



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES**

CARRERA DE AGROINDUSTRIA

**DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA Y SECADO DEL ARAZÁ *Eugenia
stipitata Mc Vaugh* PARA LA OBTENCIÓN DE UN SNACK.**

Tesis previa la obtención del título de ingeniero agroindustrial.

AUTOR

Luis Israel Castro Cabascango

DIRECTOR

Ing. Luis Armando Manosalvas

Ibarra-Ecuador

2017

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS

AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

ESCUELA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA Y SECADO DEL ARAZÁ *Eugenia stipitata Mc Vaugh* PARA LA OBTENCIÓN DE UN SNACK.

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

INGENIERO/A AGROINDUSTRIAL

APROBADA:

Ing. Luis Armando Manosalvas

DIRECTOR DE TESIS

Ing. Jimmy Cuarán

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Juan Carlos de la Vega

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Iván Vaca

MIEMBRO DEL TRIBUNAL



FIRMA



FIRMA



FIRMA



FIRMA

AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Luis Israel Castro Cabascango , con cédula de identidad número 100364505-6, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

1. 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 24 días del mes de marzo de 2017

EL AUTOR:



Luis Israel Castro Cabascango



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

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

1. IDENTIFICACION 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:	1003645056
APELLIDOS Y NOMBRES:	Luis Israel Castro Cabascango
DIRECCIÓN:	Pedro Moncayo-parroquia Tupigachi
EMAIL:	adriluis_18@hotmail.com
TELÉFONO FIJO:	TELÉFONO MÓVIL: 0991962506
DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Deshidratación osmótica y secado del arazá <i>Eugenia stipitata mc vaugh</i> para la obtención de un snack.
AUTOR:	Luis Israel Castro Cabascango
FECHA:	2017
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSTGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero Agroindustrial
ASESOR / DIRECTOR:	Ing. Luis Armando Manosalvas

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por el señor Luis Israel Castro Cabascango, bajo mi supervisión.

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

Ing. Luis Armando Manosalvas Quiroz

DIRECTOR DE TESIS

DECLARACIÓN

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

Ibarra, a los 24 días del mes de marzo de 2017



Luis Israel Castro Cabascango

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

Yo, Luis Israel Castro Cabascango, con cédula de identidad Nro. 100364506-6, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor de la obra o trabajo de grado denominado: DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA Y SECADO DEL ARAZÁ *Eugenia stipitata Mc Vaugh* PARA LA OBTENCIÓN DE UN SNACK, que ha sido desarrollado para optar por el título de: INGENIERO AGROINDUSTRIAL en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, a los 24 días del mes de marzo de 2017



Luis Israel Castro Cabascango

DEDICATORIA

A Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por darme la fortaleza para superarme y mejor como persona día a día.

A mi familia que gracias a su apoyo pude concluir mi carrera. A mis padres Fernando Castro y Rosa Cabascango seres a los cuales aprecio y valoro ya que gracias a su inmenso amor, apoyo, consejos y dedicación pude impulsarme en cada tropiezo y así pude culminar con mi objetivo.

A mis hermanos por estar presente acompañándome y brindarme su apoyo incondicional, a mi familia en general porque siempre han estado conmigo en las buenas y en malas sabiéndome guiar siempre por el buen camino.

AGRADECIMIENTO

Primeramente agradezco a Dios por bendecirme para llegar hasta donde he llegado y guiar mi camino para seguir adelante superándome cada día más.

A la Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales de la Universidad Técnica del Norte, a todos los profesores y personal administrativo. De manera especial al Ing. Luis Armando Manosalvas, Director de Tesis, por su ayuda invaluable, apoyo incondicional y desinteresado para la culminación de la presente investigación.

Agradecemos al Ing. Jimmy Cuarán, Ing. Juan de la Vega, Ing. Iván Vaca quienes dirigieron y asesoraron de manera desinteresada y oportuna.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I.....	23
INTRODUCCIÓN.....	23
1.1 PROBLEMA.....	23
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	24
1.3 OBJETIVOS.....	25
1.3.1 <i>Objetivo General</i>	25
1.3.2 <i>Objetivos Específicos</i>	25
1.4 HIPÓTESIS.....	26
CAPÍTULO II.....	27
MARCO TEÓRICO.....	27
2.1 ARAZÁ.....	27
2.1.1 <i>Descripción botánica de arazá</i>	27
2.1.2 <i>Descripción del cultivo de arazá</i>	28
2.1.3 <i>Valor nutricional</i>	29
2.1.4 <i>Características del producto</i>	30
2.1.5 <i>Utilización del arazá</i>	30
2.1.6 <i>Conservación del arazá</i>	30
2.1.7 <i>Propiedades funcionales</i>	31
2.2 DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA.....	31
2.2.1 <i>Aplicación de la deshidratación osmótica en frutas y vegetales</i>	32
2.2.2 <i>Características de los frutos deshidratados</i>	33
2.2.3 <i>Principios de la deshidratación osmótica</i>	33
2.2.4 <i>Aplicación industrial de tratamiento osmótico de frutas</i>	34
2.2.5 <i>Transferencia de masa en la deshidratación osmótica</i>	34
2.2.6 <i>Presión osmótica</i>	35
2.2.7 <i>Desarrollo y futuro de la deshidratación osmótica</i>	35
2.3 SECADO.....	36
2.3.1 <i>Secado convectivo</i>	36
2.3.2 <i>Fundamentos de la eliminación de agua</i>	37

2.3.3	<i>Actividad de agua</i>	37
2.3.4	<i>Proceso básico de secado</i>	38
2.4	TRANSFERENCIA DE CALOR EN SECADORES	41
2.5	TRANSFERENCIA DE MASA.....	42
2.6	CURVA DE SECADO	43
2.7	VELOCIDAD DE SECADO.....	44
2.8	CONTENIDO CRÍTICO DE HUMEDAD	45
2.9	PERÍODOS DE SECADO.....	47
2.9.1	<i>Período de inducción- precalentamiento A-B</i>	48
2.9.2	<i>Período de secado a velocidad constante B-C</i>	48
2.9.3	<i>Secado en el período de velocidad decreciente</i>	51
2.10	SECADORES DE BANDEJAS	53
2.11	PSICROMÉTRIA EN EL PROCESO DE SECADO.....	54
2.11.1	<i>Importancia de las propiedades del aire en el proceso de secado</i>	54
2.11.2	<i>Carta psicométrica</i>	55
CAPITULO III	60
METODOLOGÍA	60
3.1	CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	60
3.1.1	<i>Condiciones del aire ambiente en el proceso de secado</i>	61
3.1.2	<i>Condiciones del aire caliente de secado a 60°C</i>	62
3.1.3	<i>Condiciones del aire caliente de secado a 65°C</i>	63
3.1.4	<i>Condiciones del aire caliente de secado a 70°C</i>	64
3.2	MATERIALES	65
3.2.1	<i>Materia Prima e Insumos</i>	65
3.3	MÉTODOS	66
3.3.1	<i>Carácterización de la materia prima</i>	66
3.3.2	<i>Deshidratación osmótica</i>	67
3.3.3	<i>Caracterización del experimento</i>	67
3.3.4	<i>Análisis estadístico</i>	67
3.3.5	<i>variables de respuesta</i>	68
3.3.6	<i>Secado por aire caliente en armario de bandejas</i>	68

3.3.7	<i>Factores en estudio</i>	69
3.3.8	<i>Tratamientos</i>	70
3.3.9	<i>Caracterización del experimento</i>	71
3.3.10	<i>Análisis estadístico</i>	71
3.3.11	<i>Análisis funcional</i>	72
3.3.12	<i>VARIABLES DE RESPUESTA</i>	72
3.3.13	<i>Evaluación microbiológico del producto final</i>	73
3.3.14	<i>Evaluación organoléptica del producto terminado</i>	74
3.4	MANEJO DEL ESPECÍFICO EXPERIMENTO.	75
3.4.1	<i>Diagrama de bloques para la elaboración de snacks de Arazá</i>	76
3.4.2	<i>Diagrama de flujo para la elaboración de snacks de arazá</i>	77
3.4.3	<i>Descripción del proceso</i>	78
CAPÍTULO IV		84
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		84
4.1	CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA	84
4.2	EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE MADUREZ EN EL PROCESO DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA.....	85
4.2.1.	<i>Humedad en el arazá</i>	85
4.2.2	<i>Pérdida de peso al finalizar el proceso osmótico</i>	88
4.2.3	<i>Firmeza inicial</i>	90
4.2.4	<i>Sólidos solubles en el arazá</i>	93
4.3	EVALUACIÓN DEL PROCESO DE SECADO CON AIRE CALIENTE	96
4.3.1	<i>Humedad del snack de arazá</i>	96
4.3.2	<i>Sólidos solubles del snack de arazá</i>	101
4.3.3	<i>Actividad de agua en el snack de arazá</i>	106
4.3.4	<i>Peso en el snack de arazá</i>	110
4.4	EVALUACIÓN DE FÍSICO QUÍMICA, MICROBIOLOGÍA Y ORGANOLEPTICA DEL SNACK DE ARAZÁ.....	114
4.4.1	<i>Calidad físico química</i>	114
4.4.2	<i>Calidad microbilógica</i>	115
4.4.3	<i>Calidad organoléptica del snack de arazá</i>	115
4.4.4	<i>Color</i>	116

4.4.5	<i>Olor</i>	117
4.4.6	<i>Sabor</i>	118
4.4.7	<i>Textura</i>	119
4.4.8	<i>Aceptabilidad</i>	120
4.5	BALANCE DE MATERIALES	123
4.6	RENDIMIENTO PARA EL MEJOR TRATAMIENTO	124
4.7	CURVAS DE SECADO PARA LA OBTENCIÓN DEL SNACK DE ARAZÁ (<i>Eugenia stipitata mc vaugh</i>)	124
4.7.1	<i>Curva de secado para T5 (65 ° C+3m/s+1000 g/m²)</i>	130
4.7.2	<i>Curva de secado para T8 (65 ° C+5 m/s+1500 g/m²)</i>	134
4.7.3	<i>Curva de secado para T9 (70 ° C+3m/s+1000 g/m²)</i>	137
CAPÍTULO V		140
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	140
5.1	CONCLUSIONES	140
5.2	RECOMENDACIONES	142
6.	ANEXOS.....	143
6.1	SIMBOLOGÍA	160
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	165

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valor nutricional de 100g de pulpa de Arazá.....	29
Tabla 2. Caracterización del área de estudio.	60
Tabla 3. Datos condiciones ambientales del aire.....	61
Tabla 4. Condiciones del aire	62
Tabla 5. Datos del aire al interior del secado 60°C	62
Tabla 6. Datos de aire a la salida del Venterol 55°C	62
Tabla 7. Datos del aire al interior del secado 65°C.....	63
Tabla 8. Datos de aire a la salida del Venterol 59°C	63
Tabla 9. Datos del aire al interior del secado 65°C.....	64
Tabla 10. Datos de aire a la salida del Venterol 59°C	64
Tabla 11. Parámetros analizados	66
Tabla 12. Esquema del Análisis de Varianza	67
Tabla 13. Resultado de la Combinación de los factores.....	70
Tabla 14. Variables cuantitativas	72
Tabla 15. Caracterización del arazá.....	84
Tabla 16. Humedad del arazá en los tres estados de madurez.....	85
Tabla 17. Porcentaje de humedad final del arazá en la deshidratación osmótica.....	86
Tabla 18. Análisis de varianza de la humedad	86
Tabla 19. Peso (g) al finalizar el proceso de deshidratación osmótica.....	88
Tabla 20. Análisis de varianza del peso.	88
Tabla 21. Datos para la variable dureza	90

Tabla 22. Dureza (N).....	91
Tabla 23. Análisis de varianza para dureza (N)	91
Tabla 24. Prueba de Tukey para tratamientos de la variable dureza.....	92
Tabla 25. Cantidad de sólidos solubles en tres etapas de madurez	93
Tabla 26. Sólidos solubles (°Brix) después de la deshidratación osmótica.....	93
Tabla 27. Análisis de varianza	94
Tabla 28. Prueba de Tukey para tratamientos de la variable sólidos solubles (°Brix)	94
Tabla 29. Humedad del producto terminado (kg _{H2O} /kg _{SS}).....	97
Tabla 30. Análisis de varianza	97
Tabla 31. Prueba de Tukey al 5% para la variable humedad	98
Tabla 32. Diferencia media significativa para el Factor C.....	99
Tabla 33. Sólidos solubles en el producto terminado (°Brix).....	101
Tabla 34. Análisis de varianza	102
Tabla 35. Prueba de Tukey al 5% para la variable solidos solubles (°Brix)	103
Tabla 36. Diferencia media significativa para el Factor A.	103
Tabla 37. Diferencia media significativa para el Factor B.....	103
Tabla 38. Actividad de agua (a _w)	106
Tabla 39. Análisis de varianza	106
Tabla 40. Prueba de Tukey al 5 % para la variable solidos solubles.	107
Tabla 41. Diferencia media significativa para el factor A	108
Tabla 42. Diferencia media significativa para el factor C.....	108
Tabla 43. Peso final (g) del producto terminado.....	110

Tabla 44. Análisis de varianza del peso final	111
Tabla 45. Prueba de Tukey al 5% para la variable peso.....	112
Tabla 46. Diferencia media significativa para el factor A.....	112
Tabla 47. Diferencia media significativa para el factor C.....	113
Tabla 48. Análisis de Friedman para las características sensoriales	122
Tabla 49. Resultados del análisis microbiológico del mejor tratamiento.....	115
Tabla 50. Variables independientes y dependientes en el proceso de secado.	125
Tabla 51. Valor de la humedad y velocidad de secado para T5 (A2B1C1).	130
Tabla 52. Valor de la humedad y velocidad de secado para T8 (A2B2C2).	134
Tabla 53. Valor de la humedad y velocidad de secado para T9 (A3B1C1).	137

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Propiedades psicrométricas de aire.	61
Gráfico 2. Propiedades del aire de secado a 60°C	62
Gráfico 3. Propiedades del aire de secado a 65°C	63
Gráfico 4. Propiedades del aire de secado a 70°C	64
Gráfico 5. Porcentaje de humedad del producto final de la deshidratación osmótica.....	86
Gráfico 6. Peso final del producto en la deshidratación osmótica.	89
Gráfico 7. Dureza (N) al final de la deshidratación osmótica.	92
Gráfico 8. Cantidades de sólidos solubles en la materia prima y después de la deshidratación osmótica.	95

Gráfico 9. Interacción entre los factores A (temperatura en el interior del secador) y B (velocidad de flujo de aire) en la variable humedad.	99
Gráfico 10. Humedad (%) del snack de arazá al final del proceso.	100
Gráfico 11. Interacciones entre los factores A (temperatura en el interior del secador) y B (velocidad de flujo de aire).....	104
Gráfico 12. Representación gráfica de la variable solidos solubles (°Brix) para el snack de arazá al final del proceso.	105
Gráfico 13. Actividad de agua (a_w).....	108
Gráfico 14. Peso final de arazá deshidratado	113
Gráfico 15. Caracterización del color en el producto terminado.	116
Gráfico 16. Caracterización del olor en el producto terminado.	117
Gráfico 17. Caracterización del sabor en el producto terminado.	118
Gráfico 18. Caracterización del sabor en el producto terminado.	119
Gráfico 19. Caracterización de aceptabilidad en el producto terminado.	120
Gráfico 20. Humedad (KgH ₂ O/Kgss) y Tiempo (h).....	126
Gráfico 21. Humedad (KgH ₂ O/Kgss) y velocidad de secado (KgH ₂ O/hm).....	128
Gráfico 30. Curva de secado T5 (A2B1C1).	131
Gráfico 31. Velocidad de secado vs humedad para T5 (A2B1C1).	132
Gráfico 36. Curva de secado T8 (A2B2C2).	134
Gráfico 37. Velocidad de secado vs humedad para T8 (A2B2C2)	135
Gráfico 38. Curva de secado T9 (A3B1C1).	137
Gráfico 39. Velocidad de secado vs humedad para T9 (A3B1C1)	138

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Recepción del arazá.	78
Fotografía 2. Pesado del arazá.	78
Fotografía 3. Fruta clasificada.	79
Fotografía 4. Frutos dañados.	79
Fotografía 5. Pesado del producto clasificado.	79
Fotografía 6. Lavado del fruto.	80
Fotografía 7. Pelado de fruto arazá.	80
Fotografía 8. Troceado del arazá.	80
Fotografía 9. Inmersión del fruto en jarabe.	81
Fotografía 10. Escurrido del jarabe y lavado del fruto.	81
Fotografía 11. Secado del arazá en un deshidratador de bandejas	81
Fotografía 12. Enfriado del producto terminado.	82

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Hoja de encuesta para la evaluación sensorial de snack de arazá.	143
Anexo 2. Cálculos referenciales para snack de arazá.	143
Anexo 3. Valor de la humedad y velocidad de secado para T1 (A1B1C1).	146
Anexo 4. Curva de secado T1 (A1B1C1).	146
Anexo 5. Velocidad de secado vs Humedad de sólido para T1.	147
Anexo 6. Humedad y velocidad de secado para T2 (A1B1C2).	147

Anexo 7. Curva de secado T2 (A1B1C2).	148
Anexo 8. Velocidad de secado vs humedad para T2 (A1B1C2).....	148
Anexo 9. Valor de la humedad y velocidad de secado para T3 (A1B2C1).	149
Anexo 10. Curva de secado T3 (A1B2C1).	149
Anexo 11. Velocidad de secado vs humedad para T3 (A1B2C1).....	150
Anexo 12. Valor de la humedad y velocidad de secado para T4 (A1B2C2).	150
Anexo 13. Curva de secado T4 (A1B2C2).	151
Anexo 14. Velocidad de secado vs humedad para T4 (A1B2C2).....	151
Anexo 15. Valor de la humedad y velocidad de secado para T6 (A2B1C2).	152
Anexo 16. Curva de secado T6 (A2B1C2).	152
Anexo 17. Velocidad de secado vs humedad para T6 (A2B1C2).....	153
Anexo 18. Valor de la humedad y velocidad de secado para T7 (A2B2C1).	153
Anexo 19. Curva de secado T7 (A2B2C1).	154
Anexo 20. Velocidad de secado vs humedad para T7 (A2B2C1).....	154
Anexo 21. Valor de la humedad y velocidad de secado para T10 (A3B1C2).	155
Anexo 22. Curva de secado para T10 (70 ° C+3 m/s+1500 g/m ²).	155
Anexo 23. Velocidad de secado vs humedad para T10 (A3B1C2).....	156
Anexo 24. Valor de la humedad y velocidad de secado para T11 (A3B2C1).	156
Anexo 25. Curva de secado para T11 (70 ° C+5 m/s+1000 g/m ²).	157
Anexo 26. Velocidad de secado vs humedad para T11 (A3B2C1).....	157
Anexo 27. Valor de la humedad y velocidad de secado para T12 (A3B2C2).	158
Anexo 28. Curva de secado para T12 (70 ° C+5 m/s+1500 g/m ²).	158

Anexo 29. Velocidad de secado vs humedad para T12 (A3B2C2).....	159
Anexo 30. Características técnicas y estructura del deshidratador.....	159

RESUMEN

La presente investigación “Deshidratación osmótica y secado de arazá (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh) para la obtención de un snack” se desarrolló en los laboratorios de la Carrera de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Técnica del Norte, en la ciudad de Ibarra Ecuador. Se analizaron tres factores de estudio: velocidad de aire, temperatura de secado y densidad de carga.

El modelo estadístico utilizado en la investigación fue el diseño completamente al azar, con arreglo factorial AxBxC con doce tratamientos y tres repeticiones, dando un total de 36 unidades experimentales y con pesos de 1 y 1,5 kg por unidad. En el análisis funcional se empleó la prueba de Tukey ($\alpha < 0.05$) para tratamientos y Diferencia Media Significativa (DMS) ($\alpha < 0.05$) para factores. Las variables cuantitativas evaluadas fueron: peso final, actividad de agua, humedad, sólidos solubles; las variables cualitativas color, aroma, sabor y aceptabilidad.

El tratamiento T9 temperatura de secado 70°C, velocidad de aire 3 m/s y densidad de carga 1 kg/m² es el mejor ya que conservó mayor contenido de sólidos solubles 84,33 °Brix, actividad de agua 0,55 a_w y una humedad 1,17 % obteniendo un alimento deshidratado que se encuentran dentro de los parámetros establecidos en la norma NTE INEN 2996-2015. La densidad de carga del producto en el secador de bandejas fue el factor de mayor influencia en la pérdida de humedad, con relación la velocidad del aire y la temperatura, porque a menor densidad de carga mayor es la superficie de contacto del aire caliente, durante el proceso secado de obtención de un snack, siendo estos parámetros fundamentales en la aceptabilidad del producto final.

Palabras clave: deshidratación osmótica, temperatura, velocidad de secado, densidad de carga.

ABSTRACT

The present research "Osmotic dehydration and drying of arazá (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh) to obtain a snack" was developed in the laboratories of the Agroindustrial Engineering Career of the Universidad Técnica Del Norte, in the city of Ibarra Ecuador. Three study factors were analyzed: air velocity, drying temperature and charge density.

The statistical model used in the research was the completely randomized design, with factorial arrangement AxBxC with twelve treatments and three replicates, giving a total of 36 experimental units and weights of 1 and 1.5 kg per unit. The Tukey test ($\alpha < 0.05$) for treatments and Mean Significant Difference (DMS) ($\alpha < 0.05$) for factors were used in the functional analysis. The quantitative variables evaluated were: final weight, water activity, moisture, soluble solids; The qualitative variables color, aroma, flavor and acceptability.

The T9 treatment drying temperature 70 ° C, air velocity 3 m / s and load density 1 kg / m² is the best since it retained a higher content of soluble solids 84.33 ° Brix, water activity 0.55 aw and a humidity 1.17% obtaining a dehydrated food that are within the parameters established in the norm NTE INEN 2996-2015. The load density of the product in the tray dryer was the factor that most influenced the loss of moisture, in relation to the air velocity and the temperature, because at a lower charge density the hot air contact surface during The dried process of obtaining a snack, these parameters being fundamental in the acceptability of the final product.

Key words: osmotic dehydration, temperature, drying rate, charge density.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 PROBLEMA

En el Ecuador existen un sin número de frutas aun no industrializadas, el arazá es una de ellas, debido al desconocimiento de procesos agroindustriales, como almacenamiento o tratamiento post cosecha necesarios para su conservación, ya que posee características y propiedades nutricionales se deben buscar alternativas, en el procesamiento de alimentos enmarcadas en soberanía y seguridad alimentaria.

Una vez realizada la cosecha, la velocidad de las reacciones responsables de la maduración y la senescencia hacen que la vida útil de esta fruta sea muy corta, debido al alto contenido de agua presente en su composición, haciendo que pierda color, textura, aroma y propiedades nutritivas.

El poco uso agroindustrial del arazá hace que las condiciones de cosecha sean inapropiadas, haciendo que no se pueda mantener las propiedades nutricionales, como cantidad de ácido ascórbico luego de ser cosechada, existe escaso conocimiento del efecto del secado y deshidratación osmótica en las propiedades organolépticas del producto, el alto contenido de humedad de esta fruta hace conlleva a buscar nuevas alternativas para evitar el deterioro de esta fruta, , teniendo en cuenta parámetros esenciales para la estabilidad como °Brix del jarabe en la deshidratación osmótica que nos ayudaran a cristalizar los azucares para mejorar atributos de sabor y textura en el producto final, las temperaturas de secado son de suma importancia para no desnaturalizar proteína y ácido ascórbico presentes en la fruta, así como también reducir la actividad de agua en el snack para evitar la proliferación de microorganismo y alargar la vida útil del snack (Casp Vanaclocha & Abril Requena, 2008).

1.2 JUSTIFICACIÓN

La demanda actual de los mercados es cada vez más exigente en la calidad de los productos, por tal motivo es imprescindible la aplicación de tecnologías post cosecha que permitan el mantenimiento por un tiempo más prolongado del producto.

La importancia del consumo de alimentos saludables, ha tomado gran importancia en la actualidad, las frutas son una opción para quienes quieren alimentarse sanamente, debido a su calidad nutricional.

La industria se ve obligada a utilizar métodos de conservación de alimentos para evitar pérdidas económicas, es por eso que la deshidratación osmótica cuenta como un método efectivo de conservación de productos.

Los productos deshidratados son una alternativa de procesamiento para frutas tropicales por los bajos costos de operación, almacenamiento posterior al proceso y por su larga vida sin comprometer sus cualidades nutritivas y sensoriales.

Esta investigación está enfocada a la deshidratación osmótica y secado como, método de conservación del arazá para prolongar su vida útil, evitando que la producción de etileno cause la senescencia de la materia prima.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Deshidratar osmóticamente y secado de arazá (*Eugenia stipitata Mc Vaugh*) para la obtención de un snack.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar la materia prima mediante análisis físico químico.
- Evaluar el índice de madurez comercial del arazá para la deshidratación osmótica.
- Evaluar el efecto de la temperatura, velocidad de aire y densidad de carga sobre la calidad del producto final.
- Evaluar la calidad del producto terminado mediante análisis Físico Químico (°Brix, peso, humedad, proteína, vitamina C, pH); microbiológico (mohos, levaduras y recuento total de aerobios) y organoléptico (olor, color, sabor, textura).

1.4 HIPÓTESIS

Hi: La densidad de carga, temperatura y velocidad de aire influyen significativamente en la calidad del producto final.

Ho: La densidad de carga, temperatura y velocidad de aire no influyen significativamente en la calidad del producto final.

CAPÍTULO II

MARCO TÉORICO

2.1 ARAZÁ

También es conocido como membrillo o guayaba amazónica. Su fruto tiene excelente sabor y aroma; es apto para producir pulpas, de allí subproductos como: jugos, mermeladas, deshidratados, néctares, vinos, etc. (Romero Haro & Saquina Pilco , 2012).



Fotografía 1: Arazá

2.1.1 Descripción botánica de arazá

Botánicamente, el arazá puede ser descrito como un arbusto de hasta tres metros de altura, la ramificación comienza en la base, sus hojas son elípticas y de apice acuminado. Las flores son blancas y pequeñas, el fruto es una baya esferoidal, de color verde en estado inmaduro y ligeramente amarillento cuando alcanza la madures, según Quiñones Cobos (2005).

Nombres vulgares: arazá, membrillo, guayaba brasilera

Nombre científico: *Eugenia stipitata* Mc Vaugh

Familia: mirtaceae

2.1.2 Descripción del cultivo de arazá

El arazá (*Eugenia stipitata*) es una fruta endémica del alto Amazonas, el mismo que abarca las regiones amazónicas de Colombia, Ecuador, Perú y Brasil. Se lo ha introducido en Costa Rica, donde ha tenido una buena aceptación. En el Ecuador, se cultiva con éxito, en la zona de Santo Domingo de los Colorados, según Quiñones Cobos (2005).

2.1.2.1 Suelo

Según Barrera García & Carrillo Bautista (2007), el Arazá es un árbol que se adapta fácilmente a suelos de tipo ácido, poco fértiles con deficiencias de fósforo y magnesio; con pH menor a 5.0, además soporta inundaciones periódicas y cortas menores a 15 días.

2.1.2.2 Cosecha

El color del fruto es un indicativo de su estado para la recolección, aproximadamente a la novena semana de edad y cuando presenta una coloración verde mate, se puede cosechar, una vez el fruto es retirado del árbol continúa el proceso de maduración hasta cuando está apto para su consumo, alcanzando una coloración amarillo intenso. Otro índice fisiológico confiable para el momento de la cosecha del fruto se encuentra en su completo desarrollo, lo cual sucede, aproximadamente a las nueve semanas de edad y llega al peso y tamaño recomendables para su recolección según (Barrera García & Carrillo Bautista, 2007).



Fotografía 2. Frutos de arazá cosechado

2.1.2.3 Índice de recolección del fruto de arazá

El momento oportuno de recolección de un fruto es determinante en el éxito de su manipulación, transporte y comercialización. La recolección de frutos inmaduros dará como resultado frutos de escasa calidad, con poco o ningún aroma, color pálido e irregular. Mientras frutos recolectados en estados muy avanzados de madurez darán como resultado un lapso muy breve para la aplicación de algún método de conservación, (Barrera García & Carrillo Bautista, 2007).

2.1.3 Valor nutricional

La importancia del arazá es indudable, tiene un alto contenido de carbohidratos; es decir, es bajo en grasas. Es rico en vitamina A, proteína y potasio. Es bajo en fósforo, la pulpa contiene un 90% de humedad y un pH= 2,5, (Barrera García & Carrillo Bautista, 2007).

Tabla 1. Valor nutricional de 100g de pulpa de Arazá

Componentes	Unidad	Cantidad
Proteínas	g	8,06 – 10,75
Extracto etéreo	g	2,76 – 3,85
Fibra	g	5,50 – 6,45
Carbohidratos	g	69,08 – 71,63
Nitrógeno	g	1,29 – 1,72
Fósforo	g	0,09
Potasio	g	1,78 – 2,38
Calcio	g	0,16 – 0,21
Magnesio	g	0,08 – 0,13
pH		2,65
Sólidos Solubles	°Brix	4,0
Acidez	%	90
Vitaminas		
Vitamina A	microgramos	7,75
Vitamina B	microgramos	9,84
Vitamina C	miligramos	7,68

Fuente: Cultivos de frutales amazónicos. TCA (1997)

2.1.4 Características del producto

La fruta de arazá, es de color verde en estado inmaduro y ligeramente amarillento a amarillo dorado cuando alcanza la madurez, aproximadamente a los 90 días de la floración. Es exquisita, muy aromática, posee un exocarpo liso o aterciopelado, un mesocarpio carnoso de color amarillo de sabor fuertemente ácido, de 10 cm. de diámetro, con pesos comprendidos entre 200 gramos y puede llegar hasta 600 gramos y generalmente posee de 8 a 10 semillas (Salazar & Jenniffer, 2010).

2.1.5 Utilización del arazá

Esta fruta, por lo general, no se consume directamente en fresco, por causa de su elevada acidez. Por esta razón, en diversas regiones pertenecientes a la cuenca amazónica se identifican numerosas aplicaciones agroindustriales del fruto para la elaboración de pulpas, mermeladas, bocadillos, néctares, vinos, conservas y deshidratados de buena calidad y estabilidad; también es ideal para combinar con jugos de otras frutas, por su alto rendimiento de pulpa (alrededor del 60%), así como como su utilización en la industria de perfumes, por su alto potencial para la extracción de sus principios aromáticos debido a su agradable y exótico olor (Laverde Acurio, 2010).

2.1.6 Conservación del arazá

Según Hernández Gómez (2007), el almacenamiento de frutos a bajas temperaturas por un período definido es una práctica común en países de climas templados. La conservación de la fruta se basa principalmente en reducir su respiración; con esto se logran efectos en la calidad tan importantes como: atrasar el proceso de ablandamiento, degradación de ácidos y clorofila (degradación del color verde, amarillo) y los desórdenes relacionados con el envejecimiento.

Mientras Barrera García & Carrillo Bautista (2007) mencionan, que las bajas temperaturas retardan la maduración y pueden disminuir la aparición de pudriciones que aparecen durante el almacenamiento. Sin embargo, el problema con los frutos tropicales como en el caso del Arazá, guayaba, mango, o papaya entre otros es que son sensibles a baja temperatura.

2.1.6.1 Métodos de conservación

La demanda actual de los mercados es cada vez más exigente en la calidad de los productos, por tal motivo es imprescindible la aplicación de tecnologías pos cosecha, que permitan la conservación del fruto por un tiempo más prolongado de la calidad (Hernández Gómez, 2007).

- Refrigeración
- Atmosferas modificadas
- Humedad relativa
- Campos magnéticos
- Radiaciones ionizantes
- Buena higiene
- Barrera física sobre las heridas

2.1.7 Propiedades funcionales

Según Romero Haro & Saquina Pilco (2012), los frutos del arazá son recomendados en caso de agotamiento físico, desnutrición o debilidad, porque tienen propiedades antiescorbútcas, remineralizantes y tonificantes, por contar con minerales, lípidos y próticos (en pequeñas cantidades), vitaminas A, B y C. Todas las partes del arazá tienen propiedades funcionales, la fruta se consume fresca o en mermeladas. La raíz, en infusión al 2%, es un depurativo de la sangre. Las hojas disecadas y puestas a infusión son excelentes para problemas de estómago. El cocimiento de toda la planta, en la misma proporción se emplea para hemorragias y flujos menstruales excesivos.

2.2 DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA

Según Ratti (2009), la deshidratación es una técnica de conservación de productos agrícolas destinados a la alimentación y a la industria agroalimentaria. El objetivo básico de la

deshidratación de los alimentos es la eliminación del agua para extender la vida útil o reducir el peso para las siguientes operaciones unitarias de un proceso.

Además Andrango & Echeverry Londoño (2011) , menciona que la deshidratación osmótica implica el uso del fenómeno físico del osmosis, con el fin de eliminar el agua de los productos. La deshidratación osmótica se aplica normalmente frutas, donde ellas disponen de una matriz celular suficientemente rígida que actúa como membrana semipermeable. En esta operación la fruta es sumergida en una solución de alta concentración de sólidos solubles, que genera una mayor presión osmótica sobre pared celular de las frutas, provocando la migración del agua, de ciertos ácidos y aromas a la solución osmótica.

Los productos deshidratados osmóticamente y luego secados con aire caliente hasta la humedad de conservación, en muchos casos poseen mejores características sensoriales, y en general mejor calidad que las frutas secadas únicamente con aire caliente.

La deshidratación osmótica (DO) es una técnica de remoción de agua que consiste en sumergir frutas u hortalizas, troceadas o enteras, en una solución hipertónica compuesta por solutos capaces de generar una presión osmótica alta, lo cual permite aumentar la vida útil y mejorar las características sensoriales del producto (Ríos Pérez & Márquez Cardozo, 2005).

Según Castells, (2012) menciona, que la deshidratación desde el punto de vista técnico se emplea el término de secado, para mencionar a la operación como la pérdida de agua por medio de calor. Mientras, Amores Vizuet (2011) considera, que la conservación de alimentos permite prolongar la vida útil de las frutas, plantas y así acceder a mercados más distantes. También, los alimentos deshidratados mantienen gran proporción de su valor nutritivo original si el proceso se realiza en forma adecuada.

2.2.1 Aplicación de la deshidratación osmótica en frutas y vegetales

La remoción de agua por deshidratación osmótica en materiales biológicos incluyendo frutas y vegetales ha incrementado su interés como alternativa potencial y operación complementaria a los procesos convencionales de secado, congelación, entre otros. Esto porque el proceso puede

ser llevado a cabo a bajas temperaturas sin cambio de fase, resultando en productos de alta calidad y bajos costos de operación (Ríos Pérez & Márquez Cardozo, 2005).

2.2.2 Características de los frutos deshidratados

Los productos deshidratados obtenidos mediante esta técnica pueden tener diferentes características según el grado de estabilidad que almacenen. Este grado de estabilidad depende del nivel de deshidratación alcanzado durante la inmersión en el jarabe o por la aplicación de técnicas complementarias de conservación (Ríos Pérez & Márquez Cardozo, 2005).

Cuando se necesita un producto derivado de una fruta lo más parecido a la fruta fresca pero de alta estabilidad, se debe recurrir a complementar el producto mediante otras técnicas de conservación como el frío (refrigerado, congelado), el calor (escaldado, pasteurizado) o los aditivos químicos (sulfatos, sorbato, benzoato, ácido ascórbico) (Ríos Pérez & Márquez Cardozo, 2005).

2.2.3 Principios de la deshidratación osmótica

Según Ratti (2009), menciona que el principio de la osmosis como un fenómeno natural de la eliminación de agua a partir de material biológico ha sido conocido durante mucho tiempo. En los últimos años ha habido un aumento de interés en este proceso. Tratamiento osmótico es en realidad una combinación de procesos de deshidratación y de impregnación, que puede minimizar cationes negativos 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 global de los productos finales, creando nuevos productos atractivos, y el potencial ahorro de energía.

2.2.4 Aplicación industrial de tratamiento osmótico de frutas

Recientemente, ha habido un interés creciente en la industria alimentaria sobre la posibilidad de modificar las propiedades funcionales de alimentos y materiales de la mejora de la calidad general de los productos. El método de deshidratación osmótica acorta el tiempo de secado y reduce la pérdida de ácido ascórbico durante el secado (Ratti, 2009).

Proceso de osmosis a menudo ha sido propuesto como un paso primero seguido de cualquier tipo de operación de secado tal como secado al aire, 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 a más etapas de secado y mejorar la calidad del producto final (Ratti, 2009).

La deshidratación osmótica en general no dará un producto con un contenido de humedad suficientemente baja 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, tales como aire, vacío, o secado por congelación o congelación, refrigeración, pasteurización, u otros procesos de frutas, de verduras y productos de carne (Ratti, 2009).

2.2.5 Transferencia de masa en la deshidratación osmótica

Cuando una pieza de tejido se coloca en contacto con una solución osmótica, el soluto comienza a difundirse en el espacio extracelular y el agua empieza a difundirse en la dirección opuesta.

Mientras el coeficiente de transferencia de masa en el lado de la solución es lo suficientemente grande, la concentración en el subsuelo del tejido puede ser considerada a ser casi inmediatamente igual a la concentración de la solución, la propiedad de transferencia de agua en el material de alimentación inmerso en solución osmótica puede ser descrita por varios mecanismos de transporte diferentes, dependiendo de la naturaleza del material, tipo de unión de humedad, contenido de humedad, la temperatura y la presión en los poros capilares (Barbosa & Vega, 1996).

Transporte de agua en solución líquida se lleva a cabo solamente por difusión molecular, un fenómeno relativamente simple. En materiales biológicos capilares poroso, la transferencia de masa se produce en las cavidades de gas, capilares, las paredes celulares, y los espacios extracelulares e intracelulares. El material biológico contiene una variedad de componentes solubles individuales (Barbosa & Vega, 1996).

2.2.6 Presión osmótica

El estado termodinámico del agua en la solución es caracterizado por las interacciones del agua con soluto. También porque cada molécula tiene su energía interna y las interacciones necesitan energía, cada sustancia de la solución está en el estado energético definido. Este estado se refiere a un mol de la sustancia y se denomina potencial químico (Barbosa & Vega, 1996).

Potencial químico es una función de la concentración, la temperatura y presión. En condiciones isotérmicas se determina exclusivamente por la concentración y la presión.

La presión osmótica se relaciona con la masa molar del soluto; cuanto menor sea la masa, mayor será la presión a la misma concentración. Los electrolitos muestran altas presiones osmóticas seguro que no electrolitos, ya que cada ion afecta el potencial químico de un disolvente (Barbosa & Vega, 1996).

2.2.6.1 Relación entre la concentración y la presión osmótica de la solución

La diferencia de presión osmótica de dos sistemas es una fuerza motriz para la transferencia de masa, si los sistemas están separados por una membrana semipermeable, la membrana es permeable al disolvente e impermeable al soluto moléculas. Este fenómeno se utiliza en la deshidratación osmótica de frutas y verduras (Barbosa & Vega, 1996).

2.2.7 Desarrollo y futuro de la deshidratación osmótica

La investigación en aplicaciones de deshidratación osmótica a la elaboración de alimentos en la tecnología y en los mecanismos de transferencia de componentes se lleva a cabo en varios

países. La tecnología de la deshidratación osmótica es útil para proporcionar a los consumidores productos seguros y de calidad, (Ratti, 2009).

La solución osmótica se diluye debido a la pérdida de azúcar, así como la absorción de agua del material de los alimentos frescos. En las aplicaciones prácticas, un problema para la producción a gran escala mediante un proceso de concentración osmótica es una gran cantidad de jarabe diluido izquierda al final del proceso. El jarabe necesita ser reconcentrado y reutilizada con el fin de hacer el procedimiento económicamente viable. Soluciones de azúcar tienden a oscurecerse y caramelizar cuando se calienta para la concentración. Es preferible simplemente para concentrar la solución de azúcar mediante la adición de más azúcar sin calentamiento, (Ratti, 2009).

2.3 SECADO

El secado de los alimentos es el método mas antiguo de conservación de los productos, la industria agroalimentaria utiliza la deshidratación como método de conservación de un gran número de productos, sin entrar en una relación exhaustiva debido ala evolución rápida y permanente de las posibles aplicaciones, se pueden citar: productos lácteos (leche en polvo instantanea), productos derivados de los cereales (harinas con frutas y miel) y productos frutales (frutas secas), según (Casp Vanaclocha & Abril Requena, 2008).

El secado por aire caliente es considerado un proceso simultáneo de transferencia de calor y masa, donde el agua se transfiere por difusión, capilaridad y convección, de acuerdo con los gradientes de humedad y temperatura entre el alimento y el aire de secado respectivamente, desde el interior del alimento a la interfase aire-alimento y desde ésta a la corriente de aire por convección, (Tovilla Moralesa & Sandoval Torres, 2015).

2.3.1 Secado convectivo

Según Castells, (2012), la deshidratación desde el punto de vista técnico, es un proceso de eliminación de agua por medio de calor. Mientras, Amores Vizuetete (2011) considera que la

conservación de alimentos permite prolongar la vida útil de las frutas, plantas y así acceder a mercados más distantes. También, los alimentos deshidratados mantienen gran proporción de su valor nutritivo original si el proceso se realiza en forma adecuada.

Según Aspurz Tabar (2011), una de las primeras operaciones posteriores a la cosecha destinadas a mantener la calidad de los productos agrícolas, es el proceso de secado. El cual consiste en la remoción parcial del agua libre contenida en estos productos hasta que llega a un contenido de agua que permite el almacenamiento por mucho tiempo, sin que ocurra el deterioro de los productos.

Sin embargo, el principal objetivo del secado de alimentos es eliminar el contenido de agua que nos permita conservar la materia prima en percha por mayor tiempo.

Maupoey et al. (2001), indica que en los secadores convectivos, el aire caliente es impulsado a través del secador por medio de ventiladores”. Mientras Contreras (2006) dice que “el calor se transfiere al alimento mediante una corriente de aire caliente, que además de transmitir el calor necesario para la evaporación del agua, es el agente transportador del vapor de agua que se elimina del alimento.

2.3.2 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 manifiesta Casp Vanaclocha & Abril Requena (2008).

2.3.3 Actividad de agua

Colina Irezabal (2010) señala que la actividad de agua de los alimentos determina la estabilidad, ya que muchas reacciones dañinas ocurren de acuerdo con el valor de este factor, por lo tanto, se observa una división de la a_w en tres zonas, donde la zona III representa el agua libre y corresponde a la mayor parte del agua de los tejidos vegetales y animales de los

alimentos, además, en esta etapa el agua se elimina con facilidad durante el proceso de secado, por otra parte, el alimento es más disponible para el crecimiento de microorganismos, reacciones químicas y enzimáticas, así la actividad de agua es de aproximadamente 0.8, aunque desde luego depende del tipo de producto y de la temperatura.

El agua contenida en un alimento, sea de origen animal o vegetal, esta más o menos “disponible” para participar en las reacciones físicas, químicas y microbiológicas. Esta disponibilidad varia de un producto a otro según su composición, algunas estructuras o moléculas retienen más el agua que otras; varia incluso para un mismo producto, un fruto maduro no se comporta de la misma forma que un fruto verde.

La actividad de agua (a_w) es un parámetro que indica la disponibilidad de agua en un alimento para que existan reacciones químicas y bioquímicas (Por ejemplo, oxidación de lípidos, reacciones enzimáticas, reacción de Maillard y desarrollo microbiano), Calle Benites & Aparicio Baidal (2011).

La actividad de agua de un producto es siempre inferior a 1, esto significa que los constituyentes del producto fijan parcialmente el agua disminuyendo así su capacidad de vaporizarse. Se habla entonces de agua ligada, más o menos fijada al producto por adsorción. Un producto alimentario contiene en general simultáneamente varias formas de agua: agua libre, agua débilmente ligada y agua fuertemente ligada, estas últimas están retenidas a las moléculas de la materia seca por fuerzas relativamente importantes. La proporción de agua más o menos adsorbida depende de cada producto.

2.3.4 Proceso básico de secado

Según Casp Vanaclocha & Abril Requena (2008), 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 de a_w 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, en fase líquida y/o vapor, a través de su estructura interior. Al movimiento del agua líquida le seguirá su evaporación en algún punto del alimento, para lo cual es necesario calor, por lo tanto el proceso supone realmente un transporte simultáneo de materia y calor (Casp Vanaclocha & Abril Requena, 2008).

- **Transmisión de calor desde el gas hasta la superficie del producto.**

Puede realizarse por conducción, convección o radiación.

- **Transmisión de calor desde la interfase sólido-gas hasta el interior de sólido.**

Solo puede tener lugar por conducción, en régimen no estacionario (las condiciones en cualquier punto varían con el tiempo).

- **Transmisión de materia a través del sólido.**

Según Casp Vanaclocha & Abril Requena (2008), menciona que se puede producir por difusión o por capilaridad, la difusión tiene lugar en el secado de productos con humedades del orden de 25 % (base húmeda) o inferiores, mientras que la capilaridad se presenta para niveles altos de humedad (65 % o más), siempre y cuando en la estructura interna del producto existan capilares.

- **Transferencia de vapor desde la interfase sólido-gas hacia el seno del gas.**

Los sistemas mas usuales emplean la convección contra los mecanismo de tranferencia de calor y aire como vehículo de esta energía , por lo tanto la transferencia de calor dependerán, en este caso de la temperatura del aire, de la humedad, del caudal, de la superficie expuesta del alimento y de la presión.

Según Casp Vanaclocha & Abril Requena (2008), manifiesta que los equipos de deshidratación utilizarán por tanto para la transferencia de energía. procesos basados en la convencion, conducción o radiación desde la fuente de calor hasta el alimento.

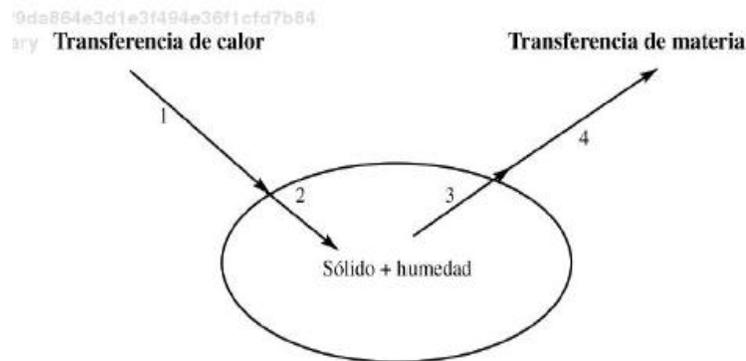


Figura 1. Proceso básico de secado.

Por lo tanto, durante el secado se producen cuatro procesos de transporte (figura 1):

1. *Transmisión de calor hasta la superficie del producto.* Puede realizarse por conducción, convección o radiación.
2. *Transmisión de calor desde la interface sólido-gas hasta el interior del sólido.* Sólo puede tener lugar por conducción, en régimen no estacionario (las condiciones en cualquier punto varían con el tiempo).
3. *Transmisión de materia a través del sólido.* Se puede producir por difusión o por

capilaridad. Difusión debida a las diferencias de concentración y capilaridad, aprovechando los capilares existentes. La difusión tiene lugar en el secado de productos con humedades del orden de 25% (base húmeda) o inferiores, mientras que la capilaridad se presenta para niveles altos de humedad (65% o más), siempre y cuando en la estructura interna del producto existan capilares

4. *Transferencia de vapor desde la interface sólido-gas hacia el seno del gas.*

Es necesario tener en cuenta los cuatro procesos de transporte citados, puesto que la velocidad de secado será proporcional al más lento de ellos. En la mayoría de los casos los procesos limitantes serán los de transporte de materia y calor en el interior del alimento.

2.4 TRANSFERENCIA DE CALOR EN SECADORES

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. 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. En 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 menciona (McCabe, Smith, & Harriott, 2007).

El calor se debe aplicar a un secador para lograr los siguientes objetivos:

1. Calentar la alimentación (sólidos y líquidos) hasta la temperatura de evaporación.

2. Evaporar el líquido.
3. Calentar los sólidos hasta su temperatura final.
4. Calentar el aire u otro gas agregado hasta su temperatura final.

De los objetivos anteriores el de mayor significancia es el segundo. En general, la velocidad total de transferencia de calor se puede calcular de manera siguiente. Si m_s es la masa de sólidos completamente secos que se desea obtener mediante secado por unidad de tiempo y X_a y X_b son los obtenidos en masa inicial y final del líquido por unidad de masa de sólido completamente seco, entonces la cantidad de calor transferido por unidad de masa de sólido ($q\tau/m_s$) es (McCabe, Smith, & Harriott, 2007):

$$\frac{q\tau}{m_s} = c_{ps}(T_{sb}-T_{sa}) + X_a c_{pL}(T_v - T_{sa}) + (X_a - X_b)\lambda + X_b c_{pL}(T_{sb} - T_v) + (X_a - X_b) c_{pv}(T_{va} - T_v)$$

Dónde:

T_{sa} = temperatura de alimentación

T_v = temperatura de vaporización

T_{sb} = temperatura final de sólidos

T_{va} = temperatura final del vapor

λ = calor latente de vaporización

c_{ps} , c_{pL} , c_{pv} = calores específicos del sólido, líquido y vapor, respectivamente.

2.5 TRANSFERENCIA DE MASA

Dentro de los procesos de separación llega a ser muy importante el conocer cómo funcionan los procesos de transferencia de materia.

Para estudiar las operaciones que dependen de los procesos de transferencia de materia es importante comprender el significado del término transferencia de materia, por lo tanto, la utilización del término transferencia de materia se restringe al desplazamiento de un constituyente de un fluido o de un componente de una mezcla, por otra parte, el movimiento se produce debido a una diferencia de concentraciones, de tal manera que puede producirse dentro de una fase o entre diferentes fases (Singh & Heldman, 2014).

2.6 CURVA DE SECADO

Según Maupoey, Andrés Grau, Barat Baviera, & Albors Sollora (2001), establece que las variables se mantienen constantes y se determinan periódicamente, el contenido de humedad del sólido se obtiene una serie de datos que puede graficarse en un sistema coordenado, en la forma X (contenido en humedad del material) frente a t (tiempo transcurrido desde que se inició la operación de secado), dando lugar a la curva de secado.

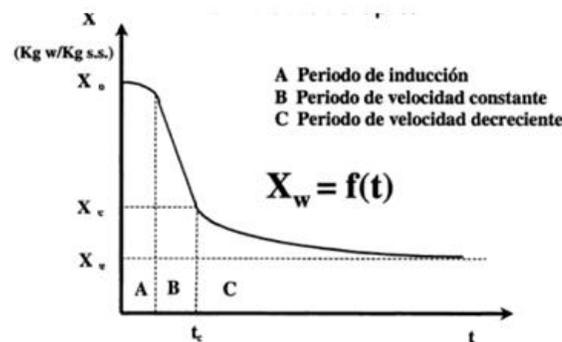


Figura 2. Curva: humedad en función del tiempo

Las zonas características de una curva de secado son:

- **Zona A**, en la cual la pendiente de la curva aumenta ligeramente con el tiempo y se denomina periodo de inducción.
- **Zona B**, de pendiente constante.
- **Zona C**, la pendiente disminuye con el tiempo

2.7 VELOCIDAD DE SECADO

Según Ibarz & Barbosa Cánovas (2014), los datos que se generan en el proceso de secado se expresan normalmente como el peso total de material húmedo como una función del tiempo durante el proceso de secado, aunque en ocasiones pueden expresarse en términos de velocidad de secado. El contenido de humedad del producto se define como la relación entre la cantidad de agua en el alimento y la cantidad de sólidos secos.

Mientras McCabe, Smith, & Harriott (2007), mencionan que a medida que transcurre el tiempo, el contenido de humedad X_T disminuye en general como se representa en la gráfica A de la figura 2. Después de un corto periodo durante el cual se calienta el material alimentado hasta la temperatura de vaporización, la representación gráfica se hace lineal, después se curva hacia el eje de las abscisas y al final se hace horizontal. La velocidad de secado, que es derivada de la curva A, se representa por la gráfica B; para un periodo considerable, la velocidad es constante o disminuye ligeramente. Este tiempo a menudo se conoce como periodo de velocidad constante, aun cuando la velocidad de secado disminuya. Después viene el periodo de velocidad decreciente, en que la velocidad de secado tal vez disminuya de modo lineal con el tiempo o genere graficas que son cóncavas hacia arriba o hacia abajo, dependiendo de la naturaleza del sólido y el mecanismo del flujo de la humedad interna.

Maupoey et al. (2001). Define la velocidad de secado como la velocidad con que disminuye la humedad del producto es decir:

$$W = -\frac{dX}{dt}$$

Por tanto, la velocidad o tasa de secado de un sólido (dX / dt), es la cantidad de agua que se evapora por unidad de tiempo, además, se determina experimentalmente bajo condiciones físicas y termodinámicas, constantes. La pendiente de la curva de secado (dX/dt) indica la velocidad de secado en la que también puede diferenciarse las tres zonas definidas anteriormente, así como su correspondencia con la curva de secado.

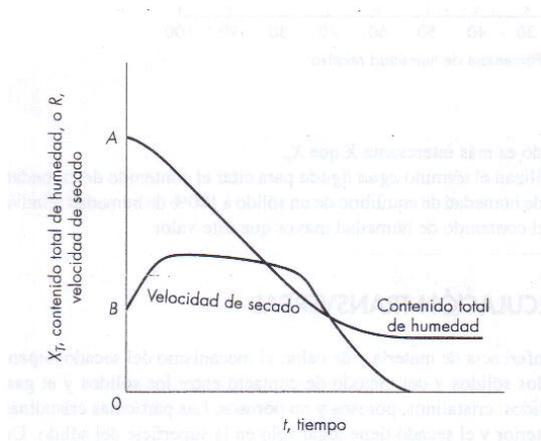


Figura 3. Gráficas típicas del contenido total de humedad y de la velocidad de secado contra el tiempo de secado (McCabe, Smith, & Harriott, 2007).

Sin embargo Casp Vanaclocha & Abril Renquena (2008), mencionan que la transmisión de calor tiene lugar en el interior del alimento y está relacionada con el gradiente de temperatura existente entre su superficie y la correspondiente a la superficie del agua en el interior del alimento. Si se suministra al agua suficiente energía para su evaporación, el vapor producido se transportará desde la superficie de la capa húmeda en el interior del producto hacia la superficie de éste. El gradiente de presión existe entre la superficie del agua en el interior y en el aire exterior del alimento, es el que provoca la difusión del vapor del agua hacia la superficie de este.

2.8 CONTENIDO CRÍTICO DE HUMEDAD

Ibarz & Barbosa Cánovas (2014) en la figura 3 muestra una curva típica de velocidad de secado, donde el punto A representa el inicio de secado de un producto. El punto B representa la condición de temperatura de equilibrio de la superficie del producto. De la curva B-C es conocido como periodo de velocidad constante de secado, donde se produce una reducción importante del contenido de agua ya que se elimina el agua no ligada del producto. Además al inicio del proceso de secado la superficie del producto se encuentra muy húmeda, con una

actividad de agua cercana a uno. Sin embargo Casp Vanaclocha & Abril Renquena, (2008) afirman que, la evaporación se efectúa en la superficie del producto a temperatura constante debido a que la velocidad de transferencia de masa se equilibra con la velocidad de transferencia de calor y corresponde a la temperatura 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.

Mientras McCabe, Smith, & Harriott (2007), mencionan que punto en el cual termina el periodo de velocidad constante (aunque la velocidad de secado sea o no en verdad constante) se llama contenido de humedad crítico. A veces es claramente identificable, tal como se indica con el punto B en la figura 4; con más frecuencia esto es aproximada. Esto representa el contenido de humedad debajo del cual el líquido insuficiente puede ser transferido desde el interior del sólido para mantener una película continua o muy cerca a continua en la superficie. Si el contenido inicial de humedad del sólido es inferior al punto crítico, no existe el periodo de velocidad constante.

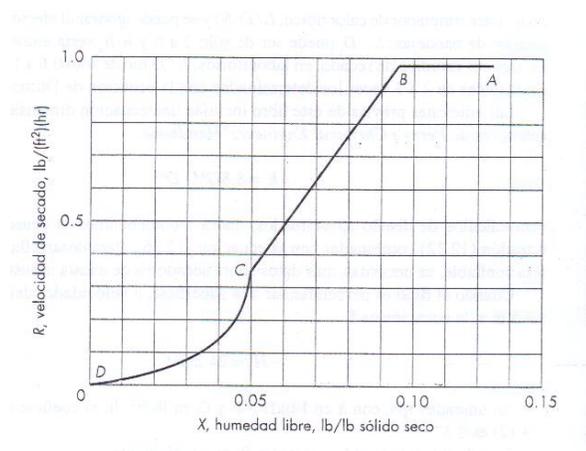


Figura 4. Curva de la velocidad de secado para un plato de cerámica porosa. Según Sherwood y Comings (McCabe, Smith, & Harriott, 2007).

2.9 PERÍODOS DE SECADO

El proceso de secado está normalmente dividido en tres fases: una fase inicial de precalentamiento, seguido de otra de velocidad de secado constante y una o más fases de velocidad de secado decreciente. En la gráfica 4 se muestra la curva de secado obtenida cuando se representa el contenido de humedad contra el tiempo de secado según Casp Vanaclocha & Abril Requena (2008).

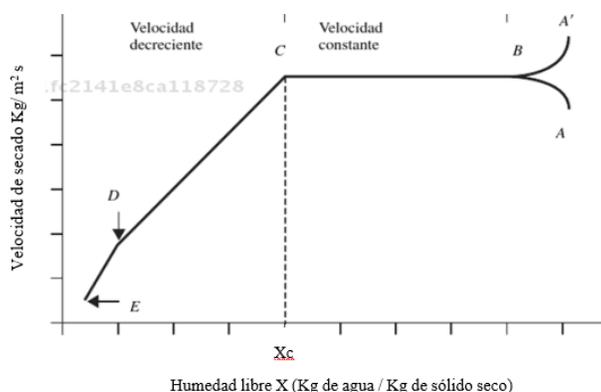


Figura 5. Períodos de secado

Fuente: Ibarz & Barbosa Cánovas, (2014)

Ibarz & Barbosa Cánovas (2014) en la figura 5 muestra una curva típica de velocidad de secado, donde los puntos A y A' representan el inicio de secado de un producto. El punto B representa la condición de temperatura de equilibrio de la superficie del producto. A su vez Casp Vanaclocha & Abril Renquean, (2008) indica que es un periodo de precalentamiento o inducción que transcurre mientras el producto y el agua en él contenida se calientan ligeramente, hasta alcanzar la temperatura de bulbo húmedo característica del ambiente secante. Por lo tanto, el producto a secar al principio se encuentra frío, su presión de vapor es igualmente baja y la velocidad de transferencia de masa es muy lenta, por otra parte, este periodo es muy corto por lo que suele ser despreciado en los cálculos de tiempo.

2.9.1 Período de inducción- precalentamiento A-B

Según Casp Vanaclocha & Abril Requena (2008), mencionan que un período de precalentamiento o inducción que transcurre mientras el producto y el agua contenida se calientan ligeramente, hasta alcanzar la temperatura de bulbo húmedo característica de ambiente secante. 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, la transferencia de calor es alta. La cantidad de calor transferida a la superficie del producto es netamente superior a la cantidad de calor arrastrada por la poca agua evaporada, existe un desequilibrio. El excedente de calor se utiliza entonces en calentar la superficie del producto, lo cual produce una disminución del gradiente de temperatura, que cesará cuando se alcance el equilibrio estacionario. Este periodo es muy corto en comparación con el tiempo total de secado.

2.9.2 Período de secado a velocidad constante B-C

El periodo de secado a velocidad constante, los fenómenos de transporte que tienen lugar son la transferencia de materia de vapor de agua hacia el medio ambiente, desde la superficie del producto a través de una película de aire que rodea el material, y la transferencia de calor a través del sólido. Durante el proceso de secado, la superficie del material permanece saturada de agua, ya que la velocidad de movimiento del agua desde el interior del sólido es suficiente para compensar el agua evaporada en la superficie. Sin embargo se supone que solo existe transferencia de calor hacia la superficie del sólido por convección desde el aire caliente y transferencia de materia desde la superficie hacia el aire caliente se obtiene (Ibarz & Barbosa Cánovas, 2014):

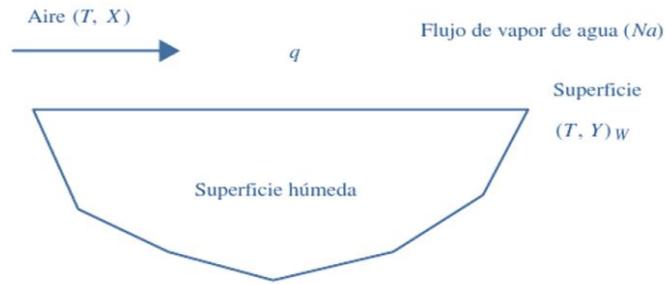


Figura 6. Transmisión de calor y material de secado

Fuente: Ibarz & Barbosa Cánovas, 2014

Aguado (2002) y Gearkoplis (1998) coinciden que el coeficiente individual de transmisión de calor se puede establecer bien experimentalmente, bien a través de la aplicación de correlaciones empíricas apropiadas al caso. Así, si el flujo de aire es paralelo a la superficie del alimento.

$$h = 0.0204(G)^{0.8}$$

Cuando el aire fluye perpendicularmente a la superficie:

$$h = 1.17(G)^{0.37}$$

Dónde: h viene dado en $W/m^2\text{°K}$ y G es la velocidad másica del aire, en kgm^2/s

Por lo tanto, se realiza los siguientes cálculos para obtener la cantidad de calor transferido del aire al producto:

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

$$G = v * d$$

$$h = 0.0204(G)^{0.8}$$

Dónde:

h: Coeficiente de transferencia de calor

A: Área de la superficie de secado (m^2)

Tbh: Temperatura de bulbo húmedo del aire

T: Temperatura de secado.

G= densidad de flujo másico del aire

v= velocidad

d= densidad

$$G = v * d$$

$$G = 3 \frac{m}{s} * 0.8044 \frac{kg}{m^3}$$

$$G = 2.41 \frac{kg}{m^2s}$$

$$h = 0.0204(G)^{0.8}$$

$$h = 0.0204(2.41)^{0.8}$$

$$h = 0.0412 \frac{W}{m^2 \circ K}$$

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

$$q = 0.0412 \frac{W}{m^2 \circ K} * 0.5644 m^2 (55 - 17.50) \circ C$$

$$q = 0.0412 \frac{W}{m^2 \circ K} * 0.5644 m^2 (310.5) \circ K$$

$$q = 7.22 W$$

$$q = 0.00722 Kw$$

2.9.3 SECADO EN EL PERIODO DE VELOCIDAD DECRECIENTE

Según Casp Vanaclocha & Abril Requena (2008), 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. La brusca reducción de la superficie efectiva de transferencia, debida a una alimentación insuficiente de agua libre, es la causa de la disminución de la velocidad de secado. La migración del agua es cada vez más difícil y como consecuencia la transferencia de masa se convierte en el factor limitante. Los depósitos de solutos obstruyen los poros, el agua ligada migra bajo forma de vapor y la distancia a recorrer por el frente de vapor es cada vez mayor, todos estos factores frenan rápidamente la transferencia interna de agua.

En el primer periodo de velocidad decreciente, el mecanismo de transporte de masa que predomina es la difusión de vapor, desde la zona de evaporación hasta la superficie del producto.

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

Mientras McCabe, Smith, & Harriott (2007), indica que los métodos para estimar las velocidades de secado en el periodo de velocidad decreciente dependen de si el sólido es poroso o no. En un lecho de partículas no porosas, cuando ya no hay más humedad en la superficie, tiene lugar una posterior evaporación por debajo de la superficie a una rapidez que

depende de las resistencias de las transferencias de masa y de calor en el sólido parcialmente seco.

2.9.3.1 Sólidos no porosos

La distribución de la humedad en un sólido no poroso típico esto consiste por lo que se deriva de suponer que humedad fluye por difusión a través de los sólidos. Esto difiere algo a partir de la distribución teórica, sobre todo porque la difusividad varía de manera considerable con el contenido d humedad y es en especial sensible al encogimiento.

En los materiales que se secan de esta forma se dice que el secado se realiza por difusión, aunque es probable que el mecanismo real sea considerablemente más complicado que el de difusión simple.

La difusión es característica de los materiales que se secan lentamente. La resistencia a la transferencia de masa de vapor de agua desde la superficie del sólido hasta el aire es en general despreciable, y la difusión en el sólido controla la velocidad global de secado. Por lo tanto, el contenido de humedad en la superficie es muy próximo al valor de equilibrio según (McCabe, Smith, & Harriott, 2007).

2.9.3.2 Sólidos porosos

En un material poroso, la difusión de la humedad interna hacia la superficie del lecho o hacia la superficie de las partículas puede limitar la tasa de secado.

La humedad fluye a través de los poros de los sólidos por capilaridad y hasta cierto punto por difusión superficial. En la figura 2, se muestra la curva de la velocidad de secado para un plano de cerámica porosa. Esta muestra un nítido quiebre en la curva de velocidad descendente para un contenido de humedad de 0.05 lb/lb de sólido seco (punto C). Esto se ha denominado segundo punto crítico. Sin embargo, el tipo de comportamiento mostrado en la figura no es común, pues la velocidad constante rara vez es verdaderamente constante y aunque puede haber cierto cambio en la velocidad descendente a bajos contenidos de

humedad, transición no es lo suficientemente clara como para indicar un segundo contenido de humedad crítica según (McCabe, Smith, & Harriott, 2007).

2.10 SECADORES DE BANDEJAS

Según Casp Vanaclocha & Abril Requena (2008), señalan que la velocidad de aire entre las bandejas varía con el tipo de producto, oscilando normalmente entre 1 y 10 m/s. Cuando las características del material y su manejo lo permiten, se utilizan bandejas perforadas, en donde el aire circula a través de la capa de los sólidos, por lo tanto, se consigue incrementar la superficie del producto expuesta a la acción del aire y disminuir así el tiempo de secado.

Además, se utiliza bandejas perforadas para incrementar la circulación del aire sobre el producto dentro del secador (figura 7), a una velocidad relativamente baja para conservar los componentes volátiles presentes en el producto. Están formados por una cámara metálica rectangular (amarillo). En cuyo interior se disponen unos bastidores móviles.

Cada bastidor lleva un cierto número de bandejas pocas profundas, montadas unas sobre otras con una separación conveniente. Colocándose sobre ellas el producto a secar. El ventilador colocado en la parte superior hace circular el aire por los calentadores y después, entre las bandejas, está constituido por un haz de tubos en cuyo interior circula normalmente vapor de agua. Por el conducto de salida se evacua constantemente aire húmedo, mientras que a través de la abertura entre aire fresco. Al final del ciclo de secado, que habitualmente es largo, se sacan del secadero de bastidores para proceder a la descarga del producto seco y a una nueva carga de producto húmedo.

El calor del medio ambiente de secado (aire caliente) se transmite al producto por convección; la corriente de convección pasa sobre la superficie del producto, como se ha dicho, a relativamente alta velocidad para aumentar la eficacia de la transmisión de calor y la transferencia de la masa. En la figura 7 se representa un esquema de este tipo de secador.

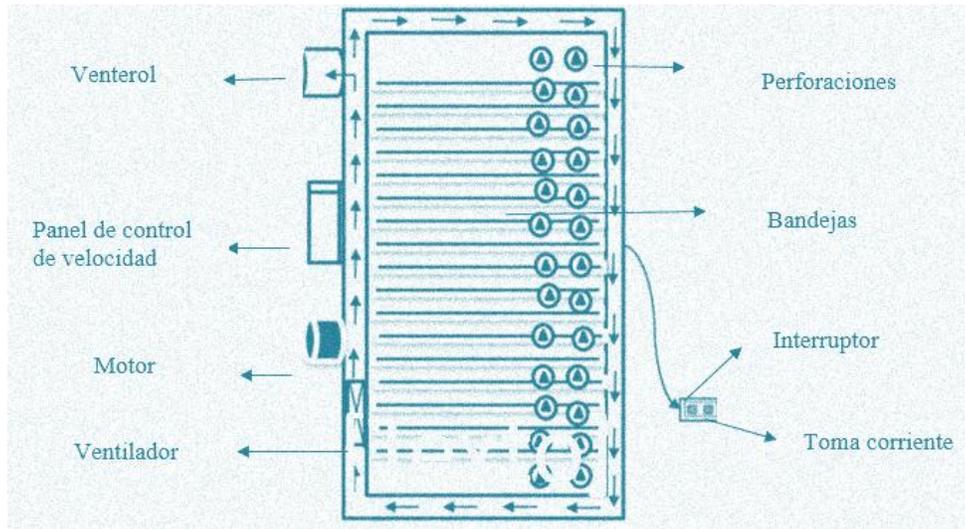


Figura 7. Esquema de un secador de bandejas o de armario.

2.11 PSICROMÉTRIA EN EL PROCESO DE SECADO

Según Heldman & Singh (2014), el objetivo de la psicrometría incluye la determinación de las propiedades termodinámicas de mezclas gas-vapor. Sus aplicaciones más comunes se asocian al sistema aire-vapor de agua. El conocimiento de los procedimientos utilizados en los cálculos que incluyen propiedades psicrométricas será útil en el diseño y análisis de diferentes sistemas de almacenamiento y procesamiento de alimentos.

2.11.1 Importancia de las propiedades del aire en el proceso de secado

Según Fellows (2000), existen tres factores interrelacionados que controlan la capacidad de aire para eliminar el agua de un alimento:

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

La cantidad de vapor de agua en el aire se expresa mediante el término humedad absoluta (llamado contenido de agua) o mediante el término humedad relativa (HR).

La psicrometría es el estudio de las propiedades de los sistemas aire-vapor de agua. Estas propiedades se representan en un diagrama psicrométrico.

Para que tenga lugar el secado, el alimento absorbe calor del aire, teniendo lugar la evaporación del agua de la superficie. La temperatura del aire se denomina temperatura de bulbo seco, y se mide mediante un termómetro de bulbo. Si el bulbo está cubierto por una tela húmeda, la evaporación del agua de esta tela roba calor y la temperatura disminuye. Esta temperatura menor es la llamada temperatura de bulbo húmedo. La diferencia entre las dos temperaturas se usa para determinar la humedad relativa del aire en el diagrama psicrométrico.

2.11.2 Carta psicométrica

Para evitar una gran cantidad de cálculos para el diseño del sistema de aire acondicionado se procede a la utilización de la carta psicométrica la cual presenta características importantes tales como:

2.11.2.1 Temperatura del bulbo seco.

Según Singh & Heldman (2014), menciona que la temperatura aire ambiente (aire seco más vapor de agua), es la temperatura mostrada por un indicador de temperatura invariable. Dicha temperatura contrasta con la temperatura de bulbo húmedo donde el indicador se mantiene cubierto por una capa de agua. Siempre que se indique la temperatura sin ningún sufijo se entenderá que corresponde a la temperatura de bulbo seco, se mide mediante un termómetro.

Mientras, Caicedo Flores & Vega Martínez (2011), indica que la temperatura de bulbo seco se representa sobre la horizontal (abscisa), en la parte baja de la carta. Las líneas que se extiende verticalmente, desde la parte baja hasta la parte alta de la carta como se indica en la figura 8.

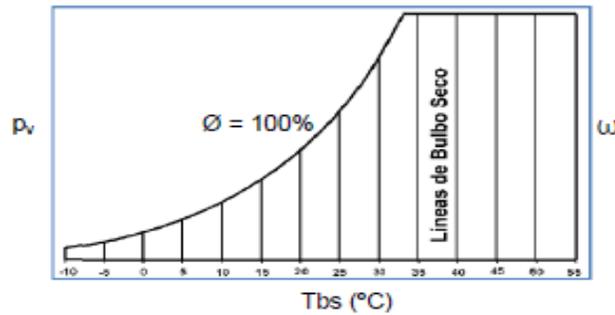


Figura 8. Líneas de la temperatura de bulbo seco.

2.11.2.2 Temperatura de bulbo húmedo.

Según Singh & Heldman (2014), cuando se describe la mezcla aire-vapor se utiliza generalmente dos temperaturas de bulbo húmedo: la temperatura de bulbo húmedo psicrométrica y la temperatura de bulbo húmedo termodinámica. Para el aire húmedo, los valores de ambas son aproximadamente iguales, aunque en otros sistemas gas-vapor las diferencias pueden ser importantes.

La temperatura de bulbo húmedo se representa diagonalmente de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo, en un ángulo de aproximadamente 30 ° de la horizontal como se indica en la figura 8, según (Caicedo Flores & Vega Martínez , 2011).

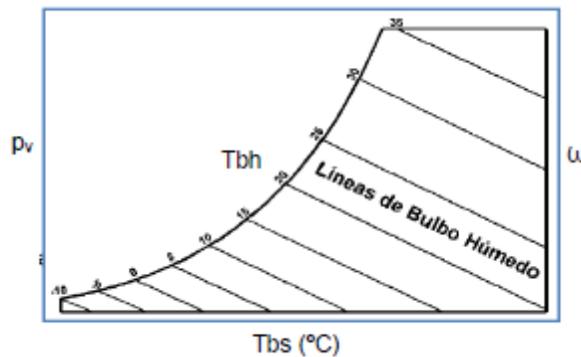


Figura 9. Líneas de la temperatura de bulbo húmedo.

2.11.2.3 Humedad absoluta.

La humedad absoluta se representa en la escala vertical (ordenada) la cual se encuentra al lado derecho de la carta psicrométrica. Las líneas de humedad absoluta corren horizontalmente de derecha a izquierda. Se puede ver observar que la cantidad de humedad en el aire como se indica en la figura 9, (Caicedo Flores & Vega Martínez , 2011).

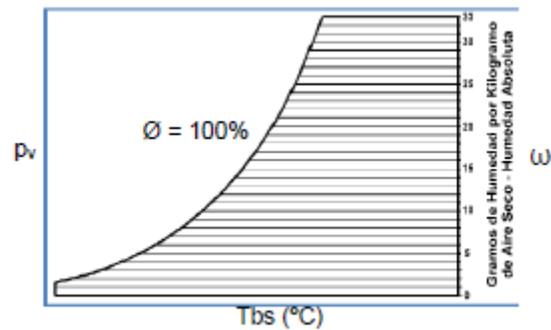


Figura 10. Líneas de humedad absoluta.

2.11.2.4 Humedad relativa.

Las líneas de la humedad relativa constante, son las líneas curvas que se extienden hacia arriba y hacia la derecha. Se expresan siempre en tantos por ciento, y este valor se indica sobre cada línea como se indica en la figura 10, según Caicedo Flores & Vega Martínez (2011).

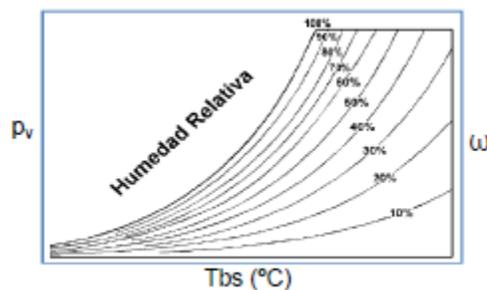


Figura 11. Líneas de humedad relativa.

2.11.2.5 Volumen específico

El volumen específico están representadas en un ángulo aproximado de 60° con la horizontal, y van aumentando de valor de la izquierda a derecha. Por lo general, el espacio cada línea, representa un cambio de volumen específico de 0.05 m³/kg como se indica en la figura 11, según (Caicedo Flores & Vega Martínez , 2011).

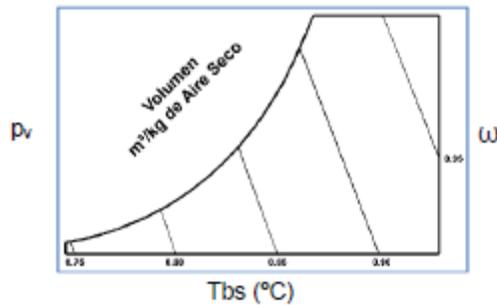


Figura 12. Líneas del volumen específico.

2.11.2.6 Entalpia

La entalpia está representada por las líneas son extensiones de las líneas de bulbo húmedo, puesto que el calor total del aire depende de la temperatura del bulbo húmedo como se indica en la figura 12, según (Caicedo Flores & Vega Martínez , 2011).

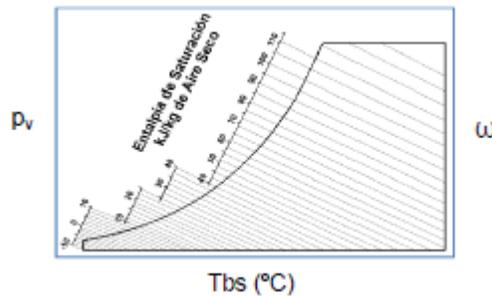


Figura 13. Líneas de entalpía.

2.11.2.7 Temperatura del punto de rocío

La escala para las temperaturas de punto de rocío es idéntica que la escala para las temperaturas de bulbo húmedo es decir; es la misma escala para ambas propiedades como se indica en la figura 13, según (Caicedo Flores & Vega Martínez , 2011).

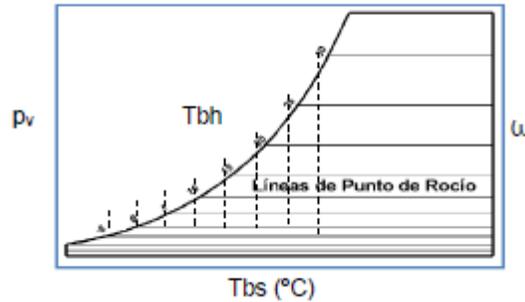


Figura 14. Líneas de la temperatura de punto de rocío.

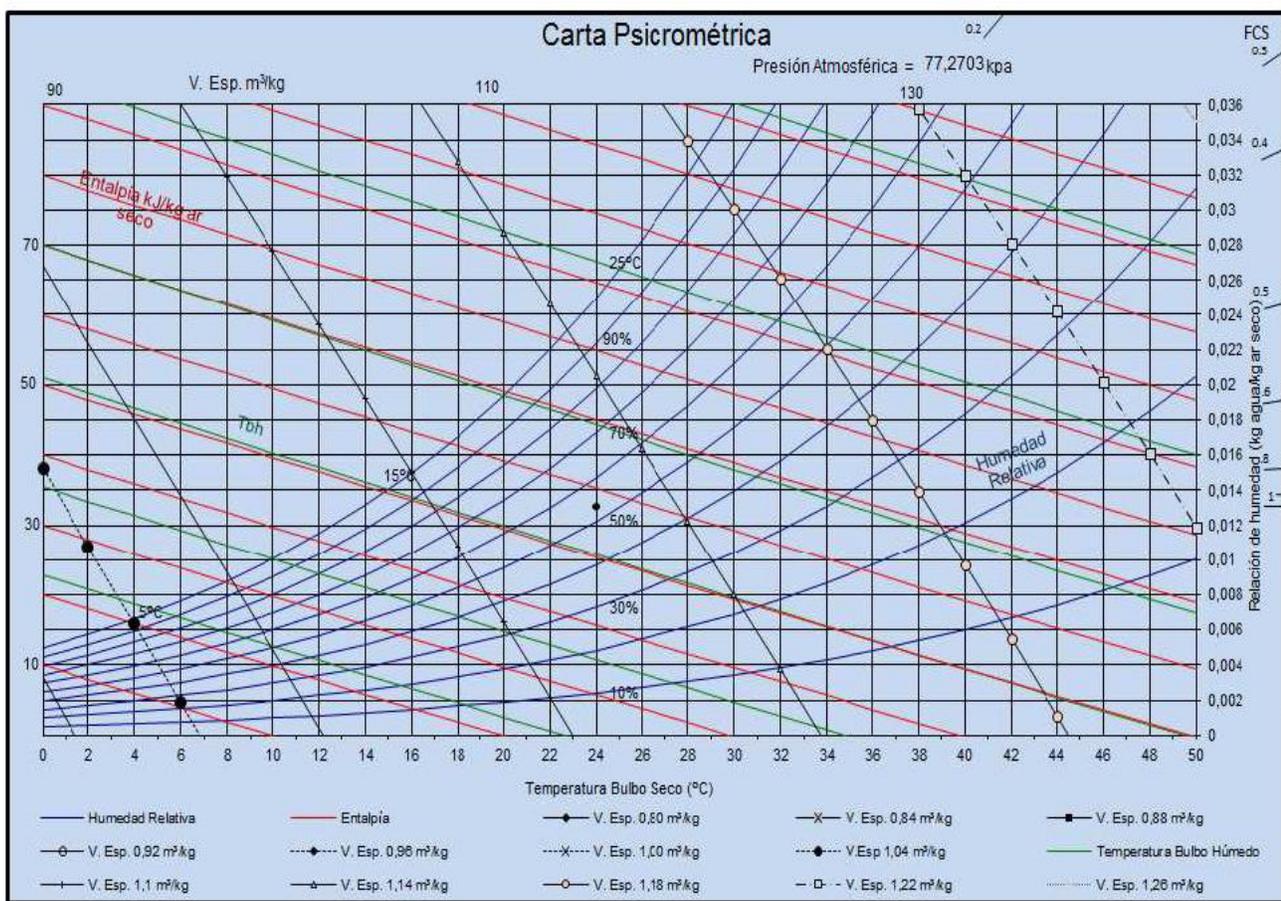


Figura 15. Diagrama psicrométrica presión atmosférica de Ibarra.

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

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

Tabla 2. Caracterización del área de estudio.

Características Generales y Datos Meteorológicos	
Cantón	Ibarra
Provincia	Imbabura
Parroquia	San Francisco
Altitud	2.226,26 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

Fuente: INAMH- Estación meteorológica Yuyucocha de la Universidad Técnica del Norte (2014).

3.1.1 Condiciones del aire ambiente en el proceso de secado

Tabla 3. Datos condiciones ambientales del aire.

Día	Tratamiento	temperatura bulbo seco	temperatura de bulbo húmedo
1	1	25	17
2	2	27	19
3	3	23	17
4	4	25	18
5	5	23	19
6	6	25	19
7	7	26	17
8	8	22	18
9	9	23	19
10	10	22	17
11	11	22	18
12	12	25	18
Σ		288	216
X=		24	18

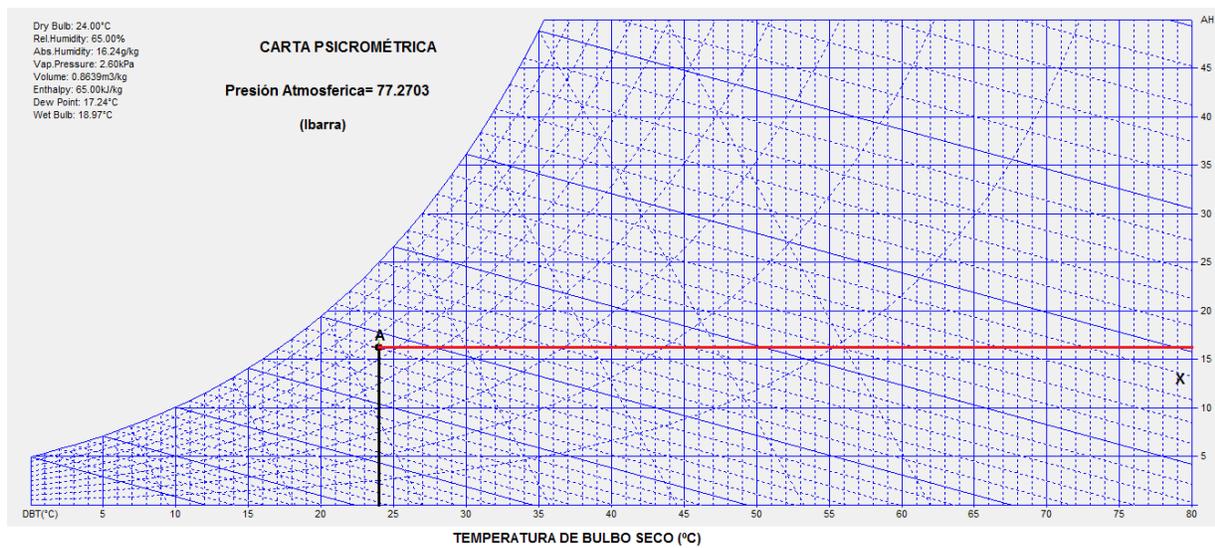


Gráfico 1. Propiedades psicrométricas de aire a la presión barométrica de Ibarra.

Tabla 4. Condiciones del aire

Bulbo seco	Bulbo húmedo	Humedad relativa	Humedad absoluta	Presión de vapor	Volumen	Entalphy	Punto de rocío
24°C	18 °C	65%	17.24 g _{H2O} /kg _{aire}	2.60 kPa	0.8639 m ³ /kg	65.00 kJ/kg _{aire}	17.50°C

3.1.2 Condiciones del aire caliente de secado a 60°C

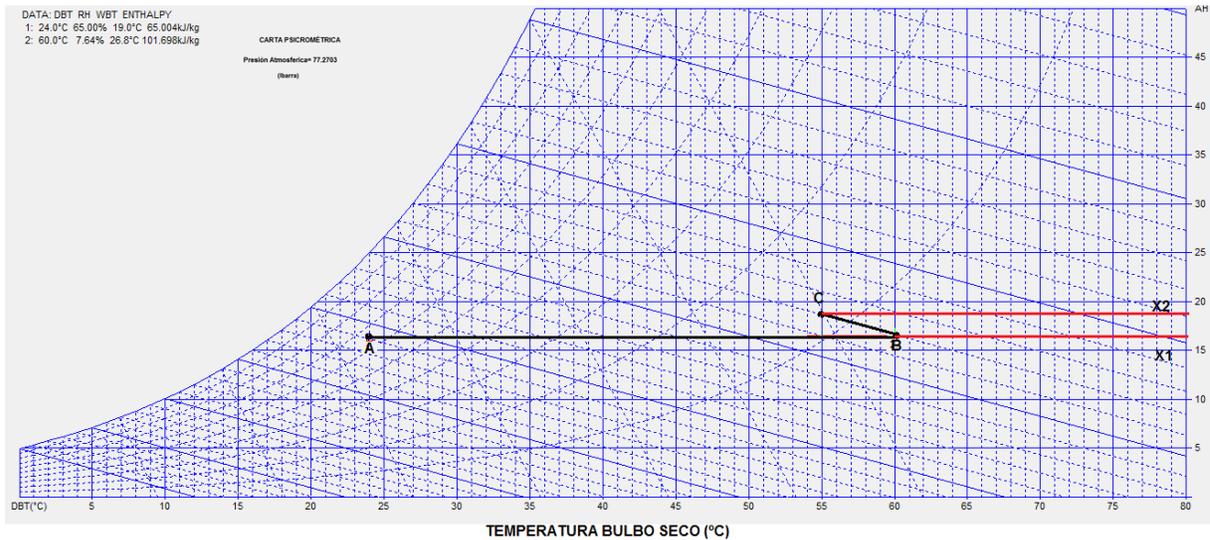


Gráfico 2. Propiedades del aire de secado a 60°C

Tabla 5. Datos del aire al interior del secado 60°C

Bulbo seco	60°C
Humedad relativa	7.64%
Humedad absoluta	16.51 g _{H2O} /kg _{aire}
Presión de vapor	2.64kPa
Volumen específico	0.9672 m ³ /kg
Entalpía	101.7kJ/kg
Punto de rocío	17.50°C
Bulbo húmedo	26.81°C

Tabla 6. Datos de aire a la salida del Venterol 55°C

Bulbo seco	55°C
Humedad relativa	10.37%
Humedad absoluta	18.56 g _{H2O} /kg _{aire}
Presión de vapor	2.64kpa
Volumen específico	0.9529 m ³ /kg
Entalpía	96.68kJ/kg
Punto de rocío	17.50 °C
Bulbo húmedo	25.93 °C

$$H2O = X2 - X1$$

$$H2O = 18.56 \frac{g}{kg} - 16.51 \frac{g}{kg}$$

$$H2O = 2.05 \text{ gH}_2\text{O/kgaire}$$

El aire a 60°C contiene 16.51g/kgss humedad absoluta y a la salida del secador una temperatura de 55°C y una humedad absoluta de 18.56 g/kgss por lo tanto la cantidad de agua evaporada es de 2.05 g/kgss para los tratamientos sometidos a 60°C.

3.1.3 Condiciones del aire caliente de secado a 65°C

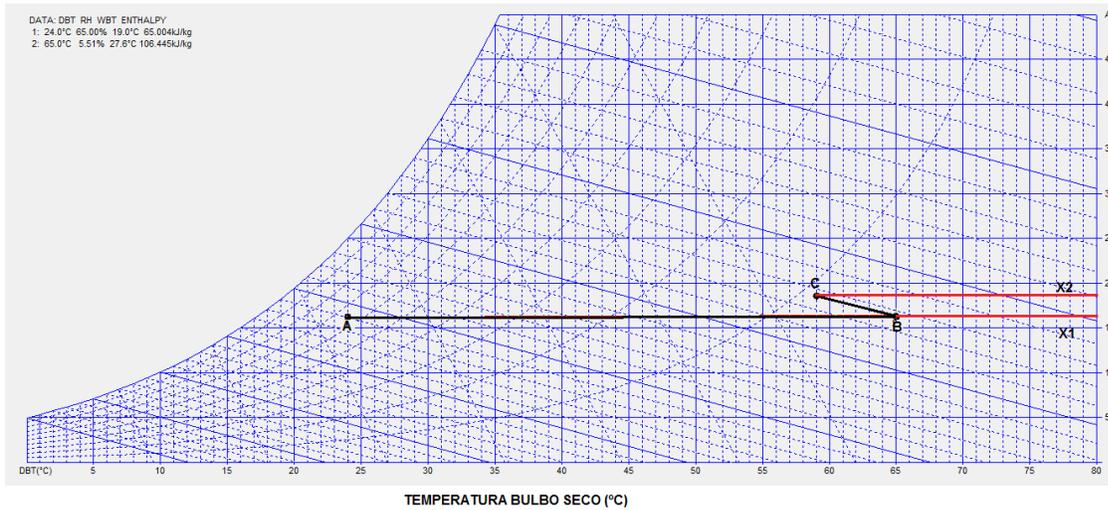


Gráfico 3. Propiedades del aire de secado a 65°C

Tabla 7. Datos del aire al interior del secado 65°C

Bulbo seco	65°C
Humedad relativa	5.51%
Humedad absoluta	16.41 g _{H2O} /kg _{aire}
Presión de vapor	2.63kPa
Volumen específico	0.9813 m ³ /kg
Entalpía	106.44kJ/kg
Punto de rocío	17.50°C
Bulbo húmedo	27.64°C

Tabla 8. Datos de aire a la salida del Venterol 59°C

Bulbo seco	59°C
Humedad relativa	7.98%
Humedad absoluta	19.21 g _{H2O} /kg _{aire}
Presión de vapor	2.59kpa
Volumen específico	0.9639 m ³ /kg
Entalpía	99.93kJ/kg
Punto de rocío	17.50 °C
Bulbo húmedo	25.50 °C

$$H2O = X2 - X1$$

$$H2O = 19.21 \frac{g}{kg} - 16.41 \frac{g}{kg}$$

$$H2O = 2.8 \text{ gH}_2\text{O/kgaire}$$

El aire a 65°C contiene 16.41g/kgss humedad absoluta y a la salida del secador una temperatura de 59°C y una humedad absoluta de 19.21 g/kgss por lo tanto la cantidad de agua evaporada es de 2.8 g/kgss para los tratamientos sometidos a 65°C.

3.1.4 Condiciones del aire caliente de secado a 70°C

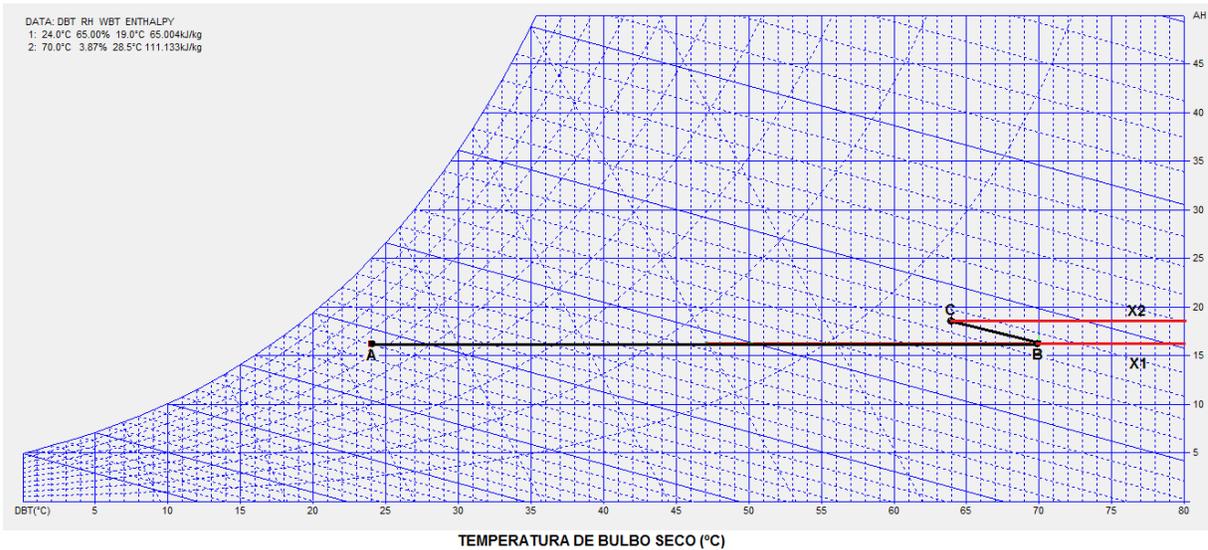


Gráfico 4. Propiedades del aire de secado a 70°C

Tabla 9. Datos del aire al interior del secado 65°C

Bulbo seco	70°C
Humedad relativa	3.87%
Humedad absoluta	16.29 g _{H2O} /kg _{aire}
Presión de vapor	2.61kPa
Volumen específico	0.9954 m ³ /kg
Entalpía	111.13kJ/kg
Punto de rocío	17.50°C
Bulbo húmedo	28.47°C

Tabla 10. Datos de aire a la salida del Venterol 59°C

Bulbo seco	64°C
Humedad relativa	7.98%
Humedad absoluta	18.40 g _{H2O} /kg _{aire}
Presión de vapor	2.62kPa
Volumen específico	0.9785 m ³ /kg
Entalpía	105.41kJ/kg
Punto de rocío	17.50 °C
Bulbo húmedo	227.46 °C

$$H_2O = X_2 - X_1$$

$$H_2O = 18.40 \frac{g}{kg} - 16.29 \frac{g}{kg}$$

$$H_2O = 2.11 \text{ gH}_2\text{O/kgaire}$$

El aire a 70°C contiene 16.29g/kgss humedad absoluta y a la salida del secador una temperatura de 64°C y una humedad absoluta de 18.40 g/kgss por lo tanto la cantidad de agua evaporada es de 2.11 g/kgss para los tratamientos sometidos a 70°C.

3.2 MATERIALES

3.2.1 MATERIA PRIMA E INSUMOS

Materia prima

- Arazá (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh)

Insumos

- Azúcar

3.2.1.1 Materiales y Equipos

Materiales

- Bandejas
- Envases, con tapa
- Etiquetas
- Indumentaria aséptica (mandil, cofia, mascarilla, botas)
- Material de oficina

Equipos

- Balanza analítica

- Refractómetros (escala 32 a 58 °Brix; 58 a 90 °Brix) Resolución 0.5 %
- Potenciómetro
- Cocina
- Recipientes
- Termómetro digital
- Computador
- Secador de bandejas

3.3 MÉTODOS

3.3.1 CARÁCTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

Se caracterizó la materia prima mediante análisis físico químicos con la finalidad de conocer los componentes de la materia prima que ingresa al proceso de deshidratación osmótica, los parámetros analizados son:

Tabla 11. Análisis físico químico del arazá

Parámetro analizado	Unidad	Método
Humedad	%	AOAC 925. 10
Cenizas	%	AOAC 923. 03
Proteína total	%	AOAC 920. 87
Extracto etéreo	%	AOAC 920. 85
Fibra Bruta	%	AOAC 978. 10
Sólidos solubles	°Brix	AOAC 981. 12
Ácido Ascórbico	mg/100 g	AOAC 967. 21

3.3.2 DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA

Para la deshidratación osmótica se utilizó una solución azucarada de concentración de 65 °Brix por un tiempo de doce horas, también se utilizó un modelo estadístico que es un Diseño Completamente al Azar (DCA), para poder identificar el índice de madurez adecuado para una mejor deshidratación osmótica, para ello se utilizó un factor que es el índice de madurez; con total de tratamientos 3 y repeticiones 3, donde las variables de respuesta son: humedad, sólidos solubles y peso.

Los tratamientos se identifican como:

M1: (verde)

M2: (50% amarilla y 50% verde)

M3:(amarilla)

3.3.3 CARACTERIZACIÓN DEL EXPERIMENTO

Tratamientos: 3

Repeticiones: 3

Unidad experimental: 9

El tamaño de la unidad experimental que se utilizó es de 1000 g de materia prima (arazá).

3.3.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Tabla 12. Esquema del Análisis de Varianza

FUENTE DE VARIACION	GL
Total	8
Tratamientos	2
Error experimental	6

Coeficiente de variación (CV) %

3.3.5 VARIABLES DE RESPUESTA

Fueron determinadas en el Laboratorio de Uso Múltiple de la Facultad de ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales de la Universidad Técnica del Norte.

1. En la materia prima: Arazá (*Eugenia stipitata Mc Vaugh*).

- **Peso:** Se determinó el peso del producto que se colocó en cada recipiente, con la ayuda de una balanza gramera para conocer la cantidad exacta de producto al inicio del proceso de deshidratación osmótica y poder realizar un control de pérdida de peso durante el tiempo de 12h en una solución azucarada a 65 °Brix y a temperatura ambiente promedio de 18 ° C.
- **Humedad:** La determinación de la humedad en el producto se la hizo con el fin de conocer la cantidad de agua que contiene el producto al inicio y final de proceso dela deshidratación osmótica.
- **° Brix:** se realizó con la finalidad de determinar el contenido de sólidos solubles, para lo cual se utilizó un refractómetro de escala 58°- 90° Brix (resolución 0,5%)

3.3.6 SECADO POR AIRE CALIENTE EN ARMARIO DE BANDEJAS

Para el secado con aire caliente se utilizó un secador de bandejas a diferentes temperaturas, velocidad de aire y densidad de carga, para ello se usó un modelo estadístico un Diseño Completamente al Azar (DCA), con 12 tratamientos y 3 repeticiones, con arreglo factorial A x B x C, el Factor A: temperatura del secador, B: flujo de aire y C: densidad de carga. Donde las variables de repuesta son: humedad, actividad de agua, sólidos solubles y peso.

3.3.7 FACTORES EN ESTUDIO

Se utilizó tres factores en estudio para la evaluación de los efectos de la deshidratación osmótica.

FACTOR A: Temperatura ($^{\circ}$ C)

A1: 60 $^{\circ}$ C

A2: 65 $^{\circ}$ C

A3: 70 $^{\circ}$ C

FACTOR B: Velocidad de flujo de aire (m/s)

B1: 3m/s

B2: 5m/s

FACTOR C: Densidad de carga (g/m 2)

C1: 1000 g/m 2

C2: 1500g/m 2

3.3.8 TRATAMIENTOS

Los tratamientos en estudio son:

Tabla 13. Resultado de la Combinación de los factores.

Tratamientos	Identificación	Combinaciones
T1	A1B1C1	60 °C + 3m/s + 1000 g/m ²
T2	A1B1C2	60 °C + 3m/s + 1500 g/m ²
T3	A1B2C1	60 °C + 5m/s + 1000 g/m ²
T4	A1B2C2	60 °C + 5m/s + 1500 g/m ²
T5	A2B1C1	65 °C + 3m/s + 1000 g/m ²
T6	A2B1C2	65 °C + 3m/s + 1500 g/m ²
T7	A2B2C1	65 °C + 5m/s + 1000 g/m ²
T8	A2B2C2	65 °C + 5m/s + 1500 g/m ²
T9	A3B1C1	70 °C + 3m/s + 1000 g/m ²
T10	A3B1C2	70 °C + 3m/s + 1500 g/m ²
T11	A3B2C1	70 °C + 5m/s + 1000 g/m ²
T12	A3B2C2	70 °C + 5m/s + 1500 g/m ²

3.3.9 CARACTERIZACIÓN DEL EXPERIMENTO.

Tratamientos:	12
Repeticiones:	3
Unidad experimental:	36

Para cada unidad experimental se utilizó, 1000 g de mezcla. En toda la investigación se trabajó con 36 kg.

3.3.10 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Tabla 5. Esquema del Análisis de Varianza

FUENTE DE VARIACION	GL
Total	35
Tratamientos	11
A= Temperatura(° C)	2
B= Fuljo de aire (m/s)	1
C= densidad de carga (g/m ²)	1
A x B	2
A x C	2
B x C	1
A x B x C	2
Error experimental	24

Coefficiente de variación (CV) %

3.3.11 ANÁLISIS FUNCIONAL.

Tratamientos: Prueba de Tukey al 5%

Factores: DMS (Diferencia Mínima Significativa)

3.3.12 Variables de Respuesta

Estas se dan a conocer a continuación:

Tabla 14. Variables de respuesta

TIPO	UNIDADES	MÉTODO
Sólidos solubles	°Brix	AOAC 925.14
Humedad	%	Método d Methel; (AOAC 24:2003).
Actividad de agua	---	Aw meter
Peso	G	Cálculo

- **Sólidos solubles (°Brix)**

La determinación debe hacerse por duplicado sobre la misma muestra de laboratorio.

Ajustar la circulación de agua del refractómetro para operar a la temperatura requerida (entre 15 y 25°C).

Colocar 2 o 3 gotas de la muestra preparada según el numeral 5 en el prisma fijo del refractómetro y ajustar inmediatamente el prisma movable. Continuar la circulación de agua durante el tiempo necesario para que tanto los prismas como la solución de ensayo alcancen la temperatura requerida, que debe permanecer constante, dentro del rango de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ durante toda la determinación.

Leer el valor del índice de refracción o porcentaje en masa de sacarosa, según el instrumento que se haya utilizado.

Se recomienda el uso de una lámpara de vapor de sodio, que permite la obtención de resultados más precisos, especialmente en el caso de productos coloreados u oscuros.

Esta variable se determinará mediante la Norma INEN 380.

- **Humedad**

Consiste en determinar la pérdida de masa correspondiente a las sustancias volatilizadas, de las cuales la principal es el agua. Se establecerá mediante la NORMA AOAC 925.10.

- **Actividad de agua**

La determinación de la actividad de agua ayuda a predecir la estabilidad y la vida útil de los alimentos. Las mediciones de la actividad del agua en niveles superiores e inferiores ayudan a establecer cualidades nutricionales, textura, cualidades microbianas, sabor, apariencia, aroma y cualidades de cocción a los alimentos. El control de la actividad de agua ayuda también a mantener la estabilidad química de los productos alimentarios.

- **Peso**

Con la ayuda de una balanza analítica se determinó el peso del producto deshidratado una vez culminado el proceso de secado, con este dato podemos obtener el rendimiento en peso del producto.

3.3.13 EVALUACIÓN MICROBIOLÓGICO DEL PRODUCTO FINAL

Se evaluó con la finalidad de conocer si el producto final está en condiciones de inocuidad para el consumo humano.

Tabla 15. Análisis microbiológico

Parámetro analizado	Unidad	Método de ensayo
Recuento estándar en placa	UFC/G	AOAC 989.10
Recuento Coliformes totales	UFC/G	AOAC 989.10
Recuento de mohos	UFC/G	AOAC 997.02
Recuento levaduras	UFC/G	AOAC 997.02

3.3.14 EVALUACIÓN ORGANÓLEPTICA DEL PRODUCTO TERMINADO

Se evaluó las características organolépticas las cuales permiten apreciar 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.

- Color
- Aroma
- Sabor
- Dureza- Textura
- Aceptabilidad

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

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

Donde:

b= Número de panelistas

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 análisis físico-químicos y microbiológicos.

3.4 MANEJO DEL ESPECÍFICO EXPERIMENTO.

La fase experimental se desarrolló basándose en el siguiente diagrama de bloques para la deshidratación osmótica y secado de arazá para obtención de un snack.

3.4.2 DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA ELABORACIÓN DE SNACKS DE ARAZÁ.



3.4.3 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

Recepción.

La presente investigación se inició con la recepción de la materia prima (Arazá), se colocó en la mesa de acero inoxidable para evaluar e inspeccionar la calidad de la misma, en forma visual que no haya sufrido ningún daño mecánico en la recolección y transporte.



Fotografía 3. Recepción del arazá.

Pesado.

Se realizó el pesado de la fruta en una balanza, para conocer su peso inicial, con la finalidad de establecer el rendimiento para el producto final al finalizar el proceso



Fotografía 4. Pesado del arazá.

Clasificado.

Se separó las frutas sanas de las deterioradas, disponiendo de recipientes adecuados donde se colocó la fruta descartada de manera que no tuvo contacto con la fruta seleccionada para el procesamiento.



Fotografía 5. Fruta clasificada.



Fotografía 6. Frutos dañados.

Pesado.

Se realizó el pesado de la fruta en una balanza, para conocer su peso final, después de sacar los frutos dañados o maltratados, con la finalidad de establecer el rendimiento para el producto final



Fotografía 7. Pesado del producto clasificado.

Lavado.

El lavado se lo realizó con agua potable retirando el material extraño y residuos que contenía los frutos como: hojas, tallos y polvo.



Fotografía 8. Lavado del fruto.

Pelado y Troceado.

Se retiró la corteza del fruto para un troceado, este proceso se realizó manualmente con la ayuda de cuchillos, fueron divididas en dos o cuatro partes según el tamaño de la fruta.



Fotografía 9. Pelado de fruto arazá.



Fotografía 10. Troceado del arazá.

Escaldado.

El arazá troceadas se sometieron a un escaldado con agua a una temperatura de 75 °C durante 1 minuto, al término de este tiempo se escurrió.

Inmersión en el jarabe.

Se procedió a sumergir el arazá 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 11. Inmersión del fruto el jarabe.

Escurredo.

Se retiraron los trozos de arazá de la solución osmótica y se tamizaron para escurrir el exceso de solución, la fruta 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. Escurredo del jarabe y lavado del fruto.

Secado.

El arazá se colocó en bandejas de un deshidratador con velocidad de aire 3m/s y 5m/s a diferentes temperaturas 60°C, 65°C y 70°C y densidad de carga 1000gr/m².



Fotografía 13. Secado del arazá en un deshidratador de bandejas

Enfriamiento.

Luego del secado se dejó reposar a temperatura ambiente, cubiertas con papel aluminio con la finalidad de que el arazá no adquiera humedad y evitar una posible contaminación.



Fotografía 14. Enfriado del producto terminado

Pesado.

El producto final se pesó con la finalidad de ver la cantidad de arazá que resultó y así calcular el rendimiento del producto.

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 15. Empacado del producto terminado

Almacenamiento.

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



Fotografía 16. Almacenado del producto terminado.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente trabajo de investigación “Deshidratación osmótica y secado del arazá (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh) para la obtención de un snack”, se obtuvieron los resultados siguientes.

4.1 CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

Tabla 16. Caracterización del arazá

Parámetro analizado	Unidad	Resultado		
		M1	M2	M3
Humedad	%	89,5	93,7	94,3
Cenizas	%	0,28	0,25	0,23
Proteína total	%	0,9	0,83	0,83
Extracto etéreo	%	0,28	0,24	0,24
Fibra Bruta	%	1,2	1,15	1,14
Sólidos solubles	°Brix	4,8	6,2	7,3
Ácido Ascórbico	mg/100 g	7,2	6,9	6,8

En la tabla 16 se muestran los resultados del análisis físico químico, en donde se puede evidenciar que a mayor índice de madurez mayor es la concentración de los sólidos solubles, obteniendo como 7,3 °Brix el índice de madurez del arazá maduro (M3); con respecto al ácido ascórbico el índice de madurez (M1) es de 7,2 mg/100g siendo el más alto con respecto al índice de madurez (M2 y M3); en cuanto al porcentaje de fibra fruta de los distintos índices de madurez se encuentran en valores similares M1 1,3%, M2 1,15% y M3 1,14%; en la proteína total no existe una diferencia significativa entre los valores de los distintos índices de madurez M1 0,9%, M2 0,83% y M3 0,83%; el porcentaje de humedad en los tres índices de madurez son M1 89,5%, M2 93,75% y M3 94,3%.

La pérdida de vitamina C se debe a que es hidrosoluble, esto quiere decir que al incrementar el contenido de humedad, es decir que cuando más madura este la fruta menor será la vitamina C, ya que tiene una oxidación irreversible a ácido dehidroascorbico y que este último es muy inestable a la acción del calor, los factores que aceleran la reacción de oxidación son: oxígeno del aire, luz, álcalis, presencia de metales como el cobre y la temperatura (Badui, 2013).

En estudio realizado por el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca en el 2009 de la fruta arazá, se puede evidenciar los siguientes resultados humedad 95%, proteína 0,71%, sólidos solubles 4,40 °Brix y ácido cítrico 36,84 mg/100g.

4.2 EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE MADUREZ EN EL PROCESO DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA

4.2.1. Humedad en el arazá

Los contenidos de humedad del arazá en los diferentes índices de madurez, previo al proceso de deshidratación osmótica de la fruta, son registrados en la tabla 17.

Tabla 17. Humedad del arazá en los tres estados de madurez.

Estados de madurez	Humedad (%)
M1: (verde)	89,5
M2: (50% amarilla y 50% verde)	93,7
M3: (amarilla)	94,3

En la tabla 17, se observa el contenido de humedad del arazá en los tres estados de madurez, donde no se encuentra diferencia significativa de la humedad.

Según Barrera García & Carrillo Bautista (2007), la pulpa de arazá contiene un 90% de humedad.

4.2.1.1 Humedad al finalizar el proceso osmótico

Tabla 18. Porcentaje de humedad final del arazá en la deshidratación osmótica.

Tratamientos	Repeticiones			ΣT	Media
	I	II	II		
M1	84,73	83,64	79,65	248,02	82,67
M2	86,51	82,30	87,68	256,49	85,50
M3	72,48	81,48	82,33	236,29	78,76
ΣR	243,72	247,42	249,66	740,8	82,31

En la tabla 18 se registra la disminución del contenido de humedad de la fruta en los tres índices de madurez, donde la fruta completamente madura (M3) registra un menor contenido de humedad de 78,76 %, es decir que pierde el 14,10 % de humedad en el proceso osmótico. Mientras, que la fruta de los índices de madurez pintona (M2) y verde (M1) registra mayor contenido de humedad, es decir, que perdieron menos agua en relación a la fruta madura.

Tabla 19. Análisis de varianza de la humedad

F de V	GL	SC	CM	FC	0,05	0,01
Total	8	158,49	-			
Tratamiento	2	68,59	34,295	2,289	NS	5,14
Error Experimental	6	89,9	14,983			10,9

$$CV= 4.7 \%$$

El análisis de varianza del contenido de humedad de la fruta al finalizar el proceso osmótico, no presentaron diferencias estadísticamente significativas ($\alpha < 0,05$), es decir que los tratamientos o estados se comportan en forma similar en la pérdida del contenido de humedad durante el proceso de osmosis, el experimento tuvo un coeficiente de variación de 4.7 %.

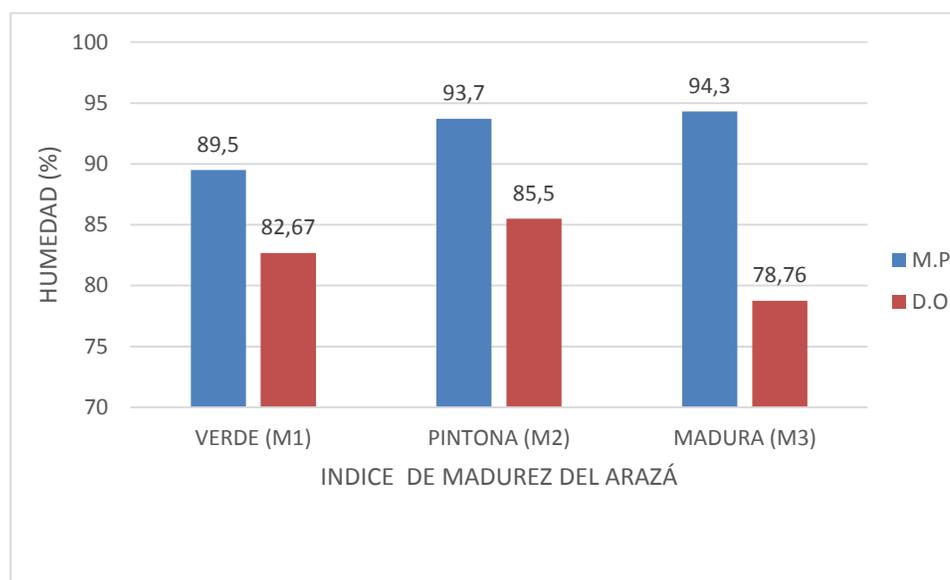


Gráfico 5. Porcentaje de humedad del producto final de la deshidratación osmótica.

Una vez realizada la deshidratación osmótica se observa en el gráfico 5 el porcentaje de humedad de los tres tratamientos, que varía considerablemente, en el índice de madurez M1 hay una pérdida de humedad 10,91%, en el índice de madurez M2 hay una pérdida 5,08% de humedad y en el índice de madurez M3 es el que mayor porcentaje de humedad perdió en proceso de deshidratación osmótica 15,1%. Esto se debe a que la fermentación interna de la fruta acelera el proceso de senescencia, así lo afirma Solarte & Hernández (2009), en donde, menciona que la humedad incrementa durante el proceso de maduración de los azúcares en las frutas climatéricas, por lo que su estado de vida útil es muy corto.

Durante la cosecha las frutas y hortalizas frescas necesitan respirar a fin de obtener la energía suficiente para el mantenimiento de la vida, pero parte de esa energía produce calor, que debe ser disipado de alguna manera, la pérdida de agua presenta una significación en la pérdida de peso. (FAO, 2013).

Según Machacuay Cordova (2009), la deshidratación osmótica (DO) es una técnica que aplicada a productos frutales permite reducir su contenido de humedad (hasta un 50-60 % en base húmeda).

4.2.2 PÉRDIDA DE PESO AL FINALIZAR EL PROCESO OSMÓTICO.

La deshidratación osmótica tuvo un tiempo de duración de doce horas en una solución hipertónica de sacarosa al 65%, donde se utilizó un peso base de 100 g de fruta. Al cabo de cual, el peso residual de las muestras de fruta se fue determinando, los cuales son registrados en la tabla 20.

Tabla 20. Peso (g) al finalizar el proceso de deshidratación osmótica.

Tratamientos	Repeticiones			ΣT	Media
	I	II	III		
M1	80	81	80	241	80,33
M2	77	75	78	230	76,67
M3	82	80	79	241	80,33
ΣR	239	236	237	712	79,11

En la tabla 20 se registra la disminución de contenido de peso de la fruta en los tres índices de madurez, donde la fruta pintona (M2) registra un menor peso de 76,67g, es decir que pierde 23,33 g de peso en el proceso osmótico. Mientras, que la fruta de los estados de madurez verde (M1) y madura (M3) registra mayores pesos, es decir, que perdieron menos agua con relación que la fruta pintona. La reducción del peso de la fruta sumergida en la solución o jarabe concentrado durante un tiempo determinado, puede ser tomada como indicador de la velocidad de deshidratación.

Tabla 21. Análisis de varianza del peso.

F de V	GL	SC	CM	FC	0,05	0,01
Total	8	36,89	-			
Tratamiento	2	1,56	0,78	0,132	NS	5,14
Error Experimental	6	35,33	5,888			10,9

$$CV = 3.06 \%$$

El análisis de varianza del peso de la fruta al finalizar el proceso osmótico, no presentaron diferencias estadísticamente significativas ($\alpha < 0,05$), es decir que los tratamientos o estados se comportan en forma similar en la pérdida de peso durante el proceso de osmosis, el experimento tuvo un coeficiente de variación de 3,06%.

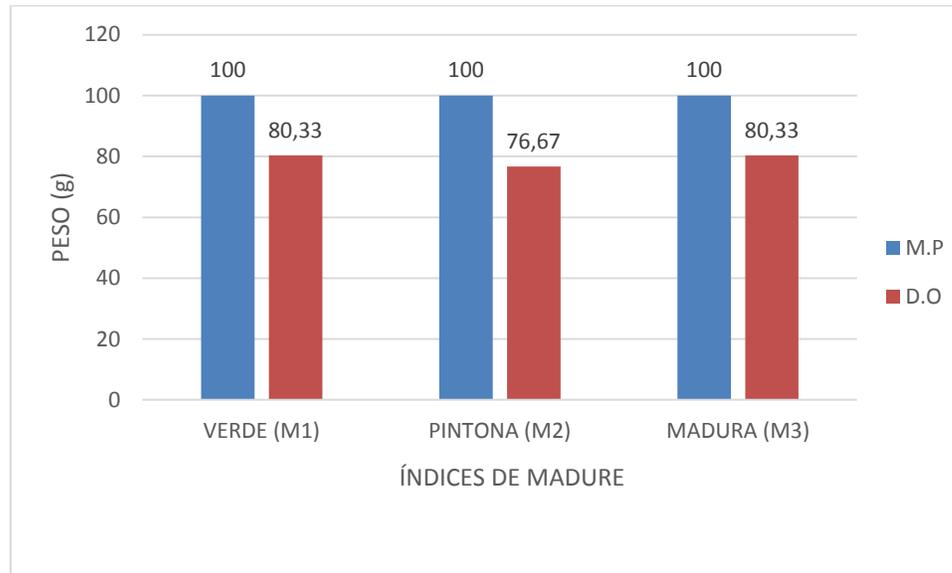


Gráfico 6. Peso final del producto en la deshidratación osmótica.

Después de la deshidratación osmótica se observa en el gráfico 6 el peso final de los tres tratamientos en donde la disminución del peso es considerable, debido que existe una pérdida importante de agua libre, en el índice de madurez M1 hay una disminución en peso de 19,67g, en el índice de madurez M2 hay una pérdida de peso de 23,33g y en el índice de madurez M3 la pérdida de peso es de 19,67g, esto se debe aún intercambio de moléculas de azúcar por agua, por la permeabilidad de la fruta en cada índice de madurez. Según Fernández, Muniz, García, Cervantes, & Fernández (2015), en el proceso de deshidratación osmótica la fruta llega a perder hasta el 89% del peso inicial, debido principalmente un primer momento de osmosis.

Según Machacuay Cordova (2009), la velocidad de pérdida de peso de una determinada fruta sucede inicialmente de manera más acelerada con un progresivo retardo a medida que avanza el tiempo de contacto con el jarabe. Las investigaciones han determinado que existen varios factores que influyen en la velocidad de deshidratación. Estos factores están estrechamente

relacionados con las características propias de la fruta y del jarabe, lo que se corrobora con los estados de madurez M1 y M3, en los que las condiciones fisicoquímicas de la fruta impiden el intercambio sólido-líquido en el proceso.

4.2.3 FIRMEZA INICIAL

La dureza se realizó en los tres estados de madurez utilizando un penetrómetro previo al proceso de deshidratación osmótica de la fruta, los datos son registrados en la siguiente tabla 22.

Tabla 22. Datos para la variable firmeza

Estados de madurez	Dureza (Newton)
M1: (verde)	1,48
M2: (50% amarilla y 50% verde)	1,83
M3: (amarilla)	1,40

En la tabla 22, se observa la firmeza del arazá en los tres estados de madurez, donde se encuentra diferencia significativa de la dureza.

4.2.3.1 Firmeza al finalizar el proceso de osmosis.

La deshidratación osmótica tuvo un tiempo de duración de doce horas en una solución hipertónica de sacarosa al 65%. Al cabo de cual, las muestras de fruta fueron determinando el contenido de dureza, los cuales son registrados en la tabla 23.

Tabla 23. Firmeza (N)

Tratamientos	Repeticiones			ΣT	Media
	I	II	III		
M1	0,4295	0,4056	0,4105	1,2456	0,42
M2	0,4955	0,4844	0,4722	1,4521	0,48
M3	0,3798	0,3690	0,3804	1,1292	0,38

En la tabla 23 se registra la disminución de firmeza de la fruta en los tres estados, donde la fruta pintona (M2) registra una mayor firmeza de 0,48 N, es decir que pierde 1,35 N de firmeza en el proceso osmótico. Mientras que la fruta de los estados de madurez verde (M1) y madura (M3) registra menor firmeza, es decir, que fueron más blandas en relación que la fruta pintona.

Tabla 24. Análisis de varianza para Firmeza (N)

F.V	S.C	G.L	C.M	F. Cal	F Tabular 5%	F Tabular 1%
Total	0,0185	8				
Tratamiento	0,0179	2	0,009	90,0000**	5,14	10,92
Error	0,0006	6	0,0001			

$$CV = 2,35 \%$$

El análisis de varianza de la firmeza de la fruta al finalizar el proceso osmótico, presento diferencia estadísticamente significativas ($\alpha < 0,01$), es decir que los tratamientos o estados de madurez se comportan de forma diferente durante el proceso de osmosis, lo que significa que la variable medida tuvo éxito, ya que el experimento tuvo un coeficiente de variación de 2,35%.

Tabla 25. Prueba de Tukey para tratamientos de la variable dureza

Tratamientos	Medias	Tukey
M2	0,48	a
M1	0,42	b
M3	0,38	c

Para esta investigación se realizó las pruebas de significación TUKEY al 5%, para determinar el mejor tratamiento, donde tenemos como mejor tratamiento el M2: (50% amarilla y 50% verde).

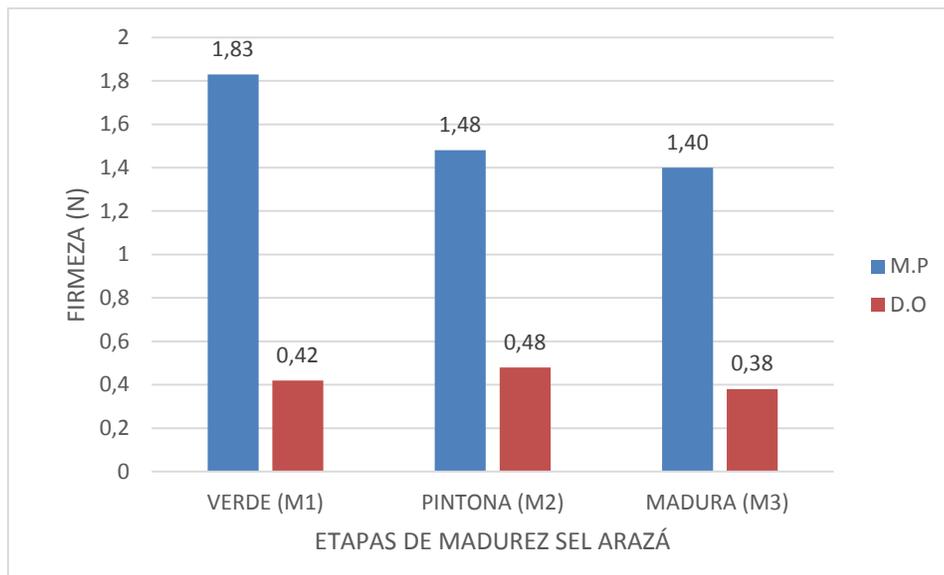


Gráfico 7. Firmeza (N) al final de la deshidratación osmótica.

En el gráfico 7 observamos el comportamiento de la firmeza antes y después del proceso de deshidratación osmótico, en el cual se puede evidenciar que el índice de madurez M2 obtiene el mejor resultado con 0,48 Newtons, siendo este el mejor resultado para el proceso de secado con aire caliente, debido a que ya no interviene la calidad física del fruto, sino la inmersión en jarabe.

Dicha propiedad manifiesta este comportamiento a consecuencia de la pérdida de agua el endurecimiento superficial que sufre la corteza debida a la cristalización de los azúcares contenidos en el jarabe que se utilizó como solución osmótica. (Fernández, Muniz, García, Cervantes, & Fernández, 2015).

4.2.4 SÓLIDOS SOLUBLES EN EL ARAZÁ

Los contenidos de sólidos solubles del arazá en los diferentes estados de madurez, previo al proceso de deshidratación osmótica de la fruta, son registrados en la siguiente tabla 26.

Tabla 26. Cantidad de sólidos solubles en tres etapas de madurez

Estados de madurez	Sólidos Solubles (°Brix)
M1: (verde)	4,93
M2: (50% amarilla y 50% verde)	6,48
M3: (amarilla)	7,30

En la tabla 26, se observa el contenido de sólidos solubles del arazá en los tres estados de madurez, donde se encuentra diferencia significativa de los sólidos solubles.

4.2.4.1 Sólidos solubles (°Brix) al finalizar el proceso de osmosis.

La deshidratación osmótica tuvo un tiempo de duración de doce horas en una solución hipertónica de sacarosa al 65%. Al cabo de cual, las muestras de fruta fueron determinando el contenido de sólidos solubles residual, los cuales son registrados en la tabla 27.

Tabla 27. Sólidos solubles (°Brix) después de la deshidratación osmótica.

Tratamientos	Repeticiones			ΣT	Media
	I	II	III		
M1	8,50	8,10	7,98	24,58	8,19
M2	8,90	7,90	8,30	25,10	8,37
M3	9.25	9,10	9,30	27,65	9.22

En la tabla 27 se registra el incremento de contenido de sólidos solubles de la fruta en los tres estados, donde la fruta pintona (M3) registra un mayor contenido de sólidos solubles de 9,22 °Brix es decir que incrementa el 1,22 °Brix de sólidos solubles en el proceso osmótico. Mientras que la fruta de los estados de madurez verde (M1) y pintona (M2) registra menor contenido, es decir, que incrementaron menos en relación que la fruta madura.

Tabla 28. Análisis de varianza

F.V	S.C	G.L	C.M	F. Cal	F Tabular 5%	F Tabular 1%
Total	2,476	8				
tratamiento	1,799	2	0,900	7,965*	5,14	10,92
Error	0,677	6	0,113			

$$CV = 3,91 \%$$

El análisis de varianza del contenido de sólidos solubles de la fruta al finalizar el proceso osmótico, no presentó diferencias estadísticamente significativas ($\alpha < 0,05$), es decir que los tratamientos o estados se comportan de forma diferente en incremento del contenido de sólidos solubles durante el proceso de osmosis, el experimento tuvo un coeficiente de variación de 3,91 %.

Tabla 29. Prueba de Tukey para tratamientos de la variable sólidos solubles (°Brix)

Tratamientos	Medias	Tukey
T3	9,22	a
T2	8,37	b
T1	8,19	b

Para esta investigación se realizó las pruebas de significación TUKEY al 5%, para determinar el mejor tratamiento. Donde tenemos como mejor tratamiento el M3: (amarilla).

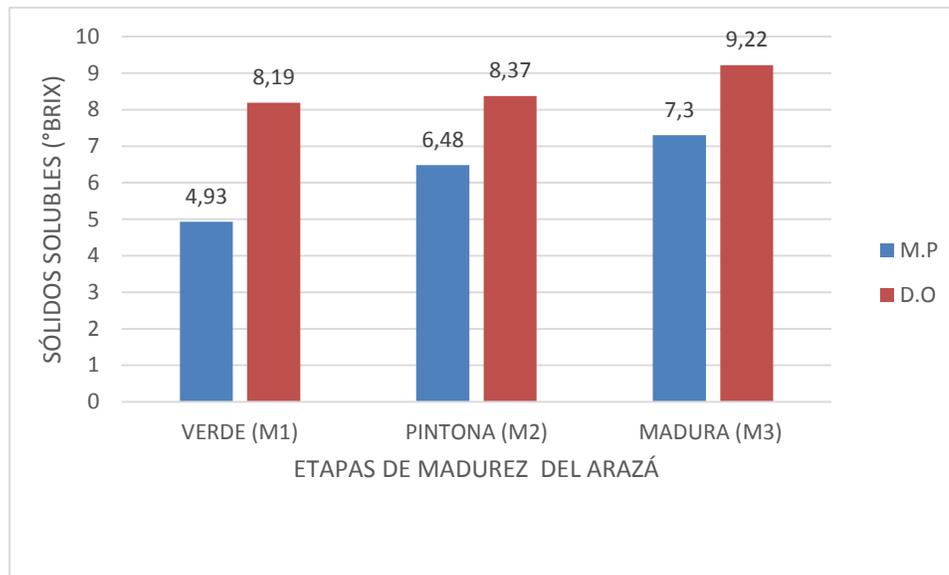


Gráfico 8. Cantidades de sólidos solubles en la materia prima y después de la deshidratación osmótica.

En el gráfico 8 se puede evidenciar que el índice de madurez M2 es mejor para el proceso de deshidratación osmótica para ser utilizado como snack, esto se debe a que contiene el 6,48 °Brix ya que en el proceso de secado con aire caliente la cristalización de azúcares ayudan a mejorar su firmeza.

La madurez será determinada por el color, olor y aroma. El producto no debe tener heridas, pudriciones, ni daños causados por parásitos. Las granadillas de acuerdo a su estado de madurez deben cumplir con los requisitos granadilla verde 12,9 °Brix, granadilla pintona 14,5 °Brix y la granadilla madura mayor a 14,5 °Brix (NTE INEN 1997 2009).

4.3 EVALUACIÓN DEL PROCESO DE SECADO CON AIRE CALIENTE

El fruto arazá después de un proceso osmótico ingreso al secador de bandejas con una humedad de los 85,5 %, sólidos solubles 8,37 °Brix y una firmeza de 0,48 N.

4.3.1 HUMEDAD DEL SNACK DE ARAZÁ

Con la finalidad de determinar el porcentaje de humedad, se tomó una muestra de snack de arazá y se la colocó en la balanza infrarroja, la cual registra el contenido de humedad del producto, con tres repeticiones para obtener la media de cada tratamiento.

En la siguiente tabla se registran los valores medidos en la variable Humedad en el producto terminado, durante un tiempo medio de secado de 5,5 horas.

Tabla 30. Humedad del producto terminado (kg_{H2O}/kgss)

tratamientos	Repeticiones			ΣT	Media
	R1	R2	R3		
T1	0,78	0,74	0,73	2,26	0,75
T2	0,48	0,88	0,88	2,24	0,75
T3	0,98	0,73	3,11	4,82	1,61
T4	2,58	1,86	1,69	6,13	2,04
T5	0,47	0,57	0,98	2,02	0,67
T6	2,02	3,80	1,37	7,19	2,40
T7	0,68	0,94	1,03	2,65	0,88
T8	0,80	1,57	1,03	3,40	1,13
T9	0,59	1,94	0,99	3,52	1,17
T10	1,06	1,58	2,04	4,68	1,56
T11	1,88	1,61	0,96	4,45	1,48
T12	3,02	2,62	2,00	7,64	2,55

El análisis estadístico de los datos de contenido de la humedad al finalizar el proceso de secado, se realizó mediante el análisis de varianza, con el fin de establecer diferencias estadísticas entre los tratamientos, con la prueba de “Fisher”.

Tabla 31. Análisis de varianza

F de V	GL	SC	CM	FC	0,05	0,01
Total	35	23,75				
Tratamiento	11	13,67	1,24	2,96*	2,22	3,1
Factor A	2	1,35	0,68	1,61 ^{NS}	3,4	5,61
Factor B	1	1,43	1,43	3,41 ^{NS}	4,26	7,82
Factor C	1	3,71	3,71	8,84**	4,26	7,82
A x B	2	4,13	2,06	4,91*	3,4	5,61
A x C	2	0,92	0,46	1,1 ^{NS}	3,4	5,61
B x C	1	0,03	0,03	0,07 ^{NS}	4,26	7,82
A x B x C	2	2,09	1,04	2,48 ^{NS}	3,4	5,61
Error Experimental	24	10,08	0,42			

NS= No Significativo

*= Significativo al 0,05%

**= Altamente significativo

Cv= 3,81%

Al realizar el análisis de varianza se puede apreciar una significación estadística ($p < 0,05$) para tratamientos, para el factor C (densidad de carga), y una alta significación estadística ($p < 0,01$) para la combinación A x B, es decir que la humedad del producto final depende de la densidad de carga que ingresa al secador. Al existir significación estadística se realizó las pruebas de Tukey ($\alpha < 0,05$) para tratamientos.

Tabla 32. Prueba de Tukey al 5% para la variable humedad

TRATAMIENTOS	MEDIAS	RANGOS
T12	2,55	A
T6	2,40	A
T4	2,04	A
T3	1,61	A
T10	1,56	A
T11	1,48	A
T9	1,17	A
T8	1,13	A
T7	0,88	A
T1	0,75	A
T2	0,75	A
T5	0,67	a

Todos los tratamientos son iguales, pero el primero es el que sobresale ante todos por el valor de la media que es más alto, definiéndose el T12 como el mejor tratamiento. Esto se debe a que existe significación estadística al 0,05% con respecto a los tabulares del análisis de varianza.

Al existir significación estadística se realizó las pruebas de (DMS) diferencia media significativa ($\alpha < 0.05$) para el factor C (Densidad de carga), e Interacción gráfica para la combinación A x B.

Tabla 33. Diferencia media significativa para el Factor C.

FACTOR C	MEDIAS	RANGOS
c2	1,74	a
c1	1,10	b

Al realizar la diferencia media significativa (DMS $\alpha < 0.05$) para el factor C, se concluye que C2 (densidad de carga 1500 g/m²) es el mejor nivel, es decir, que la humedad del producto terminado depende de la densidad de carga (1500 g/m²). A menor densidad de carga menor será humedad final del producto.

- INTERACCIÓN A x B

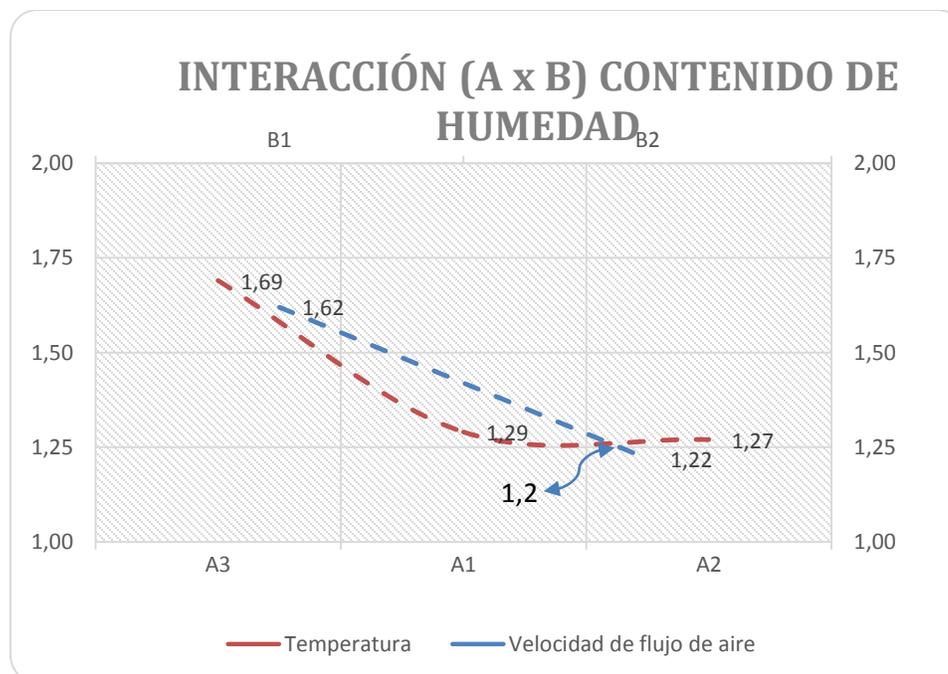


Gráfico 9. Interacción entre la temperatura (A) y la velocidad de flujo de aire (B) sobre el contenido de humedad.

En el gráfico 9 de interacción se identifica el punto crítico de la interacción entre los factores A (temperatura en el interior del secador) y B (velocidad de flujo de aire) en la variable humedad del producto terminado es 1.25 kg_{H2}/kg_{ss}, es decir, que el valor mencionado es el adecuado para su conservación, ya que también se encuentra dentro delo establecido por la norma INEN 2996:2015 para “Productos deshidratados”, el cual interactúa directamente entre la temperatura dentro del secador (65 ° C) y la velocidad de flujo de aire (5 m/s).

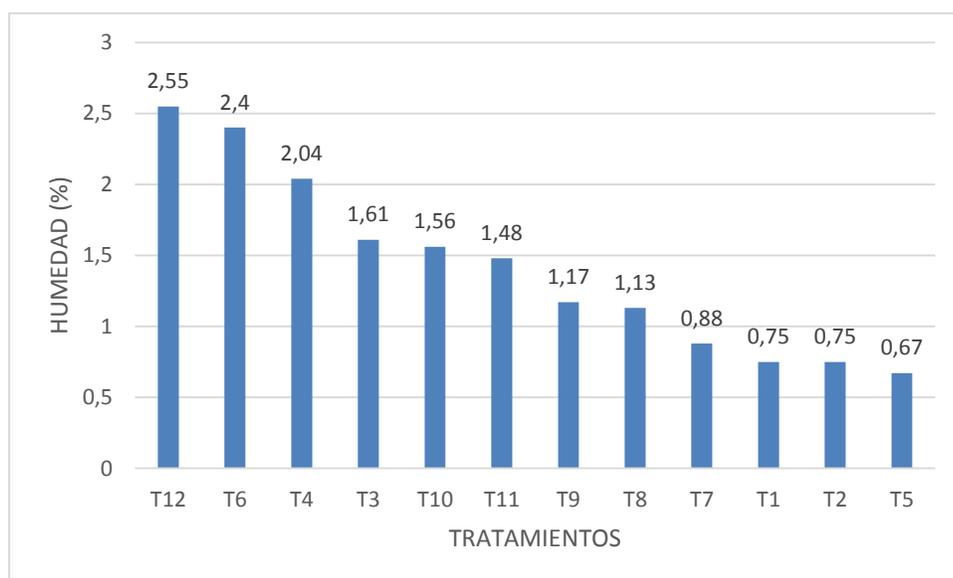


Gráfico 10. Humedad en base seca del snack de arazá al final del proceso.

Como requisito fundamental para frutas deshidratadas establecidas en la norma INEN 2996:2015 el límite máximo de humedad es del 12%, en el grafico 10 se puede observar muy claramente que todos los tratamientos se encuentran por debajo del límite máximo de la norma INEN, siendo T9 (70 °C temperatura de secado, 3 m/s velocidad de aire y 1000 g/m² densidad de carga) el de mayor aceptación de acuerdo al método de análisis sensorial propuesto en el tema, en el cual quedó evidenciado por el panel de degustación que las características organolépticas son similares a la de la fruta fresca.

Mientras Gearkoplis (1998), menciona que 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.

4.3.2 SÓLIDOS SOLUBLES DEL SNACK DE ARAZÁ

En la tabla 34 se registra el incremento de contenido de sólidos solubles (°Brix) del snack de arazá.

Tabla 34. Sólidos solubles en el producto terminado (°Brix)

TRATAMIENTOS	Repeticiones			ΣT	Media
	R1	R2	R3		
T1	79,95	79,96	77,01	236,92	78,97
T2	77,17	77,37	73,51	228,05	76,02
T3	81,20	80,20	84,20	245,60	81,87
T4	83,20	81,40	82,10	246,70	81,68
T5	79,84	83,09	82,11	245,04	82,23
T6	83,42	82,53	85,62	251,57	83,86
T7	84,75	83,96	82,42	251,13	83,71
T8	83,42	85,90	83,21	252,53	84,18
T9	84,32	82,23	86,44	252,99	84,33
T10	83,41	85,68	79,29	248,38	82,79
T11	80,91	83,13	82,78	246,82	82,27
T12	83,55	76,76	82,10	242,41	80,80

Con los datos estadísticos obtenidos el incremento de sólidos solubles al finalizar el proceso de secado, se realiza el análisis estadístico mediante el análisis de varianza, con el fin de establecer diferencias estadísticas entre los tratamientos con la prueba de “Fisher”.

Tabla 35. Análisis de varianza

F de V	GL	SC	CM	FC	0,05	0,01
Total	35	292,73				
Tratamiento	11	191,02	17,37	4,1**	2,22	3,1
Factor A	2	84,82	42,41	10,01**	3,4	5,61
Factor B	1	13,74	13,74	3,24*	4,26	7,82
Factor C	1	2,18	2,18	0,51 ^{NS}	4,26	7,82
A x B	2	64,93	32,46	7,66**	3,4	5,61
A x C	2	14,87	7,44	1,75 ^{NS}	3,4	5,61
B x C	1	0,71	0,71	0,17 ^{NS}	4,26	7,82
A x B x C	2	9,77	4,89	1,15 ^{NS}	3,4	5,61
Error Experimental	24	101,72	4,24			

^{NS}= No Significativo

*= Significativo al 0,01%

**= Altamente significativo

Cv= 2,51%

Al realizar el análisis de varianza se puede apreciar que existe una alta significación estadística ($p < 0,01$) para tratamientos, para el factor A (temperatura en el interior del secador) y para la combinación A x B, y significación estadística ($p < 0,05$) para el factor B (velocidad de flujo de aire), es decir que los sólidos solubles del producto final dependen de la temperatura en el interior del secador y en menor escala la velocidad de aire dentro del secador.

Al existir significación estadística se realizó las pruebas de Tukey ($\alpha < 0,05$) para tratamientos, diferencia media significativa (DMS $\alpha < 0,05$) para el factor A (temperatura en el interior del secador), factores B (velocidad de flujo de aire), e Interacción gráfica para la combinación AxB.

Tabla 36. Prueba de Tukey al 5% para la variable sólidos solubles (°Brix)

TRATAMIENTOS	MEDIAS	RANGOS
T9	84,33	a
T8	84,18	a
T6	83,86	a
T7	83,71	a
T10	82,79	a
T11	82,27	a
T3	82,23	a
T4	81,87	a b
T5	81,68	a b
T12	80,80	a b
T1	78,97	a b
T2	76,02	b

En el cuadro de prueba de Tukey ($\alpha < 0,05$) para los tratamientos se observa que los tratamientos presentan rangos diferentes, es decir que existe entre los tratamientos diferencia estadística entre las medias calculadas.

Tabla 37. Diferencia media significativa para el Factor A.

FACTOR A	MEDIAS	RANGOS
A2	83,36	a
A3	82,55	a
A1	79,77	b

Al realizar la prueba de diferencia media significativa (DMS $\alpha < 0,05$) para el factor A se puede concluir que A2 (65 ° C) es el mejor nivel, es decir, que los sólidos solubles en el producto terminado dependen de la temperatura en el interior del secador.

Tabla 38. Diferencia media significativa para el Factor B.

FACTOR B	MEDIAS	RANGOS
B2	82,51	a
B1	81,28	a

Al realizar la prueba de diferencia media significativa (DMS $\alpha < 0.05$) para el factor B se determina que B1 (3 m/s) es el mejor nivel, es decir, que los sólidos solubles en el producto final depende de la velocidad de flujo de aire siendo inversamente proporcional, es decir, que a menor velocidad de aire de secado mayor será el porcentaje de concentración de los sólidos solubles final del producto.

- INTERACCIÓN A x B

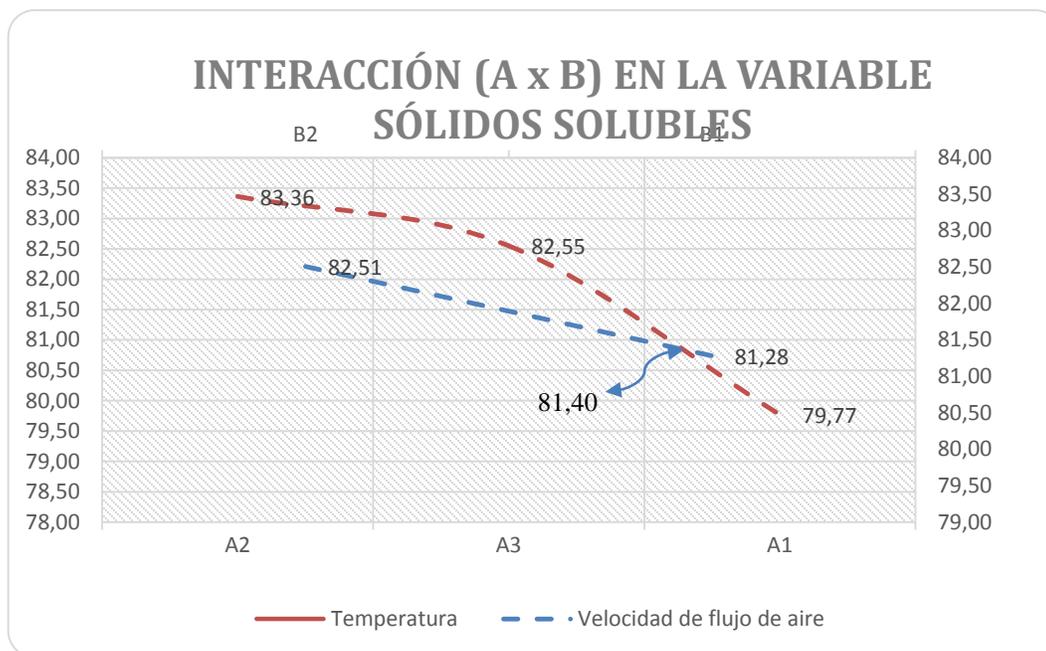


Gráfico 11. Interacción entre la temperatura (A) y la velocidad de flujo de aire (B) sobre el contenido de humedad.

En el gráfico 11 de interacción se identifica el punto crítico de la interacción entre los factores A (temperatura en el interior del secador) y B (velocidad de flujo de aire) en la variable sólido soluble del producto terminado es 81,40. Es decir, que el valor de sólidos solubles óptima es 81,40 %, el cual interactúa directamente entre la temperatura en el interior del secador (60 ° C) y la velocidad de flujo de aire (3 m/s).

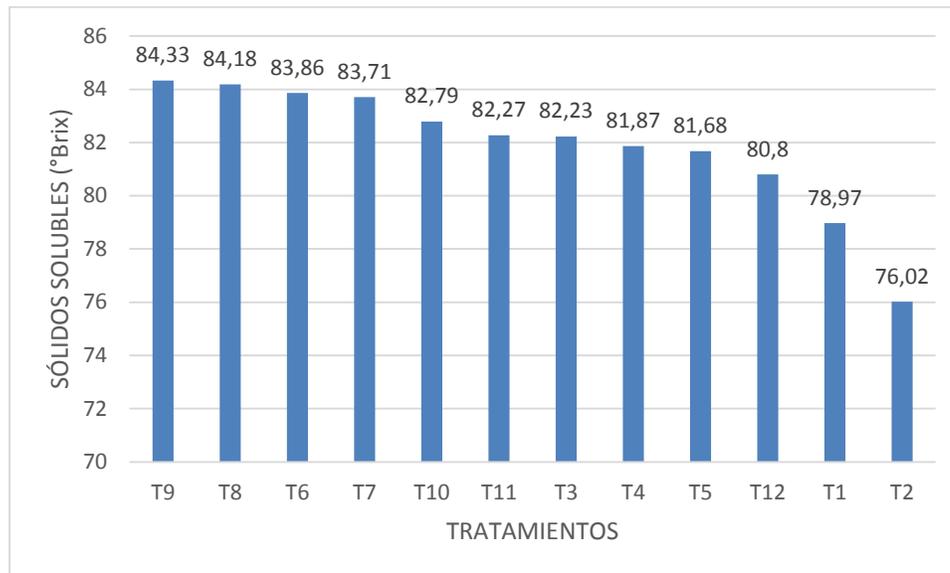


Gráfico 12. Variable sólidos solubles (°Brix) para el snack de arazá al final del proceso.

En el gráfico 12 luego de realizar el análisis de varianza se observa que la mayor cantidad de sólidos solubles son los del tratamiento T9 84,33 °Brix, teniendo como parámetros de proceso (70 °C temperatura de secado, 3 m/s velocidad de aire y 1000 g/m² densidad de carga), ya que al disminuir el porcentaje de humedad se cristalizan los azúcares mejorando las características organolépticas de sabor, olor y textura.

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.

Según (Olmedo, 2008), el método de secado nos ayuda a disminuir el porcentaje de humedad de los productos, incrementando la concentración de los sólidos solubles y nutrientes como también su vida útil. Lo cual permite incrementar su consumo, ya que en producto fresco tiene un sabor ácido poco apetecible para el consumidor.

4.3.3 ACTIVIDAD DE AGUA EN EL SNACK DE ARAZÁ

En la tabla 39 se registran los valores de la actividad de agua (a_w) del snack de arazá.

Tabla 39. Actividad de agua (a_w)

TRATAMIENTOS	Repeticiones			ΣT	Media
	R1	R2	R3		
A1B1C1	0,50	0,51	0,49	1,50	0,50
A1B1C2	0,56	0,60	0,57	1,73	0,58
A1B2C1	0,55	0,59	0,56	1,70	0,57
A1B2C2	0,57	0,63	0,65	1,85	0,62
A2B1C1	0,59	0,66	0,50	1,75	0,58
A2B1C2	0,60	0,49	0,47	1,56	0,52
A2B2C1	0,54	0,50	0,50	1,54	0,51
A2B2C2	0,55	0,53	0,56	1,64	0,55
A3B1C1	0,57	0,55	0,53	1,65	0,55
A3B1C2	0,59	0,63	0,61	1,83	0,61
A3B2C1	0,58	0,59	0,56	1,73	0,58
A3B2C2	0,60	0,62	0,58	1,80	0,60

El análisis estadístico de los valores de la actividad de agua finalizar el proceso de secado, se realizó mediante el análisis de varianza, con el fin de establecer diferencias estadísticas entre los tratamientos, con la prueba de “Fisher”.

Tabla 40. Análisis de varianza

F.V	SC	GL	CM	F. cal	F. Tab 5%	F. Tab 1%
Total	0,0804	35				
Trat.	0,0479	11	0,0044	3,1429 *	2,3	3,29
FA	0,0113	2	0,0057	4,0714 *	3,49	5,85
FB	0,0016	1	0,0016	1,1429 ns	4,35	8,1
FC	0,0081	1	0,0081	5,7857 *	4,35	8,1
AB	0,0115	2	0,0058	4,1429 *	3,49	5,85
AC	0,0102	2	0,0051	3,6429 *	3,49	5,85
BC		1		0 ns	4,35	8,1
ABC	0,0052	2	0,0026	1,8571 ns	3,49	5,85
Error	0,0325	24	0,0014			

NS= No Significativo

*= Significativo al 0,05%

**= Altamente significativo

Cv= 6.64%

Al realizar el análisis de varianza para la actividad de agua (a_w) en el arazá deshidratado, se observa que existe significancia estadística para los tratamientos, temperatura (factor A) y la densidad de carga (factor C) y las combinaciones AxB y AxC. Con un coeficiente de variación de 6,64 % por lo que se rechaza la hipótesis nula debido a que todos los tratamientos se comportan de diferente manera.

Al existir significación estadística se realizó las pruebas de Tukey ($\alpha < 0,05$) para tratamientos, DMS para los factores, e Interacción gráfica para las combinaciones.

Tabla 41. Prueba de Tukey al 5 % para la variable solidos solubles.

Tratamientos	Medias	Tukey
T4	0,62	a
T10	0,61	a b
T12	0,60	a b c
T2	0,58	a b c d
T11	0,58	a b c d
T5	0,58	a b c d
T3	0,57	a b c d
T9	0,55	a b c d
T8	0,55	a b c d
T6	0,52	b c d
T7	0,51	c d
T1	0,50	d

En el cuadro de prueba de Tukey ($\alpha < 0,05$) para los tratamientos se observa que los tratamientos presentan rangos diferentes, es decir que existe entre los tratamientos diferencia estadística entre las medias calculadas.

Tabla 42. Diferencia media significativa para el factor A

Tratamientos	Medias	DMS
A3	0,58	a
A1	0,56	a b
A2	0,54	b

Al realizar la prueba de diferencia media significativa (DMS $\alpha < 0,05$) para el factor A se puede concluir que A3 (70 ° C) es el mejor nivel, es decir, que la actividad de agua en el producto terminado depende de la temperatura en el interior del secador.

Tabla 43. Diferencia media significativa para el factor C.

Tratamientos	Medias	DMS
C2	0,58	a
C1	0,55	b

Al realizar la diferencia media significativa (DMS $\alpha < 0,05$) para el factor C, se concluye que C2 (densidad de carga 1500 g/m²) es el mejor nivel, es decir, que la actividad de agua del producto terminado depende de la densidad de carga (1500 g/m²). A menor densidad de carga menor será la actividad de agua del producto.

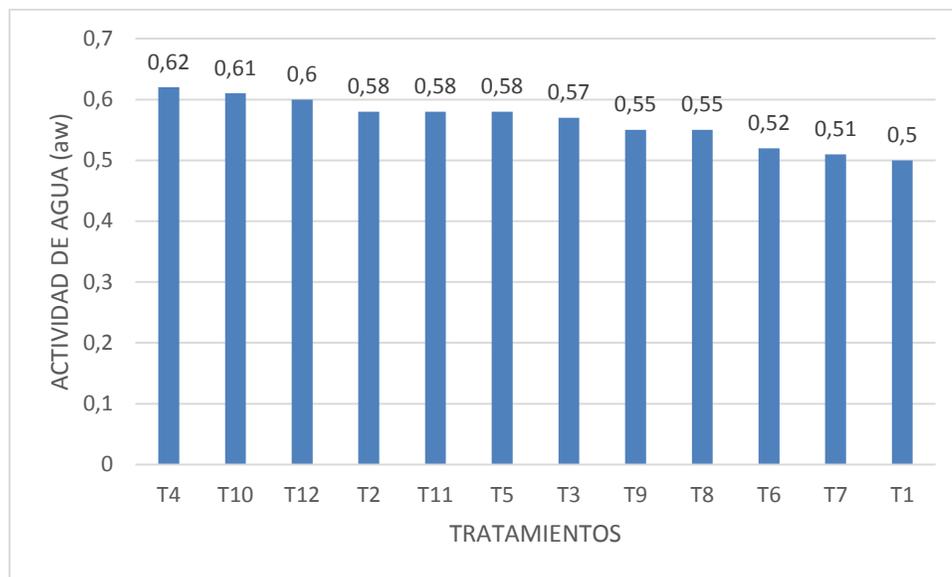


Gráfico 13. Actividad de agua (a_w) del producto terminado

El parámetro de la actividad de agua para productos deshidratados es de uno, en el gráfico 13 se observa que todos los tratamientos se encuentran por debajo de este parámetro siendo el tratamiento T1 el que menos actividad de agua tiene con 0,5 a_w con parámetros de procesamiento (60 °C temperatura de secado, 3 m/s velocidad de aire y 1000 g/m² densidad de carga), el de mayor actividad de agua 0,62 a_w el tratamiento T4 (70 °C temperatura de secado, 5 m/s velocidad de aire y 1500 g/m² densidad de carga), de acuerdo a los análisis estadísticos, análisis sensorial y análisis organoléptico el tratamiento T9 es el que mejores condiciones después del proceso 0,55 a_w con parámetros de proceso (70 °C temperatura de secado, 3 m/s velocidad de aire y 1000 g/m² densidad de carga).

Según Calle Benites & Aparicio Baidal, (2011), la actividad de agua de un producto es siempre inferior a 1. La actividad de agua (a_w) es un parámetro que indica la disponibilidad de agua en un alimento para que existan reacciones químicas y bioquímicas (Por ejemplo, oxidación de lípidos, reacciones enzimáticas y desarrollo microbiano), lo cual nos ayuda a conservar el alimento por más tiempo.

4.3.4 PESO EN EL SNACK DE ARAZÁ

Esta variable se midió al inicio y al final del proceso de deshidratación, teniendo como finalidad determinar el rendimiento producto obtenido en el proceso de elaboración del snack.

Tabla 44. Peso final (g) del producto terminado

TRATAMIENTOS	Repeticiones			ΣT	Media
	R1	R2	R3		
A1B1C1	58	63	59	180	60,00
A1B1C2	106	107	107	320	106,67
A1B2C1	104	104	104	312	104,00
A1B2C2	130	145	143	418	139,33
A2B1C1	81	80	76	237	79,00
A2B1C2	95	96	96	287	95,67
A2B2C1	52	52	53	157	52,33
A2B2C2	88	95	87	270	90,00
A3B1C1	70	72	73	215	71,67
A3B1C2	120	110	100	330	110,00
A3B2C1	63	65	63	191	63,67
A3B2C2	101	101	100	302	100,67

El análisis estadístico de los valores de peso al finalizar el proceso de secado, se realizó mediante el análisis de varianza, con el fin de establecer diferencias estadísticas entre los tratamientos, con la prueba de “Fisher”.

Tabla 45. Análisis de varianza del peso final

F.V	SC	GL	CM	F. cal	F. Tab 5%	F. Tab 1%
Total	21164,75	35				
Trat.	20756,083	11	1886,917	110,813 **	2,3	3,29
FA	3396,5	2	1698,25	99,733 **	3,49	5,85
FB	182,25	1	182,25	10,703 **	4,35	8,1
FC	11200,694	1	11200,694	657,781 **	4,35	8,1
AB	5235,5	2	2617,75	153,732 **	3,49	5,85
AC	312,723	2	156,362	9,183 **	3,49	5,85
BC	17,362	1	17,362	1,02 ns	4,35	8,1
ABC	411,054	2	205,527	12,07 **	3,49	5,85
Error	408,667	24	17,028			

NS= No Significativo

*= Significativo al 0,05%

**= Altamente significativo

Cv= 4,61%

Al realizar el análisis de varianza para el peso final (g) en el arazá deshidratado, se observa que existe significancia estadística para los tratamientos, temperatura (factor A), velocidad de aire (factor B) y la densidad de carga (factor C) y las combinaciones AxB, AxC y AxBxC. Con un coeficiente de variación de 4,61 % por lo que se rechaza la hipótesis nula debido a que todos los tratamientos se comportan de diferente manera. Al existir significación estadística se realizó las pruebas de Tukey ($\alpha < 0,05$) para tratamientos, diferencia media significativa (DMS $\alpha < 0,05$) para los factores, e Interacción gráfica para las combinaciones.

Tabla 46. Prueba de Tukey al 5% para la variable peso.

Tratamientos	Medias	Tukey
T4	139,33	a
T10	110,00	b
T2	106,67	b
T3	104,00	b c
T12	100,67	b c
T6	95,67	c d
T8	90,00	d
T5	79,00	e
T9	71,67	e f
T11	63,67	f g
T1	60,00	g h
T7	52,33	h

Todos los tratamientos son iguales pero el primero es el que sobresale ante todos por el valor de la media que es más alto, definiéndose el T4 como el mejor tratamiento. Esto se debe a que existe significación estadística al 0,05% con respecto a los tabulares del análisis de varianza.

Tabla 47. Diferencia media significativa para el factor A.

Tratamientos	Medias	DMS
A1	102,50	a
A3	86,50	b
A2	79,25	c

Al realizar la prueba de diferencia media significativa (DMS $\alpha < 0.05$) para el factor A se puede concluir que A3 (70 ° C) es el mejor nivel, es decir, que el peso final en el producto terminado depende de la temperatura en el interior del secador.

Tabla 48. Diferencia media significativa para el factor C.

Tratamientos	Medias	DMS
C2	107,06	a
C1	71,78	b

Al realizar la diferencia media significativa (DMS $\alpha < 0.05$) para el factor C, se concluye que C2 (densidad de carga 1500 g/m²) es el mejor nivel, es decir, que el peso final del producto terminado depende de la densidad de carga (1500 g/m²). A menor densidad de carga menor será el peso del producto.

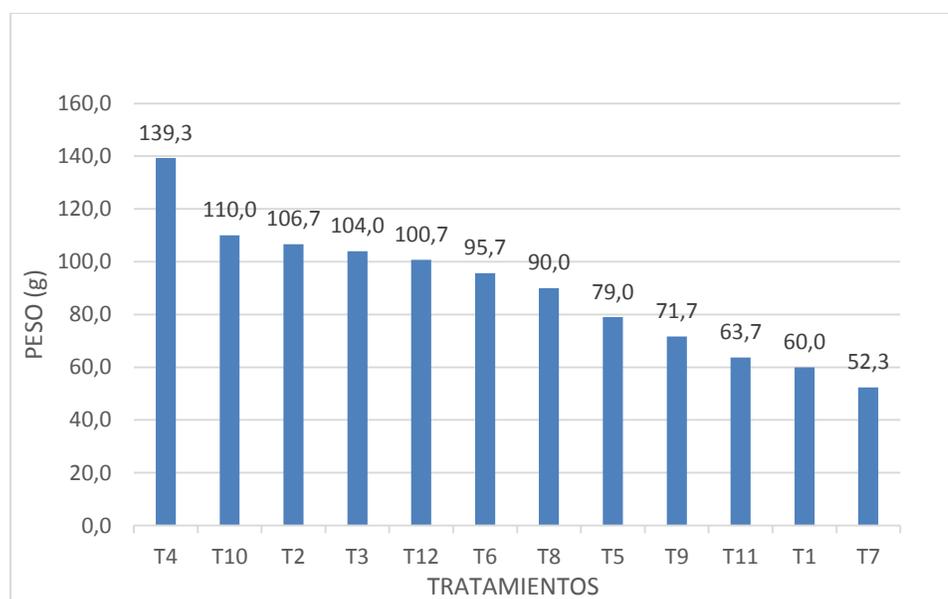


Gráfico 14. Peso final de arazá deshidratado

En la gráfica 14 se observa que el mejor tratamiento es T7 con parámetro de secado (65 °C temperatura de secado, 5 m/s velocidad de aire y 1000 g/m² densidad de carga), se observa que el mejor tratamiento es T7 con un peso inicial de 1000 g, el peso final después del proceso fue

de 52,3 g obteniendo una pérdida de humedad del 947, 7 g, con un rendimiento de 5,23%, siendo el rendimiento más bajo de todos los tratamientos.

Según Marín & Lemus (2006), menciona que 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.

4.4 EVALUACIÓN DE FÍSICO QUÍMICA, MICROBIOLÓGIA Y ORGANOLEPTICA DEL SNACK DE ARAZÁ

4.4.1 CALIDAD FÍSICO QUÍMICA

En esta tabla se presentan los valores obtenidos del producto terminado para el mejor tratamiento.

Tabla 49. Evaluación de análisis físico químico del snack de arazá

Parámetro analizado	Unidad	Resultado
Humedad	%	1,17
Cenizas	%	2,65
Proteína total	%	7,4
Extracto etéreo	%	2,7
Fibra Bruta	%	12,3
Sacarosa	°Brix	42,7
Ácido Ascórbico	mg/100 g	48,5

Los resultados de la tabla 49, muestran que luego del proceso de deshidratación osmótica y secado con aire caliente, se logra una mayor concentración de nutrientes, ya que contiene un mayor rendimiento, presento características sensoriales aceptables para los degustadores y 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.

4.4.2 CALIDAD MICROBIOLÓGICA

Este análisis se realizó para los tres mejores tratamientos, con la finalidad de verificar la inocuidad del producto.

Tabla 50. Resultados del análisis microbiológico del mejor tratamiento del snack de arazá

Parámetro analizado	Unidad	Resultados			Método de ensayo	Norma INEN 2996-2015
		T9	T8	T5		
Recuento estándar en placa	UFC/G	68	80	70	AOAC	1,0x10 ³
Recuento Coliformes totales	UFC/G	0	0	0	989.10	0
Recuento de mohos	UFC/G	860	855	860	AOAC	1,0x10 ³
Recuento levaduras	UFC/G	410	720	640	997.02	1,0x10 ³

En la tabla 50 se observa el análisis microbiológico de los tres mejores de tratamientos donde está dentro de los parámetros establecidos en la norma NTE INEN 2996-2015 de Productos Deshidratados, por lo tanto, es un alimento inocuo para el consumo humano.

4.4.3 CALIDAD ORGANOLÉPTICA DEL SNACK DE ARAZÁ

El análisis sensorial utilizado fue el de escala de categorías, que consiste en los doce jueces efectivos respondan a cada uno de los atributos sensoriales ubicando su valoración sobre una escala gráfica, a través de esta prueba se pudo evaluar color, intensidad de sabor y textura del snack de arazá, cuya ficha está en el anexo 1 (Hernández, 2005).

4.4.4 COLOR

Los rangos tabulados luego de la evaluación sensorial se encuentran detallados en el siguiente gráfico.

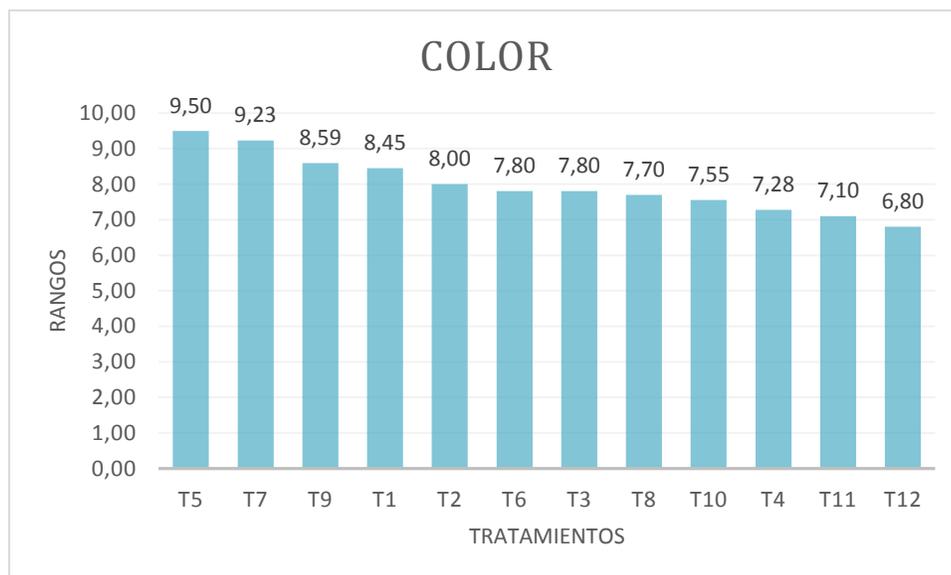


Gráfico 15. Caracterización del color en el producto terminado.

En la gráfica 15 se observa que el mejor tratamiento en el color es T5 (65°C, 3 m/s y 1000 g/m²), donde a menor temperatura las pérdidas de los pigmentos disminuyen, por otra parte, el proceso de deshidratación mejora las características organolépticas del snack de arazá según (García & Alvis, 2015), a pesar de los resultados obtenidos en el análisis sensorial, los catadores encontraron diferencia significativa en el color. Sin embargo, los que presentaron un mayor puntaje fueron aquellos en los que el producto presentó un color amarillo muy claro, las escalas se pueden observar en el anexo 1.

Según Anzaldúa – Morales (1994), las etapas de madurez influyen en las características organolépticas del snack deshidratado donde el estado de madurez pintona (50% amarilla y 50% verde), mejora la calidad del producto terminado. Los tratamientos sometidos a la deshidratación osmótica en general adquieren un brillo y solidez en el color amarillo, este cambio se da principalmente por el índice de madurez, las condiciones de proceso y las propiedades físico-químicas de la materia prima.

Mientras 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).

4.4.5 OLOR

Los rangos tabulados luego de la evaluación sensorial se encuentran detallados en el siguiente gráfico.

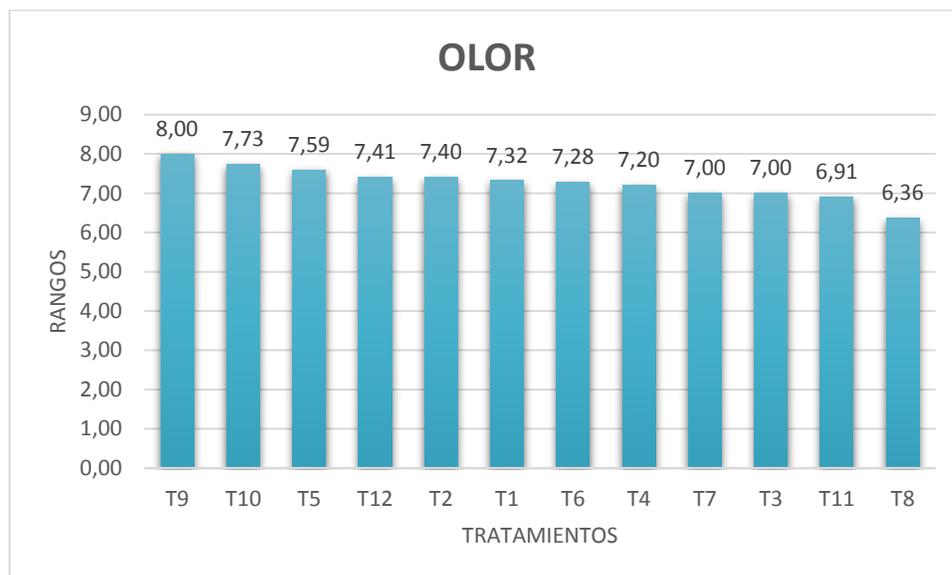


Gráfico 16. Caracterización del olor en el producto terminado.

Al observar el gráfico 16 anterior se puede establecer que T9 (70°C , 3 m/s y 1000 g/m^2) es el tratamiento que más aceptabilidad tuvo en la variable olor por el panel degustador, seguido por T10 (70°C , 3 m/s y 1500 g/m^2) y T5 (65°C , 3 m/s y 1000 g/m^2), resultando así los tres mejores tratamientos para esta variable. Sin embargo, los que presentaron un mayor puntaje fueron aquellos en los que el producto presentó un aroma muy agradable, las escalas se puede observar en el anexo 1.

Según Saca Becerra (2013), los parámetros de deshidratación osmótica y secado mejoran las características organolépticas del snack ya que es un método de conservación. Por otra parte, las pérdidas de aroma se deben a la oxidación de los pigmentos vitaminas durante el almacenamiento provocando una estructura porosa durante el proceso de deshidratación.

4.4.6 SABOR

Los rangos tabulados luego de la evaluación sensorial se encuentran detallados en el siguiente gráfico.

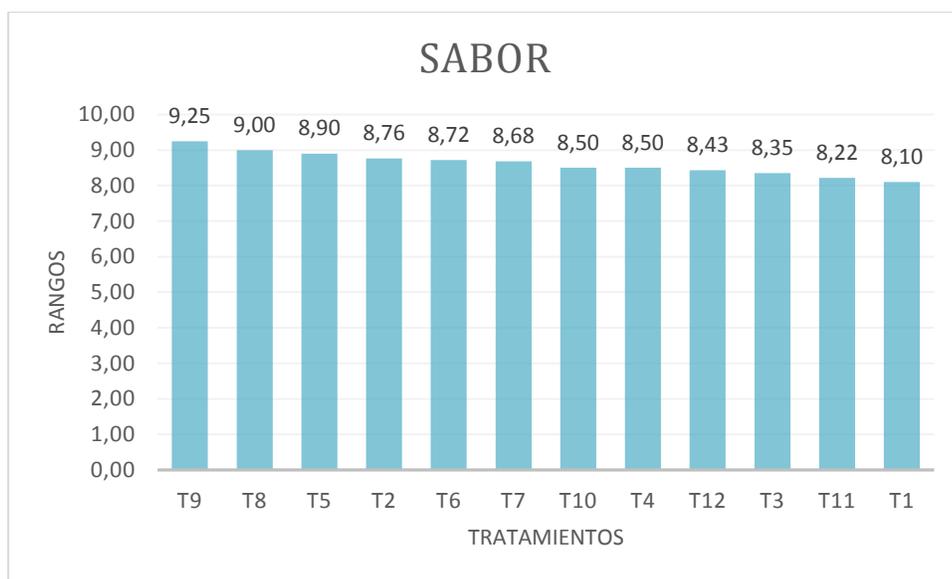


Gráfico 17. Caracterización del sabor en el producto terminado.

Los datos consiguientes indican que T9 (70 ° C, 3 m/s y 1000 g/m²) es el tratamiento que más aceptabilidad tuvo en el variable sabor, a continuación, T8 (65 ° C, 5 m/s y 1500 g/m²) y T5 (65 ° C, 3 m/s y 1000 g/m²) siendo así os tres mejores tratamientos para esta variable. De acuerdo con los resultados del análisis sensorial, los catadores mostraron preferencia por un sabor muy agradable, la cual es la más apreciable a la sensibilidad gustativa de los degustadores, las escalas se pueden observar en el anexo 1.

Según Gavica & Terán (2011) el sabor de un alimento deshidratado se concentra cuando el índice de madurez óptimo es (50% amarilla y 50% verde), ya que concentra en mayor cantidad los sólidos solubles. El sabor es lo que diferencia un alimento de otro, ya que, si se prueba un alimento con los ojos cerrados y la nariz tapada, solamente se podrá juzgar si es dulce, salado, amargo o ácido. El incremento de la relación azúcar/acidez mejora el sabor, sobre todo en productos como las frutas.

4.4.7 TEXTURA

Los rangos tabulados luego de la evaluación sensorial se encuentran detallados en el siguiente gráfico.

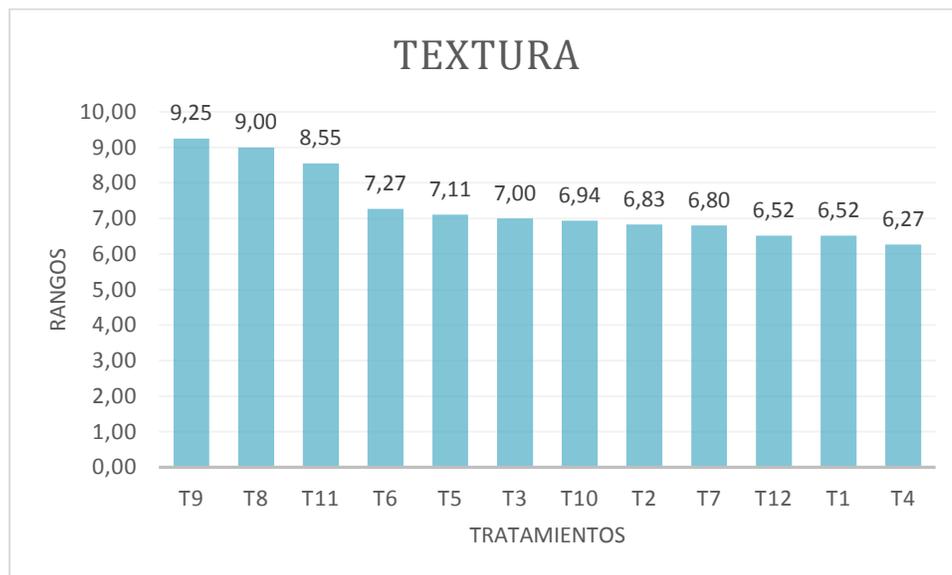


Gráfico 18. Caracterización del sabor en el producto terminado.

Al tabular los resultados de esta variable se establece que T9 (70 ° C, 3 m/s y 1000 g/m²), T8 (65 ° C, 5 m/s y 1500 g/m²) y T11 (70 ° C, 5 m/s y 1000 g/m²) son los tres tratamientos sobresalientes para la variable textura, siendo T9 el tratamiento más aceptado por los degustadores los catadores mostraron preferencia por una textura buena, la cual es la más apreciable a la sensibilidad gustativa de los degustadores, las escalas se pueden observar en el anexo 1.

Según Contreras Mozón (2006), el procesado del alimento por calor también dará como resultado cambios en la pared celular, particularmente en la lámina media (el inicio de la rotura de la pectina conduce a la separación celular), así como otros cambios dependientes de la composición del producto como puede ser la gelatinización del almidón en el caso de que esté presente. En particular, en procesos de secado, la pérdida de agua y la exposición a altas temperaturas durante el proceso provocan el encogimiento celular y por consiguiente cambios en la textura de los productos obtenidos. Por lo tanto, la textura final depende de la importancia relativa de cada factor que contribuye a su textura y al grado con que ese factor se ha cambiado mediante el método de procesado utilizado.

Al respecto existe un componente celular, la pectina, que juega un papel fundamental en las características mecánicas de los tejidos vegetales, no sólo por su evolución durante la maduración fisiológica, sino también por su comportamiento durante el procesado. No obstante, un aspecto que también puede ser decisivo en la textura del tejido vegetal es el estado físico de sus componentes y, en particular, el estado vítreo o gomoso en que se encuentre la fase líquida.

4.4.8 ACEPTABILIDAD

Los rangos tabulados luego de la evaluación sensorial se encuentran detallados en el siguiente gráfico.



Gráfico 19. Caracterización de aceptabilidad en el producto terminado.

Al tabular los resultados de esta variable se establece que T9 (70 ° C, 3 m/s y 1000 g/m²), T8 (65 ° C, 5 m/s y 1500 g/m²) y T5 (65 ° C, 3 m/s y 1000 g/m²) son los tres tratamientos sobresalientes para la variable aceptabilidad, siendo T9 el tratamiento más aceptado por los degustadores, las escalas se pueden observar en el anexo 1.

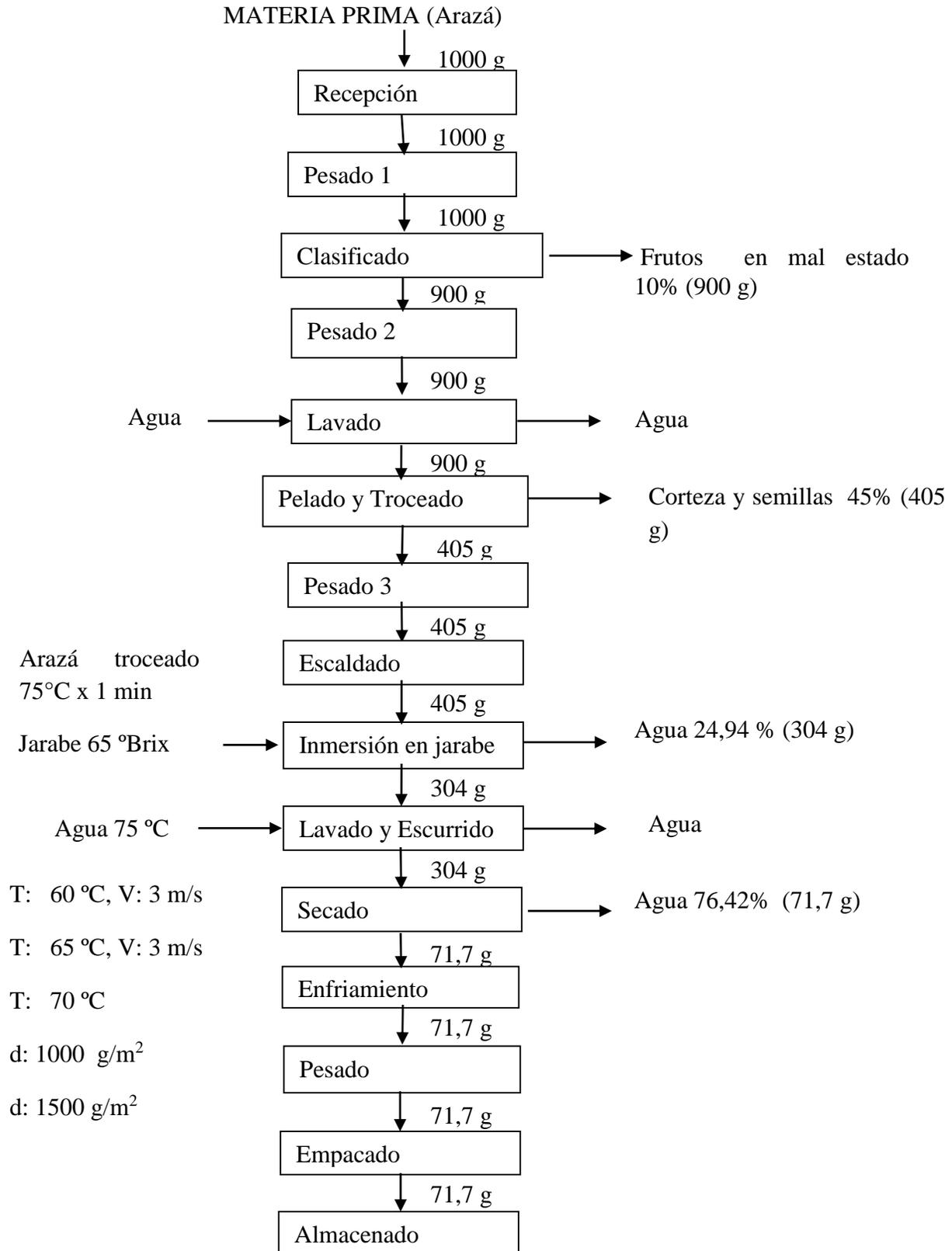
Según Contreras Mozón (2006), uno de los objetivos de la Industria Alimentaria es producir alimentos que sean agradables y fáciles de comer. El placer es derivado de los sentidos del gusto, del olfato y de la visión. Sin embargo, la percepción de la textura también produce placer y es la sensación más relevante relacionada con la estructura del alimento. El color es una característica de gran importancia en nuestra valoración física y de la calidad de los alimentos. Desde el momento en que la conservación y elaboración de los alimentos comenzó a desplazarse desde los hogares a las fábricas, existió el deseo de mantener el color de los alimentos procesados y conservados lo más parecido al de la materia prima de origen.

Tabla 51. Análisis de Friedman para las características sensoriales

VARIABLE	VALOR CALCULADO X ²	VALOR TABULAR X ² (5%)	SIGN.	MEJORES TRATAMIENTOS
COLOR	52,71	9,975	**	T5-T7-T9
AROMA	27,25	9,975	**	T9-T10-T5
SABOR	24,86	9,975	**	T9-T8-T5
TEXTURA	40,97	9,975	**	T9-T8-T11
ACEPTABILIDAD	72,27	9,975	**	T9-T8-T5
MEJORES TRATAMIENTOS				T9-T8-T5

Una vez realizada la prueba de Friedman al 5%, se observó diferencia significativa para las variables color, olor, sabor y textura, donde el mejor tratamiento es T9 (70 °C+3m/s+1000g/m²), debido a que en el sabor y textura fue de mayor aceptabilidad frente al panel degustador.

4.5 BALANCE DE MATERIALES



4.6 RENDIMIENTO PARA EL MEJOR TRATAMIENTO

El rendimiento del procesamiento de deshidratación osmótica y secado de arazá para la obtención de snack de arazá de la siguiente manera:

$$R = (\text{masa final} / \text{masa inicial}) \times 100\%$$

$$R = (71,7\text{g} / 405\text{g}) \times 100\%$$

$$R = 17,70\%$$

4.7 CURVAS DE SECADO PARA LA OBTENCIÓN DEL SNACK DE ARAZÁ (*Eugenia stipitata mc vaugh*)

La presente investigación “Deshidratar osmóticamente y secado de arazá (*Eugenia stipitata Mc Vaugh*) para la obtención de un snack” se desarrolló en los laboratorios de la Carrera de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Técnica del Norte, en la ciudad de Ibarra Ecuador. Donde el arazá se sometió a un proceso deshidratación osmótica, tuvo un tiempo de duración de doce horas en una solución hipertónica de sacarosa al 65%.

El arazá ingresa al secador con una humedad 85,50 %, sólidos solubles 8,37 °Brix y un peso de 450 g luego del proceso de deshidratación osmótica.

El secado se realizó el deshidratador de cabina o bandejas a temperaturas (60, 65, 70) ° C y a una velocidad de aire de (4, 5) m/s, está formado por una cámara metálica rectangular (armario), en cuyo interior se disponen separaciones fijas donde se colocan cierto número de bandejas poco profundas, montadas unas sobre otras con una separación conveniente, en las cuales se coloca el producto a secar. El ventilador colocado en la parte inferior hace circular el aire por los calentadores y después entre las bandejas, con la ayuda de unos deflectores.

Tabla 52. Variables independientes y dependientes en el proceso de secado.

TRA.	Variables Independientes			Variables Dependientes			
	A	B	C	Sólidos solubles °Brix	Actividad de agua a_w	Humedad kg _{H2O} /kgss	Peso g
	Temperatura °C	Velocidad de aire de secado m/s	Densidad de carga g/m ²				
T1	60	3	1000	78,97	0,50	0,75	60,00
T2		3	1500	76,02	0,58	0,75	106,6
T3		5	1000	81,87	0,57	1,61	104,0
T4		5	1500	81,68	0,62	2,04	109,3
T5	65	3	1000	82,23	0,58	0,67	79,00
T6		3	1500	83,86	0,52	2,40	95,67
T7		5	1000	83,71	0,51	0,88	52,33
T8		5	1500	84,18	0,55	1,13	90,00
T9	70	3	1000	84,33	0,55	1,17	71,67
T10		3	1500	82,79	0,61	1,56	110,0
T11		5	1000	82,27	0,58	1,48	63,67
T12		5	1500	80,80	0,60	2,55	100,6

Una vez analizada la tabla 51 se observó el tratamiento T9 (70°C +3m/s+1000 g/m²) contiene la mayor concentración de sólidos solubles de 84,33 °Brix, actividad de agua 0,55 a_w , humedad 1.17 kg_{H2O}/kgss y con un peso final de 71,67g, lo cual cumple 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.

Una vez realizado el proceso de deshidratación osmótica y secado se realizó una representación graficas de las diferentes curvas de secado, donde se tomó en cuenta las temperaturas de 60° C, 65° C y 70° C.

La actividad de agua de un producto es siempre inferior a 1, esto significa que los constituyentes del producto fijan parcialmente el agua disminuyendo así su capacidad de vaporizarse.

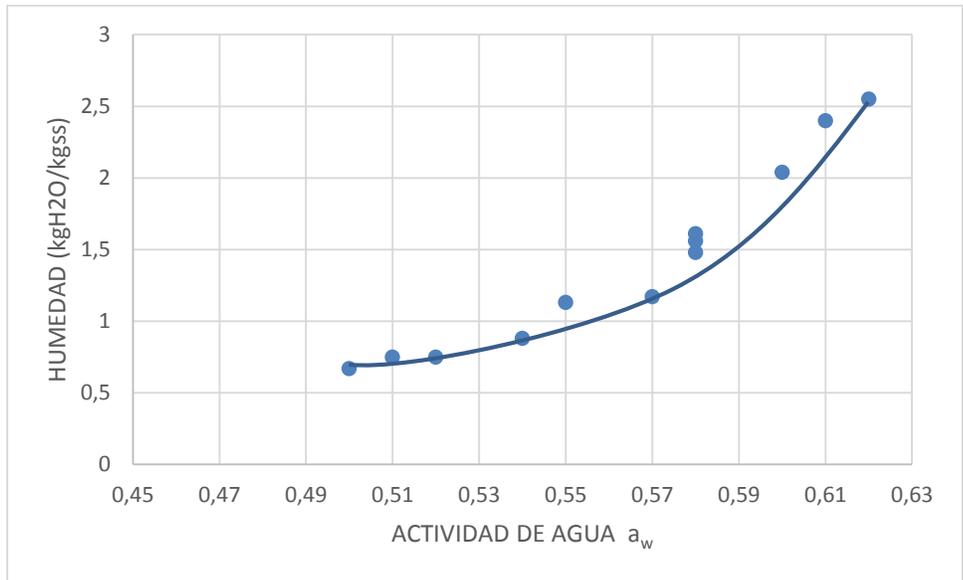


Gráfico 20. Isoterma de desorción humedad y actividad de agua.

Según Casp Vanaclocha & Abril Requena (2008), durante el proceso de deshidratación a temperatura constante y bajo condiciones de equilibrio, existe una única relación entre el contenido de humedad y la actividad de agua (o la humedad relativa de equilibrio) de un alimento, dependiendo de que el equilibrio se alcance por adsorción o por desorción. Esta relación se conoce como *Isoterma de equilibrio* grafico 20. La actividad de agua, disminuye al mismo tiempo que lo hace el contenido de agua, la curva $H=f(a_w)$ es generalmente sigmoideal, como resultado de varios mecanismos básicos de interacción del agua ligada.

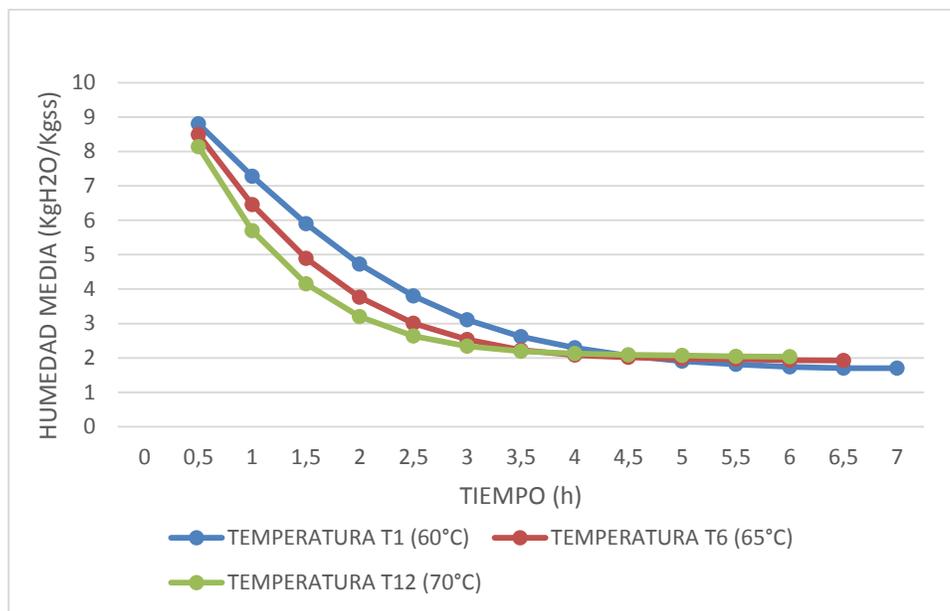


Gráfico 21. Curva de secado para las temperaturas (60,65y 75) °C

En la grafico 21 se observa que a mayor temperatura la humedad del producto y tiempo disminuye lo cual mejora las características físico-químicas, como también permite alargar la vida útil del producto final.

Según Castells (2012), indica que la deshidratación desde el punto de vista técnico, es un proceso de eliminación de agua por medio de calor. Mientras, Amores Vizuete (2011), considera que la conservación de alimentos permite prolongar la vida útil de las frutas, plantas y así acceder a mercados más distantes. También, los alimentos deshidratados mantienen gran proporción de su valor nutritivo original si el proceso se realiza en forma adecuada.

Mientras García Pereira & Hernández Gómez (2013), la cinética de deshidratación de frutas se analiza a partir del comportamiento de propiedades como la masa, firmeza y el porciento de pérdida de peso, durante los procesos tecnológicos de deshidratación, evaluando cada una de estas propiedades a intervalos de media hora hasta completar las tres horas de proceso y posteriormente cada una hora hasta completar los mismos, el producto se encuentra

deshidratado cuando no se observe cambio de la masa durante la deshidratación de una medición a la otra.

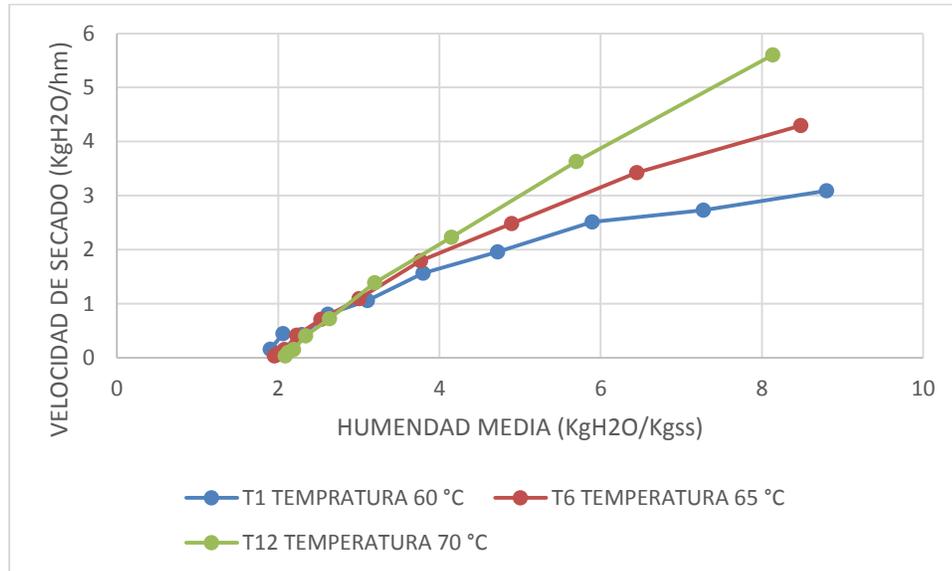


Gráfico 22. Curva de velocidad de secado (KgH₂O/hm²)

En el gráfico 22 se determinó que a la temperatura 60 °C y velocidad de secado de 8,8037 kgH₂O/hm² la humedad del producto final es de 3,093 kgH₂O/kgss la cual está dentro de los parámetros establecidos por la norma NTE INEN 2996-2015, a su vez nos indica que a mayor velocidad de flujo de aire mayor será la velocidad de secado en el proceso de deshidratación. También cabe mencionar que el periodo anticrítico es mínimo ya que el agua en estado libre del producto se perdió en la deshidratación osmótica, esto nos ayuda a la disminución del tiempo en el secado convencional.

Según Casp Vanaclocha & Abril Requena (2008), durante un proceso de deshidratación, se eliminan primero las moléculas de agua no ligadas, el agua libre se comporta como el agua pura, requiere por lo tanto para evaporarse relativamente poca energía (del orden de 2.400 kJ.kg de agua libre), por el contrario la evaporación del agua ligada es más difícil y requiere más energía.

Mientras, la fracción que se extrae en último lugar corresponde a las moléculas de agua de estructura, fuertemente ligadas por uniones electrostáticas a macromoléculas orgánicas del extracto seco.

Según Maupoey et al. (2001), la velocidad de secado es la velocidad con que disminuye la humedad del producto en un periodo de tiempo. La deshidratación con aire caliente se refleja con una pendiente ya que la masa siempre tiende a disminuir experimentando la mayor pérdida en el transcurso de las 4 primeras horas del proceso, por lo que es en ese intervalo de tiempo donde el secado tiene mayor incidencia sobre la fruta.

Según Zuluaga & Cortes (2010), el punto de equilibrio de una muestra a una temperatura y humedad del aire determinada se alcanza cuando el contenido de humedad del material no cambia apreciablemente con el tiempo de proceso. Del mismo modo se observó cómo las curvas de las muestras descienden en forma lenta, debido probablemente a la dificultad en la eliminación del agua por la formación de una corteza de jarabe residual del proceso de deshidratación osmótica en la superficie de la fruta.

4.7.1 CURVA DE SECADO PARA T5 (65 ° C+3m/s+1000 g/m²).

Para el tratamiento 5 el tiempo de secado para obtener el snack de arazá fue de 6,5 horas.

Tabla 53. Valor de la humedad y velocidad de secado para T5 (A2B1C1).

Tiempo Horas	PESO kg	PESO EN BASE		HUMEDAD	
		SECA kgss	HUMEDAD kg _{H2O} /kgss	MEDIA kg _{H2O} /kgss	W kg _{H2O} /hm ²
0,0	0,305	0,029	9,616		
0,5	0,238	0,029	7,522	8,569	3,9274
1,0	0,187	0,029	5,902	6,712	3,0391
1,5	0,148	0,029	4,661	5,281	2,3286
2,0	0,125	0,029	3,935	4,298	1,3617
2,5	0,109	0,029	3,430	3,682	0,9472
3,0	0,098	0,029	3,082	3,256	0,6512
3,5	0,090	0,029	2,851	2,967	0,4342
4,0	0,085	0,029	2,693	2,772	0,2960
4,5	0,083	0,029	2,620	2,656	0,1381
5,0	0,081	0,029	2,556	2,588	0,1184
5,5	0,080	0,029	2,535	2,546	0,0395
6,0	0,079	0,029	2,493	2,514	0,0789
6,5	0,079	0,029	2,493	2,493	0,0000

En la obtención de snack de arazá mediante condiciones controladas de acuerdo al tratamiento T5, el proceso de secado tuvo una duración de 6,50 horas, hasta llegar a la humedad de equilibrio. Se puede acotar que el producto fue sobre secado por un periodo de 2 horas, esto tomando en cuenta que la norma INEN 2392 indica que el porcentaje de humedad en base humedad requerido es del 12%.

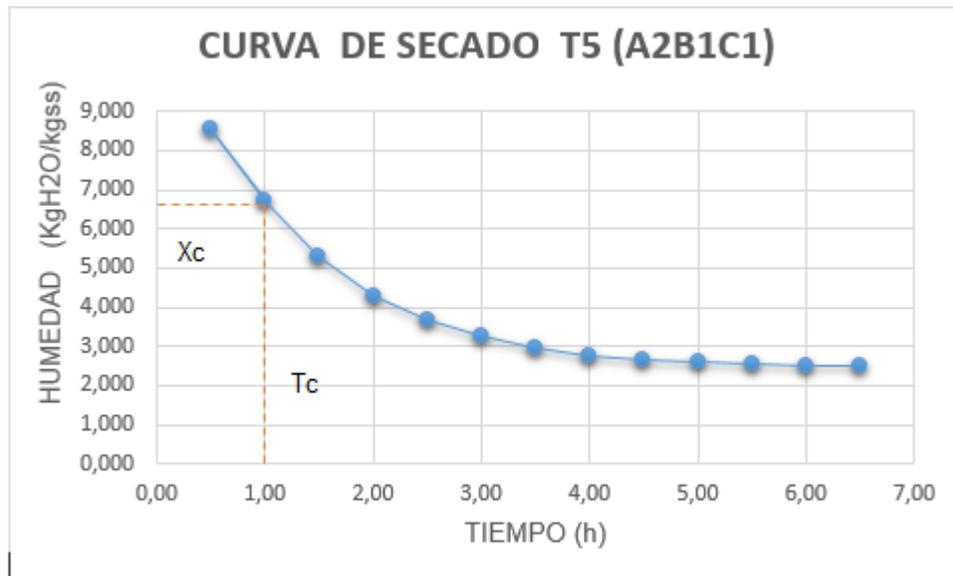


Gráfico 23. Curva de secado T5 (A2B1C1).

La pendiente de secado demuestra un tiempo menor de secado debido al incremento de temperatura en este tratamiento, en el proceso de secado del snack de arazá donde la matriz celular no es completamente rígida, por tanto, no existe vías de difusión del vapor de agua desde el interior del snack hacia la superficie, la disminución del peso por evaporación del agua es lenta, como se puede observar en la baja pendiente del gráfico 23.

Se puede determinar que la humedad disminuye conforme el tiempo de secado aumenta, obteniendo un 2,493 kg_{H2O}/kg_{ss} de humedad para el T5 (A2B1C1), una vez que se ha llegado al peso constante, a las 6,5 horas de secado.

Según Torres (2007), el proceso de deshidratación osmótica y secado protege de la pérdida de ciertos nutrientes hidrosolubles, como es el caso de la vitamina C en las frutas. Cuando el alimento es sometido a una deshidratación osmótica previa al secado, es posible la reducción del tiempo del mismo, lo cual permite una reducción en los costos de producción.

4.7.1.1 Curva de velocidad de secado para T5

Para obtener los cálculos de la cinética del proceso de secado, el contenido de humedad se expresa en base seca es decir en función de los sólidos de la muestra ($\text{kg H}_2\text{O}/\text{kgss}$) y la velocidad de secado en $\text{kg H}_2\text{O}/\text{hm}^2$, con la finalidad de facilitar los cálculos respectivos.

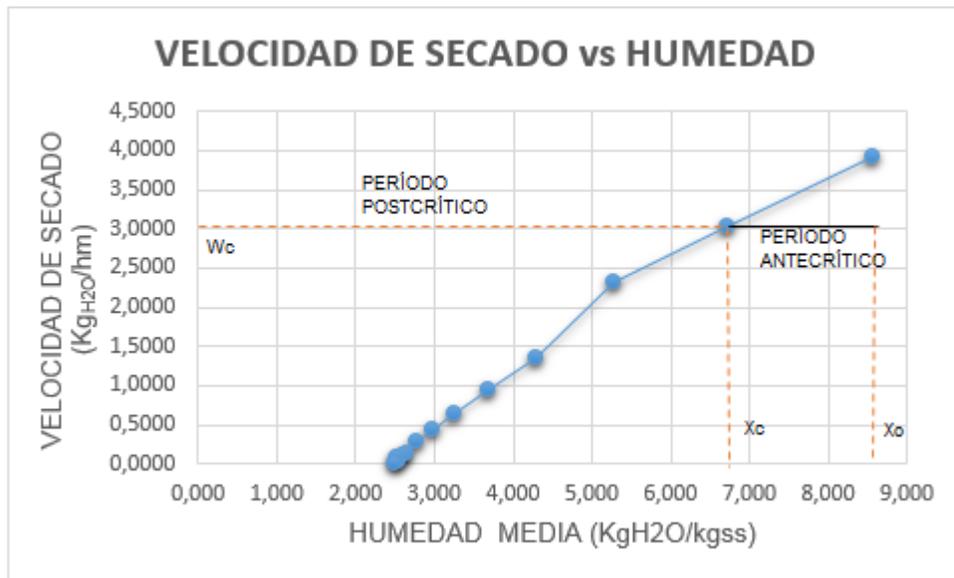


Gráfico 24. Curva de velocidad de secado para T5 (A2B1C1).

En el gráfico 24 se puede apreciar la relación entre la velocidad de secado y humedad con un tiempo antecrítico de una hora, con una humedad inicial de ($X_o= 9,916 \text{ kgH}_2\text{O}/\text{kgss}$) y concluye en la humedad crítica ($X_c= 6,826 \text{ kgH}_2\text{O}/\text{kgss}$), con una velocidad de secado ($W_c=3\text{kgH}_2\text{O}/\text{hm}^2$). Mientras que el tiempo postcrítico con una duración de 5,61 horas, empieza a partir de la humedad crítica ($X_c= 6,826 \text{ kgH}_2\text{O}/\text{kgss}$) y termina en la humedad final ($X_f= 2,4930 \text{ kgH}_2\text{O}/\text{kgss}$), con una velocidad de secado ($W_f= 0,0789 \text{ kgH}_2\text{O}/\text{hm}^2$) y una humedad de equilibrio ($X^*= 2,343 \text{ kgH}_2\text{O}/\text{kgss}$) obteniendo así un snack de arazá.

Según el gráfico 24, los periodos de la velocidad de secado no estan diferenciados ya que el periodo antecritico es minimo por que se realizo un pretatamiento antes del secado. Mientras, en el periodo de velocidad postcritico se observa los puntos de inflexión en la curva de secado, debido a que el movimiento de la humedad desde el interior a la superficie del solido, es gobernado principalmente por mecanismos de capilaridad y difusión molecular del agua.

Calculo de tiempo poscrítico:

Xo=	9,6157
S=	0,0320
As=	0,0560
Xc=	6,8260
Wc=	3,0000
Xf=	2,4930
Wf=	0,0789

Tiempo Pos crítico

$\frac{S}{A_s}$	$\frac{X_c - X_f}{W_c - W_f}$	$\frac{\ln W_c}{W_f}$
0,5714	1,4833	3,5613
Tp= 5,61		

4.7.2 CURVA DE SECADO PARA T8 (65 ° C+5 m/s+1500 g/m²).

Para el tratamiento 8 el tiempo de secado para obtener el snack de arazá fue de 7,5 horas.

Tabla 54. Valor de la humedad y velocidad de secado para T8 (A2B2C2).

Tiempo Horas	PESO EN BASE		HUMEDAD		
	PESO kg	SECA kgss	HUMEDAD kg _{H2O} /kgss	MEDIA kg _{H2O} /kgss	W kg _{H2O} /hm ²
0,0	0,2440	0,0230	9,6157		
0,5	0,1967	0,0230	7,7452	8,6805	3,5851
1,0	0,1603	0,0230	6,3143	7,0298	2,7426
1,5	0,1307	0,0230	5,1460	5,7302	2,2393
2,0	0,1137	0,0230	4,4765	4,8112	1,2832
2,5	0,1053	0,0230	4,1483	4,3124	0,6290
3,0	0,0997	0,0230	3,9251	4,0367	0,4277
3,5	0,0973	0,0230	3,8332	3,8792	0,1761
4,0	0,0953	0,0230	3,7545	3,7939	0,1510
4,5	0,0943	0,0230	3,7151	3,7348	0,0755
5,0	0,0937	0,0230	3,6888	3,7020	0,0503
5,5	0,0930	0,0230	3,6626	3,6757	0,0503
6,0	0,0920	0,0230	3,6232	3,6429	0,0755
6,5	0,0910	0,0230	3,5838	3,6035	0,0755
7,0	0,0900	0,0230	3,5444	3,5641	0,0755
7,5	0,0900	0,0230	3,5444	3,5444	0,0000

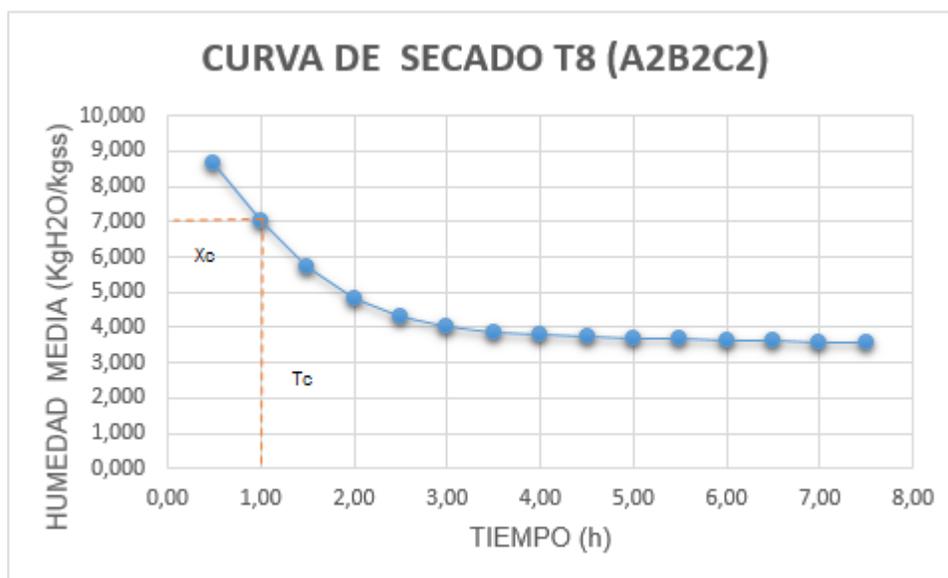


Gráfico 25. Curva de secado T8 (A2B2C2).

La pendiente de secado demuestra un tiempo menor de secado debido al incremento de temperatura en este tratamiento, en el proceso de secado del snack de arazá donde la matriz celular no es completamente rígida, por tanto, no existe vías de difusión del vapor de agua desde el interior del snack hacia la superficie, la disminución del peso por evaporación del agua es lenta, como se puede observar en la baja pendiente del gráfico 25.

Se puede determinar que la humedad disminuye conforme el tiempo de secado aumenta, obteniendo un 3,544 kg_{H2O}/kg_{ss} de humedad para el T8 (A2B2C2), una vez que se ha llegado al peso constante, a las 7,5 horas de secado.

4.7.2.1 Curva de velocidad de secado para T8

Para obtener los cálculos de la cinética del proceso de secado, el contenido de humedad se expresa en base seca es decir en función de los sólidos de la muestra (kg H₂O/kg_{ss}) y la velocidad de secado en kg_{H2O}/hm²), con la finalidad de facilitar los cálculos respectivos.

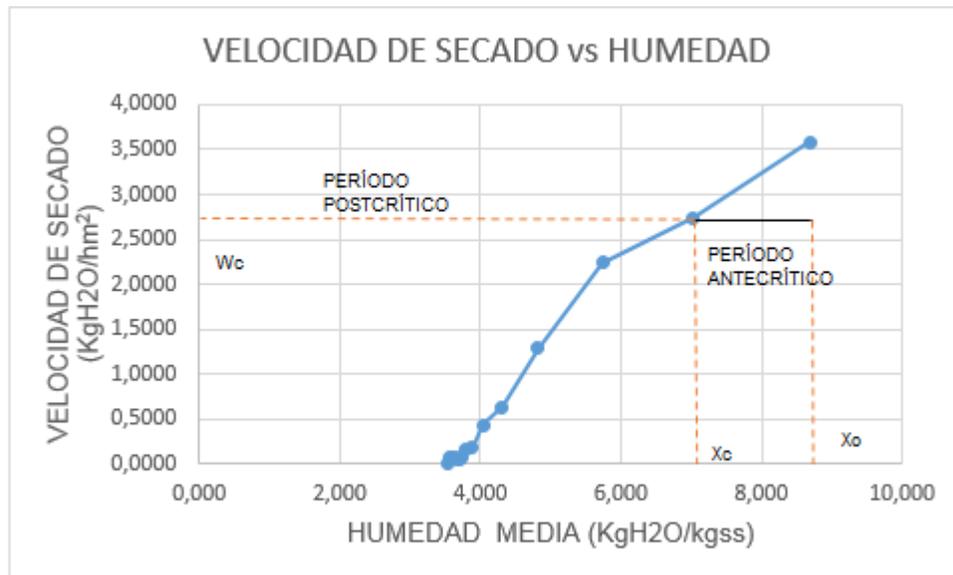


Gráfico 26. Curva de velocidad de secado para T8 (A2B2C2)

En el gráfico 26 se puede apreciar la relación entre la velocidad de secado y humedad con un tiempo antecrítico de una hora, con una humedad inicial de ($X_o= 9,6157 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{SS}}$) y concluye en la humedad crítica ($X_c= 7,0298 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{SS}}$), con una velocidad de secado ($W_c=2,7500 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{hm}^2$). Mientras que el tiempo postcrítico con una duración de 5,46 horas, empieza a partir de la humedad crítica ($X_c= 7,0298 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{SS}}$) y termina en la humedad final ($X_f= 3,5444 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{SS}}$), con una velocidad de secado ($W_f= 0,0755 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{hm}^2$) y una humedad de equilibrio ($X^*= 3,4870 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{SS}}$) obteniendo así un snack de arazá.

Según el gráfico 26, los periodos de la velocidad de secado no estan diferenciados ya que el periodo antecritico es minimo por que se realizo un pretatamiento antes del secado. Mientras, en el periodo de velocidad postcritico se observa los puntos de inflexión en la curva de secado, debido a que el movimiento de la humedad desde el interior a la superficie del solido, es gobernado principalmente por mecanismos de capilaridad y difusión molecular del agua.

Cálculo de tiempo postcrítico:

$X_o=$	9,6157
$S=$	0,0320
$A_s=$	0,0560
$X_c=$	7,0298
$W_c=$	2,7500
$X_f=$	3,5444
$W_f=$	0,0755

Tiempo Pos crítico

$\frac{S}{A_s}$	$\frac{X_c-X_f}{W_c-W_f}$	$\frac{\ln \frac{W_c}{W_f}}{W_f}$
0,5714	1,3033	3,5952
$T_p= 5,46$		

4.7.3 CURVA DE SECADO PARA T9 (70 ° C+3m/s+1000 g/m²).

Para el tratamiento 9 el tiempo de secado para obtener el snack de arazá fue de 6,5 horas.

Tabla 55. Valor de la humedad y velocidad de secado para T9 (A3B1C1).

Tiempo Horas	PESO kg	PESO EN BASE SECA kgss	HUMEDAD Kg _{H2O} /kgss	HUMEDAD MEDIA Kg _{H2O} /kgss	W Kg _{H2O} /hm ²
0,0	0,3040	0,0286	9,6157		
0,5	0,2163	0,0286	6,8516	8,2336	5,1670
1,0	0,1560	0,0286	4,9407	5,8961	3,5719
1,5	0,1220	0,0286	3,8639	4,4023	2,0129
2,0	0,1030	0,0286	3,2621	3,5630	1,1248
2,5	0,0917	0,0286	2,9032	3,0827	0,6710
3,0	0,0840	0,0286	2,6604	2,7818	0,4539
3,5	0,0793	0,0286	2,5126	2,5865	0,2763
4,0	0,0770	0,0286	2,4387	2,4756	0,1381
4,5	0,0757	0,0286	2,3965	2,4176	0,0789
5,0	0,0740	0,0286	2,3437	2,3701	0,0987
5,5	0,0730	0,0286	2,3120	2,3278	0,0592
6,0	0,0717	0,0286	2,2698	2,2909	0,0789
6,5	0,0717	0,0286	2,2698	2,2698	0,0000

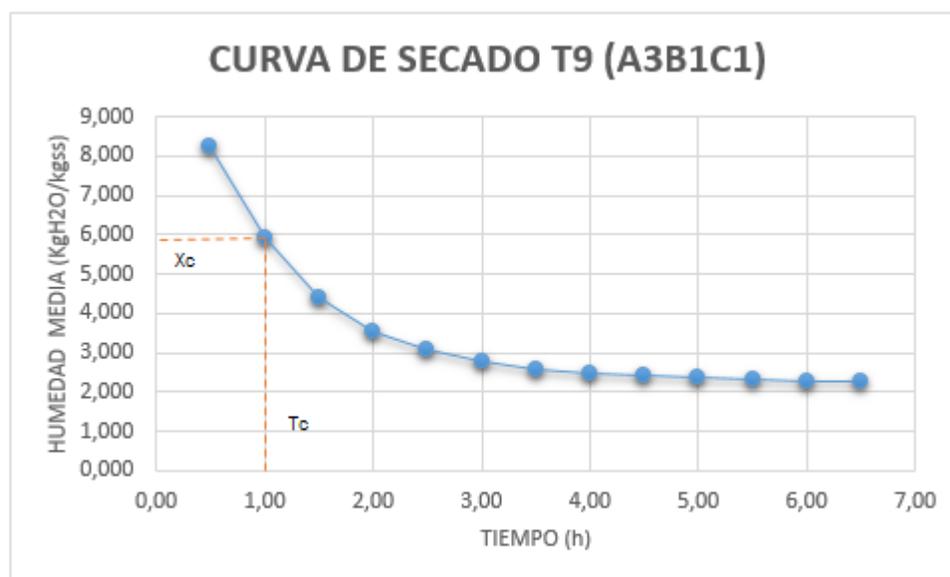


Gráfico 27. Curva de secado T9 (A3B1C1).

La pendiente de secado demuestra un tiempo menor de secado debido al incremento de temperatura en este tratamiento, en el proceso de secado del snack de arazá donde la matriz celular no es completamente rígida, por tanto, no existe vías de difusión del vapor de agua desde el interior del snack hacia la superficie, la disminución del peso por evaporación del agua es lenta, como se puede observar en la baja pendiente del gráfico 27.

Se puede determinar que la humedad disminuye conforme el tiempo de secado aumenta, obteniendo un 2,2698 $\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{SS}}$ de humedad para el T9 (A3B1C1), una vez que se ha llegado al peso constante, a las 6,5 horas de secado.

4.7.3.1 Curva de velocidad de secado para T9

Para obtener los cálculos de la cinética del proceso de secado, el contenido de humedad se expresa en base seca es decir en función de los sólidos de la muestra ($\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{SS}}$) y la velocidad de secado en $\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{hm}^2$, con la finalidad de facilitar los cálculos respectivos.

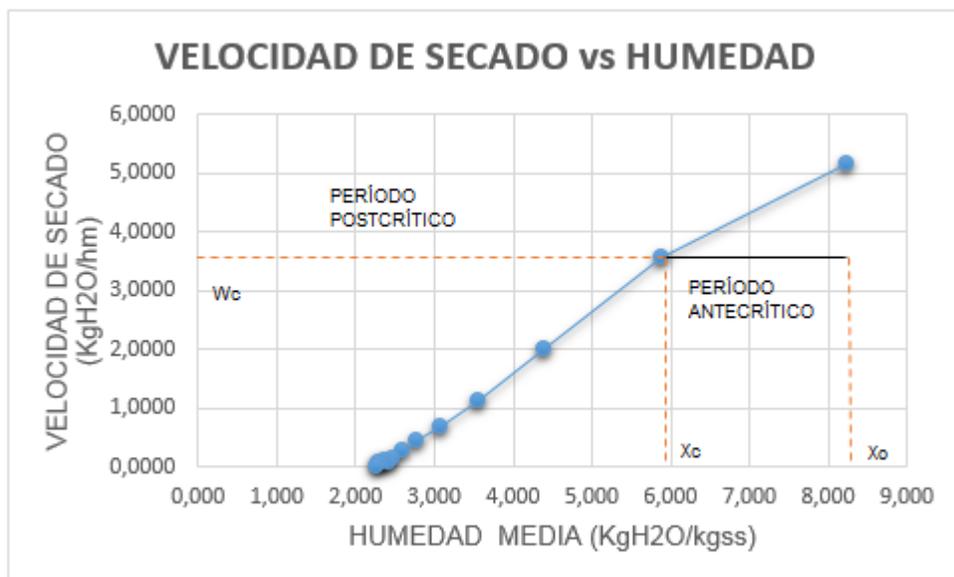


Gráfico 28. Curva de velocidad de secado para T9 (A3B1C1)

En el gráfico 28 se puede apreciar la relación entre la velocidad de secado y humedad con un tiempo antecrítico de una hora, con una humedad inicial de ($X_0 = 9,6157 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{SS}}$) y concluye en la humedad crítica ($X_c = 5,8961 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{SS}}$), con una velocidad de secado ($W_c = 3,5719 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{hm}^2$). Mientras que el tiempo postcrítico con una duración de 5,42 horas, empieza a partir de la humedad crítica ($X_c = 5,8961 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{SS}}$) y termina en la humedad final ($X_f = 2,2698 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{SS}}$), con una velocidad de secado ($W_f = 0,0789 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{hm}^2$) y una humedad de equilibrio ($X^* = 2,2620 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{SS}}$) obteniendo así un snack de arazá.

Según el gráfico 28, los periodos de la velocidad de secado no están diferenciados ya que el periodo antecrítico es mínimo por que se realizó un pretatamiento antes del secado. Mientras, en el periodo de velocidad postcrítico se observa los puntos de inflexión en la curva de secado, debido a que el movimiento de la humedad desde el interior a la superficie del sólido, es gobernado principalmente por mecanismos de capilaridad y difusión molecular del agua.

Cálculo de tiempo postcrítico:

$X_0 =$	9,6157
$S =$	0,0320
$A_s =$	0,0560
$X_c =$	5,8961
$W_c =$	3,5719
$X_f =$	2,2698
$W_f =$	0,0789

Tiempo Pos crítico

$\frac{S}{A_s}$	$\frac{X_c - X_f}{W_c - W_f}$	$\ln \frac{W_c}{W_f}$
0,5714	1,0381	3,8126
$T_p = 5,42$		

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Una vez realizado el análisis físico químico del arazá, se observaron contenidos medios de humedad del 90,58%, sólidos solubles del 6,20°Brix, y ácido ascórbico de 6,90 mg/100g de producto.
- El índice de madurez del arazá más apropiado para de deshidratación osmótica y secado convectivo, según las variables determinadas de sólidos solubles (°Brix) y dureza instrumental (Newtons), establecieron como mejor índice es del 50% madurez comercial “pintona – 50% amarilla”, que facilito la manipulación en el proceso.
- En la deshidratación osmótica el arazá tuvo una disminución de humedad del 22,55% al cabo de 12 horas con relación a frutas similares que pueden reducir hasta el 50 % del contenido de humedad, esto debe a la baja porosidad y baja permeabilidad de la pared celular de la fruta de arazá.
- El período antecrítico es corto en los tratamientos de una hora en promedio, debido a que el agua en estado libre fue eliminada en el proceso osmótico. Mientras, el periodo postcrítico fue largo en los tratamientos de 6,83 horas promedio, es decir la mayor cantidad de agua es eliminada en el periodo de velocidad decreciente.
- La densidad de carga del producto en el secador de bandejas fue el factor de mayor influencia en la pérdida de humedad, con relación la velocidad del aire y la temperatura, porque a menor densidad de carga mayor es la superficie de contacto entre el aire caliente y el producto, durante el proceso de secado convectivo.

- El mejor tratamiento debido a su menor contenido de humedad (1,17%) y actividad de agua (0,55), fue el T9 (temperatura de secado 70°C, velocidad de secado 3 m/s, densidad de carga 1000 g/m²), el cual cumple con la norma INEN 2996-2015 para frutas deshidratadas.
- La prueba de Friedman estableció que el tratamiento de mayor aceptabilidad por el panel de jueces fue el T9, por presentar después del proceso, un color similar al de la fruta fresca y un mejor sabor debido a la cristalización del azúcar por la pérdida de humedad.
- Se acepta la hipótesis alternativa establecida al inicio de la investigación, es decir que la densidad de carga, temperatura y velocidad de aire influyen significativamente en la calidad del producto final.

5.2 RECOMENDACIONES

- Evaluar la actividad de agua en el proceso osmótico y la estabilidad de la solución en la pérdida de humedad.
- Utilizar otros métodos de conservación para comparar el comportamiento de la fruta en los distintos procesos.
- Evaluar la degradación del ácido ascórbico, cristalización de azúcares en el proceso de deshidratación osmótica y en el secado.
- Tomar este trabajo de grado como referencia para futuras investigaciones en base a esta fruta aplicando otros factores de estudio.

6. ANEXOS

Anexo 1. Hoja de encuesta para la evaluación sensorial de snack de arazá.



UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE

HOJA PARA EVALUCION SENSORIAL

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

Prueba sensorial del arazá deshidratado osmóticamente y secado para la obtención de snack.

CARACTERISTICAS	ALTERNATIVAS	V.	MUESTRAS												
			T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	
COLOR	Muy claro	10													
	Ligeramente claro	8													
	Muestra igual al estándar	6													
	Ligeramente más oscuro	4													
	Muy oscuro	2													
OLOR	muy agradable	10													
	Agradable	8													
	Poco agradable	6													
	Desagradable	4													
	Muy desagradable	2													
SABOR	Muy agradable	10													
	Agradable	8													
	Poco agradable	6													
	Desagradable	4													
	Muy desagradable	2													
TEXTURA	Buena	10													
	Muy dura	8													
	Dura	6													
	Suave	4													
	Muy suave	2													

FECHA:

Nº DECATADOR:

OBSERVACIONES

.....

.....

.....

Anexo 2. Cálculos referenciales para snack de arazá.

Cálculo de humedad en base seca para snack de arazá.

Se tomó la muestra de 354 g o 0,354 Kg de pulpa fresca con una humedad de 90.58%

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

$$G_{H_2O} = \text{Peso del agua}$$

$$G_{H_2O} = 0,340 \text{ Kg} * 0,9058$$

$$G_i = \text{Peso de la pulpa inicial}$$

$$G_{H_2O} = 0,3079 \text{ Kg}_{H_2O}$$

$$\%X = \text{Porcentaje de humedad}$$

$$S = \text{Peso del sólido seco}$$

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

$$X_{bs} = \text{Humedad en base seca}$$

$$S = 0,340 \text{ Kg} - 0,3079 \text{ Kg}$$

$$S = 0,032 \text{ Kg SS}$$

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

$$X_{bs} = (0,340 \text{ Kg} - 0,032 \text{ Kg}) / 0,032 \text{ Kg}$$

$$X_{bs} = 9,6157 \text{ Kg}_{H_2O} / \text{Kg}_{ss}$$

Cálculo del área del producto a deshidratarse

Para el cálculo del área se toma en cuenta un espesor promedio de 4 mm, considerando la cara superior donde habrá interacción con el aire del proceso. La densidad aparente se la obtuvo analíticamente.

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

$$A_s = \text{área del sólido}$$

$$A_s = 0,340 \text{ Kg} / (1000 \text{ Kg/m}^3 * 0,006 \text{ m})$$

$$G_i = \text{Peso del sólido húmedo}$$

$$A_s = 0,056 \text{ m}^2$$

$$D_a = \text{Densidad aparente}$$

$$e_s = \text{espesor del sólido}$$

Cálculo de la velocidad de secado

Para realizar los cálculos de velocidad se tomó un intervalo de tiempo de 30 minutos para la toma de medidas en los tratamientos.

$$W = (S / A_s) * (X_o - X_1 / T_1 - T_o) \quad W = \text{Velocidad de secado}$$

$$W = (0,032 / 0,056) * (9,6157 - 7,6798 / 0,5 - 0) \quad S = \text{Peso sólido seco}$$

$$W = 3,093 \text{kgH}_2\text{O/hm} \quad A_s = \text{área sólido seco}$$

X = humedad en base seca

T = tiempo

Cálculo de tiempo postcrítico:

$X_o=$	9,6157
$S=$	0,0320
$A_s=$	0,0560
$X_c=$	5,8961
$W_c=$	3,5719
$X_f=$	2,2698
$W_f=$	0,0789

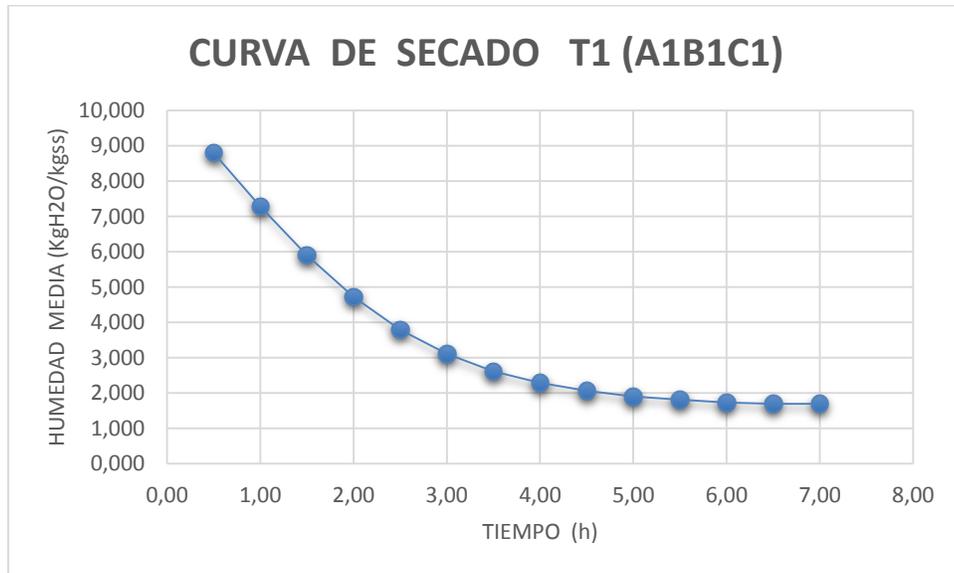
Tiempo Pos crítico

$\frac{S}{A_s}$	$\frac{X_c - X_f}{W_c - W_f}$	$\frac{\ln W_c}{W_f}$
0,5714	1,0381	3,8126
	$T_p = 5,42$	

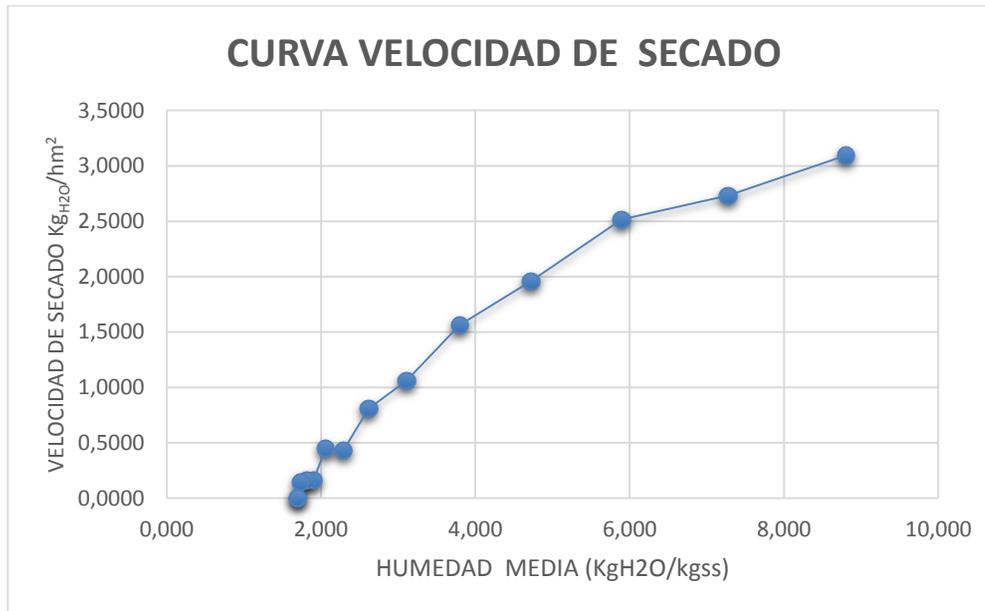
Anexo 3. Valor de la humedad y velocidad se secado para T1 (A1B1C1).

Tiempo Horas	PESO kg	PESO EN BASE SECA Kg _{ss}	HUMEDAD Kg _{H2O} /kg _{ss}	HUMEDAD MEDIA Kg _{H2O} /kg _{ss}	W Kg _{H2O} /hm ²
0,0	0,340	0,032	9,6157		
0,5	0,282	0,032	7,9918	8,8037	3,093
1,0	0,232	0,032	6,5576	7,2747	2,732
1,5	0,185	0,032	5,2367	5,8971	2,516
2,0	0,149	0,032	4,2082	4,7224	1,959
2,5	0,120	0,032	3,3873	3,7977	1,564
3,0	0,100	0,032	2,8306	3,1089	1,060
3,5	0,085	0,032	2,4060	2,6183	0,809
4,0	0,077	0,032	2,1796	2,2928	0,431
4,5	0,069	0,032	1,9437	2,0616	0,449
5,0	0,066	0,032	1,8588	1,9012	0,162
5,5	0,063	0,032	1,7739	1,8163	0,162
6,0	0,060	0,032	1,6984	1,7361	0,144
6,5	0,060	0,032	1,6984	1,6983	0,000
7,0	0,060	0,032	1,6984	1,6983	0,000

Anexo 4. Curva de secado T1 (A1B1C1).



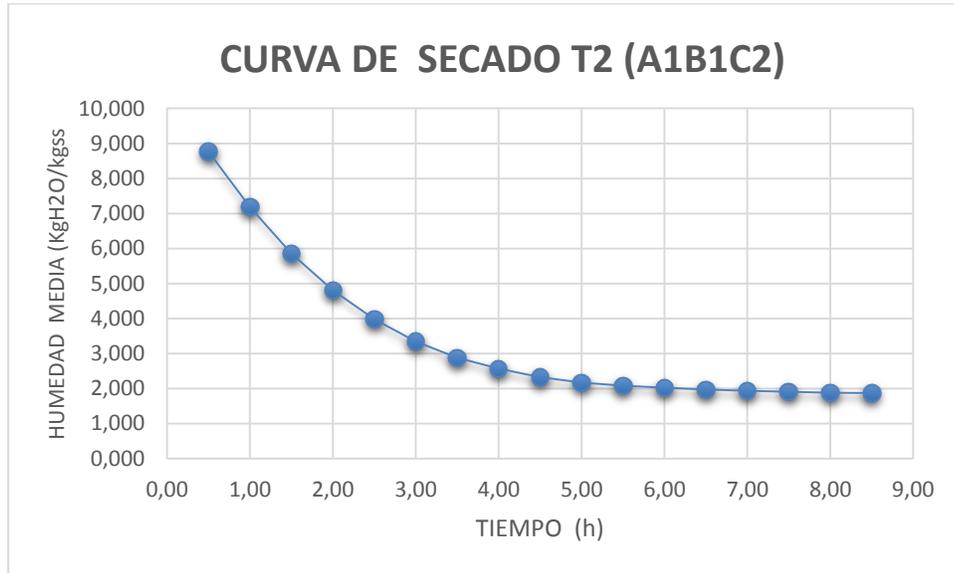
Anexo 5. Velocidad secada vs Humedad de sólido para T1.



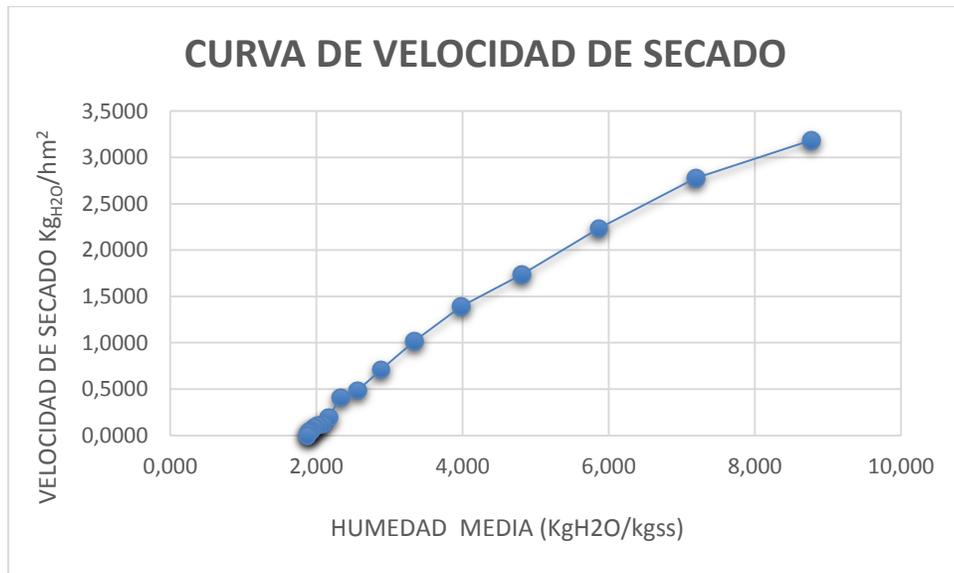
Anexo 6. Humedad y velocidad de secado para T2 (A1B1C2)

Tiempo Horas	PESO kg	PESO EN BASE SECA Kgss	HUMEDAD MEDIA kgH2O/kgss	HUMEDAD MEDIA kgH2O/kgss	w kgH2O/hm²
0,0	0,547	0,052	9,616		
0,5	0,451	0,052	7,926	8,771	3,187
1,0	0,367	0,052	6,455	7,191	2,776
1,5	0,300	0,052	5,271	5,863	2,234
2,0	0,247	0,052	4,350	4,810	1,736
2,5	0,205	0,052	3,611	3,981	1,394
3,0	0,175	0,052	3,072	3,342	1,018
3,5	0,153	0,052	2,697	2,884	0,708
4,0	0,139	0,052	2,439	2,568	0,487
4,5	0,126	0,052	2,222	2,330	0,409
5,0	0,120	0,052	2,116	2,169	0,199
5,5	0,117	0,052	2,052	2,084	0,122
6,0	0,113	0,052	1,993	2,023	0,111
6,5	0,111	0,052	1,946	1,970	0,088
7,0	0,109	0,052	1,917	1,932	0,055
7,5	0,108	0,052	1,894	1,905	0,044
8,0	0,107	0,052	1,876	1,885	0,033
8,5	0,107	0,052	1,876	1,876	0,000

Anexo 7. Curva de secado T2 (A1B1C2).



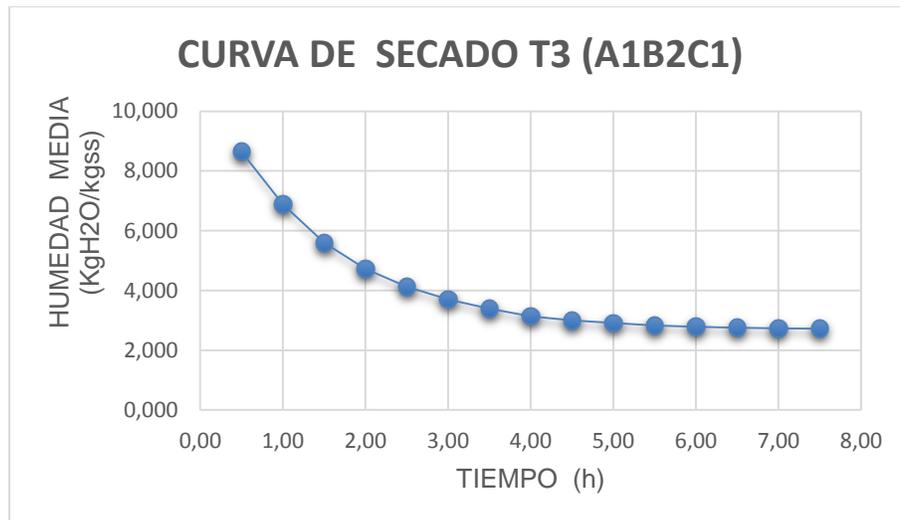
Anexo 8. Velocidad de secado vs humedad para T2 (A1B1C2).



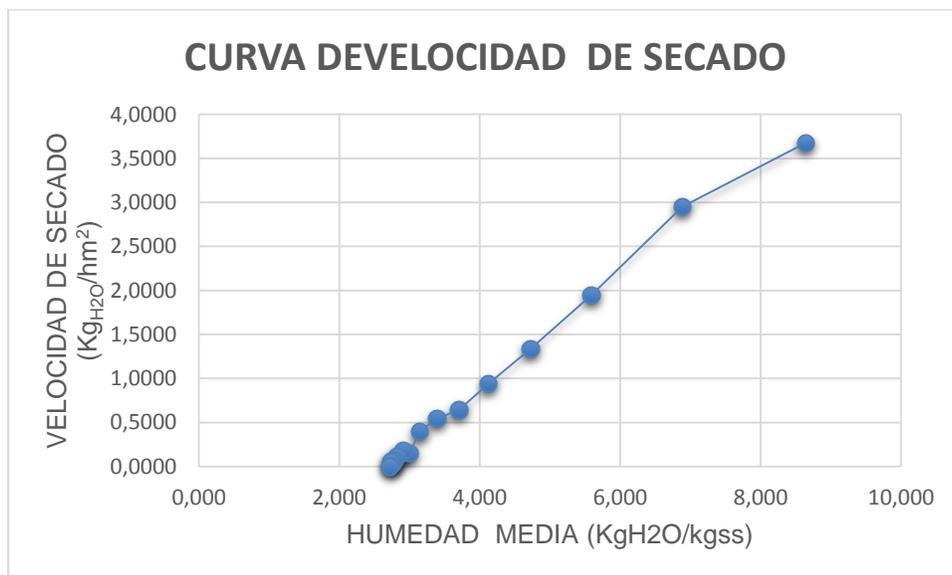
Anexo 9. Valor de la humedad y velocidad de secado para T3 (A1B2C1).

Tiempo Horas	PESO kg	PESO EN BASE SECA kgss	HUMEDAD kgH2O/kgss	HUMEDAD MEDIA kgH2O/kgss	w kgH2O/hm ²
0,0	0,367	0,035	9,616		
0,5	0,293	0,035	7,671	8,643	3,6778
1,0	0,233	0,035	6,108	6,889	2,9533
1,5	0,194	0,035	5,079	5,594	1,9469
2,0	0,167	0,035	4,372	4,725	1,3364
2,5	0,148	0,035	3,875	4,123	0,9404
3,0	0,135	0,035	3,534	3,704	0,6435
3,5	0,124	0,035	3,246	3,390	0,5445
4,0	0,116	0,035	3,037	3,142	0,3960
4,5	0,113	0,035	2,958	2,998	0,1485
5,0	0,109	0,035	2,862	2,910	0,1815
5,5	0,107	0,035	2,801	2,832	0,1155
6,0	0,106	0,035	2,766	2,784	0,0660
6,5	0,105	0,035	2,749	2,758	0,0330
7,0	0,104	0,035	2,723	2,736	0,0495
7,5	0,104	0,035	2,723	2,723	0,0000

Anexo 10. Curva de secado T3 (A1B2C1).



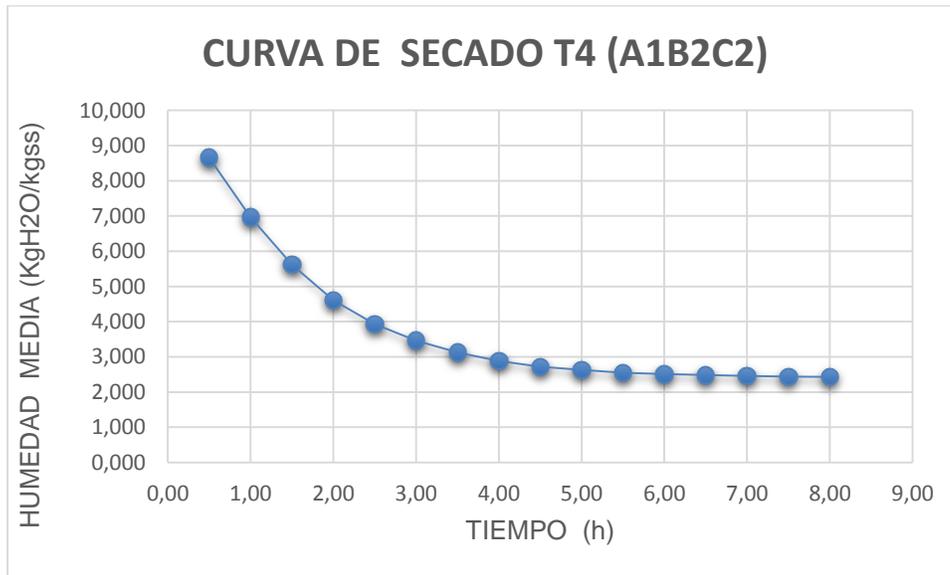
Anexo 11. Velocidad de secado vs humedad para T3 (A1B2C1).



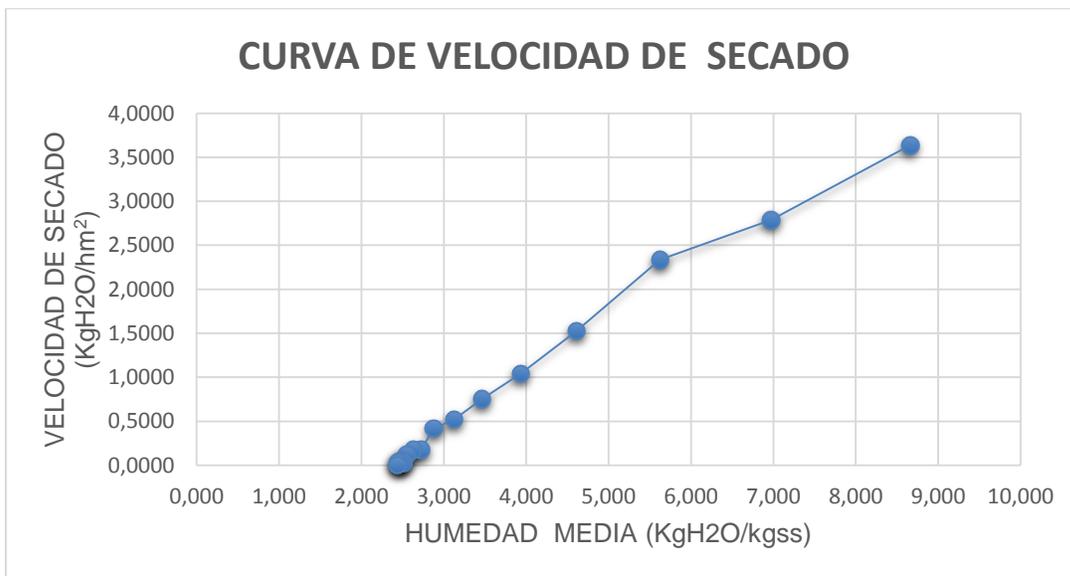
Anexo 12. Valor de la humedad y velocidad de secado para T4 (A1B2C2).

Tiempo Horas	PESO kg	PESO EN BASE SECA kgss	HUMEDAD MEDIA kgH2O/kgss	HUMEDAD MEDIA kgH2O/kgss	w kgH2O/hm ²
0,0	0,551	0,052	9,616		
0,5	0,441	0,052	7,702	8,659	3,637
1,0	0,357	0,052	6,236	6,969	2,787
1,5	0,287	0,052	5,009	5,623	2,334
2,0	0,241	0,052	4,206	4,608	1,526
2,5	0,210	0,052	3,659	3,933	1,040
3,0	0,187	0,052	3,264	3,461	0,752
3,5	0,171	0,052	2,990	3,127	0,520
4,0	0,159	0,052	2,769	2,880	0,420
4,5	0,153	0,052	2,676	2,723	0,177
5,0	0,148	0,052	2,583	2,630	0,177
5,5	0,144	0,052	2,519	2,551	0,122
6,0	0,143	0,052	2,502	2,510	0,033
6,5	0,142	0,052	2,472	2,487	0,055
7,0	0,140	0,052	2,449	2,461	0,044
7,5	0,139	0,052	2,432	2,440	0,033
8,0	0,139	0,052	2,432	2,432	0,000

Anexo 13. Curva de secado T4 (A1B2C2).



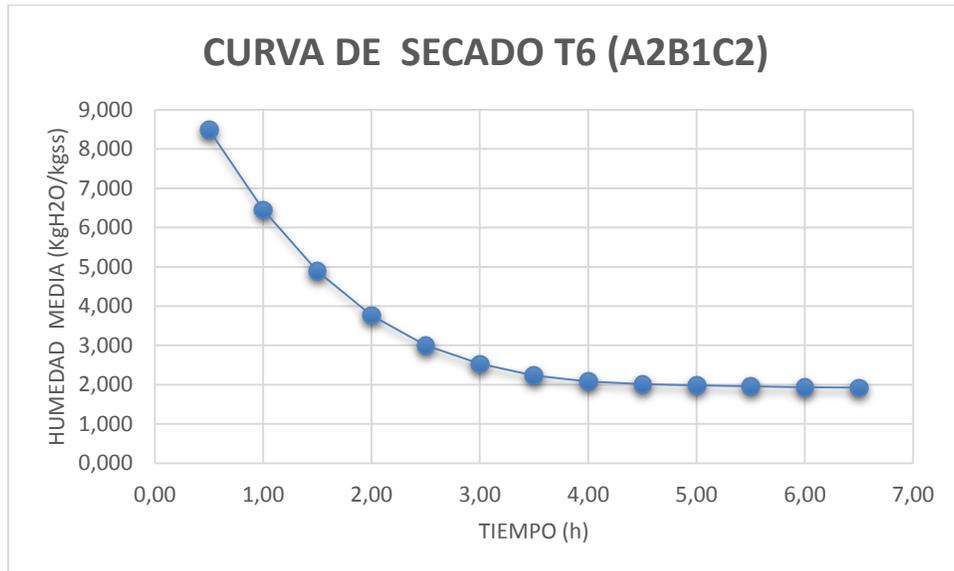
Anexo 14. Velocidad de secado vs humedad para T4 (A1B2C2).



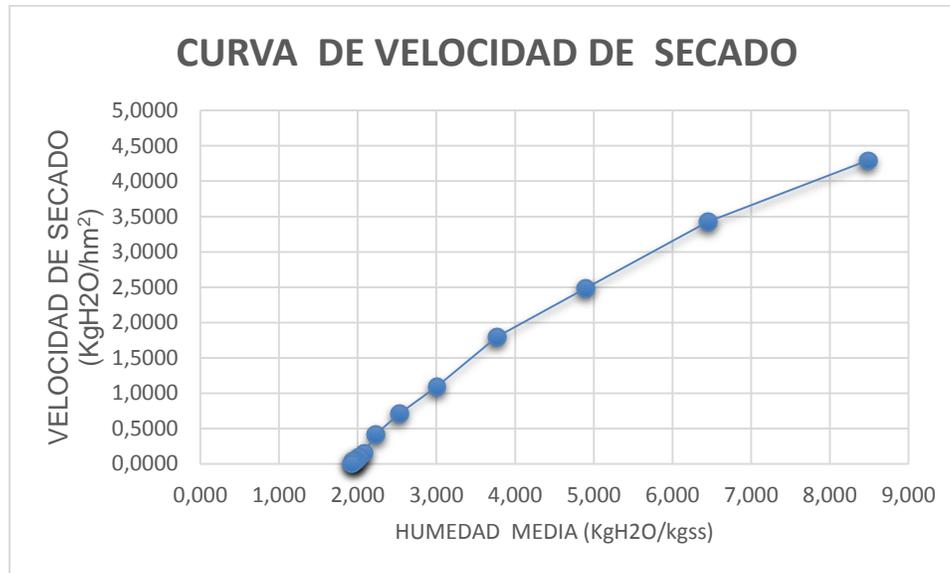
Anexo 15. Valor de la humedad y velocidad de secado para T6 (A2B1C2).

Tiempo Horas	PESO kg	PESO EN BASE SECA		HUMEDAD	
		kgss	HUMEDAD kgH2O/kgss	MEDIA kgH2O/kgss	w kgH2O/hm ²
0,0	0,478	0,045	9,616		
0,5	0,365	0,045	7,354	8,485	4,2949
1,0	0,276	0,045	5,549	6,451	3,4270
1,5	0,211	0,045	4,240	4,895	2,4843
2,0	0,164	0,045	3,294	3,767	1,7963
2,5	0,135	0,045	2,717	3,006	1,0956
3,0	0,116	0,045	2,342	2,530	0,7134
3,5	0,105	0,045	2,120	2,231	0,4204
4,0	0,101	0,045	2,040	2,080	0,1529
4,5	0,099	0,045	1,993	2,016	0,0892
5,0	0,098	0,045	1,966	1,979	0,0510
5,5	0,097	0,045	1,946	1,956	0,0382
6,0	0,096	0,045	1,926	1,936	0,0382
6,5	0,096	0,045	1,926	1,926	0,0000

Anexo 16. Curva de secado T6 (A2B1C2).



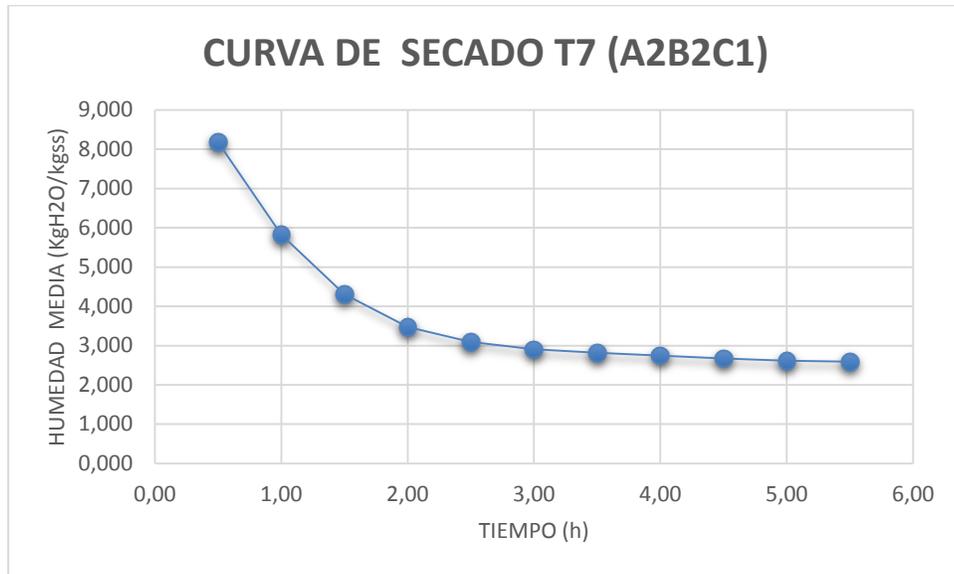
Anexo 17. Curva velocidad de secado para T6 (A2B1C2).



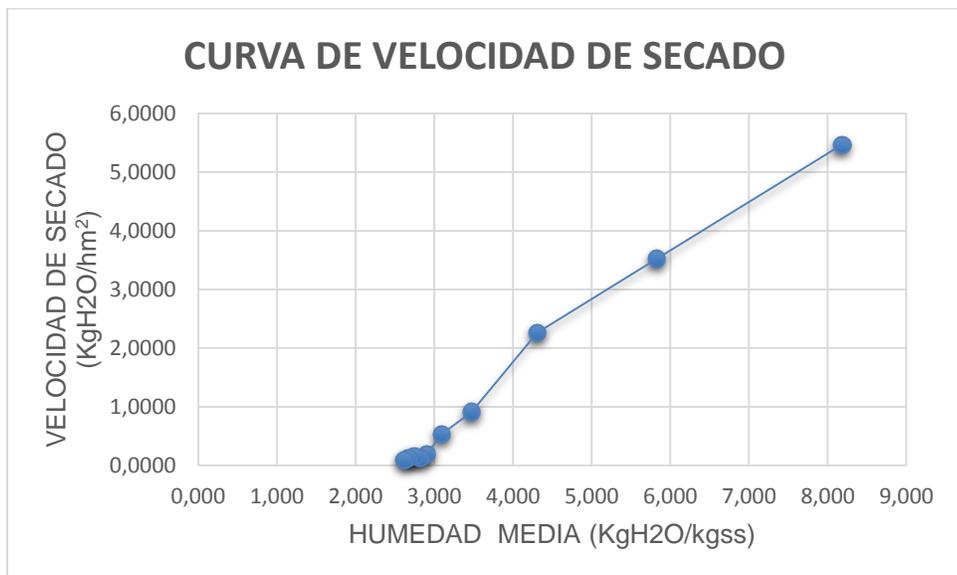
Anexo 18. Valor de la humedad y velocidad de secado para T7 (A2B2C1).

Tiempo Horas	PESO kg	PESO EN BASE SECA kgss	HUMEDAD MEDIA kgH2O/kgss	HUMEDAD MEDIA kgH2O/kgss	w kgH2O/hm ²
0,0	0,194	0,018	9,616		
0,5	0,136	0,018	6,748	8,182	5,4663
1,0	0,099	0,018	4,900	5,824	3,5226
1,5	0,075	0,018	3,712	4,306	2,2645
2,0	0,065	0,018	3,234	3,473	0,9121
2,5	0,060	0,018	2,953	3,094	0,5347
3,0	0,058	0,018	2,854	2,904	0,1887
3,5	0,056	0,018	2,788	2,821	0,1258
4,0	0,055	0,018	2,706	2,747	0,1573
4,5	0,053	0,018	2,640	2,673	0,1258
5,0	0,052	0,018	2,590	2,615	0,0944
5,5	0,052	0,018	2,590	2,590	0,0000

Anexo 19. Curva de secado T7 (A2B2C1).



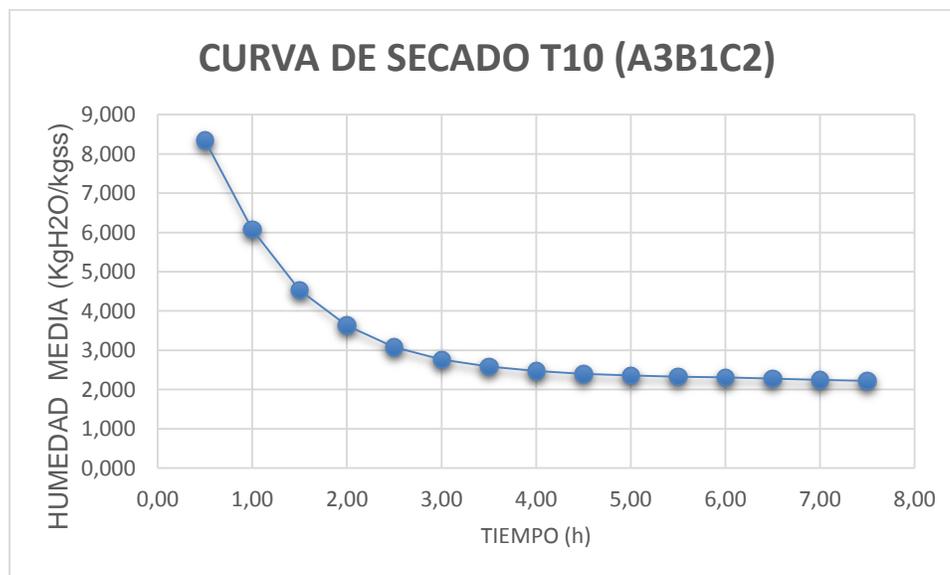
Anexo 20. Curva velocidad de secado para T7 (A2B2C1)



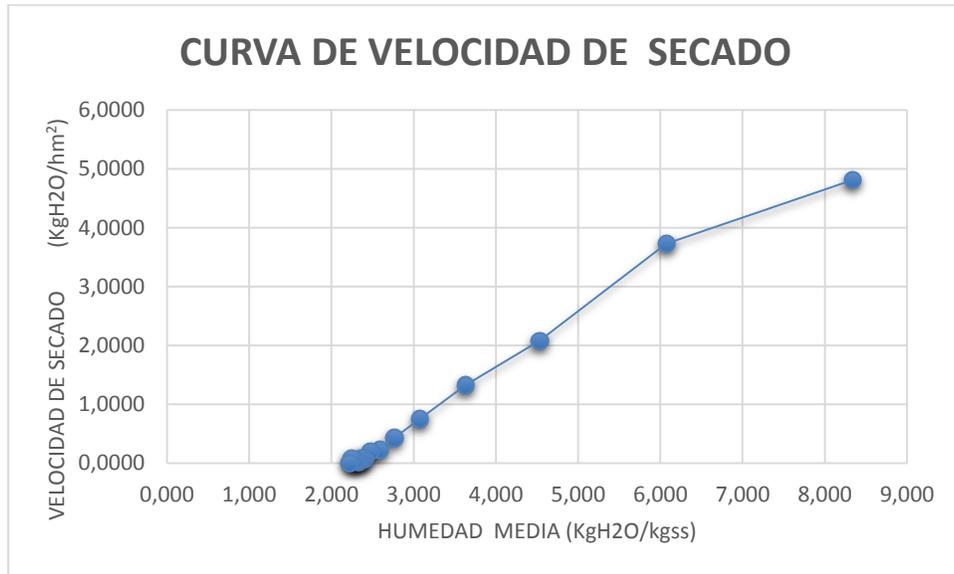
Anexo 21. Valor de la humedad y velocidad de secado para T10 (A3B1C2).

Tiempo Horas	PESO kg	PESO EN BASE SECA kgss	HUMEDAD kgH2O/kgss	HUMEDAD MEDIA kgH2O/kgss	W kgH2O/hm ²
0,0	0,4500	0,0424	9,6157		
0,5	0,3307	0,0424	7,0641	8,3399	4,8084
1,0	0,2380	0,0424	5,0844	6,0743	3,7306
1,5	0,1863	0,0424	3,9807	4,5326	2,0800
2,0	0,1533	0,0424	3,2757	3,6282	1,3285
2,5	0,1347	0,0424	2,8769	3,0763	0,7515
3,0	0,1240	0,0424	2,6490	2,7630	0,4294
3,5	0,1183	0,0424	2,5280	2,5885	0,2281
4,0	0,1133	0,0424	2,4212	2,4746	0,2013
4,5	0,1113	0,0424	2,3784	2,3998	0,0805
5,0	0,1093	0,0424	2,3357	2,3571	0,0805
5,5	0,1087	0,0424	2,3215	2,3286	0,0268
6,0	0,1073	0,0424	2,2930	2,3072	0,0537
6,5	0,1060	0,0424	2,2645	2,2787	0,0537
7,0	0,1040	0,0424	2,2218	2,2431	0,0805
7,5	0,1040	0,0424	2,2218	2,2218	0,0000

Anexo 22. Curva de secado para T10 (70 ° C+3 m/s+1500 g/m²).



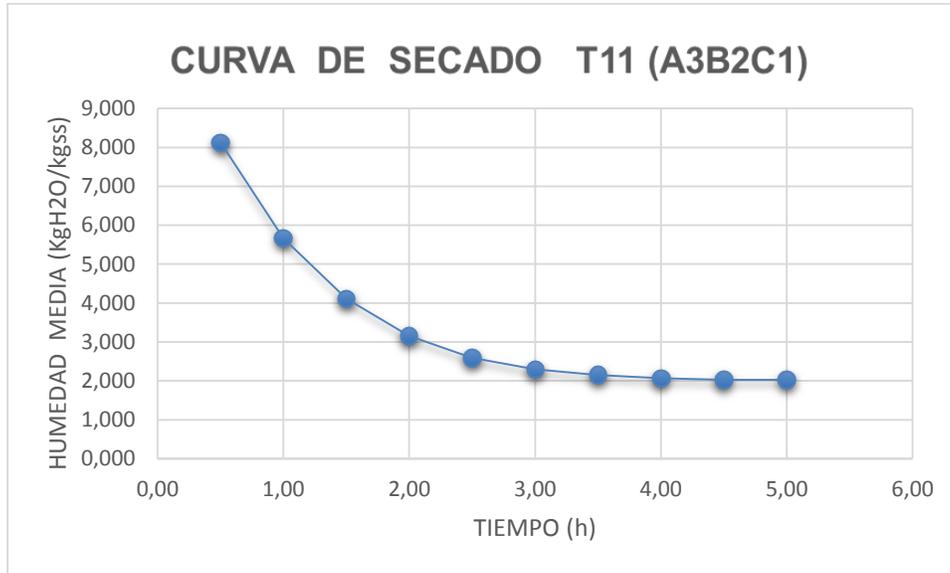
Anexo 23. Curva de velocidad de secado para T10 (A3B1C2).



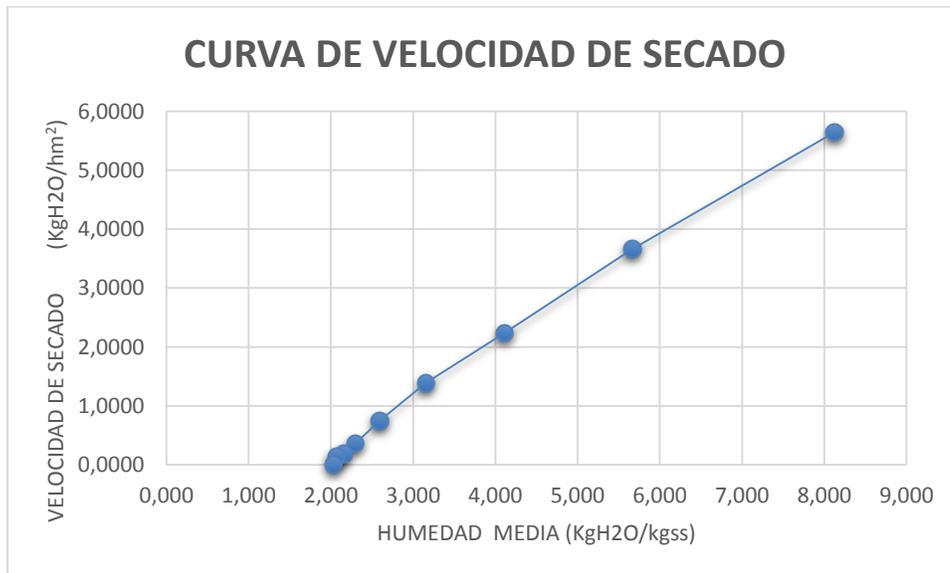
Anexo 24. Valor de la humedad y velocidad de secado para T11 (A3B2C1).

Tiempo Horas	PESO kg	PESO EN BASE SECA kgss	HUMEDAD MEDIA kgH2O/kgss	HUMEDAD MEDIA kgH2O/kgss	w kgH2O/hm ²
0,0	0,3010	0,0284	9,6157		
0,5	0,2080	0,0284	6,6340	8,1249	5,6453
1,0	0,1473	0,0284	4,6991	5,6666	3,6635
1,5	0,1103	0,0284	3,5190	4,1091	2,2343
2,0	0,0873	0,0284	2,7854	3,1522	1,3889
2,5	0,0750	0,0284	2,3921	2,5888	0,7448
3,0	0,0690	0,0284	2,2007	2,2964	0,3623
3,5	0,0660	0,0284	2,1050	2,1529	0,1812
4,0	0,0637	0,0284	2,0306	2,0678	0,1409
4,5	0,0637	0,0284	2,0306	2,0306	0,0000

Anexo 25. Curva de secado para T11 (70 ° C+5 m/s+1000 g/m²).



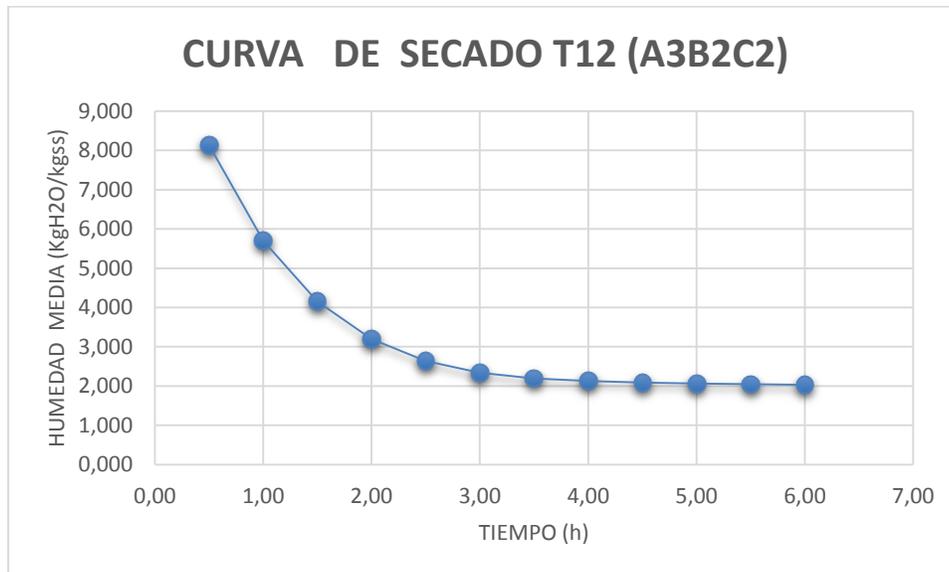
Anexo 26. Curva de velocidad de secado para T11 (A3B2C1).



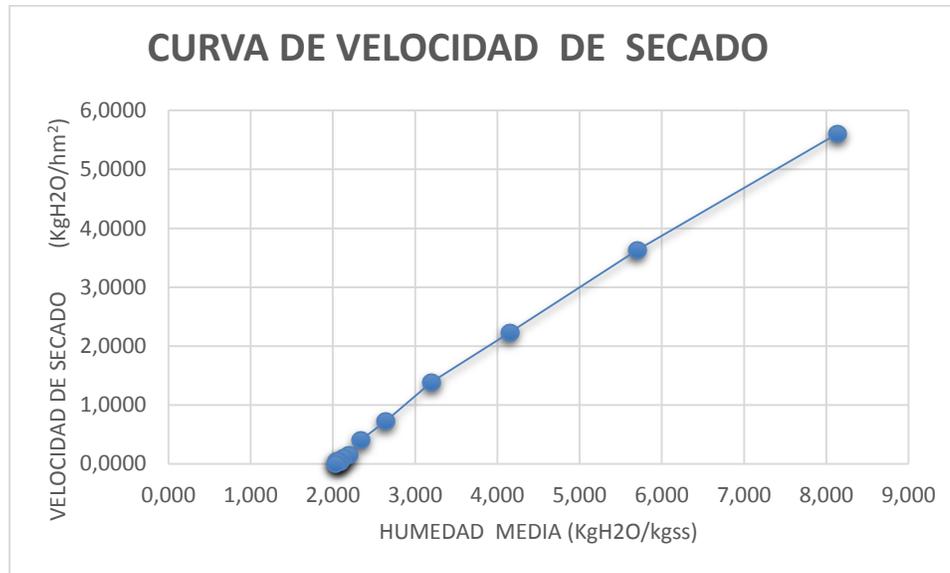
Anexo 27. Valor de la humedad y velocidad de secado para T12 (A3B2C2).

Tiempo Horas	PESO kg	PESO EN BASE SECA kgss	HUMEDAD kgH2O/kgss	HUMEDAD MEDIA kgH2O/kgss	w kgH2O/hm ²
0,0	0,4770	0,0449	9,6157		
0,5	0,3300	0,0449	6,6573	8,1365	5,6047
1,0	0,2350	0,0449	4,7408	5,6991	3,6308
1,5	0,1767	0,0449	3,5640	4,1524	2,2295
2,0	0,1403	0,0449	2,8310	3,1975	1,3886
2,5	0,1213	0,0449	2,4477	2,6394	0,7262
3,0	0,1107	0,0449	2,2326	2,3402	0,4077
3,5	0,1067	0,0449	2,1519	2,1922	0,1529
4,0	0,1040	0,0449	2,0981	2,1250	0,1019
4,5	0,1030	0,0449	2,0779	2,0880	0,0382
5,0	0,1020	0,0449	2,0577	2,0678	0,0382
5,5	0,1007	0,0449	2,0308	2,0443	0,0510
6,0	0,1007	0,0449	2,0308	2,0308	0,0000

Anexo 28. Curva de secado para T12 (70 ° C+5 m/s+1500 g/m²).



Anexo 29. Curva de velocidad de secado para T12 (A3B2C2).



Anexo 30. Características técnicas y estructura del secador de bandejas.

Características técnicas y estructura del deshidratador	
Ancho	118 cm
Fondo	71 cm
Altura	210 cm
Tipo de energía	Eléctrica
Medio de proceso	Aire caliente controlado
Sistema de control	Panel control de la temperatura y el tiempo con sistema de seguridad
Temperatura máxima	80°C
Intercambio de aire	30% con regulación
Consumo eléctrico	3000 W
Voltaje	220 VAC con conexión a tierra

Anexo 31. Análisis de laboratorio



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°:	119-2015
Análisis solicitado por:	Sr. Luis Castro
Empresa:	No aplica
Muestreado:	No aplica
Fecha de recepción:	25 de noviembre de 2015
Fecha de entrega informe:	04 de diciembre de 2015
Ciudad:	Ibarra
Provincia:	Imbabura
Muestra:	Hojuelas de arazá
No. de Lote	No aplica

Parámetro Analizado	Unidad	Resultado						Metodo de ensayo
		T1R1	T1R2	T1R3	T2R1	T2R2	T2R3	
Humedad	g /100 g	0,78	0,745	0,735	0,48	0,88	0,88	AOAC 925.10
*Brix	-----	79,85	79,96	77,01	77,17	77,37	73,51	Refractometría

Parámetro Analizado	Unidad	Resultado						Metodo de ensayo
		T3R1	T3R2	T3R3	T4R1	T4R2	T4R3	
Humedad	g /100 g	0,98	0,73	3,11	2,58	1,86	1,69	AOAC 925.10
*Brix	-----	81,2	80,2	84,2	83,2	81,4	82,1	Refractometría

Parámetro Analizado	Unidad	Resultado						Metodo de ensayo
		T5R1	T5R2	T5R3	T6R1	T6R2	T6R3	
Humedad	g /100 g	0,47	0,57	0,98	2,02	3,8	1,37	AOAC 925.10
*Brix	-----	79,84	83,09	82,11	83,42	82,53	85,62	Refractometría

Parámetro Analizado	Unidad	Resultado						Metodo de ensayo
		T7R1	T7R2	T7R3	T8R1	T8R2	T8R3	
Humedad	g /100 g	0,68	0,94	1,03	0,8	1,57	1,03	AOAC 925.10
*Brix	-----	84,75	83,96	82,42	83,42	85,90	83,21	Refractometría

Parámetro Analizado	Unidad	Resultado						Metodo de ensayo
		T9R1	T9R2	T9R3	T10R1	T10R2	T10R3	
Humedad	g /100 g	0,59	1,84	0,99	1,06	1,58	2,04	AOAC 925.10
*Brix	-----	84,32	82,23	86,44	83,41	85,68	79,29	Refractometría

Parámetro Analizado	Unidad	Resultado						Metodo de ensayo
		T11R1	T11R2	T11R3	T12R1	T12R2	T12R3	
Humedad	g /100 g	1,88	1,61	0,96	3,02	2,62	2,00	AOAC 925.10
*Brix	-----	80,91	83,13	82,78	83,55	78,76	82,10	Refractometría

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.



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°:	041 -2016
Análisis solicitado por:	Sr. Luis Castro
Empresa:	Particular
Muestreado:	Propietario
Fecha de recepción:	29 de febrero de 2016
Fecha de entrega informe:	02 de marzo de 2016
Ciudad:	Ibarra
Provincia:	Imbabura
Muestra:	Arazá
No. de Lote	No aplica
No. Unidades Analizadas	9

Parámetro Analizado	Unidad	Resultado			Metodo de ensayo
		M1R1	M1R2	M1R3	
Contenido de Agua	%	67,84	65,44	67,97	AOAC 925.10
Textura	N	1,50	1,25	1,70	Texturómetro

Parámetro Analizado	Unidad	Resultado			Metodo de ensayo
		M2R1	M2R2	M2R3	
Contenido de Agua	%	61,14	61,75	61,96	AOAC 925.10
Textura	N	1,48	1,68	2,33	Texturómetro

Parámetro Analizado	Unidad	Resultado			Metodo de ensayo
		M3R1	M3R2	M3R3	
Contenido de Agua	%	74,94	73,08	73,52	AOAC 925.10
Textura	N	1,13	1,73	1,33	Texturómetro

Los resultados obtenidos pertenecen exclusivamente para las muestras analizadas

Atentamente:


Bióq. 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



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°:	018 - 2016
Análisis solicitado por:	Sr. Luis Castro
Empresa:	Particular
Muestreado:	Propietario
Fecha de recepción:	28 de enero de 2016
Fecha de entrega informe:	03 de febrero de 2016
Ciudad:	Ibarra
Provincia:	Imbabura
Muestra:	Arazá
No. de Lote	No aplica
No. Unidades Analizadas	4

Parámetro Analizado	Unidad	Resultado				Metodo de ensayo
		M1	M2 *	M3	T9	
Humedad	%	89,5	93,7	94,3	7,28	AOAC 925.10
Cenizas	%	0,28	0,25	0,23	2,65	AOAC 923.03
Proteína Total	%	0,9	0,83	0,83	7,4	AOAC 920.87
Extracto etéreo	%	0,28	0,24	0,24	2,7	AOAC 920.85
Fibra Bruta	%	1,2	1,15	1,14	12,3	AOAC 978.10
Sacarosa	%	4,8	6,2	7,3	42,7	AOAC 981.12
Acido Ascórbico	mg/100 g	7,2	6,9	6,8	48,5	AOAC 967.21

Los resultados obtenidos pertenecen exclusivamente para las muestras analizadas

Atentamente:

Biód. 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: (05)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

Informe N°:	019-2016
Análisis solicitado por:	Sr. Luis Castro
Empresa:	Particular
Muestreado:	Propietario
Fecha de recepción:	28 de enero de 2016
Fecha de entrega informe:	03 de febrero de 2016
Ciudad:	Ibarra
Provincia:	Imbabura
Muestra:	Arazá
No. de Lote	No aplica

Parámetro Analizado	Unidad	Resultado			Metodo de ensayo
		T9	T8	T5	
Recuento Estándar en placa	UFC/g	68	80	70	AOAC 989.10
Recuento Coliformes totales	UFC/g	0	0	0	
Recuento de Mohos	UFC/g	860	855	860	AOAC 997.02
Recuento de Levaduras	UFC/g	410	720	640	

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 Barro El Olivo
Teléfono: (06)2597800
Fax: Ext. 7711
Email: utr@utn.edu.ec
www.utn.edu.ec
Ibarra - Ecuador

6.1 SIMBOLOGÍA

PH ₂ O=	Peso del agua	cm =	Centímetros
P _i =	peso de materia prima inicial	ml=	Milímetros
%X=	Porcentaje de humedad	%=	Porcentaje
S=	Peso del sólido seco	A=	Área
XBS =	Humedad en base seca	T=	Temperatura
X _o =	Humedad inicial	T _w =	Temperatura de bulbo húmedo
X _f =	Humedad final	KgH ₂ O =	Kilogramos de agua
X* =	Humedad de equilibrio	Kgss=	Kilogramos de materia seca
X _c =	Humedad crítica	UFC/g =	Unidad formadora de colonias por gramo
X=	Humedad libre	r =	Numero de degustadores.
W _o =	Velocidad de secado inicial	t =	Tratamientos.
W _f =	Velocidad de secado final	Σ R ² =	Sumatoria de rangos al cuadrado.
q =	Calor transferido	CV =	Coefficiente de variación
G =	Densidad de flujo másico del aire	**:	Alta significancia
h =	Coefficiente de transmisión de calor	*:	Significancia
d=	Densidad	NS=	No significancia
°K =	Grados kelvin	U=	Energía interna
°C =	Grados Celsius		
m =	Metros		
kg=	Kilogramos		
g=	Gramos		
s =	Segundos		
w=	Vatios		
kw=	Kilovatios		

7. BIBLIOGRAFÍA

- Aguado, J. (2002). Ingeniería de la industria alimentaria. En *Operaciones de conservación de alimentos*. Síntesis.
- Amores Vizuite, D. (2011). *Evaluación nutritiva y neutracética de la mora de catilla (Rubus Glaucus) deshidratada por el método de liofilización y comparación con la obtenida por deshidratación en microondas y secador de bandejas*. ESPOCH, Riobamba.
- Andrango, L. D., & Echeverry Londoño, L. (2011). *Deshidratación de fruto de arazá por diferentes métodos*. Universidad de Quidío, Facultad de ciencias agroindustriales, Colombia.
- Anzaldúa - Morales, A. (1994). *Evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y en la práctica*. España: ACRIBIA S.A.
- Arenas, M. (9 de Enero de 2012). *Bioquímica de Alimentos*. México .
- Aspurz Tabar, J. (2011). *Obtención de curvas de secado de tomillo (Thymus vulgaris)*. Minas Gerais-Brasil.
- Badui, S. D. (2013). *Química de los alimentos*. Zaragoza, España: Acriba.
- Barbosa, G., & Vega, H. (1996). *Dehydration of Foods*. Washington-EE.UU: Springer-science.
- Barrera García, J., & Carrillo Bautista, M. (2007). *Manual y manejo de cosecha y postcosecha de frutos de arazá (Eugenia Stipitata Mc. Vaught) en la amazonia colombiana*. Colombia: Editorial Nomos.

- Caicedo Flores , P. V., & Vega Martínez , A. R. (2011). *Diseño de un sistema de ventilación y aire acondicionado para el quirófano y sala de terapia intensiva de la clínica colonial*. Escuela politécnica nacional., Quito.
- Calle Benites, R. E., & Aparicio Baidal, J. J. (2011). *Diseño de una planta de deshidratación de hierbas aromáticas*. Pregrado, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil.
- Casp Vanaclocha, A., & Abril Renquena, J. (2008). *Proceso de Conservación de Alimentos*. España: Mundi- Prensa.
- Casp Vanaclocha, A., & Abril Requena, J. (2008). *Proceso de conservación de alimentos*. España: Mundi-Prensa.
- Castells, X. E. (2012). *Sistema de Tratamiento Térmico*. Ediciones Díaz de Santos.
- Castro, M., & Manosalvas, Y. (2011). *Obtención de láminas deshidratadas de arazá*. Ibarra: Universidad Técnica del Norte.
- Colina, Irezabal, M. L. (2010). *Deshidratación de alimentos*. México: Trillas.
- Contreras Mozón, C. (2006). *Influencia de métodos de secado en parámetros de calidad relacionados con la estructura y el color de la manzana y fresa deshidratada*. Universidad politécnica de Valencia, Departamento de Tecnología de Alimentos, Valencia.
- 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.
- Contreras, M. ., (2006). *Influencia del método de secado en parámetros de calidad relacionados con la estructura y el color de manzana y fresa deshidratada*. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de Tecnología de Alimentos, Valencia.

- FAO. (2013). *Manual para el mejoramiento y mantenimiento de poscosecha de frutas y hortalizas*.
- Fellows, P. (2000). *Tecnología del procesamiento de los alimentos. Principios y prácticas*. Zaragoza (Españana): Acribia S.A.
- Fernández, D., Muniz, S., García, A., Cervantes, R., & Fernández, D. (2015). *Cinética de secado de fruta bomba (carica papaya L.cv Madarol roja) mediante los métodos de deshidratación osmótica y por flujo de aire caliente*. *Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 22-28.
- García Pereira, A., & Hernández Gómez, A. (2013). *Análisis comparativo de la cinética de deshidratación osmótica y por flujo de aire caliente de la piña variedad Cayena lisa*. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, pp.62-69.
- García, M., & Alvis, A. (2015). *Evaluación de los Pretatamientos de Deshidratación Osmótica y Microondas en la Obtención de Hojuelas de Mango (Tommy Atkins)*. *Información Tecnológica*, 63-70.
- Gavica, E., & Terán, E. (2011). *Elaboración de mermelada de carambola a partir de la deshidratación osmótica*. Universidad Guayaquil, Guayaquil.
- Gearkoplis, C. J. (1998). *Proceso de transporte y operaciones unitarias* (Vol. Tercera edición). Mexico: Continental, S.A de C.V.Mexico.
- Guy, R. (2009). *Extrusión de Alimentos: Tecnología y aplicaciones*. España: Editorial Acribia S.A.
- Heldman, D. R., & Singh, R. P. (2014). *Introducción a la Ingeniería de los Alimentos*. España: Acribia, S.A.
- Hernández Gómez, M. (2007). *MANUAL DE MANEJO DE COSECHA Y POSTCOSECHA DE ARAZÁ "Conservación de arazá"*. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Colombia.

- Hernández, E. (2005). *Evaluación sensorial*. Bogotá: UNAD.
- Ibarz, A., & Barbosa Cánovas, G. V. (2014). *Introduction to Food Engineering*. Crcpres.
- Jhonson, D. A. (2013). Elaboración de láminas de frambuesa con adición de diferentes semillas y sucralosa. *Revista de la Universidad Austral de Chile*, 24-26.
- Laverde Acurio, J. L. (2010). *Estudio de condiciones óptimas para la obtención de jugo clarificado de arazá mediante proceso enzimático y membranario*. Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria, Quito.
- Machacuay Cordova, S. (2009). *Estudio del efecto del proceso de deshidratación osmótica en la obtención de trozos secos de carambola*. Universida Naciona Del Centro Del Perú, Junin-Perú.
- Marcilla Gomis, A. (1999). *Introducción a las operaciones de separación. Secado Tomo I*. S.L. Murcia: Compobell.
- Marín, E., & Lemus, R. (2006). The Rehydration of Dehydrated Foods. *Revista Chilena de Nutrición* , 527- 538.
- Martinez. (2012). *Desarrollo de alimentos precosidos por extrusión a base de maíz y leguminosas*.
- Maupoey, P. F., Andrés Grau, A. M., Barat Baviera, J. M., & Albors Sollora, A. M. (2001). *Introducción al Secado de Alimentos por Aire Caliente*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- McCabe, W. L., Smith, J. C., & Harriott, P. (2007). *Operaciones unitarias en ingeniería química* (Séptima Edición ed.). México: Mexicana Reg. Num.736.
- 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>

- Ocon García, J., & Tojo Barreiro, G. (1980). *Problemas de Ingeniería Química. Tomo I*. Aguilar.
- Olmedo, E. (2008). *Estudio del efecto de la deshidratación en la vida útil de los productos secos*. Guayaquil.
- Parzanece, M. (2011). *Tecnologías para la Industria Alimentaria-Deshidratación Osmótica*. Argentina.
- Quimi, N. (18 de Octubre de 2010). *Diferentes técnicas de secado*. Obtenido de <http://www.quiminet.com/articulos/diferentes-tecnicas-de-secado-de-alimentos-45027.htm>
- Quiñones Cobos, M. (2005). *Descripción botánica de arazá*. Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencia de la producción, Guayaquil.
- Ramírez, R. (24 de Febrero de 2009). *Química de alimentos*. Duitama-Colombia .
- Ratti, C. (2009). *Aduanes in food deshydration*. Florida: CRC Press.
- Ríos Pérez, M. M., & Márquez Cardozo, C. J. (2005). *DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE FRUTOS DE PAPAYA*. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Medellín.
- Romero Haro, M. N., & Saquina Pilco, E. I. (2012). *Obtención y conservación de la pulpa de arazá (Eugenia Stipitata) utilizando métodos en la planta de frutas y hortalizas de la Universidad Estatal de Bolívar*. Universidad Estatal de Bolívar, Escuela de Ingeniería Agroindustrial, Guaranda.
- Saca Becerra, C. (2013). *Evaluación de cuatro frutas confitadas: banano, papaya, mango y toronche presentes de cantón Puyango Provincia de Loja*". Universidad Central de Loja, Loja.

- Salazar , R., & Jenniffer, L. (2010). *Proyecto de valoración financiera de la elaboración y comercialización de pupa de arazá en la ciudad de Guayaquil*. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil.
- Singh, P., & Heldman, D. (2014). *Introduction to food engineering*. El sirver.
- Solarte, E., & Hernández, M. S. (2009). Caracterización fisiológica y bioquímica de frutos durante la maduración. *Departamento de Agricultura e Ingeniería de alimentos.*, 85-116.
- Torres , J. D. (2007). *Optimización de las condiciones operación de tratamientos osmóticos destinados al proceso mínimo de mango*. Universidad Politecnica Valencia, Valencia.
- Tovilla Moralesa, A. S., & Sandoval Torres, S. (5-8 de Mayo de 2015). *ResearchGate*. Recuperado el 23 de octubre de 2015, de Transporte de masa y calor en agroalimentos deformables durante el secado por convección forzada: <http://www.researchgate.net/publication/276268380>
- 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
- Vique, D. F. (2011). Evaluación nutricional de cocona deshidratada por metodo de bandejas a tres temperaturas. *Tecnología de alimentos ESPOCH*, 70-76.
- Zuluaga, J. D., & Cortes , M. (2010). Evaluación de las características físicas de mango deshidratado aplicando secado por aire caliente y deshidratación osmótica. *Rev. Fac. Ing. UCV*.