904	0,0207
5,15	0,1720	0,1094	0,8896	0,8896	0,0000
5,30	0,1720	0,1094	0,8896	0,8896	0,0000

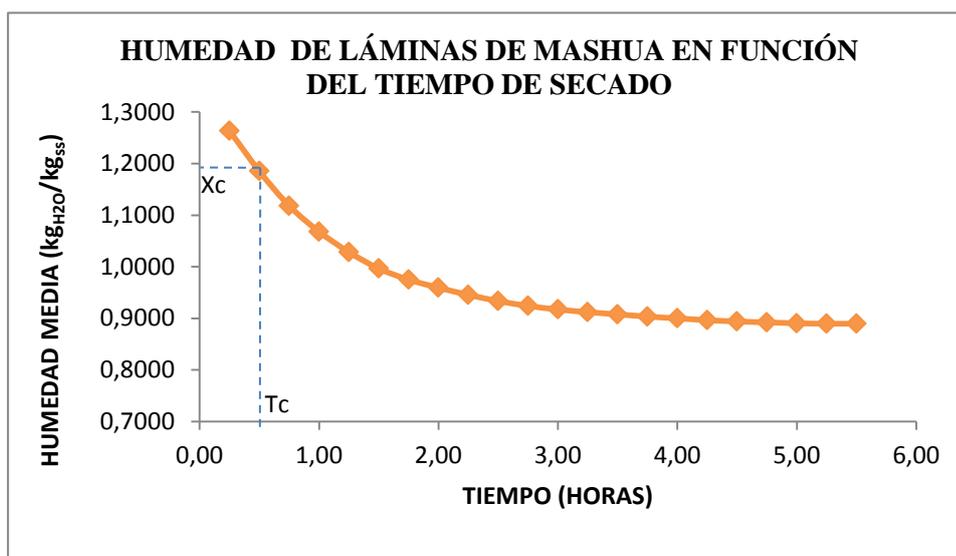


Gráfico 49. Curva de deshidratación T6 (A1B3C2)

En el gráfico 49, se puede observar que la humedad del producto disminuye conforme el tiempo de secado va transcurriendo, obteniendo de esta manera un porcentaje de humedad de 1,69% para el T6 (A1B3C2), y con un peso constante de 172,00 g a las 5:30 horas de secado.

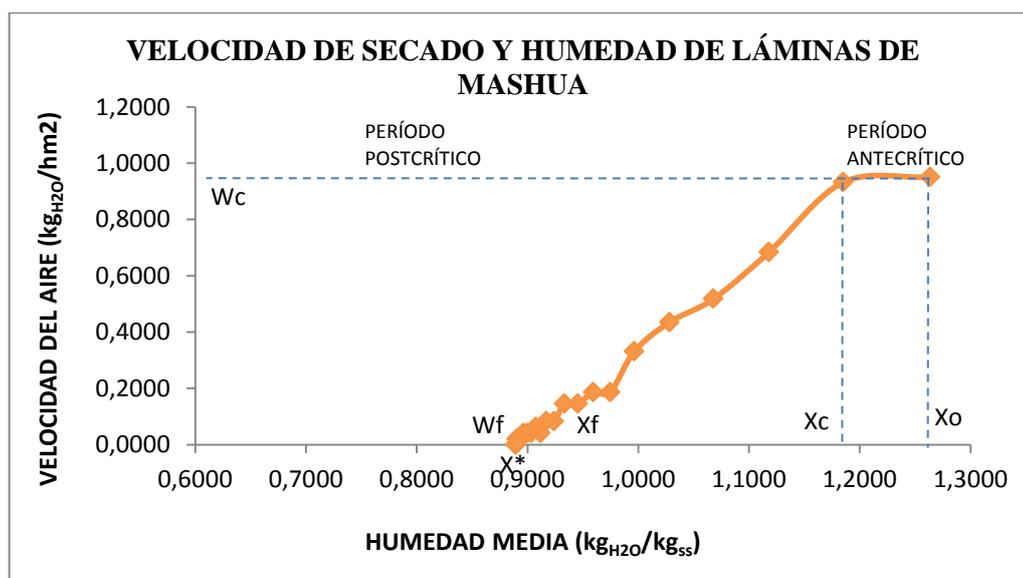


Gráfico 50. Velocidad de secado y humedad para T6 (A1B3C2)

En el gráfico 50, se puede observar la relación entre la velocidad de secado y la humedad donde inicia con un tiempo antecrítico de 0,30 horas, este período resulta mínimo debido al pre-tratamiento de osmosis que se realizó anterior al secado el cual permite que se elimine la mayor cantidad de agua libre y ligada del producto.

Este proceso de secado empieza con una humedad inicial ($X_o = 1,2635 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ss}}$) y concluye en la humedad crítica ($X_c = 1,1852 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ss}}$), con una velocidad de secado ($W_c = 0,9326 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{hm}^2$). Mientras que el tiempo postcrítico con una duración de 4:30 horas, empieza a partir de la humedad crítica ($X_c = 1,1852 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ss}}$) y termina en la humedad final ($X_f = 0,8904 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ss}}$), con una velocidad de secado ($W_f = 0,0207 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{hm}^2$) y una humedad de equilibrio ($X^* = 0,8896 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ss}}$) obteniendo un snack de mashua

4.9.7 CURVA DE SECADO T7 (TEMPERATURA 60°C+ VELOCIDAD DEL AIRE 1,5 m/s + GROSOR DE LÁMINAS 4mm)

Para el tratamiento 7 el tiempo de deshidratado para obtener snack de mashua fue de 5:30 horas como se indica en la tabla.

Tabla 48. Datos obtenidos para el tratamiento T7 (A2B1C1)

TIEMPO HORAS	PESO PESO kg	PESO SÓLIDO		HUMEDAD		VELOCIDAD $\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{hm}^2$
		SECO kg_{SS}	HUMEDAD $\text{Kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{Kg}_{\text{SS}}$	MEDIA $\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{SS}}$		
0,00	0,3660	0,1812	1,0198			
0,15	0,3427	0,1812	0,9548	0,9873		0,5081
0,30	0,3200	0,1812	0,8917	0,9232		0,4938
0,45	0,2997	0,1812	0,8350	0,8633		0,4430
1,00	0,2807	0,1812	0,7821	0,8085		0,4139
1,15	0,2627	0,1812	0,7319	0,7570		0,3922
1,30	0,2457	0,1812	0,6845	0,7082		0,3704
1,45	0,2320	0,1812	0,6465	0,6655		0,2977
2,00	0,2210	0,1812	0,6158	0,6311		0,2397
2,15	0,2153	0,1812	0,6000	0,6079		0,1235
2,30	0,2113	0,1812	0,5889	0,5944		0,0871
2,45	0,2083	0,1812	0,5805	0,5847		0,0654
3,00	0,2063	0,1812	0,5749	0,5777		0,0436
3,15	0,2057	0,1812	0,5731	0,5740		0,0145
3,30	0,2050	0,1812	0,5712	0,5721		0,0145
3,45	0,2043	0,1812	0,5694	0,5703		0,0145
4,00	0,2037	0,1812	0,5675	0,5684		0,0145
4,15	0,2033	0,1812	0,5666	0,5670		0,0073
4,30	0,2030	0,1812	0,5656	0,5661		0,0073
4,45	0,2027	0,1812	0,5647	0,5652		0,0073
5,00	0,2023	0,1812	0,5638	0,5643		0,0073
5,15	0,2023	0,1812	0,5638	0,5638		0,0000
5,30	0,2023	0,1812	0,5638	0,5638		0,0000

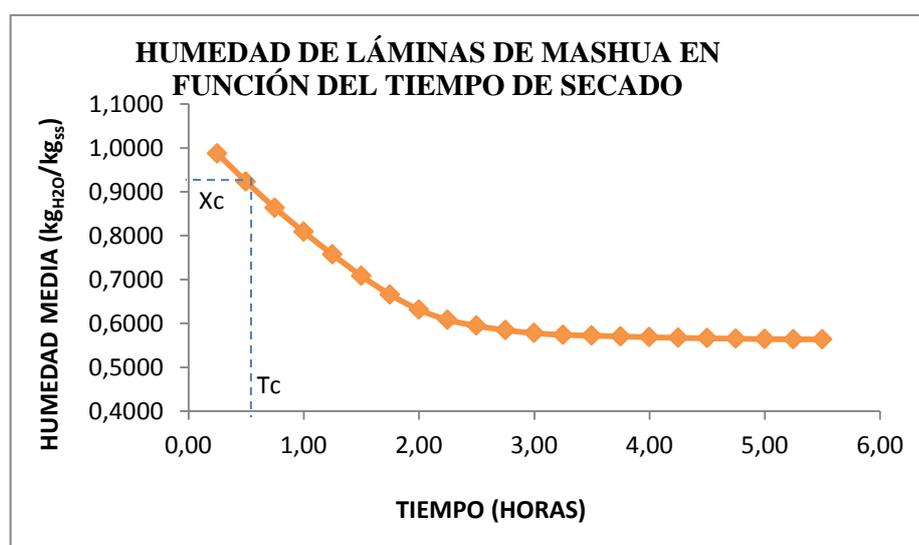


Gráfico 51. Curva de deshidratado T7 (A2B1C1)

En el gráfico 51, se puede observar que la humedad del producto disminuye conforme el tiempo de secado va transcurriendo, obteniendo de esta manera un porcentaje de humedad de 1,11 % para el T7 (A2B1C1), y con un peso constante de 189,00 g a las 5:30 horas de secado.

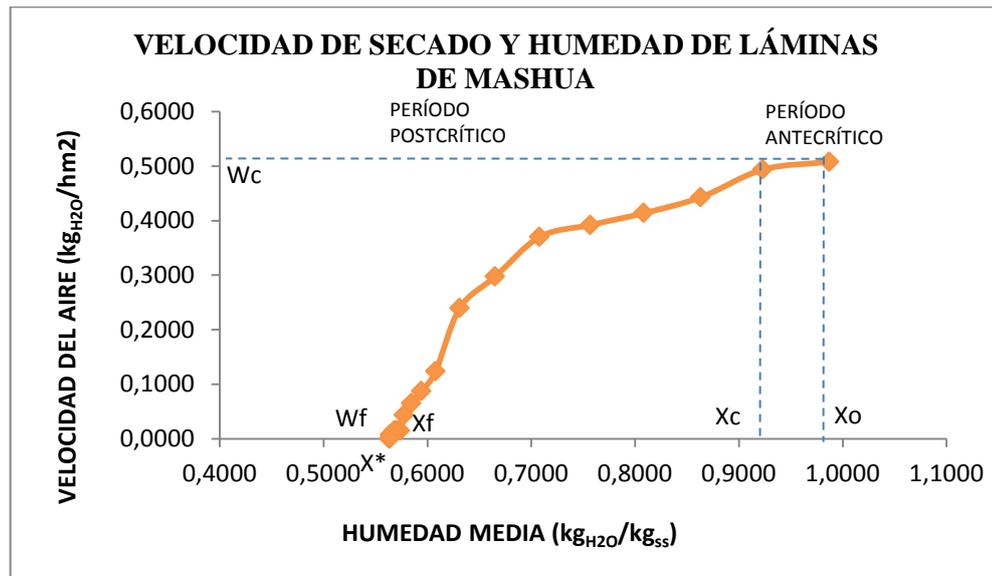


Gráfico 52. Velocidad de secado y humedad para T7 (A2B1C1)

En el gráfico 52, se puede observar la relación entre la velocidad de secado y la humedad donde inicia con un tiempo antecrítico de 0,30 horas, este período resulta mínimo debido al pre-tratamiento de osmosis que se realizó anterior al secado el cual permite que se elimine la mayor cantidad de agua libre y ligada del producto.

Este proceso de secado empieza con una humedad inicial ($X_o = 0,9873 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ss}}$) y concluye en la humedad crítica ($X_c = 0,9232 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ss}}$), con una velocidad de secado ($W_c = 0,4938 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{hm}^2$). Mientras que el tiempo postcrítico con una duración de 5:00 horas, empieza a partir de la humedad crítica ($X_c = 0,9232 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ss}}$) y termina en la humedad final ($X_f = 0,5643 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ss}}$), con una velocidad de secado ($W_f = 0,0073 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{hm}^2$) y una humedad de equilibrio ($X^* = 0,5638 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ss}}$) obteniendo un snack de mashua

**4.9.8 CURVA DE SECADO T8 (TEMPERATURA 60°C+ VELOCIDAD
DEL AIRE 1,5 m/s + GROSOR DE LÁMINAS 7mm)**

Para el tratamiento 8 el tiempo de deshidratado para obtener snack de mashua fue de 6:00 horas como se indica en la tabla

Tabla 49. Datos obtenidos para el tratamiento T8 (A2B1C2)

TIEMPO HORAS	PESO kg	PESO		HUMEDAD	
		SÓLIDO SECO kg _{ss}	HUMEDAD Kg _{H2O} /Kg _{ss}	MEDIA kg _{H2O} /kg _{ss}	VELOCIDAD kg _{H2O} /hm ²
0,00	0,3370	0,1463	1,3031		
0,15	0,3187	0,1463	1,2324	1,2677	0,8493
0,30	0,3007	0,1463	1,1628	1,1976	0,8365
0,45	0,2867	0,1463	1,1087	1,1357	0,6506
1,00	0,2743	0,1463	1,0610	1,0848	0,5732
1,15	0,2623	0,1463	1,0145	1,0378	0,5577
1,30	0,2507	0,1463	0,9694	0,9920	0,5422
1,45	0,2403	0,1463	0,9295	0,9494	0,4802
2,00	0,2317	0,1463	0,8959	0,9127	0,4028
2,15	0,2253	0,1463	0,8715	0,8837	0,2943
2,30	0,2203	0,1463	0,8521	0,8618	0,2324
2,45	0,2173	0,1463	0,8405	0,8463	0,1394
3,00	0,2150	0,1463	0,8315	0,8360	0,1084
3,15	0,2133	0,1463	0,8250	0,8283	0,0775
3,30	0,2120	0,1463	0,8199	0,8225	0,0620
3,45	0,2097	0,1463	0,8109	0,8154	0,1084
4,00	0,2073	0,1463	0,8018	0,8064	0,1084
4,15	0,2063	0,1463	0,7980	0,7999	0,0465
4,30	0,2060	0,1463	0,7967	0,7973	0,0155
4,45	0,2053	0,1463	0,7941	0,7954	0,0310
5,00	0,2050	0,1463	0,7928	0,7935	0,0155
5,15	0,2047	0,1463	0,7915	0,7922	0,0155
5,30	0,2043	0,1463	0,7902	0,7909	0,0155
5,45	0,2043	0,1463	0,7902	0,7902	0,0000
6,00	0,2043	0,1463	0,7902	0,7902	0,0000

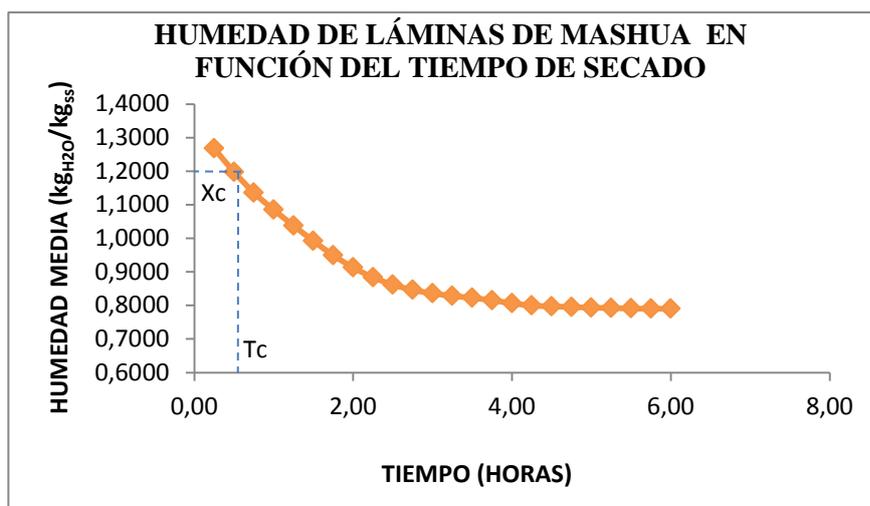


Gráfico 53. Curva de deshidratado T8 (A2B1C2)

En el gráfico 53, se puede observar que la humedad del producto disminuye conforme el tiempo de secado va transcurriendo, obteniendo de esta manera un porcentaje de humedad de 0,96% para el T8 (A2B1C2), y con un peso constante de 189,00 g a las 6:00 horas de secado.

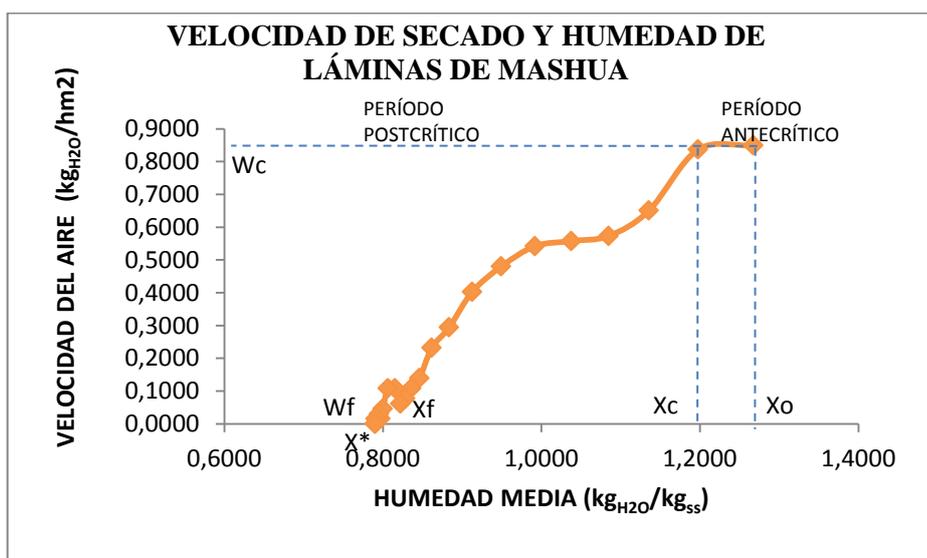


Gráfico 54. Velocidad de secado y humedad para T8 (A2B1C2)

En el gráfico 54, se puede observar la relación entre la velocidad de secado y la humedad donde inicia con un tiempo antecrítico de 0,30 horas, este período resulta mínimo debido al pre-tratamiento de osmosis que se realizó anterior al secado el cual permite que se elimine la mayor cantidad de agua libre y ligada del producto.

Este proceso de secado empieza con una humedad inicial ($X_o = 1,2677 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ss}}$) y concluye en la humedad crítica ($X_c = 1,1976 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ss}}$), con una velocidad de secado ($W_c = 0,8365 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{hm}^2$). Mientras que el tiempo postcrítico con una duración de 5:30 horas, empieza a partir de la humedad crítica ($X_c = 1,1976 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ss}}$) y termina en la humedad final ($X_f = 0,7909 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ss}}$), con una velocidad de secado ($W_f = 0,0155 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{hm}^2$) y una humedad de equilibrio ($X^* = 0,7902 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ss}}$) obteniendo un snack de mashua

4.9.9 CURVA DE SECADO T9 (TEMPERATURA 60°C+ VELOCIDAD DEL AIRE 2,5 m/s + GROSOR DE LÁMINAS 4mm)

Para el tratamiento 9 el tiempo de deshidratado para obtener snack de mashua fue de 5:30 horas como se indica en la tabla

Tabla 50. Datos obtenidos para el tratamiento T9 (A2B2C1)

TIEMPO HORAS	PESO PESO kg	PESO	HUMEDAD	HUMEDAD	VELOCIDAD $\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{hm}^2$
		SÓLIDO SECO kg_{SS}	$\text{Kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{Kg}_{\text{SS}}$	MEDIA $\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{SS}}$	
0,00	0,3830	0,1896	1,0198		
0,15	0,3543	0,1896	0,9436	0,9817	0,5959
0,30	0,3257	0,1896	0,8672	0,9054	0,5969
0,45	0,3033	0,1896	0,8078	0,8375	0,4650
1,00	0,2850	0,1896	0,7589	0,7834	0,3817
1,15	0,2683	0,1896	0,7146	0,7368	0,3470
1,30	0,2493	0,1896	0,6640	0,6893	0,3956
1,45	0,2340	0,1896	0,6231	0,6436	0,3192
2,00	0,2213	0,1896	0,5894	0,6063	0,2637
2,15	0,2187	0,1896	0,5823	0,5859	0,0555
2,30	0,2167	0,1896	0,5770	0,5796	0,0416
2,45	0,2153	0,1896	0,5734	0,5752	0,0278
3,00	0,2147	0,1896	0,5717	0,5725	0,0139
3,15	0,2140	0,1896	0,5699	0,5708	0,0139
3,30	0,2133	0,1896	0,5681	0,5690	0,0139
3,45	0,2130	0,1896	0,5672	0,5677	0,0069
4,00	0,2127	0,1896	0,5663	0,5668	0,0069
4,15	0,2123	0,1896	0,5654	0,5659	0,0069
4,30	0,2120	0,1896	0,5646	0,5650	0,0069
4,45	0,2117	0,1896	0,5637	0,5641	0,0069
5,00	0,2113	0,1896	0,5628	0,5632	0,0069
5,15	0,2113	0,1896	0,5628	0,5628	0,0000
5,30	0,2113	0,1896	0,5628	0,5628	0,0000

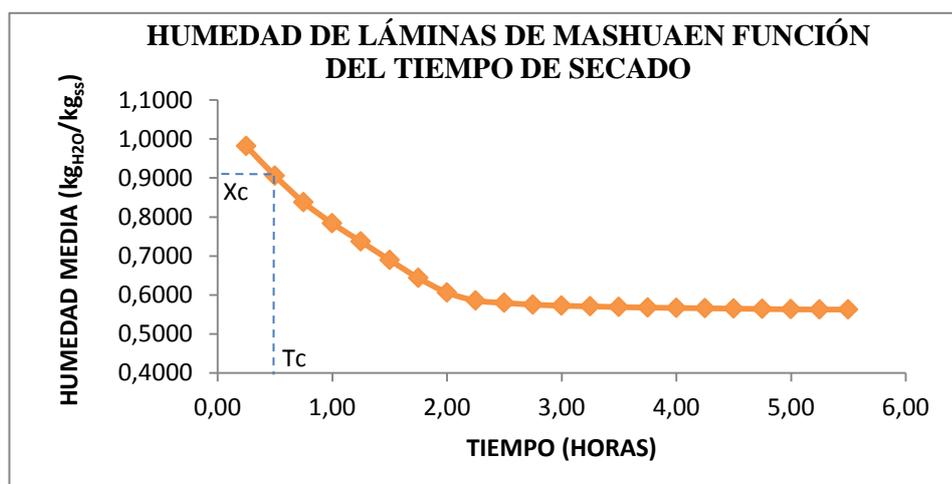


Gráfico 55. Curva de deshidratado T9 (A2B2C1)

En el gráfico 55, se puede observar que la humedad del producto disminuye conforme el tiempo de secado va transcurriendo, obteniendo de esta manera un porcentaje de humedad de 1,50 % para el T9 (A2B2C1), y con un peso constante de 168,00 g a las 5:30 horas de secado.

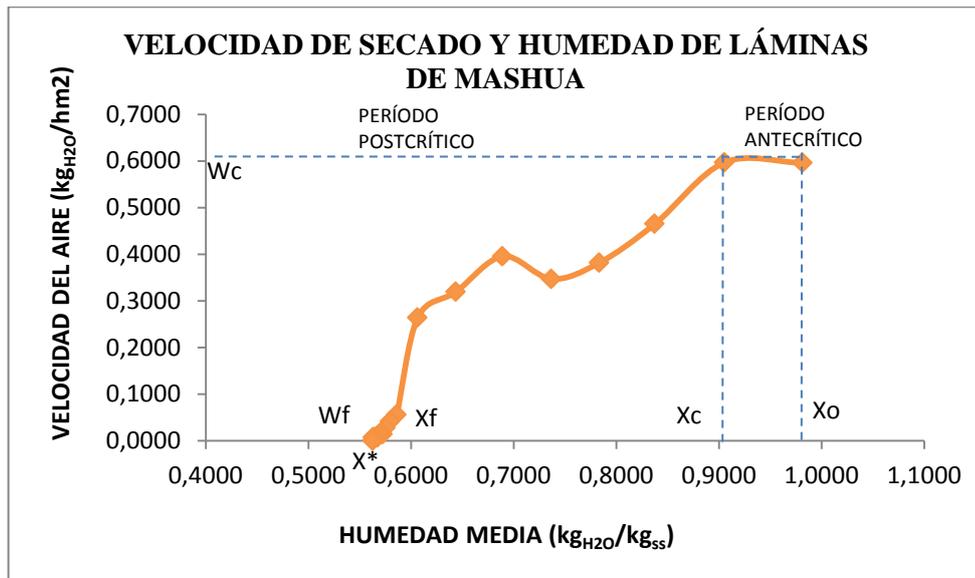


Gráfico 56. Velocidad de secado y humedad para T9 (A2B2C1)

En el gráfico 56, se puede observar la relación entre la velocidad de secado y la humedad donde inicia con un tiempo antecrítico de 0,30 horas, este período resulta mínimo debido al pre-tratamiento de osmosis que se realizó anterior al secado el cual permite que se elimine la mayor cantidad de agua libre y ligada del producto.

Este proceso de secado empieza con una humedad inicial ($X_o = 0,9817 \text{ kg}_{H_2O}/\text{kg}_{ss}$) y concluye en la humedad crítica ($X_c = 0,9054 \text{ kg}_{H_2O}/\text{kg}_{ss}$), con una velocidad de secado ($W_c = 0,5969 \text{ kg}_{H_2O}/\text{hm}^2$). Mientras que el tiempo postcrítico con una duración de 5:00 horas, empieza a partir de la humedad crítica ($X_c = 0,9054 \text{ kg}_{H_2O}/\text{kg}_{ss}$) y termina en la humedad final ($X_f = 0,5632 \text{ kg}_{H_2O}/\text{kg}_{ss}$), con una

velocidad de secado ($W_f = 0,0069 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{hm}^2$) y una humedad de equilibrio ($X^* = 0,5628 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ss}}$) obteniendo un snack de mashua

4.9.10 CURVA DE SECADO T10 (TEMPERATURA 60°C+ VELOCIDAD DEL AIRE 2,5 m/s + GROSOR DE LÁMINAS 7mm)

Para el tratamiento 10 el tiempo de deshidratado para obtener snack de mashua fue de 5:00 horas como se indica en la tabla

Tabla 51. Datos obtenidos para el tratamiento T10 (A2B2C2)

TIEMPO HORAS	PESO PESO kg	PESO SÓLIDO SECO kg_{ss}	HUMEDAD $\text{Kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{Kg}_{\text{ss}}$	HUMEDAD MEDIA $\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ss}}$	VELOCIDAD $\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{hm}^2$
0,00	0,3240	0,1407	1,3031		
0,15	0,3027	0,1407	1,2171	1,2601	1,0338
0,30	0,2817	0,1407	1,1327	1,1749	1,0155
0,45	0,2627	0,1407	1,0563	1,0945	0,9188
1,00	0,2460	0,1407	0,9892	1,0228	0,8060
1,15	0,2317	0,1407	0,9316	0,9604	0,6931
1,30	0,2200	0,1407	0,8847	0,9081	0,5642
1,45	0,2120	0,1407	0,8525	0,8686	0,3869
2,00	0,2063	0,1407	0,8297	0,8411	0,2740
2,15	0,2027	0,1407	0,8150	0,8224	0,1773
2,30	0,2003	0,1407	0,8056	0,8103	0,1128
2,45	0,1987	0,1407	0,7989	0,8023	0,0806
3,00	0,1970	0,1407	0,7922	0,7956	0,0806
3,15	0,1960	0,1407	0,7882	0,7902	0,0484
3,30	0,1947	0,1407	0,7828	0,7855	0,0645
3,45	0,1933	0,1407	0,7775	0,7801	0,0645
4,00	0,1927	0,1407	0,7748	0,7761	0,0322
4,15	0,1920	0,1407	0,7721	0,7734	0,0322
4,30	0,1917	0,1407	0,7708	0,7714	0,0161
4,45	0,1917	0,1407	0,7708	0,7708	0,0000
5,00	0,1917	0,1407	0,7708	0,7708	0,0000

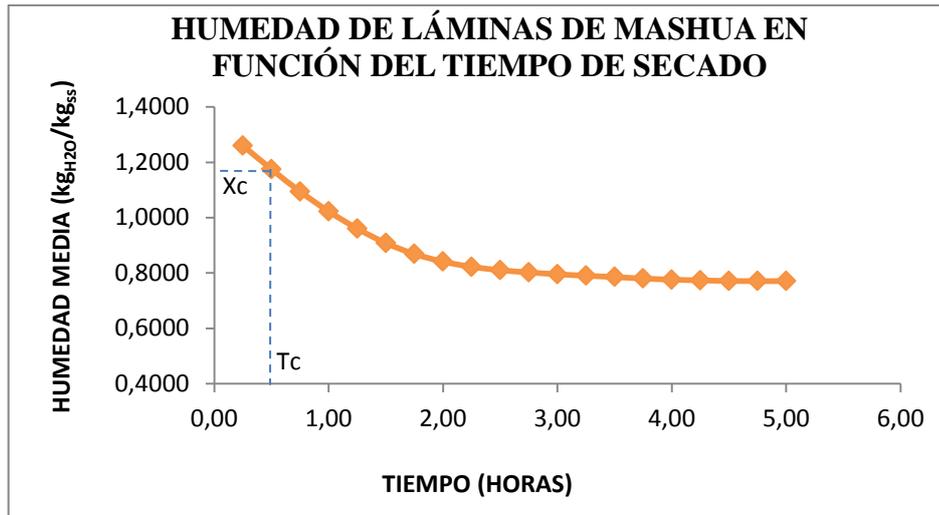


Gráfico 57. Curva de deshidratado T10 (A2B2C2)

En el gráfico 57, se puede observar que la humedad del producto disminuye conforme el tiempo de secado va transcurriendo, obteniendo de esta manera un porcentaje de humedad de 0,69 % para el T10 (A2B2C2), y con un peso constante de 202,33 g a las 5:00 horas de secado.

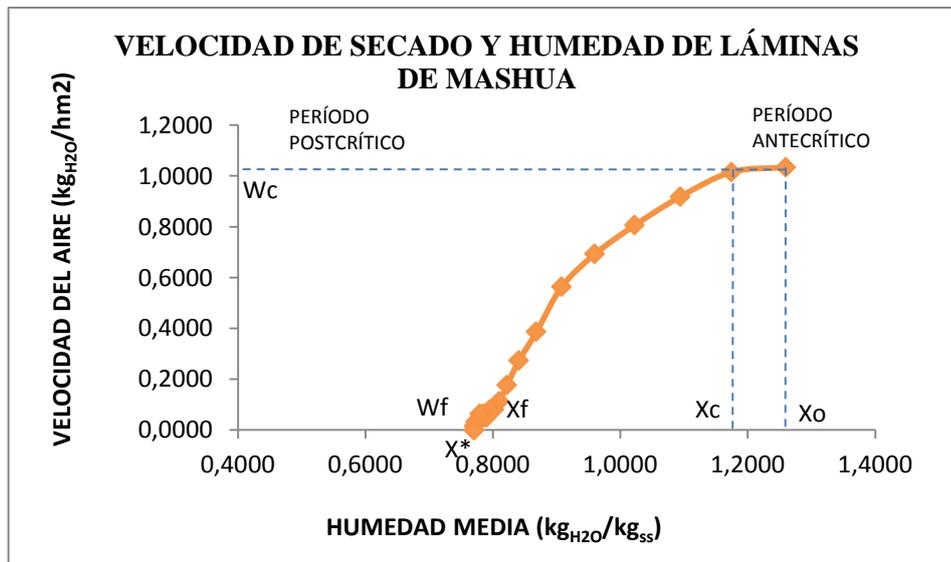


Gráfico 58. Velocidad de secado y humedad para T10 (A2B2C2)

En el gráfico 58, se puede observar la relación entre la velocidad de secado y la humedad donde inicia con un tiempo antecrítico de 0:30 horas, este período resulta mínimo debido al pre-tratamiento de osmosis que se realizó anterior al secado el cual permite que se elimine la mayor cantidad de agua libre y ligada del producto.

Este proceso de secado empieza con una humedad inicial ($X_o = 1,2601 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ss}}$) y concluye en la humedad crítica ($X_c = 1,1749 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ss}}$), con una velocidad de secado ($W_c = 1,0155 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{hm}^2$). Mientras que el tiempo postcrítico con una duración de 4:30 horas, empieza a partir de la humedad crítica ($X_c = 1,1749 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ss}}$) y termina en la humedad final ($X_f = 0,7714 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ss}}$), con una velocidad de secado ($W_f = 0,0161 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{hm}^2$) y una humedad de equilibrio ($X^* = 0,7708 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ss}}$) obteniendo un snack de mashua

4.9.11 CURVA DE SECADO T11 (TEMPERATURA 60°C+ VELOCIDAD DEL AIRE 3,5 m/s + GROSOR DE LÁMINAS 4mm)

Para el tratamiento 11 el tiempo de deshidratado para obtener snack de mashua fue de 4:30 horas como se indica en la tabla

Tabla 52. Datos obtenidos para el tratamiento T11 (A2B3C1)

TIEMPO HORAS	PESO kg	PESO SÓLIDO		HUMEDAD MEDIA		VELOCIDAD $\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{hm}^2$
		SECO kg_{SS}	$\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{SS}}$	$\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{SS}}$	$\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{SS}}$	
0,00	0,3740	0,1852	1,0198			
0,15	0,3257	0,1852	0,8878	0,9538		1,0321
0,30	0,2793	0,1852	0,7615	0,8247		0,9881
0,45	0,2460	0,1852	0,6707	0,7161		0,7109
1,00	0,2223	0,1852	0,6061	0,6384		0,5047
1,15	0,2047	0,1852	0,5580	0,5821		0,3768
1,30	0,1960	0,1852	0,5343	0,5462		0,1848
1,45	0,1943	0,1852	0,5298	0,5321		0,0355
2,00	0,1933	0,1852	0,5271	0,5284		0,0213
2,15	0,1927	0,1852	0,5253	0,5262		0,0142
2,30	0,1920	0,1852	0,5234	0,5243		0,0142
2,45	0,1913	0,1852	0,5216	0,5225		0,0142
3,00	0,1903	0,1852	0,5189	0,5203		0,0213
3,15	0,1900	0,1852	0,5180	0,5184		0,0071
3,30	0,1897	0,1852	0,5171	0,5175		0,0071
3,45	0,1893	0,1852	0,5162	0,5166		0,0071
4,00	0,1890	0,1852	0,5153	0,5157		0,0071
4,15	0,1890	0,1852	0,5153	0,5153		0,0000
4,30	0,1890	0,1852	0,5153	0,5153		0,0000

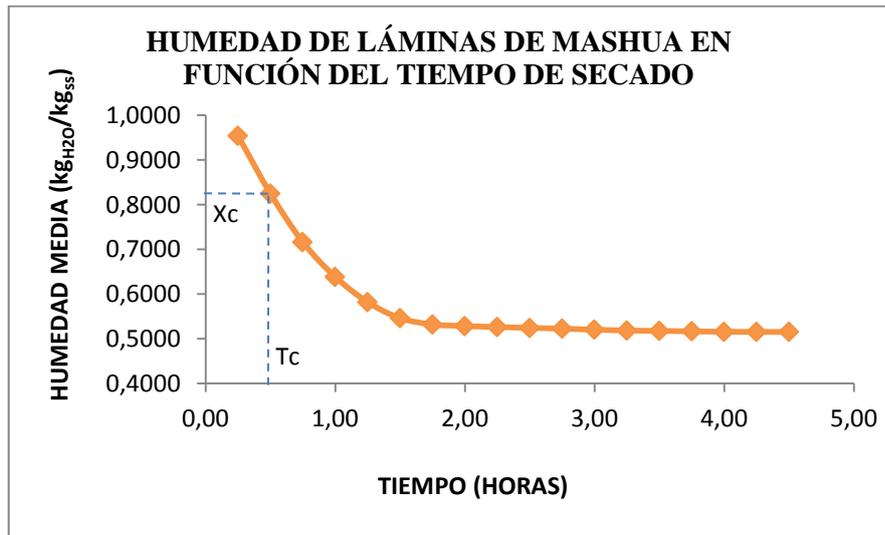


Gráfico 59. Curva de deshidratado T11 (A2B3C1)

En el gráfico 59, se puede observar que la humedad del producto disminuye conforme el tiempo de secado va transcurriendo, obteniendo de esta manera un porcentaje de humedad de 0,72% para el T11 (A2B3C1), y con un peso constante de 202,33 g a las 4:30 horas de secado.

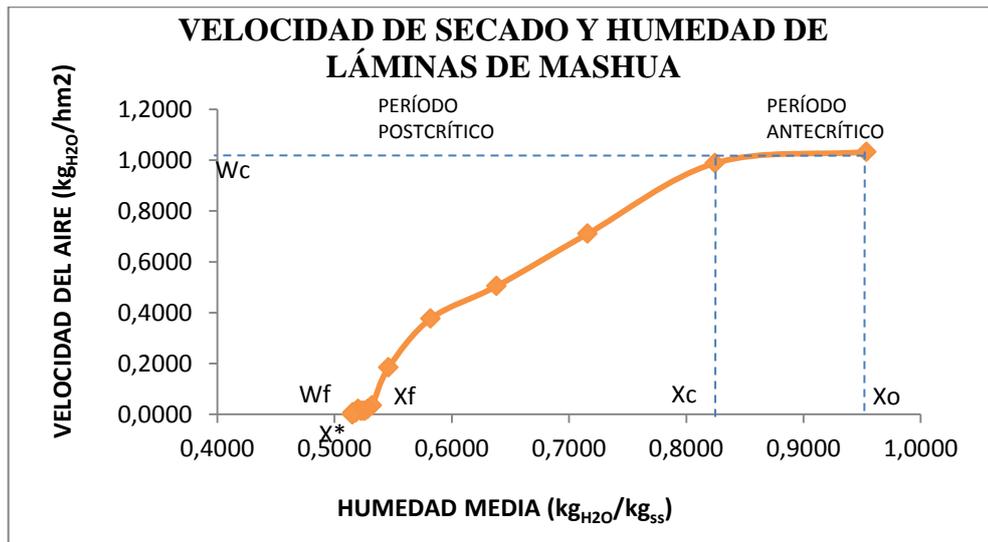


Gráfico 60. Velocidad de secado y humedad para T11 (A2B3C1)

En el gráfico 60, se puede observar la relación entre la velocidad de secado y la humedad donde inicia con un tiempo antecrítico de 0:30 horas, este período resulta mínimo debido al pre-tratamiento de osmosis que se realizó anterior al secado el cual permite que se elimine la mayor cantidad de agua libre y ligada del producto.

Este proceso de secado empieza con una humedad inicial ($X_o = 0,9538 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ss}}$) y concluye en la humedad crítica ($X_c = 0,8247 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ss}}$), con una velocidad de secado ($W_c = 0,9881 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{hm}^2$). Mientras que el tiempo postcrítico con una duración de 4:00 horas, empieza a partir de la humedad crítica ($X_c = 0,8247 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ss}}$) y termina en la humedad final ($X_f = 0,5157 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ss}}$), con una

velocidad de secado ($W_f = 0,0071 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{hm}^2$) y una humedad de equilibrio ($X^* = 0,5153 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ss}}$) obteniendo un snack de mashua

4.9.12 CURVA DE SECADO T12 (TEMPERATURA 60°C+ VELOCIDAD DEL AIRE 3,5 m/s + GROSOR DE LÁMINAS 7mm)

Para el tratamiento 12 el tiempo de deshidratado para obtener snack de mashua fue de 4:30 horas como se indica en la tabla

Tabla 53. Datos obtenidos para el tratamiento 12 (A2B3C2)

TIEMPO HORAS	PESO kg	PESO SÓLIDO		HUMEDAD	
		SECO kg _{ss}	HUMEDAD Kg _{H2O} /Kg _{ss}	MEDIA kg _{H2O} /kg _{ss}	VELOCIDAD kg _{H2O} /hm ²
0,00	0,3180	0,1381	1,3031		
0,15	0,2923	0,1381	1,1977	1,2504	1,2656
0,30	0,2677	0,1381	1,0966	1,1472	1,2136
0,45	0,2503	0,1381	1,0256	1,0611	0,8528
1,00	0,2377	0,1381	0,9737	0,9997	0,6232
1,15	0,2257	0,1381	0,9246	0,9491	0,5904
1,30	0,2160	0,1381	0,8850	0,9048	0,4756
1,45	0,2127	0,1381	0,8713	0,8781	0,1640
2,00	0,2103	0,1381	0,8617	0,8665	0,1148
2,15	0,2080	0,1381	0,8522	0,8570	0,1148
2,30	0,2057	0,1381	0,8426	0,8474	0,1148
2,45	0,2047	0,1381	0,8385	0,8406	0,0492
3,00	0,2033	0,1381	0,8331	0,8358	0,0656
3,15	0,2020	0,1381	0,8276	0,8303	0,0656
3,30	0,2013	0,1381	0,8249	0,8262	0,0328
3,45	0,2007	0,1381	0,8221	0,8235	0,0328
4,00	0,2003	0,1381	0,8208	0,8215	0,0164
4,15	0,2003	0,1381	0,8208	0,8208	0,0000
4,30	0,2003	0,1381	0,8208	0,8208	0,0000

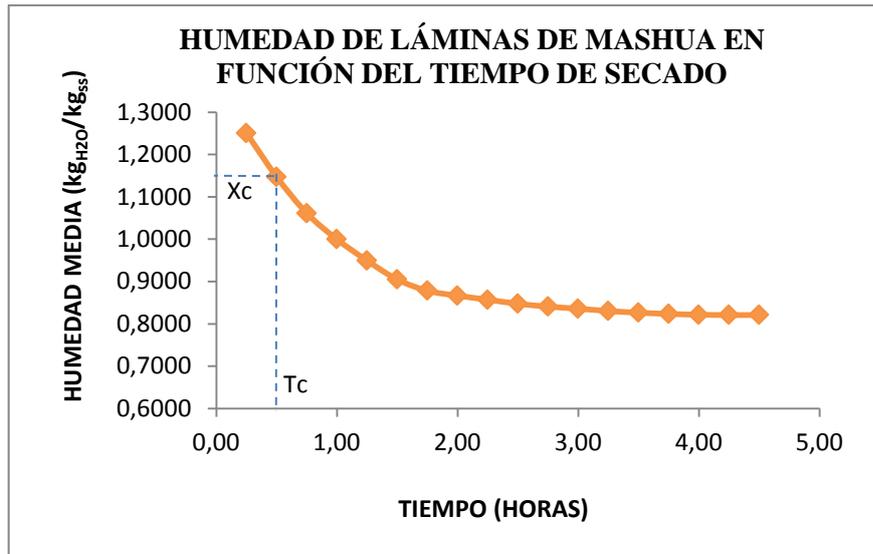


Gráfico 61. Curva de deshidratado T12 (A2B3C2)

En el gráfico 61, se puede observar que la humedad del producto disminuye conforme el tiempo de secado va transcurriendo, obteniendo de esta manera un porcentaje de humedad de 1,58% para el T12 (A2B3C2), y con un peso constante de 183,00 g a las 4:30 horas de secado.

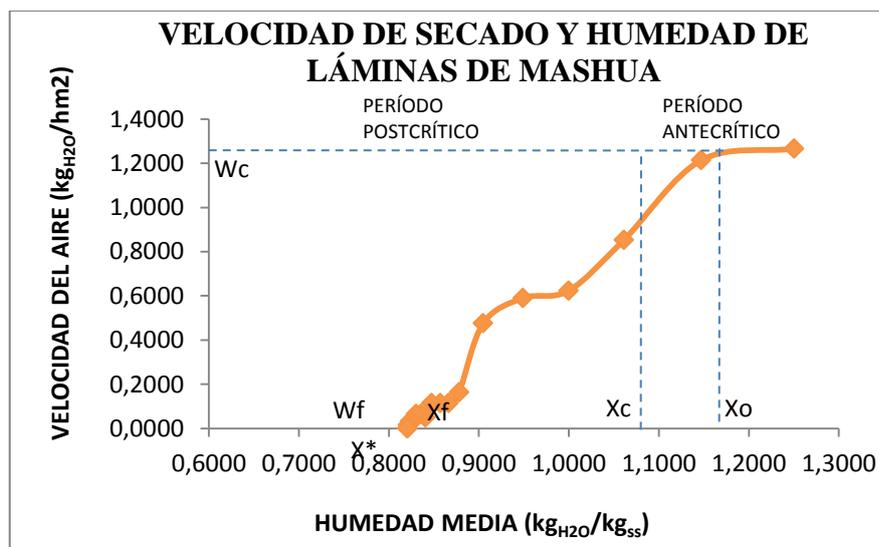


Gráfico 62. Velocidad de secado y humedad para T12 (A2B3C2)

En el gráfico 62, se puede observar la relación entre la velocidad de secado y la humedad donde inicia con un tiempo antecrítico de 0:30 horas, este período resulta mínimo debido al pre-tratamiento de osmosis que se realizó anterior al secado el cual permite que se elimine la mayor cantidad de agua libre y ligada del producto.

Este proceso de secado empieza con una humedad inicial ($X_o = 1,2504 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ss}}$) y concluye en la humedad crítica ($X_c = 1,1472 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ss}}$), con una velocidad de secado ($W_c = 1,2136 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{hm}^2$). Mientras que el tiempo postcrítico con una duración de 4:00 horas, empieza a partir de la humedad crítica ($X_c = 1,1472 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ss}}$) y termina en la humedad final ($X_f = 0,8215 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ss}}$), con una velocidad de secado ($W_f = 0,0164 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{hm}^2$) y una humedad de equilibrio ($X^* = 0,8208 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ss}}$) obteniendo un snack de mashua

4.9.13 CURVA DE SECADO T13 (TEMPERATURA 65°C+ VELOCIDAD DEL AIRE 1,5 m/s + GROSOR DE LÁMINAS 4mm)

Para el tratamiento 13 el tiempo de deshidratado para obtener snack de mashua fue de 5:30 horas como se indica en la tabla

Tabla 54. Datos obtenidos para el tratamiento T13 (A3B1C1)

TIEMPO HORAS	PESO PESO kg	PESO SÓLIDO		HUMEDAD MEDIA		VELOCIDAD $\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{hm}^2$
		SECO kg_{SS}	$\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{SS}}$	$\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{SS}}$	$\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{SS}}$	
0,00	0,3590	0,1777	1,0198			
0,15	0,3297	0,1777	0,9367	0,9782		0,6499
0,30	0,3010	0,1777	0,8552	0,8960		0,6369
0,45	0,2777	0,1777	0,7889	0,8221		0,5184
1,00	0,2590	0,1777	0,7359	0,7624		0,4147
1,15	0,2440	0,1777	0,6933	0,7146		0,3333
1,30	0,2320	0,1777	0,6592	0,6762		0,2666
1,45	0,2243	0,1777	0,6374	0,6483		0,1703
2,00	0,2190	0,1777	0,6222	0,6298		0,1185
2,15	0,2160	0,1777	0,6137	0,6180		0,0667
2,30	0,2143	0,1777	0,6090	0,6114		0,0370
2,45	0,2127	0,1777	0,6043	0,6066		0,0370
3,00	0,2110	0,1777	0,5995	0,6019		0,0370
3,15	0,2103	0,1777	0,5976	0,5986		0,0148
3,30	0,2093	0,1777	0,5948	0,5962		0,0222
3,45	0,2087	0,1777	0,5929	0,5938		0,0148
4,00	0,2080	0,1777	0,5910	0,5919		0,0148
4,15	0,2077	0,1777	0,5900	0,5905		0,0074
4,30	0,2073	0,1777	0,5891	0,5896		0,0074
4,45	0,2070	0,1777	0,5882	0,5886		0,0074
5,00	0,2067	0,1777	0,5872	0,5877		0,0074
5,15	0,2067	0,1777	0,5872	0,5872		0,0000
5,30	0,2067	0,1777	0,5872	0,5872		0,0000

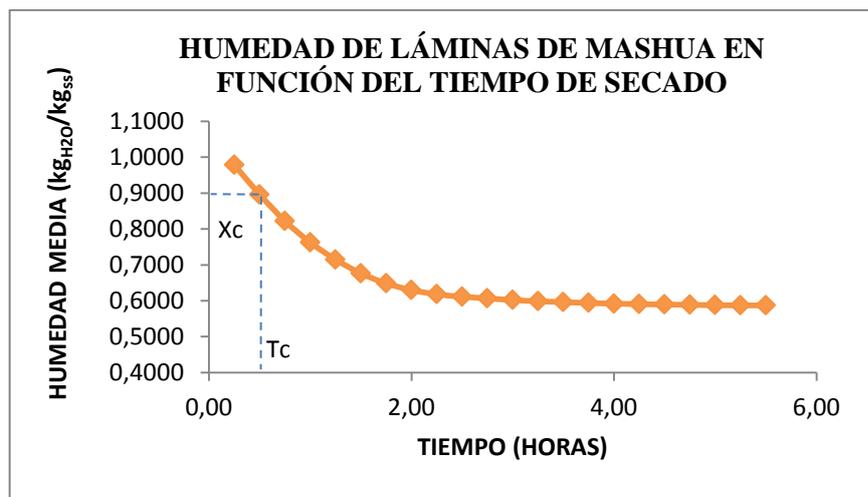


Gráfico 63. Curva de deshidratado T13 (A3B1C1)

En el gráfico 63, se puede observar que la humedad del producto disminuye conforme el tiempo de secado va transcurriendo, obteniendo de esta manera un porcentaje de humedad de 0,50 % para el T13 (A3B1C1), y con un peso constante de 207,00 g a las 5:30 horas de secado.

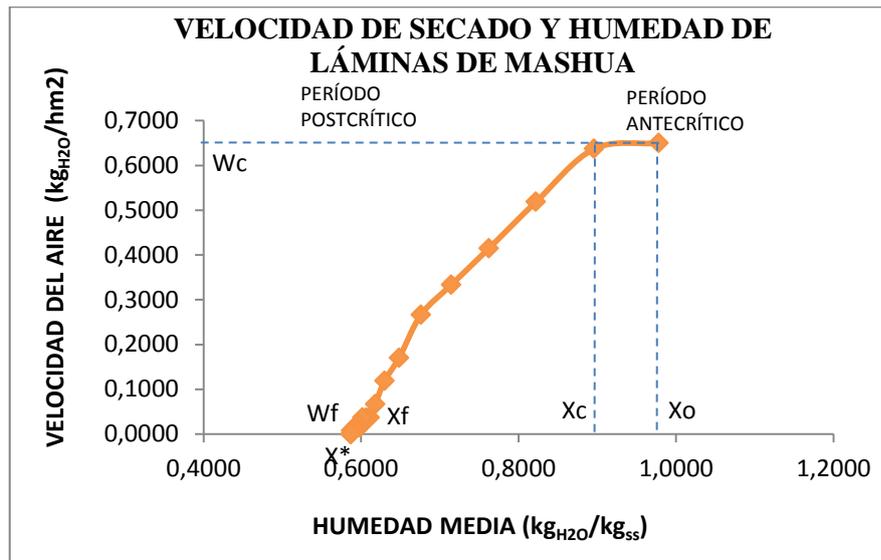


Gráfico 64, Velocidad de secado y humedad para T13 (A3B1C1)

En el gráfico 64, se puede observar la relación entre la velocidad de secado y la humedad donde inicia con un tiempo antecrítico de 0:30 horas, este período resulta mínimo debido al pre-tratamiento de osmosis que se realizó anterior al secado el cual permite que se elimine la mayor cantidad de agua libre y ligada del producto.

Este proceso de secado empieza con una humedad inicial ($X_o= 0,9782 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ss}}$) y concluye en la humedad crítica ($X_c=0,8960 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ss}}$), con una velocidad de secado ($W_c=0,6369 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{hm}^2$). Mientras que el tiempo postcrítico con una duración de 5:00 horas, empieza a partir de la humedad crítica ($X_c=0,8960 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ss}}$) y termina en la humedad final ($X_f= 0,5877 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ss}}$), con una

velocidad de secado ($W_f = 0,0074 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{hm}^2$) y una humedad de equilibrio ($X^* = 0,5872 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ss}}$) obteniendo un snack de mashua

4.9.14 CURVA DE SECADO T14 (TEMPERATURA 65°C+ VELOCIDAD DEL AIRE 1,5 m/s + GROSOR DE LÁMINAS 7mm)

Para el tratamiento 14 el tiempo de deshidratado para obtener snack de mashua fue de 5:00 horas como se indica en la tabla.

Tabla 55.Datos obtenidos para el tratamiento T14 (A3B1C2)

TIEMPO HORAS	PESO PESO kg	PESO SÓLIDO SECO kg_{ss}	HUMEDAD $\text{Kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{Kg}_{\text{ss}}$	HUMEDAD MEDIA $\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ss}}$	VELOCIDAD $\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{hm}^2$
0,00	0,3000	0,1303	1,3031		
0,15	0,2773	0,1303	1,2043	1,2537	1,1868
0,30	0,2553	0,1303	1,1087	1,1565	1,1472
0,45	0,2397	0,1303	1,0407	1,0747	0,8170
1,00	0,2280	0,1303	0,9900	1,0154	0,6084
1,15	0,2187	0,1303	0,9495	0,9698	0,4867
1,30	0,2110	0,1303	0,9162	0,9329	0,3998
1,45	0,2057	0,1303	0,8931	0,9046	0,2781
2,00	0,2017	0,1303	0,8757	0,8844	0,2086
2,15	0,1987	0,1303	0,8627	0,8692	0,1564
2,30	0,1967	0,1303	0,8540	0,8583	0,1043
2,45	0,1947	0,1303	0,8453	0,8496	0,1043
3,00	0,1927	0,1303	0,8366	0,8410	0,1043
3,15	0,1917	0,1303	0,8323	0,8344	0,0521
3,30	0,1907	0,1303	0,8279	0,8301	0,0521
3,45	0,1897	0,1303	0,8236	0,8258	0,0521
4,00	0,1890	0,1303	0,8207	0,8221	0,0348
4,15	0,1887	0,1303	0,8192	0,8200	0,0174
4,30	0,1883	0,1303	0,8178	0,8185	0,0174
4,45	0,1883	0,1303	0,8178	0,8178	0,0000
5,00	0,1883	0,1303	0,8178	0,8178	0,0000

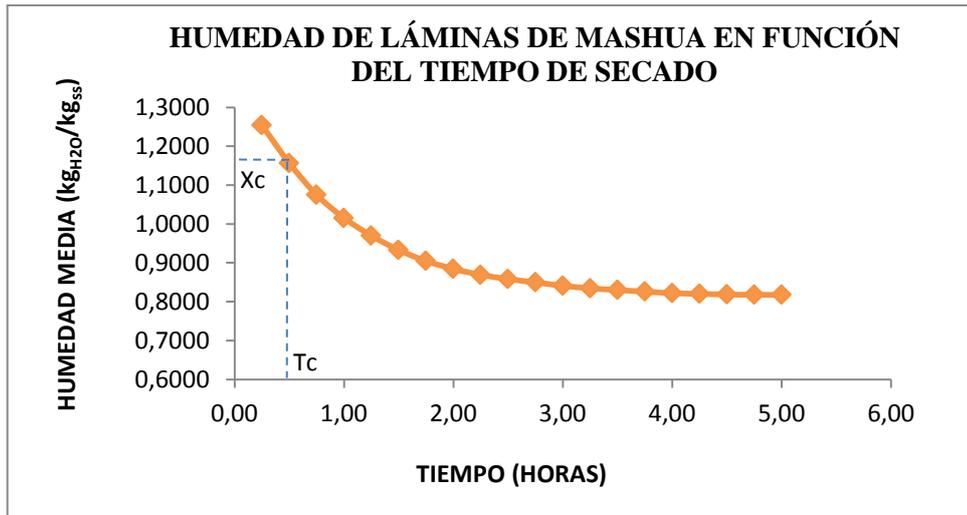


Gráfico 65. Curva de deshidratado T14 (A3B1C2)

En el gráfico 65, se puede observar que la humedad del producto disminuye conforme el tiempo de secado va transcurriendo, obteniendo de esta manera un porcentaje de humedad de 0,49 % para el T14 (A3B1C2), y con un peso constante de 204,67 g a las 5:00 horas de secado.

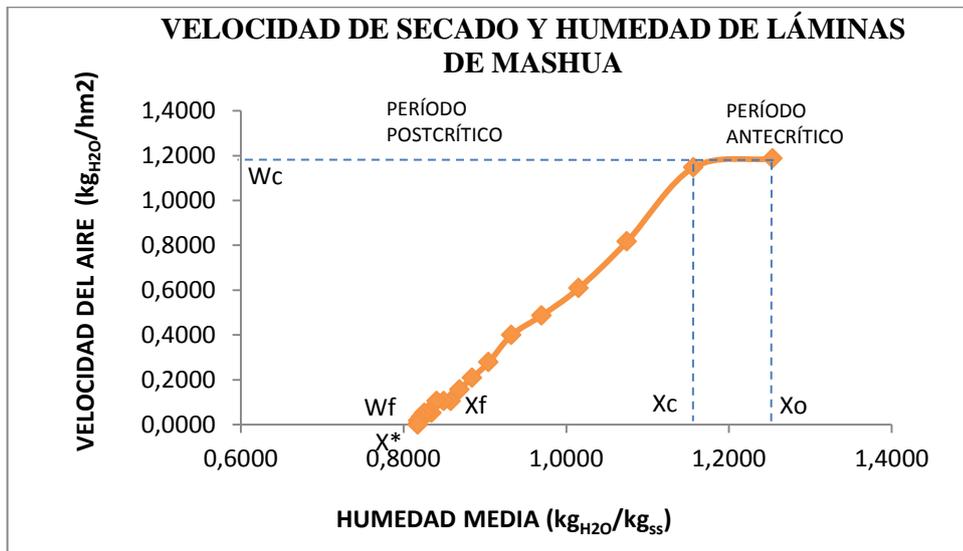


Gráfico 66. Velocidad de secado y humedad para T14 (A3B1C2)

En el gráfico 66, se puede observar la relación entre la velocidad de secado y la humedad donde inicia con un tiempo antecrítico de 0:30 horas, este período resulta mínimo debido al pre-tratamiento de osmosis que se realizó anterior al secado el cual permite que se elimine la mayor cantidad de agua libre y ligada del producto.

Este proceso de secado empieza con una con una humedad inicial ($X_o = 1,2537 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ss}}$) y concluye en la humedad crítica ($X_c = 1,1565 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ss}}$), con una velocidad de secado ($W_c = 1,1472 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{hm}^2$). Mientras que el tiempo postcrítico con una duración de 4:30 horas, empieza a partir de la humedad crítica ($X_c = 1,1565 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ss}}$) y termina en la humedad final ($X_f = 0,8185 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ss}}$), con una velocidad de secado ($W_f = 0,0174 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{hm}^2$) y una humedad de equilibrio ($X^* = 0,8178 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ss}}$) obteniendo un snack de mashua

4.9.15 CURVA DE SECADO T15 (TEMPERATURA 65°C+ VELOCIDAD DEL AIRE 2,5 m/s + GROSOR DE LÁMINAS 4mm)

Para el tratamiento 15 el tiempo de deshidratado para obtener snack de mashua fue de 5:00 horas como se indica en la tabla

Tabla 56. Datos obtenidos para el tratamiento T15 (A3B2C1)

TIEMPO HORAS	PESO PESO kg	PESO SÓLIDO		HUMEDAD MEDIA		VELOCIDAD $\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{hm}^2$
		SECO kg_{SS}	$\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{SS}}$	$\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{SS}}$	$\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{SS}}$	
0,00	0,4380	0,2169	1,0198			
0,15	0,3800	0,2169	0,8846	0,9522		1,0579
0,30	0,3237	0,2169	0,7534	0,8190		1,0259
0,45	0,2857	0,2169	0,6650	0,7092		0,6920
1,00	0,2547	0,2169	0,5928	0,6289		0,5645
1,15	0,2400	0,2169	0,5587	0,5757		0,2671
1,30	0,2290	0,2169	0,5331	0,5459		0,2003
1,45	0,2233	0,2169	0,5199	0,5265		0,1032
2,00	0,2173	0,2169	0,5059	0,5129		0,1093
2,15	0,2160	0,2169	0,5028	0,5044		0,0243
2,30	0,2143	0,2169	0,4989	0,5009		0,0304
2,45	0,2137	0,2169	0,4974	0,4981		0,0121
3,00	0,2127	0,2169	0,4950	0,4962		0,0182
3,15	0,2120	0,2169	0,4935	0,4943		0,0121
3,30	0,2113	0,2169	0,4919	0,4927		0,0121
3,45	0,2107	0,2169	0,4904	0,4912		0,0121
4,00	0,2103	0,2169	0,4896	0,4900		0,0061
4,15	0,2100	0,2169	0,4888	0,4892		0,0061
4,30	0,2097	0,2169	0,4881	0,4885		0,0061
4,45	0,2097	0,2169	0,4881	0,4881		0,0000
5,00	0,2097	0,2169	0,4881	0,4881		0,0000

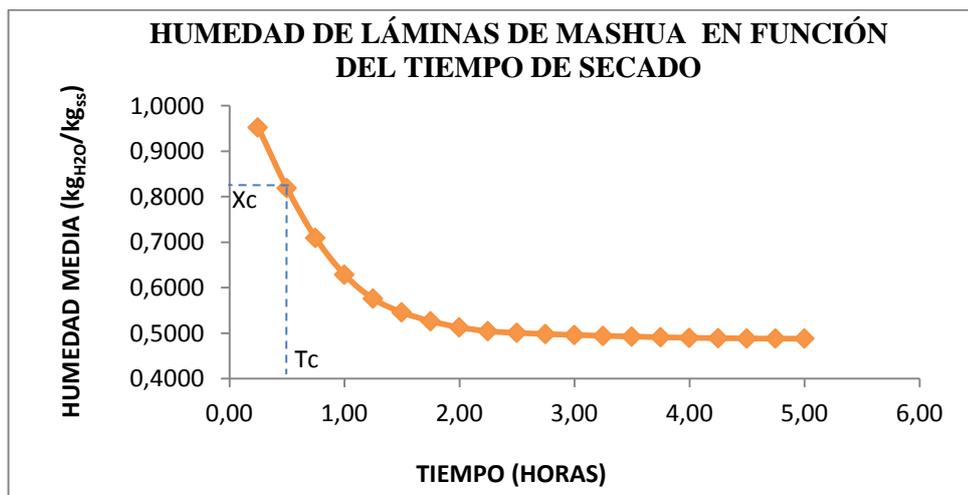


Gráfico 67. Curva de deshidratado T15 (A3B2C1)

En el gráfico 67, se puede observar que la humedad del producto disminuye conforme el tiempo de secado va transcurriendo, obteniendo de esta manera un porcentaje de humedad de 0,59% para el T15 (A3B1C2), y con un peso constante de 209,67 g a las 5:00 horas de secado.

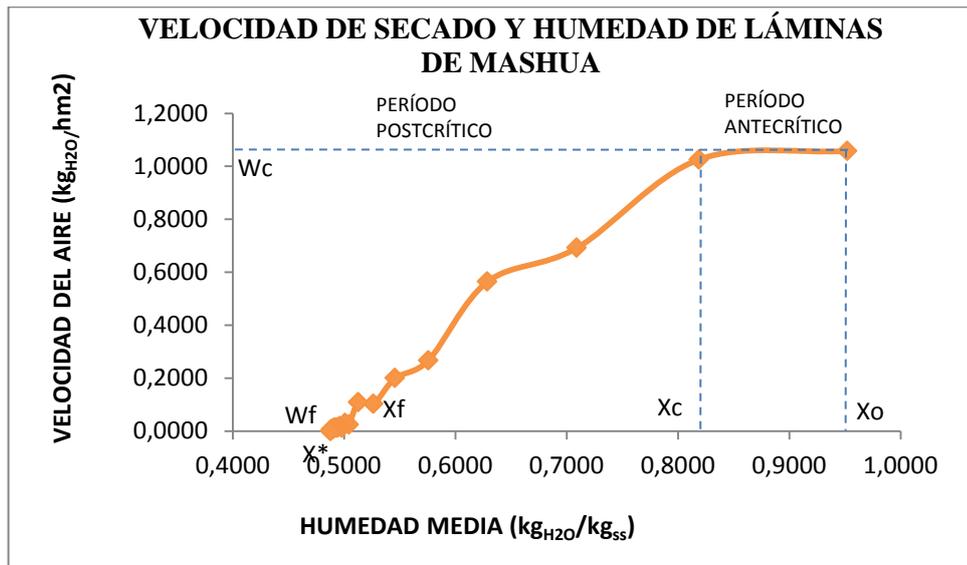


Gráfico 68. Velocidad de aire y humedad para T15 (A3B2C1)

En el gráfico 68, se puede observar la relación entre la velocidad de secado y la humedad donde inicia con un tiempo antecrítico de 0:30 horas, este período resulta mínimo debido al pre-tratamiento de osmosis que se realizó anterior al secado el cual permite que se elimine la mayor cantidad de agua libre y ligada del producto.

Este proceso de secado empieza con una humedad inicial (X_o = 0,9522 kgH₂O/kg_{ss}) y concluye en la humedad crítica (X_c = 0,8190 kgH₂O/kg_{ss}), con una velocidad de secado (W_c = 1,0259 kgH₂O/hm²). Mientras que el tiempo postcrítico con una duración de 4:30 horas, empieza a partir de la humedad crítica (X_c = 0,8190 kgH₂O/kg_{ss}) y termina en la humedad final (X_f = 0,4885 kgH₂O/kg_{ss}), con una

velocidad de secado ($W_f = 0,0061 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{hm}^2$) y una humedad de equilibrio ($X^* = 0,4881 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ss}}$) obteniendo un snack de mashua

4.9.16 CURVA DE SECADO T16 (TEMPERATURA 65°C+ VELOCIDAD DEL AIRE 2,5 m/s + GROSOR DE LÁMINAS 7mm)

Para el tratamiento 16 el tiempo de deshidratado para obtener snack de mashua fue de 5:00 horas como se indica en la tabla

Tabla 57. Datos obtenidos para el tratamiento T16 (A3B2C2)

TIEMPO HORAS	PESO kg	PESO SÓLIDO SECO kg_{ss}	HUMEDAD $\text{Kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{Kg}_{\text{ss}}$	HUMEDAD MEDIA $\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ss}}$	VELOCIDAD $\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{hm}^2$
0,00	0,2770	0,1203	1,3031		
0,15	0,2520	0,1203	1,1852	1,2442	1,4180
0,30	0,2283	0,1203	1,0739	1,1296	1,3391
0,45	0,2173	0,1203	1,0222	1,0480	0,6224
1,00	0,2063	0,1203	0,9704	0,9963	0,6224
1,15	0,2013	0,1203	0,9469	0,9587	0,2829
1,30	0,1963	0,1203	0,9234	0,9352	0,2829
1,45	0,1933	0,1203	0,9093	0,9163	0,1697
2,00	0,1900	0,1203	0,8936	0,9015	0,1886
2,15	0,1883	0,1203	0,8858	0,8897	0,0943
2,30	0,1867	0,1203	0,8779	0,8819	0,0943
2,45	0,1860	0,1203	0,8748	0,8764	0,0377
3,00	0,1850	0,1203	0,8701	0,8725	0,0566
3,15	0,1847	0,1203	0,8685	0,8693	0,0189
3,30	0,1843	0,1203	0,8670	0,8677	0,0189
3,45	0,1840	0,1203	0,8654	0,8662	0,0189
4,00	0,1837	0,1203	0,8638	0,8646	0,0189
4,15	0,1833	0,1203	0,8623	0,8630	0,0189
4,30	0,1830	0,1203	0,8607	0,8615	0,0189
4,45	0,1830	0,1203	0,8607	0,8607	0,0000
5,00	0,1830	0,1203	0,8607	0,8607	0,0000

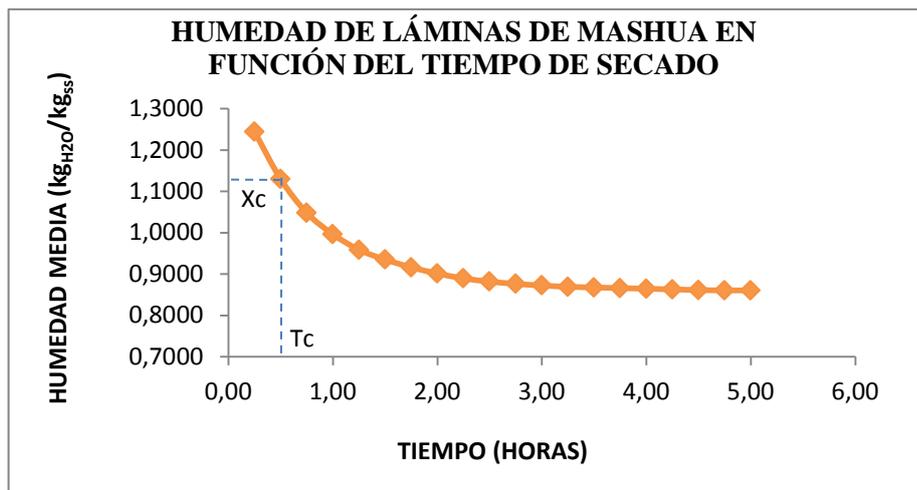


Gráfico 69. Curva de deshidratación T16 (A3B2C2)

En el gráfico 69, se puede observar que la humedad del producto disminuye conforme el tiempo de secado va transcurriendo, obteniendo de esta manera un porcentaje de humedad de 1,66% para el T16 (A3B2C2), y con un peso constante de 183,00 g a las 5:00 horas de secado.

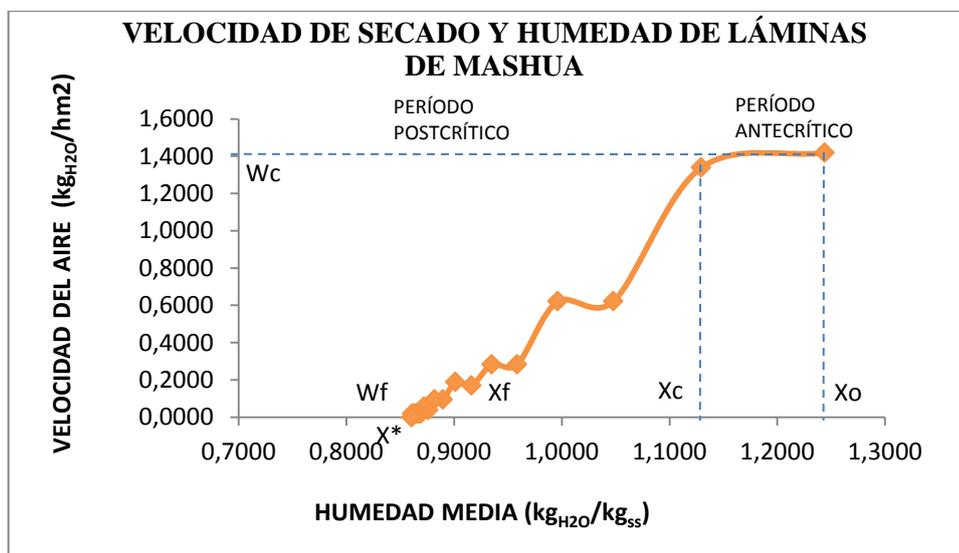


Gráfico 70. Velocidad de secado y humedad para T16 (A3B2C2)

En el gráfico 70, se puede observar la relación entre la velocidad de secado y la velocidad donde inicia con un tiempo antecrítico de 0:30 horas, este período resulta mínimo debido al pre-tratamiento de osmosis que se realizó anterior al secado el cual permite que se elimine la mayor cantidad de agua libre y ligada del producto.

Este proceso de secado empieza con una con una humedad inicial ($X_o= 1,2442 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ss}}$) y concluye en la humedad crítica ($X_c=1,1296 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ss}}$), con una velocidad de secado ($W_c=1,3391 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{hm}^2$). Mientras que el tiempo postcrítico con una duración de 4:30 horas, empieza a partir de la humedad crítica ($X_c=1,1296 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ss}}$) y termina en la humedad final ($X_f= 0,8615 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ss}}$), con una velocidad de secado ($W_f= 0,0189 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{hm}^2$) y una humedad de equilibrio ($X^*= 0,8607 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ss}}$) obteniendo un snack de mashua

4.9.17 CURVA DE SECADO T17 (TEMPERATURA 65°C+ VELOCIDAD DEL AIRE 3,5 m/s + GROSOR DE LÁMINAS 4mm)

Para el tratamiento 17 el tiempo de deshidratado para obtener snack de mashua fue de 4:30 horas como se indica en la tabla

Tabla 58. Datos obtenidos para el tratamiento T17 (A3B3C1)

TIEMPO HORAS	PESO PESO kg	PESO SÓLIDO		HUMEDAD MEDIA		VELOCIDAD $\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{hm}^2$
		SECO kg_{SS}	$\text{Kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{Kg}_{\text{SS}}$	$\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{SS}}$	$\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{SS}}$	
0,00	0,3030	0,1500	1,0198			
0,15	0,2680	0,1500	0,9021	0,9609		0,9208
0,30	0,2350	0,1500	0,7910	0,8465		0,8689
0,45	0,2190	0,1500	0,7372	0,7641		0,4213
1,00	0,2027	0,1500	0,6822	0,7097		0,4301
1,15	0,1977	0,1500	0,6653	0,6738		0,1317
1,30	0,1927	0,1500	0,6485	0,6569		0,1317
1,45	0,1907	0,1500	0,6418	0,6452		0,0527
2,00	0,1883	0,1500	0,6339	0,6379		0,0614
2,15	0,1873	0,1500	0,6306	0,6322		0,0263
2,30	0,1863	0,1500	0,6272	0,6289		0,0263
2,45	0,1857	0,1500	0,6250	0,6261		0,0176
3,00	0,1850	0,1500	0,6227	0,6238		0,0176
3,15	0,1840	0,1500	0,6193	0,6210		0,0263
3,30	0,1837	0,1500	0,6182	0,6188		0,0088
3,45	0,1833	0,1500	0,6171	0,6177		0,0088
4,00	0,1830	0,1500	0,6160	0,6165		0,0088
4,15	0,1830	0,1500	0,6160	0,6160		0,0000
4,30	0,1830	0,1500	0,6160	0,6160		0,0000

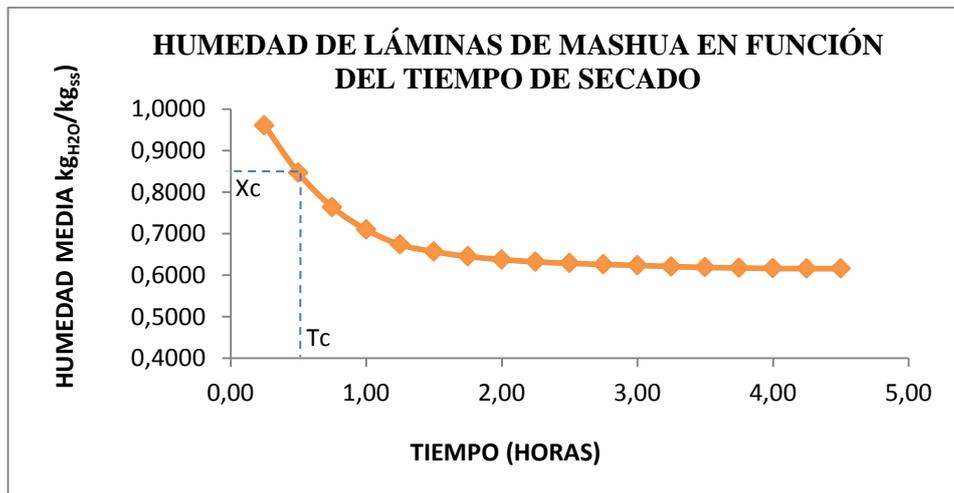


Gráfico 71. Curva de deshidratado T17 (A3B3C1)

En el gráfico 71, se puede observar que la humedad del producto disminuye conforme el tiempo de secado va transcurriendo, obteniendo de esta manera un porcentaje de humedad de 0,61% para el T17 (A3B3C1), y con un peso constante de 206,67 g a las 4:30 horas de secado.

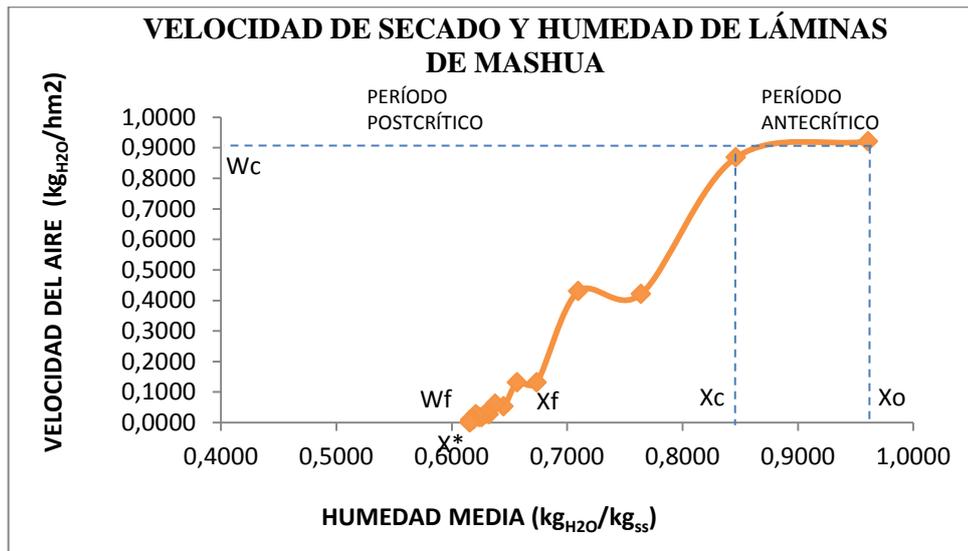


Gráfico 72. Velocidad de secado y humedad para T17 (A3B3C1)

En el gráfico 72, se puede observar la relación entre la velocidad de secado y humedad donde inicia con un tiempo antecrítico de 0:30 horas, este período resulta mínimo debido al pre-tratamiento de osmosis que se realizó anterior al secado el cual permite que se elimine la mayor cantidad de agua libre y ligada del producto.

Este proceso de secado empieza con una con una humedad inicial ($X_o = 0,9609$ kg_{H2O}/kg_{ss}) y concluye en la humedad crítica ($X_c = 0,8465$ kg_{H2O}/kg_{ss}), con una velocidad de secado ($W_c = 0,8689$ kg_{H2O}/hm²). Mientras que el tiempo postcrítico con una duración de 4:00 horas, empieza a partir de la humedad crítica ($X_c = 0,8465$ kg_{H2O}/kg_{ss}) y termina en la humedad final ($X_f = 0,6165$ kg_{H2O}/kg_{ss})

con una velocidad de secado ($W_f = 0,0088 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{hm}^2$) y una humedad de equilibrio ($X^* = 0,6160 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ss}}$) obteniendo un snack de mashua

4.9.18 CURVA DE SECADO T18 (TEMPERATURA 65°C+ VELOCIDAD DEL AIRE 3,5 m/s + GROSOR DE LÁMINAS 7mm)

Para el tratamiento 18 el tiempo de deshidratado para obtener snack de mashua fue de 5:00 horas como se indica en la tabla

Tabla 59. Datos obtenidos para el tratamiento T18 (A3B3C2)

TIEMPO HORAS	PESO kg	PESO SÓLIDO		HUMEDAD	
		SECO kg_{ss}	HUMEDAD $\text{Kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{Kg}_{\text{ss}}$	MEDIA $\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ss}}$	VELOCIDAD $\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{hm}^2$
0,00	0,2550	0,1107	1,3031		
0,15	0,2330	0,1107	1,1909	1,2470	1,3464
0,30	0,2127	0,1107	1,0870	1,1389	1,2471
0,45	0,2033	0,1107	1,0393	1,0631	0,5724
1,00	0,1940	0,1107	0,9916	1,0154	0,5724
1,15	0,1890	0,1107	0,9660	0,9788	0,3067
1,30	0,1840	0,1107	0,9404	0,9532	0,3067
1,45	0,1810	0,1107	0,9251	0,9328	0,1840
2,00	0,1780	0,1107	0,9098	0,9174	0,1840
2,15	0,1763	0,1107	0,9013	0,9055	0,1022
2,30	0,1743	0,1107	0,8910	0,8961	0,1227
2,45	0,1733	0,1107	0,8859	0,8885	0,0613
3,00	0,1723	0,1107	0,8808	0,8834	0,0613
3,15	0,1713	0,1107	0,8757	0,8783	0,0613
3,30	0,1700	0,1107	0,8689	0,8723	0,0818
3,45	0,1693	0,1107	0,8655	0,8672	0,0409
4,00	0,1687	0,1107	0,8621	0,8638	0,0409
4,15	0,1683	0,1107	0,8604	0,8612	0,0204
4,30	0,1680	0,1107	0,8587	0,8595	0,0204
4,45	0,1680	0,1107	0,8587	0,8587	0,0000
5,00	0,1680	0,1107	0,8587	0,8587	0,0000

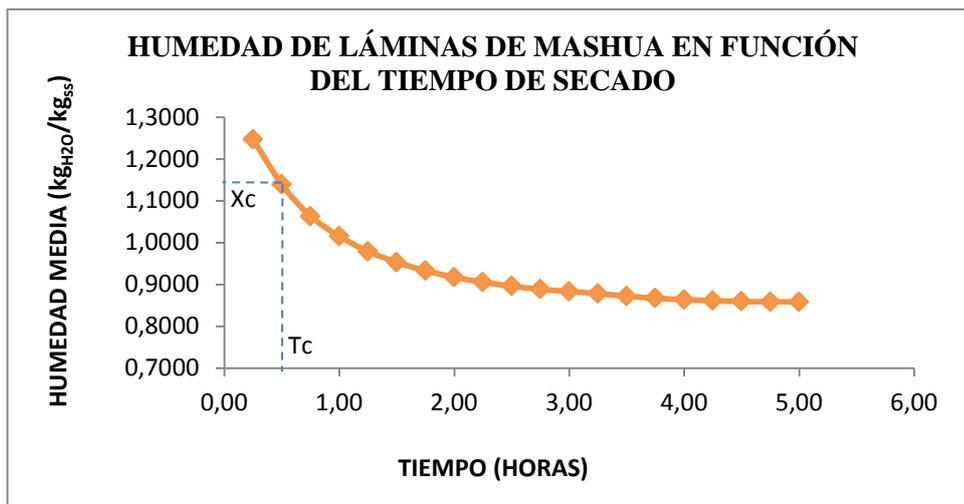


Gráfico 73. Curva de deshidratado T18 (A3B3C2)

En el gráfico 73, se puede observar que la humedad del producto disminuye conforme el tiempo de secado va transcurriendo, obteniendo de esta manera un porcentaje de humedad de 0,41 % para el T18 (A3B3C2), y con un peso constante de 211,33 g a las 5:00 horas de secado.

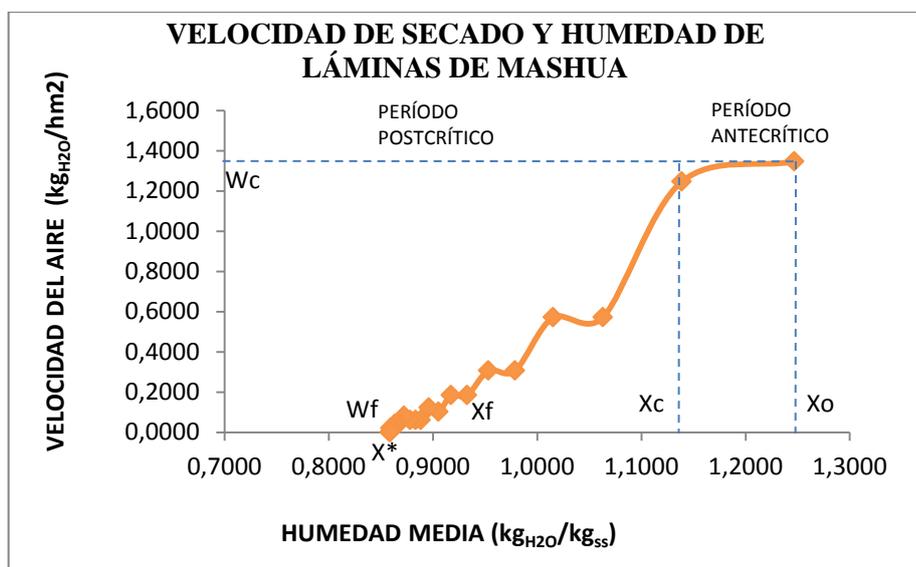


Gráfico 74. Velocidad de secado y humedad para T18 (A3B3C2)

En el gráfico 74, se puede observar la relación entre la velocidad de secado y humedad donde inicia con un tiempo antecrítico de 0:30 horas, este período resulta mínimo debido al pre-tratamiento de osmosis que se realizó anterior al secado el cual permite que se elimine la mayor cantidad de agua libre y ligada del producto.

Este proceso de secado empieza con una con una humedad inicial ($X_o= 1,2470 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ss}}$) y concluye en la humedad crítica ($X_c=1,1389 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ss}}$), con una velocidad de secado ($W_c=1,2471 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{hm}^2$). Mientras que el tiempo postcrítico con una duración de 4:30 horas, empieza a partir de la humedad crítica ($X_c=1,1389 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ss}}$) y termina en la humedad final ($X_f= 0,8595 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ss}}$), con una velocidad de secado ($W_f= 0,0204 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{hm}^2$) y una humedad de equilibrio ($X^*= 0,8587 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ss}}$) obteniendo un snack de mashua

Para mayor comprensión del comportamiento de las curvas de secado se construyó el siguiente gráfico tomando en cuenta la temperatura de (55°C, 60°C y 65°C), velocidad del aire (1.5 m/s, 2.5m/s y 3.5m/s) y un grosor de láminas de (7 mm)

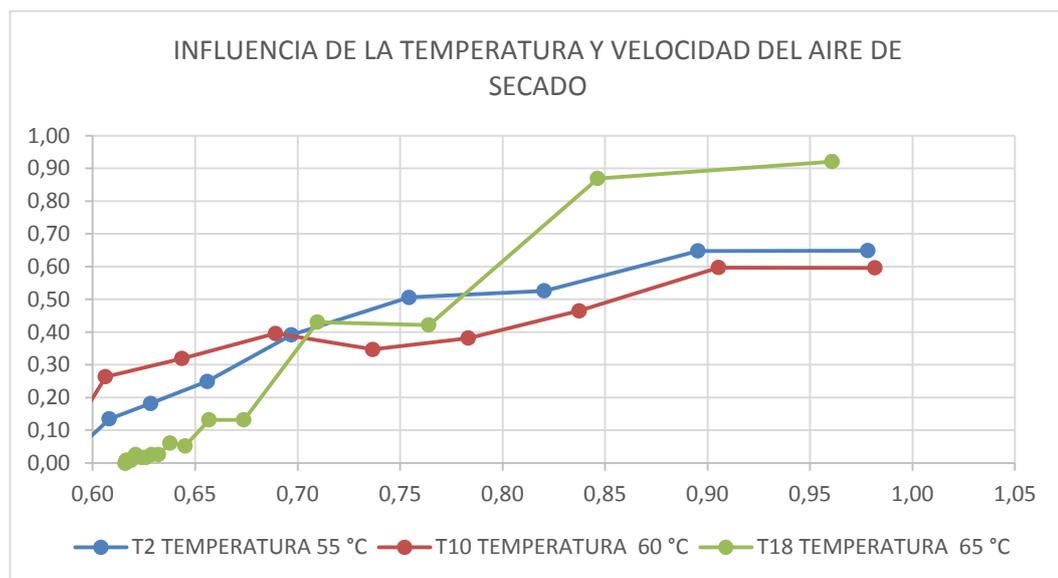


Gráfico 75. Influencia de la temperatura y velocidad de secado

Una vez realizado los dos procesos como es la deshidratación osmótica y secado con aire caliente para la obtención de snack de mashua, podemos observar al momento de realizar las curvas de secado que como consecuencia de la osmosis, existe un mínimo período antecrítico.

Es decir que al estar el producto sumergido en el jarabe el agua libre es la que principalmente se elimina al estar disponible para cualquier tipo de reacción que la que se encuentra ligada en el interior del alimento que es menos disponible a reacciones y no se elimina fácilmente. Por lo tanto se necesita del secado para complementar el proceso ya que al eliminar la totalidad del agua libre y parte de agua ligada de un alimento, impide toda actividad microbiana.

Para todos los tratamientos en las curvas de velocidad de secado se presenta una ausencia de los periodos de velocidad constante y un comportamiento muy variable en la zona de velocidad decreciente. Una primera fase donde el descenso de la humedad es parcialmente proporcional a la disminución de la velocidad de secado, observándose un endurecimiento superficial del sólido provocado por la desecación de la cara superior del producto.

La segunda fase donde la pérdida de humedad es mucho más lenta que la de la fase anterior, lo que indica que el agua tiene gran dificultad para migrar hacia la superficie. Esta alta variabilidad implicó aumentos y disminuciones abruptas de la velocidad de secado, atribuibles a la escasa transferencia de calor y masa en algunos lapsos durante el secado, debido a la forma aplanada de las hojuelas. También se puede decir que la ausencia del periodo constante se debe a la aplicación de los pre-tratamientos, en donde el producto tuvo una pérdida de humedad considerable, presentando estos dos periodos ausentes en las gráficas de velocidad de secado. Estudios similares mostraron este comportamiento cuando se evaluó el efecto de las condiciones de secado sobre la cinética de deshidratación(García & Hernández, 2013)

4.10 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD FÍSICO QUÍMICA Y SENSORIAL DE SNACK DE MASHUA

Tabla 60. Variables independientes y dependientes el proceso de secado

TRA.	Variables Independientes			Variables Dependientes			
	A	B	C	Sólidos solubles Briz	Humedad kg _{H2O} /kg _{ss}	Actividad de agua a _w	Peso g
	Temperatura °C	Velocidad de aire de secado m/s	Grosor laminas mm				
T1	55	1,5	4	87,05	0,58	0,55	218,67
T2		1,5	7	62,63	0,69	0,57	200,33
T3		2,5	4	73,78	0,62	0,56	204,33
T4		2,5	7	61,87	0,80	0,62	191,67
T5		3,5	4	70,43	1,00	0,61	188,33
T6		3,5	7	66,67	1,69	0,66	172,00
T7	60	1,5	4	82,55	1,11	0,59	189,00
T8		1,5	7	65,19	0,96	0,60	189,00
T9		2,5	4	79,53	1,50	0,65	168,00
T10		2,5	7	64,21	0,69	0,57	202,33
T11		3,5	4	77,61	0,72	0,57	202,33
T12		3,5	7	62,80	1,58	0,65	183,00
T13	65	1,5	4	85,33	0,50	0,54	207,00
T14		1,5	7	67,13	0,49	0,54	204,67
T15		2,5	4	83,96	0,59	0,55	209,67
T16		2,5	7	60,53	1,66	0,66	183,00
T17		3,5	4	69,74	0,61	0,56	206,67
T18		3,5	7	67,58	0,41	0,52	211,33

T1, T13 y T18 son los tratamientos que presentan mejores resultados en las diferentes variables evaluadas. Ya que cumplen con los parámetros establecidos por la norma INEN 2996:2015, por lo que se acepta la hipótesis alternativa donde los tratamientos se comportan de diferente manera.

4.11 ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE LOS TRES MEJORES TRATAMIENTOS EN EL PRODUCTO TERMINADO

En esta tabla se presentan los valores obtenidos del producto terminado para los tres mejores tratamientos.

Tabla 61. Análisis físico químico del producto terminado

Parámetro Analizado	Unidad	Resultados		
		1	13	18
Humedad	%	0,58	0,50	0,41
Cenizas	%	0,37	0,40	0,46
Proteína Total	%	10,50	10,20	8,54
Extracto Etéreo	%	5,40	5,34	5,39
Fibra Bruta	%	5,59	5,51	5,57
Almidón	%	8,00	3,00	2,00
Azúcares Reductores Libres	%	32,50	28,15	22,70
Carbohidratos Totales	%	83,20	82,43	85,20
Energía	Kcal/100g	423,40	418,58	423,47
Ácido Ascórbico	mg/100g	526,70	748,50	840,00
pH	-----	6,54	6,48	6,70
Sólidos solubles	°Brix	87,05	85,33	67,58

Los resultados de la tabla 61, muestran que luego del proceso de deshidratación osmótica y secado con aire caliente, se logra una mayor concentración de nutrientes al comparar con la tabla 15 es así que T1, T13 y T18 son los 3 mejores tratamientos, se determinó a T1 como el mejor ya que contiene un mayor rendimiento y presento características sensoriales aceptables para los degustadores Mientras, que el T13 y T18 se determinaron por contener menor cantidad de agua, menor actividad de agua y mayor cantidad en sólidos solubles, lo que nos permite alargar la vida útil del producto.

4.12 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE LOS TRES MEJORES TRATAMIENTOS EN EL PRODUCTO TERMINADO

Tabla 62. Análisis microbiológico del producto terminado

Parámetro Analizado	Unidad	Resultados		
		1	13	18
Recuento Aerobios Totales	UFC/g	200	140	150
Recuento de Mohos	UFC/g	160	310	300
Recuento de Levaduras	UFC/g	80	200	240

Realizados los análisis microbiológicos (Recuento Aerobios Totales, Mohos y Levaduras), se observa que los tratamientos se encuentran dentro de la Norma INEN 2996 y 1529: determinándose que el producto obtenido es inocuo es decir apto para el consumo humano.

4.13 ANÁLISIS SENSORIAL DEL PRODUCTO TERMINADO

El análisis sensorial del producto terminado, se efectuó con el fin de evaluar las características organolépticas como: color, aroma, sabor, textura y aceptabilidad; y así determinar los tres mejores tratamientos según el panel degustador, el mismo que estuvo conformado por doce personas.

De allí se puede representar gráficamente los resultados de los análisis aplicados:

4.13.1 COLOR

El parámetro de calidad que contribuye a la primera impresión del producto alimentario es su apariencia visual, determinada por el color y la forma, la aceptación o rechazo del producto por parte del consumidor depende en gran parte de esta cualidad.

Los rangos tabulados luego de la evaluación sensorial del producto terminado, se encuentran en el siguiente gráfico.

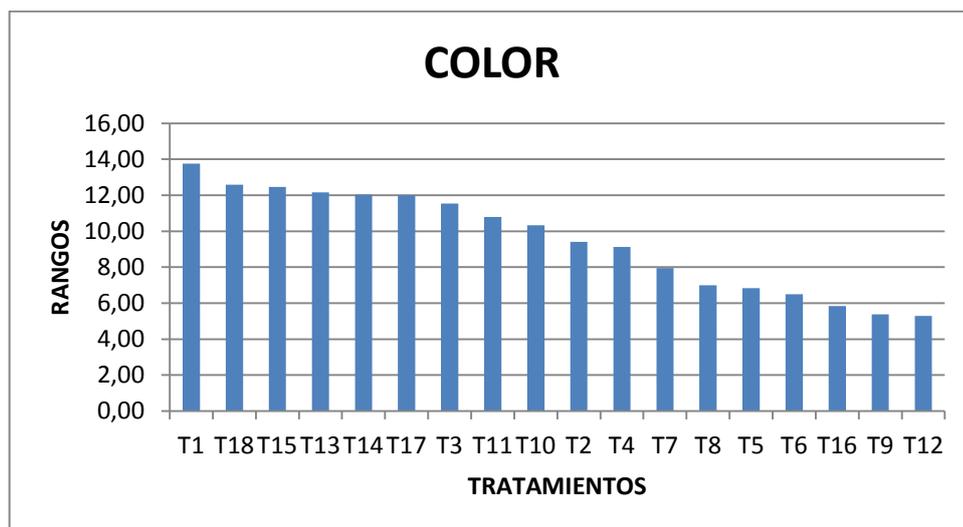


Gráfico 76. Caracterización del color en el producto terminado

Al observar el gráfico 76, se observa que **T1** ($55^{\circ}\text{C} + 1,5 \text{ m/s} + 4 \text{ mm}$), es el tratamiento que más aceptabilidad en color tuvo por parte del panel degustador; seguido de **T18** ($65^{\circ}\text{C} + 3,5 \text{ m/s} + 7 \text{ mm}$) y **T15** ($65^{\circ}\text{C} + 2,5 \text{ m/s} + 4 \text{ mm}$); definiéndose así los tres mejores tratamientos de esta variable evaluada. Es decir, los que presentaron un mayor puntaje fueron aquellos en los que el producto presentó un color característico al de la mashua fresca es decir un color 100% amarillo, estas escalas se puede observar en el anexo 1.

El efecto de los tratamientos sobre el color de los snacks de mashuaes observable a través del color amarillo característico de la mashua. Por tanto al ser sometidos a la deshidratación osmótica adquieren un brillo en el color que tiende a ser más o menos amarillo es decir, el cambio de color se modifica mínimamente.

Sin embargo, esto puede deberse a la formación de corteza de jarabe y también a la reacción de caramelización de la sacarosa que queda en la superficie después de la deshidratación osmótica mientras que al ser secados por aire caliente son más opacas. Lo cual indica que los pre-tratamientos influyeron en los cambios de color del snack de mashua (Zuluaga & Cortes , 2010)

Además, según (García & Alvis, 2015) los cambios en los parámetros de color se ve afectado por muchos factores tales como: el índice de madurez, las condiciones de proceso, la iluminación, el observador, la naturaleza y características físicas de la superficie (tamaño de la muestra, su textura y brillo). Es decir, el color es un fenómeno de interpretación subjetivo dependiente del observador

4.13.2 AROMA

Es la sensación resultante de la recepción de un estímulo por medio del sistema sensorial olfativo, el termino indica tanto la impresión que se produce en el olfato como lo que es capaz de producirlo.

Los rangos tabulados luego de la evaluación sensorial del producto terminado, se encuentran en el gráfico.

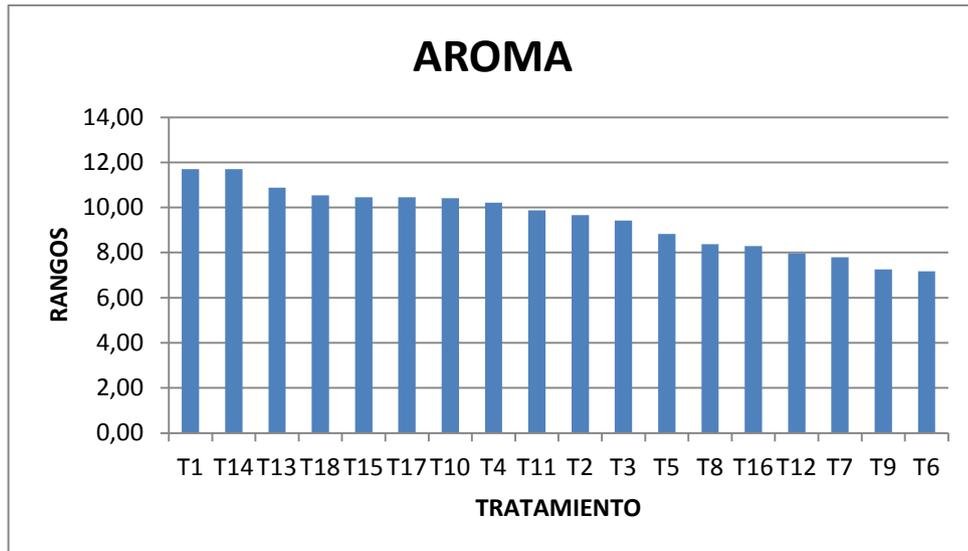


Gráfico 77. Caracterización del aroma en el producto terminado

Al observar el gráfico 77, se observa que **T1** (55°C + 1,5 m/s + 4 mm), es el tratamiento que más aceptabilidad en olor tuvo por parte del panel degustador; seguido de **T14** (65°C + 1,5 m/s + 7 mm) y **T13** (65°C + 1,5 m/s + 4 mm); definiéndose así los tres mejores tratamientos de esta variable evaluada. Es decir, los que presentaron un mayor puntaje fueron aquellos en los que el producto presentó un aroma característico del tubérculo muy agradable, estas escalas se puede observar en el anexo 1.

Según (Martínez, 2011), una de las ventajas que tiene el proceso de deshidratación osmótica es el de evitar las pérdidas de aroma propios del alimento, el fenómeno de retención de aroma podría atribuirse a la adsorción de sustancias volátiles sobre la matriz del alimento, y a las interacciones físico-químicas entre las sustancias volátiles y otras sustancias que se hallan en el interior del alimento.

Sin embargo, la consecuente reducción en los tiempos de proceso de secado permite obtener productos con mejores atributos de calidad, tales como el aroma y la capacidad de rehidratación o el sabor, textura y valor nutricional. Desde este

punto de vista, un proceso de secado que combine ambos métodos puede aumentar las ventajas que proporciona cada uno de ellos. (Contreras, 2008)

4.13.3 SABOR

Es la sensación que producen los alimentos u otras sustancias en el gusto. Dicha impresión está determinada en gran parte por el olfato, más allá de la respuesta del paladar y la lengua.

Los rangos tabulados luego de la evaluación sensorial del producto terminado, se encuentran en el gráfico.

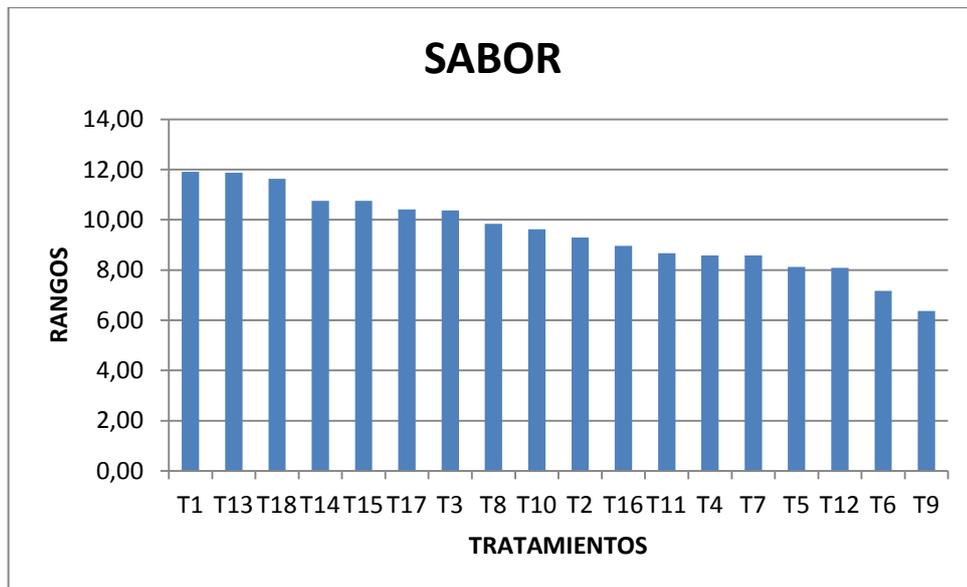


Gráfico 78. Caracterización del sabor en el producto terminado

Al observar el gráfico 78, se observa que **T1** ($55^{\circ}\text{C} + 1,5 \text{ m/s} + 4 \text{ mm}$), es el tratamiento que más aceptabilidad en sabor tuvo por parte del panel degustador; seguido de **T13** ($65^{\circ}\text{C} + 1,5 \text{ m/s} + 4 \text{ mm}$) y **T18** ($65^{\circ}\text{C} + 3,5 \text{ m/s} + 7 \text{ mm}$). Definiéndose de esta manera los tres mejores tratamientos. Es decir, los que presentaron un

mayor puntaje fueron aquellos en los que el producto presentó un sabor muy agradable característico del tubérculo además, tomando en cuenta que se realizó un deshidratado osmótico por lo que el producto presenta sabor dulce al haber estado sumergido en jarabe, estas escalas se puede observar en el anexo 1.

Los alimentos secos obtenidos utilizando estas dos técnicas combinadas deshidratación osmótica y secado con aire caliente normalmente presentan mejor sabor debido, a que el pre tratamiento osmótico contribuye a la retención de sabor y les hace más apetecibles, tiene mejor presentación, queda endulzada por lo que puede consumirse como golosina (Martínez, 2011).

Además, la utilización de soluciones muy concentradas favorece la disminución de humedad, lo que hace que se reduzca la pérdida de componentes solubles, probablemente por efecto barrera del azúcar.

4.13.4 TEXTURA

Es la manifestación sensorial y funcional de los atributos mecánicos, geométricos y superficiales de un producto, perceptible por medio de receptores mecánicos, táctiles y si es apropiado visual y auditivo. La textura de los alimentos es esencialmente una experiencia humana que surge de nuestra interacción con el alimento, su estructura y el comportamiento cuando es manipulado o comido.

Los rangos tabulados luego de la evaluación sensorial del producto terminado, se encuentra en el gráfico

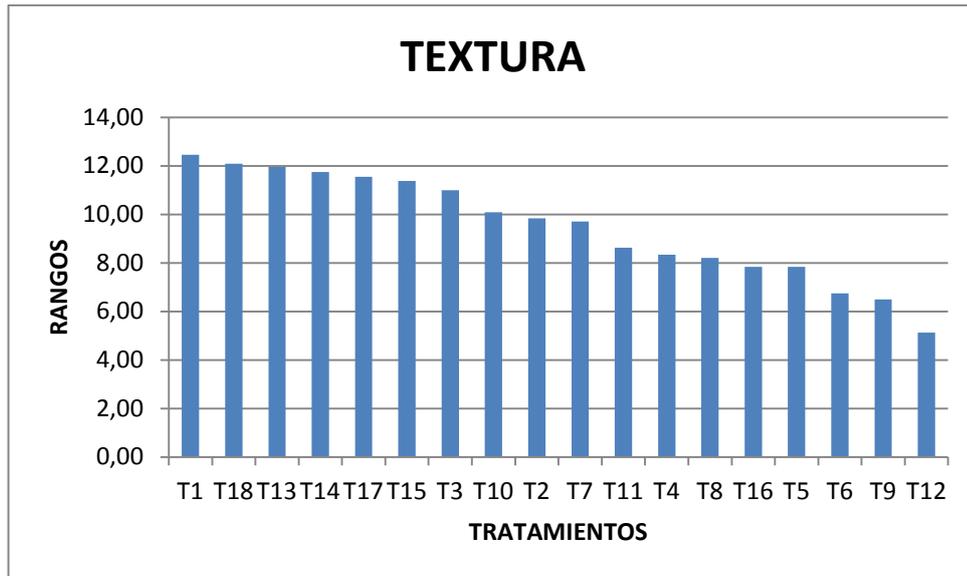


Gráfico 79.Caracterización de la Textura del producto terminado

En el gráfico 79 se observa que **T1** (55°C + 1,5 m/s + 4 mm), es el tratamiento que más aceptabilidad en textura tuvo por parte del panel degustador; seguido de **T18** (65°C + 3,5 m/s + 7 mm) y **T13** (65°C + 1,5 m/s + 4 mm); definiéndose así los tres mejores tratamientos de esta variable evaluada. Es decir, los que presentaron un mayor puntaje fueron aquellos en los que el producto presentó una textura dura considerando el contenido de fibra y la humedad, estas escalas se puede observar en el anexo 1.

En el caso de la textura para ambos métodos aumenta como consecuencia de la importante salida de agua que sufre el producto durante todo el proceso de deshidratación. Es decir, en el caso del proceso de deshidratación osmótica la fase de osmosis facilita la entrada de soluto desde la solución hacia el alimento y viceversa es por ello que en primera instancia se refleja una ligera disminución de la dureza debido a que se produce un breve periodo de ablandamiento por la inmersión de la fruta en el jarabe.

Mientras que en el proceso de secado por aire caliente la dureza/textura experimentan un aumento como consecuencia de la pérdida de agua del alimento por evaporación, el aumento del contenido de masa seca y el contenido de fibra del tubérculo lo que provoca a su vez, un endurecimiento de la corteza superficial de la misma debido a la cristalización de los azúcares en la superficie del producto que forma parte de la solución osmótica utilizada como jarabe y esto puede apreciarse durante el proceso de masticación del mismo.(Garcia & Hernández, 2013)

4.13.5 ACEPTABILIDAD

Son el conjunto de características o condiciones que hacen que un producto tenga aceptabilidad o rechazo, ya que está relacionada con la percepción subjetiva del consumidor, es decir aspectos ligados a la preferencia del color, sabor, textura consistencia y presentación del producto.

Los rangos tabulados luego de la evaluación sensorial del producto terminado, se encuentran en el gráfico



Gráfico 80. Aceptabilidad del producto terminado

En el gráfico 80, se observa que **T1** (55°C + 1,5 m/s + 4 mm), es el tratamiento que más aceptabilidad tuvo por parte del panel degustador; seguido de **T14** (65°C + 1,5 m/s + 7 mm) y **T13** (65°C + 1,5 m/s + 4 mm); definiéndose así los tres mejores tratamientos de esta variable evaluada.

Para determinar si existe o no significancia estadística en las variables de la evaluación sensorial anteriormente descritas, se realizó el análisis de Friedman al 5 %.

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

Donde

b = Número de panelistas

R = Rangos

t = Tratamientos

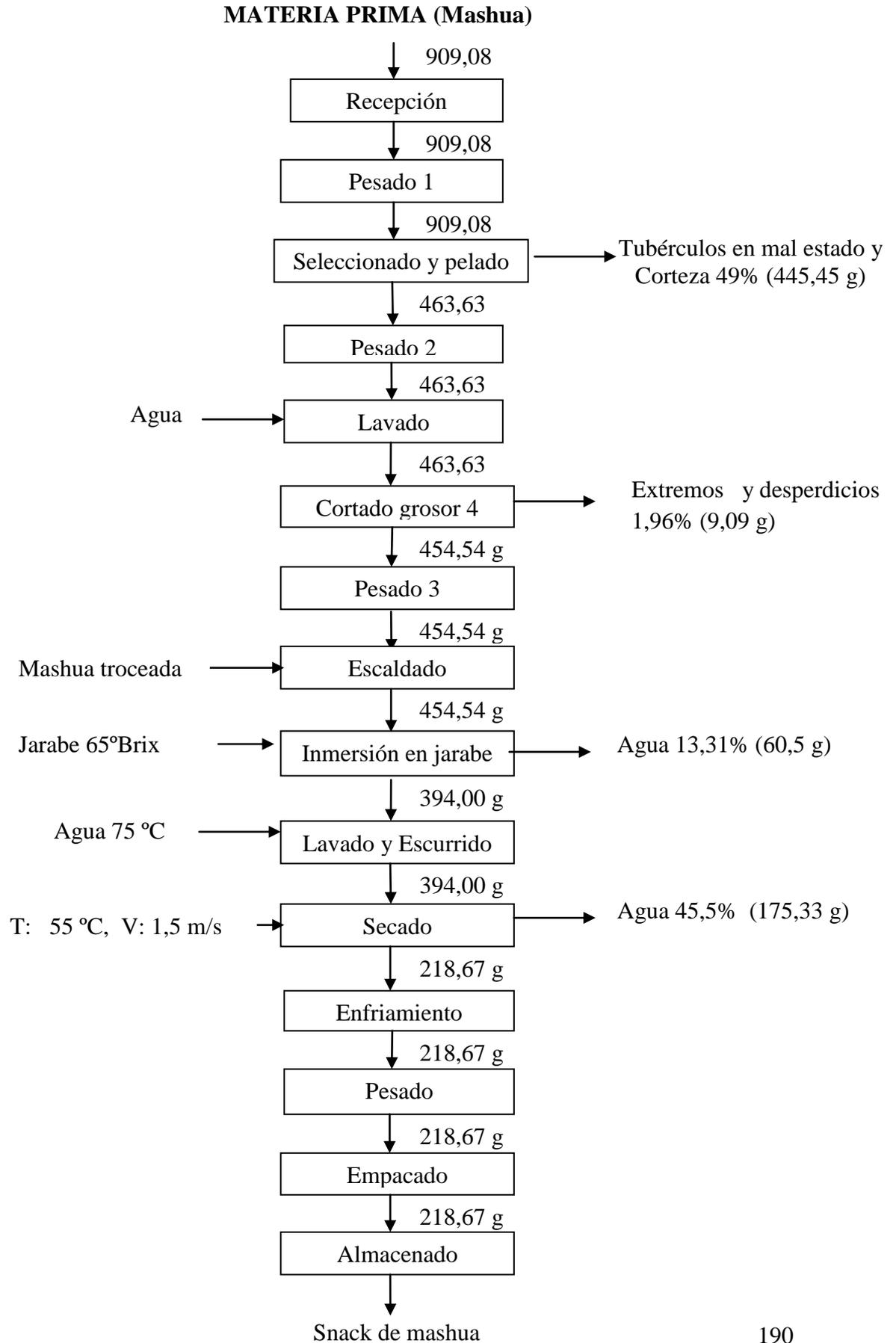
Tabla 63. Análisis de Friedman para las variables de la evaluación sensorial

VARIABLE	VALOR CALCULADO X ²	VALOR TABULAR X ² (5%)	SIGN.	MEJORES TRATAMIENTOS
COLOR	63,71	27,6	*	T1 – T18 – T15
AROMA	60,50	27,6	*	T1 – T14 – T13
SABOR	55,37	27,6	*	T1 – T13 – T18
TEXTURA	53,74	27,6	*	T1 – T18 – T13
ACEPTABILIDAD	52,67	27,6	*	T1 – T14 – T13
				MEJORES TRATAMIENTOS
				5T1-4T13-3T18

Como se puede apreciar en el análisis de Friedman para todas las variables de la evaluación sensorial tuvieron significación estadística; es decir que para el panel degustador estas variables fueron diferentes.

Según Argentinos(2010). La deshidratación osmótica y el secado con aire caliente casi no afectan al color, sabor, aroma y textura del alimento es decir, su cambio es mínimo además con un adecuado manejo se evita la pérdida de la mayor parte de los nutrientes, aumenta significativamente su vida comercial y no posee un gran requerimiento energético.

4.14 BALANCE DE MATERIALES



Rendimiento

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{peso final}}{\text{peso inicial}} \times 100$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{218,67 \text{ g}}{909,08 \text{ g}} \times 100$$

$$\text{Rendimiento} = 24,05\%$$

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

Una vez que se ha culminado con todas las etapas y fases de la presente investigación experimental, se ha llegado a las siguientes conclusiones:

- Realizado el análisis físico químico de la mashua, cosechada entre los 5 y 10 días (revisar base seca o húmeda) se observa que tiene alto contenido de ácido ascórbico 75,60 mg/100g; en comparación con otros tubérculos como la oca (38,40 mg/100g) y melloco (11,50 mg/100g); además su valor calórico es 56,49 kcal/100g.
- El comportamiento de la pérdida de humedad en la osmosis inversa de las rodajas de mashua, es inversamente proporcional al tiempo de inmersión en jarabe de 65° Brix. Presentando mayores pérdidas de este parámetro en la de 4 mm de espesor en comparación a la de 7 mm.
- Al evaluar el proceso de la deshidratación osmótica en láminas de mashua fresca, se constató que a las 12 horas inmersas en un jarabe de 65° Brix, se alcanzó el estado estacionario, con una concentración final de 10,50 ° Brix.

- Los parámetros de: temperatura, velocidad del aire, y el grosor de láminas de la mashua, se relacionó directamente con las características físico químicas y calidad sensorial de la mashua por lo que se acepta la hipótesis alternativa es decir que los factores influyen en la calidad del producto final.
- Mediante la investigación se determinó que los mejores tratamientos son: T1 (55°C + 1,5 m/s + 4 mm), T13 (65°C + 1,5 m/s + 4 mm) y T18 (65°C + 3,5 m/s + 7 mm) debido a que están dentro de los parámetros de la norma INEN 2996. Además fueron los que más aceptabilidad tuvieron luego del análisis sensorial con 12 panelistas.
- Luego de realizar los análisis físicos químicos del producto terminado se observó que mediante el proceso de deshidratación osmótica y secado con aire caliente, estos procesos ayudan a mejorar las características sensoriales y nutricionales del producto deshidratado.

5.2 RECOMENDACIONES

- En base a los parámetros establecidos para la obtención del snack de mashua, se recomienda buscar otra alternativa de consumo y así aumentar el valor agregado de los tubérculos andinos en el Ecuador.
- Realizar investigaciones para utilizar los residuos de la mashua después del pelado y troceado en la producción de harinas, almidones y balanceados, además la reutilización del jarabe, utilizado en la deshidratación osmótica para diversos usos con el fin de elevar la rentabilidad del proceso.

- Es conveniente realizar el escaldado de la mashua a altas temperaturas de 70 a 75 °C y de esta manera lograr destruir los microorganismos e inactivar las enzimas causantes del pardeamiento olores desagradables o picantes

- Se recomienda empacar el producto cuando se haya enfriado es su totalidad, debido a que al empacar el producto caliente transpira, y afecta a las características del producto final.

- Realizar un estudio de mercado y ver la aceptabilidad de los snacks de mashua ya que es un producto nuevo y su consumo sería muy beneficioso por su alto contenido nutricional.

BIBLIOGRAFÍA

- 1 Almeida, C. (2008). *Recuperación de alimentos ancestrales en la cocina moderna la mashua* . Quito.
- 2 Almeida, P. (2014). *Estudio de la mashua y propuesta de cocina de autor* . Quito .
- 3 Arenas, M. (9 de Enero de 2012). *Bioquímica de Alimentos*. Mexico .
- 4 Argentinos, A. (2010). *Ficha # 6*. Obtenido de http://www.alimentosargentinos.gob.ar/contenido/sectores/tecnologia/Ficha_06_Osmotica.pdf
- 5 Ayala, G. (2004). Aporte de los cultivos a la nutrición humana. En J. a. Seminario, *Raíces Andinas: Contribuciones al conocimiento y a la capacitación* (págs. 101-112). Lima-Perú.
- 6 Bambicha, R., & Mascheroni, R. (2012). Optimización del proceso de Deshidratación Osmótica de la calabacita en soluciones ternarias. *Avances en Ciencias y Tecnologías* , 121-136.
- 7 Barbosa, G., & Vega, H. (2000). *Deshidratación de Alimentos* . España: Acribias S.A Zaragoza.
- 8 Beltran, A., & Mera, J. (2014). *Elaboración del Tubérculo Mashua (Tropaeolum tuberosum) troceada en miel y determinación de la capacidad antioxidante*. Guayaquil-Ecuador.
- 9 Brennan, J. G. (2008). *Manual Del Procesado De Los Alimentos*. ACRIBIA.
- 10 Cajamarca, E. (2010). *Evaluación nutricional de la oca fresca endulzada y deshidratada en secadores de bandeja* . Riobamba .

- 11 Calderón, M., & Jurado, E. (2008). *Conservación de Babaco (Carica pentágona), Mango (Magnifera índica) y Pepino Dulce (Solanum muricatum) mediante Deshidratación Osmótica Directa* . Ibarra.
- 12 Casp Vanaclocha, A., & Abril Renquena, J. (2008). *Proceso de Conservación de Alimentos*. España: Mundi- Prensa.
- 13 Casp, A., & Abril, J. (2003). *Procesos de Conservación de los Alimentos* . Madrid .
- 14 Cheftel, J.-C., & Cheftel, H. (1999). *Introducción a la Bioquímica y Tecnología de los Alimentos*. España: Acribia S.A, Zaragoza.
- 15 Chiné, B. (2016). Modelación del proceso de secado de productos agroindustriales . *Dialnet* , 62-73.
- 16 Coloma, E. (2008). *Estudio del efecto de la Deshidratación Osmótica en la vida útil de los productos secos* . Guayaquil- Ecuador .
- 17 Contreras, C. (07 de Febrero de 2008). Influencia del método de secado en parámetros de calidad relacionados con la estructura y el color de manzana y fresa deshidratadas. *Universidad Politécnica de Valencia* . Valencia, España: UPV.
- 18 Correa, D. (2012). La Deshidratación Osmotica . *Prezi* .
- 19 Cuya, R. (2009). *Efecto de secado en bandeja y atomización sobre la actividad antioxidante de la mashua* . lima-peru.
- 20 El comercio, D. (25 de Noviembre de 2010). La Mashua Desinflama la próstata. *El Comercio* .
- 21 Espín, C. (2013). *Aporte al rescate de la mashua aplicando técnica de vanguardia*. Cuenca: Cuenca.
- 22 Espín, C. (2013). *Aporte al rescate de la mashua aplicando técnica de vanguardia*. Cuenca: Cuenca.
- 23 Espinoza, M. L. (2012). *Universidad Católica Santo Toribio de Magroveja*. Obtenido de Operaciones y Procesos Unitarios Apuntes de Estudio :
https://isuu.com/malvegul/docs/operaciones_y_procesos_unitarios
- 24 Estévez, C., & Vinueza, J. (2011). *Estudio de factibilidad para la implementación de la gestión exportadora en la empresa productora de snacks Tolteca*. Ibarra.

- 25 FAO, O. d. (2008). *Cultivos Andinos subexplotados y su parte en la alimentación*. Santiago de Chile: 2 da, ed. Oficina regional de la FAO para America Latina y el Caribe.
- 26 Fellows, P. (2007). *Food processing technology. Principles and practice* . España: ACRIBIA.
- 27 Garcia, A., Muñiz, S., & Hernández, A. (2013). Análisis comparativo de la cinética de Deshidratación Osmótica y por Flujo de Aire Caliente de la Piña (Ananas Comosus, variedad Cayena lisa) . *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* , 62-69.
- 28 García, M., & Alvis, A. (2015). Evaluación de los Pretatamietos de Deshidratación Osmótica y Microondas en la Obtención de Hojuelas de Mango (Tommy Atkins). *Información Tecnológica* , 63-70.
- 29 Geankoplis, C. (1998). *Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias*. Mexico: C.E.C.S.A.
- 30 Gearkoplis, C. J. (1998). *Proceso de transporte y operaciones unitarias* (Vol. Tercera edición). Mexico: Continental, S.A de C.V.Mexico.
- 31 Gimferrer, N. (24 de Febrero de 2012). EROSKI, Seguridad Alimentaria . *Ciencia y Tecnología de los Alimentos* . fundación EROSKI.
- 32 Grau, A., & Ortega, R. (2003). *Mashua. Tropaeolum Tubrosum Ruiz & Pav.* Italy: Jan M.M Engels.
- 33 Hernández, J., & Quinto, P. (2005). Secado de medios porosos: una revisión a las teorías actualmente en uso . *Científica* , 63- 71.
- 34 Higuera, M., & Prado, R. (2013). *Determinación de los Parámetros Óptimos de Proceso para la Elaboración de Snacks partir de Zanahoria Blanca (Arracacia xanthorrhiza Bancroft)*.Ibarra .
- 35 Ibarz, A. (2015). *Unit operations in food engineering*. Mexico: mundi-prensa.
- 36 Icaza, V., & Zambrano, G. (2014). *Propuesta de aplicabilidad gastronómica de la mashua y de la oca en la pstería azuaya usando técnicas profesionales* . Cuenca-Ecuador .
- 37 INIAP, D. d. (1996). *Instituto Nacional Autonomo de Investigaciones* .
- 38 Jangam, S., Law, C., & Mujumdar, A. (2010). *Drying of foods, vegetables and fruits*.Canada: Copyright.

- 39 Jimenez, M. (2013). Operación de Secado en un Secador de Bandejas .
Operaciones Unitarias .
- 40 LabFerrer. (23 de Octubre de 2013). Fundamentos básicos sobre aw.
Actividad de agua (aw) y el deterioro de los alimentos .
- 41 Machacuay, S. (2009). *Deshidratación Osmótica de Frutas*. Junin- Perú:
Universidad Nacional del Centro de Perú.
- 42 Marcilla Gomis, A. (1999). *Introducción a las operaciones de
separación.Secado Tomo I*. S.L. Murcia: Compobell.
- 43 Marín, E., & Lemus, R. (2006). The Rehydration of Dehydrated Foods.
Revista Chilena de Nutrición , 527- 538.
- 44 Martínez, Y. (2011). *Deshidratación Osmótica* . Trujillo.
- 45 McCabe, W., Smith, J., & Harriott, P. (2007). *Operaciones unitarias en
ingeniería química* . Mexico: Mexicana, Reg. Num 736.
- 46 Meyer, M., & Paltrinieri, G. (2007). *Elaboración de Frutas y Hortalizas* .
México: Trillas.
- 47 Mulero, A. (1988). *Termodinamica y Termotecnia* . Acribia .
- 48 Naranjo, C. (2015). *Optimización de un proceso de fritura de zanahoria* .
Quito .
- 49 Net, Q. (18 de Octubre de 2010). *Diferentes técnicas de secado*. Obtenido
de <http://www.quiminet.com/articulos/diferentes-tecnicas-de-secado-de-alimentos-45027.htm>
- 50 Ocon García, J., & Tojo Barreiro, G. (1980). *Problemas de Ingeniería
Química.Tomo I*. Aguilar.
- 51 Orrego, C. (2003). *Procesamiento de Alimentos* . Colombia Sede
Manizales .
- 52 Rivera, G. (2010). *Elaboración y Valoración Nutricional de tres productos
alternativos a base de Mashua para Escolares del proyecto RUNA
KAWSAY*. Riobamba- Ecuador .
- 53 Rocca, P. (2010). *Secado de alimentos por métodos
combinados:Deshidratación osmótica y secado por microondas y aire
caliente* . Buenos Aires.
- 54 Samaniego, L. (2010). *Caracterización de la mashua en el Ecuador*.
Quito.

- 55 Sanjinez, E., & Branco, I. (2010). Influencia de la Deshidratación Osmótica y de la adición de Cloruro de Calcio en la Conservación de Kivis minimamente procesados . *Food Science and Technology (Campinas)* , 205- 209.
- 56 Scribd, I. (2016). *Secado*. Obtenido de Teoría y Modelación Matemática: <https://es.scribd.com/doc/118881519/SECADO-TEORIA-Y-MODELACION-MATEMATICA>
- 57 Shi, J., & Xue, J. (2009). "*Application and development of osmotic dehydration technology in food processing*". *Advances in food dehydration* . New York.
- 58 Singh, R. P., & Heldman, D. R. (2015). *Introduction to Food Engineering*. España: Acribia, S.A.
- 59 Sokhansanj, S., & Jayas, D. (2014). *Handbook of Industrial Drying* .London New York : CRC Press.
- 60 Suárez, R. (2009). *Estudio comparativo de la incidencia de la Forma geométrica del Alimento en la Velocidad de Secado aplicando al Melón Cantaloupe*. Guayaquil.
- 61 Suca, C., & Suca, G. (2010). *Deshidratación Osmótica de Alimentos* . Perú: Cadi SAC.
- 62 Suquilanda, M. (2011). *Producción Orgánica de Cultivos Andinos (Manual Técnico)*. Quito : FAOEC.
- 63 Ulloa, J. A. (04 de Mayo de 2012). *Universidad Autónoma de Nayarit*. Obtenido de http://www.uan.edu.mx/d/a/sip/posgrados/docagrotadicional/program_estudio/ciencias_agricolas/deshidra_alimentos.pdf
- 64 UNAL, U. N. (2002). *Virtual UNAL*. Obtenido de <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/agronomia/2006228/teoria/obfrudes/p3.htm>
- 65 Urbano, L. (2014). *Elaboración de snack nutraceuticos de quinua (Chenopodium quinoa Willd) con remolacha (Beta vulgaris) como colorante* . Riobamba.
- 66 Vega, A. (2011). *Sistema de ventilación y Aire Acondicionado* . Quito .
- 67 Villacrés, E. (septiembre de 2014). Investigadora en INIAP- Estación Santa Catalina. (P. Almeida, Entrevistador)

68 Zuluaga, J., & Cortez, M. (2010). Evaluación de las características físicas de mango deshidratado, aplicando secado por aire caliente y deshidratación osmótica . *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela* , 127-135.

ANEXOS

ANEXO 1: Hojas para la evaluación sensorial

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES

PRUEBA SENSORIAL DE SNACK DE MASHUA MEDIANTE
DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA Y SECADO

INTRODUCCIÓN:

El Análisis Sensorial es una técnica que permite un conocimiento más completo de las características de los alimentos y así establecer un control de calidad y aceptabilidad del producto.

INSTRUCCIONES:

Observe y evalúe la muestra en el orden presentado, por favor marque con una X el nivel de agrado, de acuerdo a la siguiente información.

CARACTERÍSTICAS:

COLOR: Debe ser característico del tubérculo sin manchas que pueda considerarse como defectuoso

MUY CLARO	
CLARO	
NORMAL	
OSCURO	
MUY OSCURO	

AROMA: El aroma debe ser característico del tubérculo

SABOR: Por ser deshidratado osmóticamente debe tener un sabor dulce con sabor característico al tubérculo

DUREZA/TEXTURA: Al ser un snack la masticabilidad debe ser dura considerando también el contenido de fibra y humedad de la misma

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

HOJA PARA LA EVALUACIÓN SENSORIAL

PRUEBA SENSORIAL DE SNACK DE MASHUA MEDIANTE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA Y SECADO

FECHA:

Nº DE CATADOR:

CARACTERÍSTICAS	ALTERNATIVAS	MUESTRAS																	
		T 1	T 2	T 3	T 4	T 5	T 6	T 7	T 8	T 9	T 10	T 11	T 12	T 13	T 14	T 15	T 16	T 17	T 18
COLOR	5 MUY CLARO																		
	4 CLARO																		
	3 NORMAL																		
	2 OSCURO																		
	1 MUY OSCURO																		
AROMA	5 MUY AGRADABLE																		
	4 AGRADABLE																		
	3 NORMAL																		
	2 DESAGRADABLE																		
	1 MUY DESAGRADABLE																		
SABOR	5 EXCELENTE																		
	4 MUY BUENO																		
	3 BUENO																		
	2 REGULAR																		
	1 MALO																		
DUREZA/ TEXTURA	5 MUY DURA																		
	4 DURA																		
	3 NORMAL																		
	2 SUAVE																		
	1 MUY SUAVE																		

ACEPTABILIDAD	5 LE GUSTA MUCHO																		
	4 LE GUSTA POCO																		
	3 NI LE GUSTA, NI LE DISGUSTA																		
	2 LE DISGUSTA POCO																		
	1 LE DISGUSTA MUCHO																		
OBSERVACIONES																			
.....																			
.....																			
.....																			
.....																			
.....																			
.....																			

ANEXO 2: Análisis físico químico de la materia prima (mashua)



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°:	086-2015
Análisis solicitado por:	Srta. Jhoseline Benavides
Empresa:	No aplica
Muestreado:	No aplica
Fecha de recepción:	15 de julio de 2015
Fecha de entrega informe:	22 de julio de 2015
Ciudad:	Ibarra
Provincia:	Imbabura
Muestra:	Mashua
No. de Lote	No aplica

Parámetro Analizado	Unidad	Resultado	Metodo de ensayo
Contenido de agua	%	86,00	AOAC 925.10
Cenizas	%	0,71	AOAC 923.03
Proteína Total	%	1,32	AOAC 920.87
Extracto etéreo	%	0,67	AOAC 920.85
Fibra Bruta	%	0,84	AOAC 978.10
Almidón	%	6,18	AOAC 906.03
Azúcares Totales	%	4,09	AOAC 932.14C
Carbohidratos Totales	%	12,31	Cálculo
Energía	Kcal/100 g	56,49	Cálculo
Acido Ascórbico	mg /100 g	75,6	AOAC 967.21
pH	-----	5,55	AOAC 981.12
°Brix	-----	6,25	AOAC 932.14C

Los resultados obtenidos pertenecen exclusivamente para las muestras analizadas

Atentamente:

Bioq. 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 3: Análisis de humedad y sólidos solubles en el proceso de deshidratación osmótica



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°:	088-215
Análisis solicitado por:	Srta. Jhoseine Benavides
Empresa:	No aplica
Muestreado:	No aplica
Fecha de recepción:	15 de julio de 2015
Fecha de entrega informe:	22 de julio de 2015
Ciudad:	Ibarra
Provincia:	Imbabura
Muestra:	Mashua tratada
No. de Lote	No aplica

Parámetro Analizado	Unidad	Resultado						Método de ensayo
		GROSOR 4mm						
		1 HORA	2 HORAS	3 HORAS	4 HORAS	5 HORAS	6 HORAS	
Humedad	%	82,10	80,15	76,50	72,70	70,80	68,02	AOAC 925.10
Sólidos Solubles (producto)	*Brix	6,67	7,09	7,53	7,84	8,36	8,81	Refractometría
Sólidos Soluble (jarabe)	*Brix	64,02	63,24	62,42	61,42	60,32	59,72	Refractometría

Parámetro Analizado	Unidad	Resultado						Método de ensayo
		7 HORAS	8 HORAS	9 HORAS	10 HORAS	11 HORAS	12 HORAS	
		Humedad	%	65,32	60,02	58,13	55,63	
Sólidos Solubles (producto)	*Brix	9,23	9,63	10,07	10,41	10,45	10,50	Refractometría
Sólidos Solubles (jarabe)	*Brix	58,80	57,92	57,05	56,16	55,42	54,28	Refractometría

Parámetro Analizado	Unidad	Resultado						Metodo de ensayo
		GROSOR 7mm						
		1 HORA	2 HORAS	3 HORAS	4 HORAS	5 HORAS	6 HORAS	
Humedad	%	83,05	80,30	77,25	74,35	71,86	68,91	AOAC 925.10
Sólidos Solubles (producto)	*Brix	6,57	6,82	7,21	7,53	7,85	8,27	Refractometría
Sólidos Solubles (jarabe)	*Brix	64,48	64,12	63,58	63,12	63,00	62,49	Refractometría

Parámetro Analizado	Unidad	Resultado						Metodo de ensayo
		7 HORAS	8 HORAS	9 HORAS	10 HORAS	11 HORAS	12 HORAS	
		Humedad	%	65,86	62,28	59,93	56,89	
Sólidos Solubles (producto)	*Brix	8,59	8,90	9,02	9,28	9,38	9,50	Refractometría
Sólidos Solubles (jarabe)	* Brix	62,00	61,24	60,45	59,02	59,15	58,28	Refractometría

Los resultados obtenidos pertenecen exclusivamente para las muestras analizadas

Atentamente:

Bioq. 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 4: Análisis de humedad y sólidos solubles del producto terminado



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°:	087-2015
Análisis solicitado por:	Srta. Jhoseline Benavides
Empresa:	No aplica
Muestreado:	No aplica
Fecha de recepción:	15 de julio de 2015
Fecha de entrega informe:	22 de julio de 2015
Ciudad:	Ibarra
Provincia:	Imbabura
Muestra:	Hojuelas de Mashua
No. de Lote	No aplica

Parámetro Analizado	Unidad	Resultado						Método de ensayo
		T1R1	T1R2	T1R3	T2R1	T2R2	T2R3	
Humedad	%	0,59	0,57	0,57	0,68	0,70	0,70	AOAC 925.10
Sólidos Solubles	%	87,82	87,33	85,99	60,01	59,89	67,99	AOAC 932.14C

Parámetro Analizado	Unidad	Resultado						Método de ensayo
		T3R1	T3R2	T3R3	T4R1	T4R2	T4R3	
Humedad	%	0,62	0,64	0,60	0,82	0,81	0,78	AOAC 925.10
Sólidos Solubles	%	75,02	73,34	72,99	62,98	59,40	63,23	AOAC 932.14C

Parámetro Analizado	Unidad	Resultado						Método de ensayo
		T5R1	T5R2	T5R3	T6R1	T6R2	T6R3	
Humedad	%	1,03	0,98	0,99	1,69	1,69	1,70	AOAC 925.10
Sólidos Solubles	%	71,62	70,23	69,45	66,90	66,35	66,76	AOAC 932.14C

Parámetro Analizado	Unidad	Resultado						Método de ensayo
		T7R1	T7R2	T7R3	T8R1	T8R2	T8R3	
Humedad	%	1,13	1,09	1,10	0,97	0,96	0,95	AOAC 925.10
Sólidos Solubles	%	82,42	82,00	83,23	65,91	65,12	64,54	AOAC 932.14C



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



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

Parámetro Analizado	Unidad	Resultado						Método de ensayo
		T9R1	T9R2	T9R3	T10R1	T10R2	T10R3	
Humedad	%	1,49	1,50	1,51	0,70	0,68	0,69	AOAC 925.10
Sólidos Solubles	%	80,62	79,87	78,10	64,94	63,03	64,67	AOAC 932.14C

Parámetro Analizado	Unidad	Resultado						Método de ensayo
		T11R1	T11R2	T11R3	T12R1	T12R2	T12R3	
Humedad	%	0,73	0,72	0,70	1,57	1,59	1,59	AOAC 925.10
Sólidos Solubles	%	78,82	77,56	76,45	63,04	60,35	65,00	AOAC 932.14C

Parámetro Analizado	Unidad	Resultado						Método de ensayo
		T13R1	T13R2	T13R3	T14R1	T14R2	T14R3	
Humedad	%	0,52	0,50	0,48	0,48	0,50	0,49	AOAC 925.10
Sólidos Solubles	%	86,02	85,90	84,08	67,88	66,52	67,00	AOAC 932.14C

Parámetro Analizado	Unidad	Resultado						Método de ensayo
		T15R1	T15R2	T15R3	T16R1	T16R2	T16R3	
Humedad	%	0,58	0,60	0,59	1,66	1,65	1,68	AOAC 925.10
Sólidos Solubles	%	84,22	84,00	83,67	62,02	59,56	60,01	AOAC 932.14C

Parámetro Analizado	Unidad	Resultado						Método de ensayo
		T17R1	T17R2	T17R3	T18R1	T18R2	T18R3	
Humedad	%	0,60	0,61	0,63	0,42	0,40	0,41	AOAC 925.10
Sólidos Solubles	%	70,20	70,12	68,90	68,86	65,98	67,89	AOAC 932.14C

Los resultados obtenidos pertenecen exclusivamente para las muestras analizadas

Ateñidamente:

Bioq. 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 5: Análisis de actividad de agua del producto terminado



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°:	017-2016
Análisis solicitado por:	Srta. Jhoseline Benavides
Empresa:	No aplica
Muestreado:	No aplica
Fecha de recepción:	27 de enero de 2016
Fecha de entrega informe:	04 de enero de 2016
Ciudad:	Ibarra
Provincia:	Imbabura
Muestra:	Hojuelas de Mashua
No. de Lote	No aplica

Parámetro Analizado	Unidad	Resultado						Método de ensayo
		T1R1	T1R2	T1R3	T2R1	T2R2	T2R3	
Aw	-----	0,55	0,55	0,55	0,57	0,57	0,57	Aw metter

Parámetro Analizado	Unidad	Resultado						Método de ensayo
		T3R1	T3R2	T3R3	T4R1	T4R2	T4R3	
Aw	-----	0,56	0,56	0,56	0,62	0,61	0,62	Aw metter

Parámetro Analizado	Unidad	Resultado						Método de ensayo
		T5R1	T5R2	T5R3	T6R1	T6R2	T6R3	
Aw	-----	0,61	0,60	0,61	0,66	0,66	0,66	Aw metter

Parámetro Analizado	Unidad	Resultado						Método de ensayo
		T7R1	T7R2	T7R3	T8R1	T8R2	T8R3	
Aw	-----	0,59	0,59	0,58	0,60	0,60	0,60	Aw metter



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



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

Parámetro Analizado	Unidad	Resultado						Método de ensayo
		T9R1	T9R2	T9R3	T10R1	T10R2	T10R3	
Aw	-----	0,65	0,65	0,65	0,57	0,57	0,57	Aw metter

Parámetro Analizado	Unidad	Resultado						Método de ensayo
		T11R1	T11R2	T11R3	T12R1	T12R2	T12R3	
Aw	-----	0,57	0,57	0,57	0,65	0,65	0,65	Aw metter

Parámetro Analizado	Unidad	Resultado						Método de ensayo
		T13R1	T13R2	T13R3	T14R1	T14R2	T14R3	
Aw	-----	0,54	0,54	0,53	0,53	0,54	0,54	Aw metter

Parámetro Analizado	Unidad	Resultado						Método de ensayo
		T15R1	T15R2	T15R3	T16R1	T16R2	T16R3	
Aw	-----	0,55	0,56	0,55	0,66	0,66	0,66	Aw metter

Parámetro Analizado	Unidad	Resultado						Metodo de ensayo
		T17R1	T17R2	T17R3	T18R1	T18R2	T18R3	
Aw	-----	0,56	0,56	0,56	0,52	0,52	0,52	Aw metter

Los resultados obtenidos pertenecen exclusivamente para las muestras analizadas

Atentamente:

Bloq. 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 6: Análisis físico químico y microbiológico para los tres mejores 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°:	039 - 2016
Análisis solicitado por:	Srta. Jhoseline Benavides
Empresa:	Particular
Muestreado:	Propietario
Fecha de recepción:	18 de febrero de 2016
Fecha de entrega informe:	26 de febrero de 2016
Ciudad:	Ibarra
Provincia:	Imbabura
Muestra:	Hojuelas de mashua
No. de Lote	No aplica
No. Unidades Analizadas	3

Parámetro Analizado	Unidad	Resultados			Metodo de ensayo
		1	13	18	
Humedad	%	0,58	0,50	0,41	AOAC 925.10
Cenizas	%	0,37	0,40	0,46	AOAC 923.03
Proteína Total	%	10,50	10,20	8,54	AOAC 920.87
Extracto etéreo	%	5,40	5,34	5,39	AOAC 920.85
Fibra Bruta	%	5,59	5,51	5,57	AOAC 978.10
Almidón	%	8,00	3,00	2,00	AOAC 967.21
Azúcares Reductores Libres	%	2,50	28,15	22,70	AOAC 906.03
° Brix	-----	87,05	85,33	67,58	Refractometría
Acido Ascórbico	mg/100 g	526,70	748,50	840,00	AOAC 967.21
Carbohidratos Totales	%	83,20	82,43	85,20	Cálculo
Energía	Kcal /100 g	423,40	418,58	423,47	Cálculo
pH	-----	6,54	6,48	6,70	AOAC 981.12
Recuento Aerobios Totales	UFC/ g	200	140	150	AOAC 989.10
Recuento de mohos	UFC/ g	160	310	300	AOAC 997.02
Recuento de levaduras	UFC/ g	80	200	240	

Los resultados obtenidos pertenecen exclusivamente para las muestras analizadas

Atentamente:

Bioq. José Luis Moreno
Técnico de Laboratorio



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

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

ANEXO 7: Cálculos referenciales para snack de mashua mediante deshidratado osmótico y secado con aire caliente.

1 Cálculo de humedad en base seca para snack de mashua

Se tomó la muestra del producto deshidratado osmóticamente (tabla 15) con una humedad de 0,5049 % (grosor 4mm) y 0,5658 % (grosor 7mm)

- **HUMEDAD 0,5049 % (Grosor 4 mm)**

$$G_{H_2O} = G_i * (\%X)$$

$$G_{H_2O} = 0,3940 \text{ Kg} * 0,5049\%$$

$$G_{H_2O} = 0,1989 \text{ Kg}_{H_2O}$$

$$S = G_i - G_{H_2O}$$

$$S = 0,3940 \text{ Kg} - 0,1989 \text{ Kg}$$

$$S = 0,1951 \text{ Kg SS}$$

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

$$X_{bs} = (0,3940 \text{ Kg} - 0,1951 \text{ Kg}) / 0,1951 \text{ Kg}$$

$$X_{bs} = 1,0198 \text{ Kg}_{H_2O} / \text{Kg}_{ss}.$$

G_{H_2O} = Peso del agua

G_i = Peso de la pulpa inicial

$\%X$ = Porcentaje de humedad

S = Peso del sólido seco

X_{bs} = Humedad en base seca

- **HUMEDAD 0,5658 % (Grosor 7 mm)**

$$G_{H_2O} = G_i * (\%X)$$

$$G_{H_2O} = 0,3260 \text{ Kg} * 0,5658\%$$

$$G_{H_2O} = 0,1845 \text{ KgH}_2\text{O}$$

$$S = G_i - G_{H_2O}$$

$$S = 0,3260 \text{ Kg} - 0,1845 \text{ Kg}$$

$$S = 0,1415 \text{ Kg SS}$$

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

$$X_{bs} = (0,3260 \text{ Kg} - 0,1415 \text{ Kg}) / 0,1415 \text{ Kg}$$

$$X_{bs} = 1,3031 \text{ KgH}_2\text{O} / \text{Kgss.}$$

G_{H_2O} = Peso del agua

G_i = Peso de la pulpa inicial

$\%X$ = Porcentaje de humedad

S = Peso del sólido seco

X_{bs} = Humedad en base seca

2 Cálculo del área del producto a deshidratarse

Para el cálculo del área se toma en cuenta un espesor de 4 mm y 7mm, La densidad aparente se la obtuvo analíticamente.

$$A_s = G_i / (D_a * e_s)$$

$$A_s = 0,3940 \text{ Kg} / (987,00 \text{ Kg/m}^3 * 0,004 \text{ m})$$

húmedo

$$A_s = 0,0998 \text{ m}^2$$

aparente

A_s = área del sólido

G_i = Peso del sólido

D_a = Densidad

e_s = espesor del sólido

$$A_s = G_i / (D_a * e_s)$$

$$A_s = 0,3260 \text{ Kg} / (987,00 \text{ Kg/m}^3 * 0,007 \text{ m})$$

$$A_s = 0,0471 \text{ m}^2$$

3 Cálculo de la velocidad de secado

Para realizar los cálculos de velocidad se tomó un intervalo de tiempo de 15 minutos para la toma de medidas en los tratamientos.

$$W = (S / A_s) * (X_o - X_1 / T_1 - T_o)$$

W = Velocidad

$$W = (0,1951 / 0,0998) * (1,0198 - 0,9368 / 0,25 - 0)$$

S = Peso sólido seco

$$W = 0,6488$$

A_s = área sólido seco

seca

X = humedad en base

T = tiempo

4 Tiempo de secado hasta la humedad de equilibrio

Para realizar los cálculos de tiempo se realiza la siguiente formula

$$t_a = \frac{S}{A \times W_c} (X_i - X_c)$$

$$t_a = \frac{0,1951}{0,0998 \times 0,6476} (0,9783 - 0,8954)$$

$$t_a = 0,25$$

$$tp = \frac{S}{A} \left(\frac{Xc - X^*}{Wc} \right) \ln \frac{Xc - X^*}{Xf - X^*}$$

$$tp = \frac{0,1951}{0,0998} \left(\frac{0,8954 - 0,5659}{0,6476} \right) \ln \frac{0,8954 - 0,5659}{0,5663 - 0,5659}$$

$$tp = 6,67$$

Tiempo de secado total trat 1 = ta + tp

$$= 6,92$$

TRAT	ta	tp	tiempo total
T1	0,25	6,67	6,92
T2	0,25	9,03	9,28
T3	0,25	3,63	3,88
T4	0,25	4,18	4,43
T5	0,25	4,31	4,56
T6	0,25	5,63	5,88
T7	0,25	9,35	9,60
T8	0,25	9,31	9,56
T9	0,25	7,57	7,82
T10	0,25	7,79	8,04
T11	0,25	4,07	4,32
T12	0,25	4,97	5,22
T13	0,25	6,09	6,34
T14	0,25	5,47	5,72
T15	0,25	4,23	4,48
T16	0,25	3,51	3,76
T17	0,25	3,18	3,43
T18	0,26	3,94	4,20

La variación de tiempo antecrítico y postcrítico es debido a las pérdidas de calor al abrir y cerrar el secador al momento de realizar las tomas de medida del peso para los diferentes tratamientos.

ANEXO 8: Cantidad de calor transferido del aire al producto

$$q = h * A(T - Tw)$$

$$G = v * d$$

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

$$G = v * d$$

$$G = 1,5 \frac{m}{s} * 0,8044 \frac{kg}{m^3}$$

$$G = 1,2066 \frac{kg}{m^2s}$$

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

$$h = 0,0204(1,2066)^{0,8}$$

$$h = 0,024 \frac{W}{m^2 \circ K}$$

$$q = h * A(T - Tw)$$

$$q = 0,024 \frac{W}{m^2 \circ K} * 0,0998m^2(45,00 - 19,86) \circ C$$

$$q = 0,024 \frac{W}{m^2 \circ K} * 0,0998m^2(298,29) \circ K$$

$$q = 0,7145 W$$

$$q = 0,0007Kw$$

Donde:

G = densidad de flujo másico del aire

v = velocidad

d = densidad constante

h = coeficiente de transmisión de calor

A = área

T = temperatura

T_w = temperatura de bulbo húmedo

q = calor transferido