

Universidad Nacional de Misiones. Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales. Doctorado en Ciencias Aplicadas

Doctoranda
Ing. Paula Rosana FERNÁNDEZ

Frutas tropicales deshidratadas fortificadas con calcio y vitamina C

Tesis de Doctorado presentada para obtener el título de “Doctor en Ciencias Aplicadas”

Directora
Dra. Laura Ana RAMALLO

Co-Director
Dr. Rodolfo Horacio MASCHERONI

Posadas, 2018



Esta obra está licenciada bajo Licencia Creative Commons (CC) Atribución-NoComercial-Compartir Igual 4.0 Internacional <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



Universidad Nacional de Misiones
Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales



Frutas tropicales deshidratadas fortificadas con calcio y vitamina C

Por Ing. Paula Rosana FERNÁNDEZ

Tesis presentada a la Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales de la
Universidad Nacional de Misiones para optar por el grado académico de

DOCTOR EN CIENCIAS APLICADAS

Posadas, República Argentina

Marzo 2018

Directora

Dra. Laura Ana RAMALLO

Co-director

Dr. Rodolfo Horacio MASCHERONI

TRIBUNAL EXAMINADOR (Resolución Consejo Directivo N° 588-17)

Dra. Nora Cristina BERTOLA Universidad Nacional de La Plata

Dr. Fernando Esteban FELISSIA Universidad Nacional de Misiones

Dr. Andrés Ramón LINARES Universidad Nacional de Misiones

DEFENSA ORAL Y PÚBLICA (Resolución N° 108-18)

Posadas, 2 de Marzo de 2018

Frutas tropicales deshidratadas fortificadas con calcio y vitamina C

Por Ing. Paula Rosana FERNÁNDEZ

Instituto de Materiales de Misiones (CONICET - UNaM)

COMITÉ DE SUPERVISIÓN (Resolución Consejo Directivo N° 258-13)

Dra. Alicia MARTOS Universidad Nacional de Misiones

Dr. Mario ROSENBERGER Universidad Nacional de Misiones

Dra. Daniela OLIVERA Universidad Nacional de La Plata

CARRERA DE DOCTORADO EN CIENCIAS APLICADAS

Proyecto de Carrera N° 10933/11

Con recomendación de la Comisión Nacional de Evaluación y
Acreditación Universitaria (CONEAU) N° 344/11

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a Dios y a todas las personas que me ayudaron de alguna manera a alcanzar esta meta soñada.

Un especial agradecimiento a mi Directora Laura Ramallo por confiar en mí para realizar este trabajo, por brindarme sus conocimientos, su ayuda y su tiempo.

A mi Co-Director Rodolfo Mascheroni por aceptar ser parte de este grupo misionero y por la ayuda brindada.

Al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) por otorgarme la Beca Interna Doctoral.

A la Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales de la Universidad Nacional de Misiones por formarme académicamente tanto en la carrera de grado como de posgrado.

Al Instituto de Materiales de Misiones (IMAM-CONICET-UNaM) por brindarme un lugar de trabajo y permitirme utilizar los equipamientos para llevar a cabo mis ensayos experimentales. En especial a mi grupo de trabajo, por su compañerismo, cariño y apoyo durante tantos años.

A mis padres, Rosa y Daniel, por los valores transmitidos que me permiten ser lo que soy.

A mis hermanas, Daniela y Carolina, por confiar en mí y no dejarme caer.

A mis familiares y amigos del alma que me dieron aliento, hospedaje y me apoyaron en todo momento.

A mi amor y compañero de vida, Hernán, por estar en forma incondicional.

PUBLICACIONES

Los resultados presentados en este trabajo de tesis doctoral han sido parcialmente publicados en:

Proceedings y Actas de Congresos:

•Rodríguez C.; Fernández P.; Ramallo L. **2013**. “INFLUENCIA DE TRATAMIENTOS COMBINADOS DE DESHIDRATACIÓN SOBRE LA RETENCIÓN DE VITAMINA C Y EL COLOR EN ANANÁ”. XIV Congreso Argentino de Ciencia y Tecnología de los Alimentos (CYTAL). Rosario, Santa Fe. ISBN: 978-987-22165-5-9.

•Fernández P.R., Mascheroni R.H., Ramallo L.A. **2014**. “CARACTERÍSTICAS DEL SECADO DE MORAS (MORUS NIGRA)”. V Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos (CICYTAC). Córdoba. ISBN 978-987-45738-8-9.

•Trela V.; Fernández P; Borsini, A; Hough G; Ramallo L. **2014**. “CARACTERIZACIÓN SENSORIAL DE FRUTA DE ANANÁ DESHIDRATADO POR DIFERENTES MÉTODOS”. V Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos (CICYTAC). Córdoba. ISBN 978-987-45738-6-5.

•Fernández, P.; Mascheroni, R.; Ramallo, L. **2015**. “SECADO CONVECTIVO DE ANANÁ CON APLICACIÓN DE PULSOS DE ENERGÍA DE MICROONDAS”. Congreso Latinoamericano de Ingeniería y Ciencias Aplicadas. Mendoza, Argentina. ISBN 978-987-575-119-4.

•Anabel Rodríguez, Paula R. Fernández, Nancy N. Lovera, Laura A. Ramallo, Rodolfo H. Mascheroni. **2015**. “CHARACTERISTIC VARIABLES FOR THE OSMOTIC DEHYDRATION OF SOME TROPICAL FRUITS”. 29th EFFoST International Conference Proceedings. Atenas, Grecia. Con referato.

•Fernández, P.; Lovera, N.; Romero, A.; Borsini A.; Ramallo, L. **2016**. “DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA EN CICLOS SUCEIVOS: EFECTO SOBRE LA CALIDAD DEL PRODUCTO Y DEL JARABE HIPERTÓNICO”. VI Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos (CICYTAC). Córdoba. Con referato.

•Fernández, P.; Mascheroni, R.; Ramallo, L. **2016**. “INCORPORACIÓN DE VITAMINA C Y CALCIO DURANTE EL PROCESO DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE ANANÁ”. VI Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos (CICYTAC). Córdoba. Con referato.

Revistas con referato:

•Fernández, P.; Lovera, N.; Romero, A.; Borsini, A.; Ramallo, L. **2017**. “DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE ANANÁ CON REUTILIZACIÓN DEL JARABE DE SACAROSA”. Revista de Ciencia y Tecnología (RECyT). Universidad Nacional de Misiones. ISSN: 1851-7587. N°28.

RESUMEN

El presente trabajo de tesis se enfocó en el desarrollo de matrices vegetales fortificadas en calcio y ácido ascórbico, con bajo contenido de agua. Para tal fin se estudiaron diferentes métodos de fortificación y preservación de dos frutas de la provincia de Misiones: ananá y mora. Las frutas de ananá, seccionadas en láminas 6 mm de espesor, fueron impregnadas con calcio y ácido ascórbico y posteriormente secadas por diferentes métodos: secado con aire caliente, deshidratación osmótica y secado con pulsos de energía de microondas. A partir de la fruta de mora, se ensayó la elaboración y posterior secado de una lámina en base a pulpa de mora. Se analizaron las características de los productos deshidratados a través de propiedades físicas y nutricionales, durante el procesamiento y su posterior almacenamiento.

El secado con aire caliente es un método tradicionalmente empleado para la deshidratación de alimentos de origen vegetal. La aplicación de pulsos de microondas al proceso de secado convectivo favoreció la velocidad de secado de rodajas de ananá. Se evaluaron los efectos de las condiciones de proceso sobre características físico-químicas, nutricionales y organolépticas de las frutas. Una vez analizados los resultados, se procedió a la selección de las condiciones de proceso que permitieran mantener en gran proporción las características de interés.

En ananá se evaluó la eficiencia de la impregnación con lactato de calcio (Ca) y ácido ascórbico (AA) en medio isotónico (~12°Brix) e hipertónico (50°Brix), en función del incremento del contenido de estos nutrientes en la matriz vegetal y de los cambios en propiedades físicas (textura, color, microestructura) de la fruta. La aplicación de los métodos combinados de secado resultó satisfactoria en la fruta de ananá. Sin embargo, en moras, la aplicación del proceso de deshidratación osmótica y el secado con energía de microondas no tuvo resultados positivos. Además, si bien con secado convectivo es posible la deshidratación de moras, el producto obtenido no cubre las expectativas sensoriales buscadas; por este motivo se elaboró láminas deshidratadas a partir de moras trituradas, adicionando los nutrientes en cuestión (AA y Ca), azúcares, pectina y ácido cítrico, en distintas proporciones. Finalmente, se seleccionó una formulación a partir de las características sensoriales y aptitud para la formación de una lámina en el posterior proceso de secado. El producto final es una lámina de fruta con bajo contenido de agua, flexible, color y sabor agradable.

La estabilidad de los productos fortificados durante su almacenamiento fue evaluada teniendo en cuenta el nutriente más sensible a su degradación, el AA. Se modeló la pérdida de ácido ascórbico por medio de una cinética de primer orden con coeficiente variable con la humedad del producto.

Índice

| | |
|--|----|
| CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN | 18 |
| Objetivo general | 20 |
| Objetivos específicos | 20 |
| CAPÍTULO 2: ANTECEDENTES | 21 |
| 2.1 Características de las frutas | 22 |
| 2.1.1 ANANÁ | 22 |
| 2.1.1.1 Producción y mercado | 23 |
| 2.1.1.2 Composición nutricional | 25 |
| 2.1.2 MORA | 26 |
| 2.1.2.1 Producción y mercado | 27 |
| 2.1.2.2 Composición nutricional | 29 |
| 2.2 Antocianinas | 30 |
| 2.3 Ácido ascórbico o vitamina C | 32 |
| 2.3.1 Ingesta diaria recomendada de vitamina C | 33 |
| 2.3.2 Deficiencias | 34 |
| 2.4 Calcio | 34 |
| 2.4.1 Ingesta diaria recomendada de calcio | 35 |
| 2.4.2 Deficiencias | 35 |
| 2.5 Impregnación | 37 |
| 2.5.1 Antecedentes de impregnación en frutas | 38 |
| 2.6 Métodos de deshidratación | 40 |
| 2.6.1 Deshidratación osmótica | 40 |
| 2.6.1.1 Antecedentes de Deshidratación Osmótica en ananá | 42 |
| 2.6.1.2 Antecedentes de Deshidratación Osmótica en mora | 44 |
| 2.6.2 Secado con aire caliente | 44 |
| 2.6.2.1 Antecedentes de secado con aire caliente en ananá y mora | 45 |
| 2.6.3 Secado por energía de microondas | 46 |
| 2.6.3.1 Antecedentes de secado con microondas en frutas | 47 |
| 2.6.4 Métodos combinados de deshidratación | 48 |
| 2.6.4.1 Deshidratación Osmótica + Secado con aire caliente (DO + SAC) | 48 |
| 2.6.4.2 Secado con aire caliente con pulsos de energía de microondas (SAC/MW) | 50 |
| 2.6.4.3 Deshidratación osmótica + Secado con aire caliente con pulsos de energía de microondas (DO + SAC/MW) | 50 |
| 2.6.5 Láminas de fruta deshidratada (fruit leathers o fruit roll-ups) | 52 |
| 2.6.5.1 Antecedentes de láminas de frutas | 52 |
| 2.7 Almacenamiento y evaluación de la calidad | 53 |
| 2.8 Modelado matemático | 54 |

| | |
|---|-----------|
| 2.8.1 Modelo difusional..... | 54 |
| 2.8.2 Modelo empírico: Page..... | 56 |
| CAPÍTULO 3: MATERIALES Y MÉTODOS..... | 57 |
| 3.1 Materia Prima | 58 |
| 3.1.1 ANANÁ..... | 58 |
| 3.1.2 MORA..... | 58 |
| 3.2 Determinaciones analíticas | 59 |
| 3.2.1 Contenido de agua | 59 |
| 3.2.2 Contenido de sólidos solubles | 59 |
| 3.2.3 Contenido de acidez titulable y pH | 59 |
| 3.2.4 Isotermas..... | 59 |
| 3.2.5 Contenido de antocianinas | 60 |
| 3.2.6 Contenido de ácido ascórbico | 61 |
| 3.2.7 Contenido de calcio | 61 |
| 3.3 Determinaciones físicas..... | 62 |
| 3.3.1 Propiedades ópticas | 62 |
| 3.3.2 Propiedades mecánicas | 63 |
| 3.3.3 Microestructura | 64 |
| 3.4 Proceso de impregnación con ácido ascórbico y calcio | 64 |
| 3.4.1 Materiales y soluciones | 64 |
| 3.4.2 Transferencia de masa durante la impregnación..... | 65 |
| 3.5 Procesos de deshidratación | 66 |
| 3.5.1 Deshidratación Osmótica | 66 |
| 3.5.1.1 Ananá..... | 66 |
| 3.5.1.2 Mora..... | 66 |
| 3.5.1.3 Transferencia de masa durante la deshidratación osmótica..... | 66 |
| 3.5.2 Secado con aire caliente (SAC)..... | 67 |
| 3.5.2.1 Ananá | 67 |
| 3.5.2.2 Mora | 67 |
| 3.5.3 Secado con pulsos de energía de microondas (MW) | 67 |
| 3.5.4 Métodos combinados de deshidratación..... | 68 |
| 3.5.5 Láminas comestibles de moras fortificadas con ácido ascórbico y calcio..... | 69 |
| 3.5.5.1 Formulación..... | 69 |
| 3.5.5.2 Secado | 69 |
| 3.6 Caracterización sensorial de fruta de ananá deshidratado | 70 |
| 3.6.1 Análisis Descriptivo | 70 |
| 3.7 Modelado matemático..... | 72 |
| 3.7.1 Segunda Ley de Fick: difusión a través de sólidos porosos | 72 |

| | |
|--|------------|
| 3.7.2 Modelo empírico: Modelo de Page | 75 |
| 3.8 Evaluación de calidad de los productos durante el almacenamiento | 76 |
| 3.8.1 Modelado de la ganancia de agua durante el almacenamiento..... | 78 |
| 3.8.2 Modelado de la degradación del ácido ascórbico durante el almacenamiento | 80 |
| CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE ANANÁ | 83 |
| 4.1 Introducción..... | 84 |
| 4.2 Caracterización de la fruta de ananá | 84 |
| 4.3 Selección del método de preservación de ananá..... | 85 |
| 4.3.1 Pretratamiento: Deshidratación osmótica | 86 |
| 4.3.1.1 Cinética de Deshidratación osmótica a 50 °Brix | 87 |
| 4.3.2 Secado | 91 |
| 4.3.3 Modelado matemático de la pérdida de agua..... | 96 |
| 4.3.4 Caracterización de fruta de ananá deshidratado | 98 |
| 4.3.4.1 Caracterización sensorial: Análisis Descriptivo | 98 |
| 4.4 Impregnación de la matriz vegetal con ácido ascórbico y calcio | 102 |
| 4.4.1 Transferencia de masa | 102 |
| 4.4.2 Incorporación de ácido ascórbico y calcio en la fruta..... | 104 |
| 4.4.3 Modelado matemático de la impregnación | 106 |
| 4.4.4 Caracterización de las frutas impregnadas | 109 |
| 4.4.4.1 Aporte nutricional | 110 |
| 4.4.4.2 Influencia de los medios de impregnación sobre las propiedades mecánicas .. | 110 |
| 4.4.4.3 Color | 114 |
| 4.4.4.4 Análisis microscópico (SEM y EDS) | 115 |
| 4.4.5 Caracterización de la solución de impregnación..... | 117 |
| 4.5 Secado de fruta fortificada..... | 118 |
| 4.5.1 Cinética de secado: resultados experimentales y modelado matemático | 119 |
| 4.5.2 Aporte nutricional | 121 |
| 4.5.3 Color | 122 |
| 4.5.4 Análisis microscópico (SEM y EDS)..... | 123 |
| 4.6 Evaluación de calidad de los productos durante el almacenamiento | 125 |
| 4.6.1 Isotherma | 127 |
| 4.6.2 Modelado de la ganancia de agua durante el almacenamiento | 130 |
| 4.6.3 Contenido de ácido ascórbico: valores experimentales y modelado matemático.. | 133 |
| 4.6.4 Color | 139 |
| CAPÍTULO 5: RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE MORA | 143 |
| 5.1 Introducción..... | 144 |
| 5.2 Caracterización de la fruta de mora | 144 |

| | |
|--|------------|
| 5.3 Selección del método de preservación de mora..... | 145 |
| 5.3.1 Pretratamiento: Deshidratación osmótica | 145 |
| 5.3.2 Secado con aire caliente | 146 |
| 5.3.2.1 Cinética de secado: resultados experimentales y modelado matemático..... | 146 |
| 5.3.2.2 Color | 150 |
| 5.3.3 Secado con microondas..... | 150 |
| 5.4 Láminas comestibles de moras fortificadas en vitamina C y calcio | 151 |
| 5.4.1 Cinética de secado: resultados experimentales y modelado matemático | 154 |
| 5.4.2 Contenido de Antocianinas | 156 |
| 5.5 Evaluación de calidad de las láminas de moras durante el almacenamiento | 158 |
| 5.5.1 Isotherma | 158 |
| 5.5.2 Modelado de la ganancia de agua durante el almacenamiento | 160 |
| 5.5.3 Contenido de ácido ascórbico: valores experimentales y modelado matemático.. | 162 |
| 5.5.4 Contenido de antocianinas | 165 |
| CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES GENERALES | 168 |
| Conclusiones Generales..... | 169 |
| Preservación de Ananá y fortificación..... | 169 |
| Preservación de Mora y fortificación | 170 |
| Almacenamiento de los productos fortificados en ácido ascórbico y calcio y deshidratados | 171 |
| CAPÍTULO 7: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 173 |
| ANEXOS | 191 |
| Anexo I. Búsqueda de descriptores..... | 192 |
| Anexo II. Planilla del Análisis Descriptivo Cuantitativo | 193 |
| Anexo III. Planilla de definición de Descriptores y técnica de evaluación | 194 |
| Proyectos Científico-Tecnológicos | 195 |

Índice de Figuras

| | |
|--|----|
| FIGURA 2.1. PRINCIPALES PARTES DEL ANANÁ | 22 |
| FIGURA 2.2. ANANÁ <i>COMOSUS</i> VAR. CAYENA LISA EN ESTADO DE MADUREZ | 24 |
| FIGURA 2.3. PLANTACIÓN DE ANANÁ EN MISIONES | 24 |
| FIGURA 2.4. DRUPAS MÚLTIPLES EN MORA (<i>MORUS NIGRA</i>) | 26 |
| FIGURA 2.5. ZONAS PRODUCTORAS DE MORAS EN ARGENTINA | 28 |
| FIGURA 2.6. ESTRUCTURA QUÍMICA Y SUSTITUYENTES DE ANTOCIANINAS MÁS COMUNES | 30 |
| FIGURA 2.7. FORMAS QUÍMICAS DE ANTOCIANINAS DEPENDIENDO DEL PH Y REACCIÓN DE DEGRADACIÓN | 31 |
| FIGURA 2.8. CARACTERÍSTICAS ESPECTRALES DE ANTOCIANINAS EN SOLUCIONES TAMPONES DE PH 1,0 Y PH 4,5 | 32 |
| FIGURA 2.9. ESTRUCTURA QUÍMICA DE LA VITAMINA C..... | 32 |
| FIGURA 2.10. REACCIÓN DE OXIDACIÓN DEL ÁCIDO ASCÓRBICO | 33 |
| FIGURA 2.11. REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DEL TEJIDO CELULAR Y FLUJOS DE TRANSFERENCIA DE MASA DURANTE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA..... | 41 |
| FIGURA 2.12. MECANISMO DE DIFUSIÓN DE LA SUPERFICIE Y DE TRANSPORTE DE VAPOR DE AGUA | 44 |
| FIGURA 2.13. MECANISMOS DE INTERACCIÓN DE LAS MICROONDAS CON EL ALIMENTO. A) IÓNICO, Y B) ROTACIÓN DIPOLAR..... | 47 |
| FIGURA 3.1. PROCESAMIENTO DE LA FRUTA DE ANANÁ | 58 |
| FIGURA 3.2. FRUTAS DE MORA..... | 58 |
| FIGURA 3.3. CÍRCULO DE CROMATICIDAD EN SISTEMA CIEL* <i>A</i> * <i>B</i> * | 62 |
| FIGURA 3.4. MUESTRA DE ANANÁ SECCIONADA PARA LA EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS Y TEXTURÓMETRO UNIVERSAL TA.XT2..... | 64 |
| FIGURA 3.5. EQUIPAMIENTO EMPLEADO PARA LA DESHIDRATACIÓN DE LAS FRUTAS: DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA (A), SECADO CONVECTIVO (B), Y SECADO CON ENERGÍA DE MW (C) | 68 |
| FIGURA 3.6. DISPOSICIÓN DE LAS MEDIAS RODAJAS DE ANANÁ EN EL PLATO DEL MICROONDAS | 68 |
| FIGURA 3.7. PRESENTACIÓN DE LAS MUESTRAS PARA LA SESIÓN DE MEDICIÓN | 72 |
| FIGURA 3.8. ESQUEMA DEL ALMACENAMIENTO DE FRUTAS DE ANANÁ FORTIFICADO Y DESHIDRATADO | 77 |
| FIGURA 3.9. ESQUEMA DEL ALMACENAMIENTO DE LÁMINAS DE MORAS | 77 |
| FIGURA 3.10. IMÁGENES DEL SISTEMA MODELO DE ESTUDIO EN ANANÁ Y LÁMINA DE MORA..... | 78 |
| FIGURA 3.11. METODOLOGÍA DE CÁLCULO PARA DESCRIBIR LA CINÉTICA DE DEGRADACIÓN DEL ÁCIDO ASCÓRBICO..... | 82 |
| FIGURA 4.1. PÉRDIDA DE AGUA EN FUNCIÓN AL TIEMPO DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE ANANÁ A 50 °BRIX..... | 88 |

| | |
|--|-----|
| FIGURA 4.2. GANANCIA DE SACAROSA EN FUNCIÓN AL TIEMPO DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE ANANÁ A 50 °BRIX..... | 88 |
| FIGURA 4.3. EVOLUCIÓN DEL PARÁMETRO B* EN FRUTA DE ANANÁ DESHIDRATADA OSMÓTICAMENTE A 50 °BRIX..... | 89 |
| FIGURA 4.4. EVOLUCIÓN DEL ÁNGULO HUE EN FRUTA DE ANANÁ DESHIDRATADA OSMÓTICAMENTE A 50 °BRIX..... | 90 |
| FIGURA 4.5. VALORES EXPERIMENTALES Y CALCULADOS DEL CONTENIDO ADIMENSIONAL DE AGUA DURANTE LA CINÉTICA DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE ANANÁ A 50 °BRIX..... | 91 |
| FIGURA 4.6. VARIACIÓN DE HUMEDAD EN ANANÁ DURANTE EL SECADO CON AIRE CALIENTE (E1) Y CON APLICACIÓN DE PULSOS DE MICROONDAS DE DIFERENTE FRECUENCIA Y AMPLITUD..... | 93 |
| FIGURA 4.7. VARIACIÓN DE HUMEDAD EN ANANÁ DURANTE EL SECADO CONTINUO (E1) Y CON APLICACIÓN DE PULSOS DE MICROONDAS A LOS 180 Y 210 MIN DEL PROCESO (E6) | 94 |
| FIGURA 4.8. VARIACIÓN DE HUMEDAD EN ANANÁ CON Y SIN PRE-TRATAMIENTO OSMÓTICO, DURANTE EL SECADO CONTINUO (E7 Y E1) Y CON APLICACIÓN DE PULSOS DE MICROONDAS DE DIFERENTE FRECUENCIA (E8 Y E9) | 95 |
| FIGURA 4.9. VARIACIÓN DE LA HUMEDAD ADIMENSIONAL EXPERIMENTAL Y LA PREDICHA POR EL MODELO DE PAGE PARA EL SECADO DE ANANÁ | 97 |
| FIGURA 4.10. SESIÓN DE DESARROLLO DE DESCRIPTORES (A); SESIÓN DE ENTRENAMIENTO (B) Y SESIÓN DE MEDICIÓN (C) | 99 |
| FIGURA 4.11. REPRESENTACIÓN TIPO “TELA DE ARAÑA” DEL PERFIL SENSORIAL DE ANANÁ DESHIDRATADO..... | 101 |
| FIGURA 4.12. VARIACIÓN DE LA PÉRDIDA DE AGUA (ΔW) Y LA GANANCIA DE SACAROSA (ΔS) DEL ANANÁ DURANTE EL TRATAMIENTO DE IMPREGNACIÓN EN SOLUCIÓN ISOTÓNICA E HIPERTÓNICA, SIN (TI Y TH) Y CON ÁCIDO ASCÓRBICO Y LACTATO DE CALCIO (TI _{CAAA} Y TH _{CAAA})..... | 103 |
| FIGURA 4.13. VARIACIÓN DEL CONTENIDO DE ÁCIDO ASCÓRBICO EN FRUTA DE ANANÁ EN FUNCIÓN DEL TIEMPO Y MEDIO DE IMPREGNACIÓN | 104 |
| FIGURA 4.14. VARIACIÓN DEL CONTENIDO DE CALCIO EN FRUTA DE ANANÁ EN FUNCIÓN DEL TIEMPO Y MEDIO DE IMPREGNACIÓN | 105 |
| FIGURA 4.15. MICROFOTOGRAFÍA DE MUESTRA DE ANANÁ INMERSA EN TH _{CAAA} POR 3H QUE ILUSTRRA LA CAPA SUPERFICIAL CON ALTO CONTENIDO DE SACAROSA | 105 |
| FIGURA 4.16. RELACIÓN ADIMENSIONAL DEL CONTENIDO DE CALCIO DURANTE LA IMPREGNACIÓN ISOTÓNICA (TI) E HIPERTÓNICA (TH) DE ANANÁ: VALORES EXPERIMENTALES (SÍMBOLOS) Y PREDICHOS POR EL MODELO DE FICK (LÍNEAS PUNTEADAS) | 108 |
| FIGURA 4.17. VARIACIÓN DE LA RELACIÓN ADIMENSIONAL DEL CONTENIDO DE ÁCIDO ASCÓRBICO DURANTE LA IMPREGNACIÓN ISOTÓNICA (TI) E HIPERTÓNICA (TH) DE ANANÁ: VALORES EXPERIMENTALES (SÍMBOLOS) Y PREDICHOS POR EL MODELO DE FICK (LÍNEAS PUNTEADAS) | 108 |
| FIGURA 4.18. NORMALIZACIÓN DEL ESFUERZO DE RUPTURA Y DEL CONTENIDO DE CALCIO EN MUESTRAS IMPREGNADAS EN MEDIO HIPERTÓNICO E ISOTÓNICO CON CALCIO Y ÁCIDO ASCÓRBICO..... | 113 |

| | |
|---|-----|
| FIGURA 4.19. MICROFOTOGRAFÍAS SEM DEL TEJIDO DE ANANÁ FRESCO (A), TEJIDO DE ANANÁ IMPREGNADA POR 3 H EN SOLUCIÓN ISOTÓNICA TI_{CAAAA} (B), Y SOLUCIÓN HIPERTÓNICA TH_{CAAAA} (C). PC, PARED CELULAR; Ei, ESPACIO INTERCELULAR; V, VACUOLA | 116 |
| FIGURA 4.20. ESPECTROS EDS DE MUESTRAS IMPREGNADAS POR 3 H EN SOLUCIÓN ISOTÓNICA: SUPERFICIE DE LA MUESTRA (A) INTERIOR DE LA MUESTRA (B), Y EN SOLUCIÓN HIPERTÓNICA: (C) SUPERFICIE DE LA MUESTRA Y (D) INTERIOR DE LA MUESTRA | 117 |
| FIGURA 4.21. RELACIÓN ADIMENSIONAL DE HUMEDAD DURANTE EL SECADO CON AIRE CALIENTE ($TI_{CAAAA}+SAC$) Y CON PULSOS DE MICROONDAS ($TI_{CAAAA}+SAC60/MW20$) DE ANANÁ FORTIFICADO EN MEDIO ISOTÓNICO: VALORES EXPERIMENTALES (SÍMBOLOS) Y PREDICHOS POR EL MODELO DE PAGE (LÍNEAS PUNTEADAS) | 119 |
| FIGURA 4.22. RELACIÓN ADIMENSIONAL DE HUMEDAD DURANTE EL SECADO CON AIRE CALIENTE ($TH_{CAAAA}+SAC$) Y CON PULSOS DE MICROONDAS ($TH_{CAAAA}+SAC60/MW20$) DE ANANÁ FORTIFICADO EN MEDIO HIPERTÓNICO: VALORES EXPERIMENTALES (SÍMBOLOS) Y PREDICHOS POR EL MODELO DE PAGE (LÍNEAS PUNTEADAS) | 120 |
| FIGURA 4.23. MICROFOTOGRAFÍAS SEM DE FRUTA DE ANANÁ DESHIDRATADO POR DIFERENTES MÉTODOS (A-F) Y CON IMPREGNACIÓN PREVIA EN MEDIO ISOTÓNICO TI (C Y D) Y EN MEDIO HIPERTÓNICO TH (E Y F). SAC: SECADO CON AIRE CALIENTE (A); MW: PULSOS DE MICROONDAS (B) | 124 |
| FIGURA 4.24. FRUTAS DE ANANÁ FORTIFICADOS Y DESHIDRATADOS ALMACENADAS EN BOLSAS ZIPLOC® | 126 |
| FIGURA 4.25. ALMACENAMIENTO DE FRUTAS DE ANANÁ IMPREGNADAS Y DESHIDRATADAS PARA LA DETERMINACIÓN DE ISOTERMAS DE SORCIÓN A 25 °C .. | 127 |
| FIGURA 4.26. ISOTERMA DE SORCIÓN DE FRUTAS FORTIFICADAS Y DESHIDRATADAS DE ANANÁ A 25°C | 129 |
| FIGURA 4.27. CONTENIDO DE AGUA EXPERIMENTAL (SÍMBOLOS) Y PREDICHO POR EL MODELO (LÍNEAS PUNTEADAS) DE ANANÁ FORTIFICADO EN MEDIO ISOTÓNICO Y DESHIDRATADO CON AIRE CALIENTE (A) Y PULSOS DE MICROONDAS (B) EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE ALMACENAMIENTO..... | 131 |
| FIGURA 4.28. CONTENIDO DE AGUA EXPERIMENTAL (SÍMBOLOS) Y PREDICHO POR EL MODELO (LÍNEAS PUNTEADAS) DE ANANÁ FORTIFICADO EN MEDIO HIPERTÓNICO Y DESHIDRATADO CON AIRE CALIENTE (A) Y PULSOS DE MICROONDAS (B) EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE ALMACENAMIENTO..... | 132 |
| FIGURA 4.29. VARIACIÓN DEL CONTENIDO DE ÁCIDO ASCÓRBICO EN FRUTAS DE ANANÁ FORTIFICADAS Y DESHIDRATADAS ($TI+SAC60/MW20$ Y $TH+SAC60/MW20$) DURANTE EL ALMACENAMIENTO A 25°C | 135 |
| FIGURA 4.30. CINÉTICA DE DEGRADACIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO EN FRUTAS FORTIFICADAS Y DESHIDRATADAS ($TI+SAC$ Y $TH+SAC$) DURANTE EL ALMACENAMIENTO A 25°C..... | 136 |
| FIGURA 4.31. VARIACIÓN DEL CONTENIDO DE ÁCIDO ASCÓRBICO DE LA FRUTA DE ANANÁ IMPREGNADAS EN MEDIO ISOTÓNICO E HIPERTÓNICO, DESHIDRATADAS CON AIRE CALIENTE (SAC) Y PULSOS DE MICROONDAS (MW) Y DURANTE SU ALMACENAMIENTO A 25°C Y 75%HR..... | 137 |

| | |
|---|-----|
| FIGURA 4.32. VARIACIÓN DEL CONTENIDO DE ÁCIDO ASCÓRBICO POR PORCIÓN DE LA FRUTA DE ANANÁ IMPREGNADAS EN MEDIO ISOTÓNICO E HIPERTÓNICO, DESHIDRATADAS CON AIRE CALIENTE (SAC) Y PULSOS DE MICROONDAS (MW) Y DURANTE SU ALMACENAMIENTO A 25°C Y 75%HR | 138 |
| FIGURA 4.33. EVOLUCIÓN DEL PARÁMETRO B* DE ANANÁS FORTIFICADOS Y DESHIDRATADOS EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE ALMACENAMIENTO A 25°C | 139 |
| FIGURA 4.34. EVOLUCIÓN DEL ÁNGULO HUE DE ANANÁS FORTIFICADOS Y DESHIDRATADOS EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE ALMACENAMIENTO A 25°C | 140 |
| FIGURA 4.35. DIFERENCIAS DE COLOR (ΔE) DE ANANÁS FORTIFICADOS Y DESHIDRATADOS EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE ALMACENAMIENTO A 25°C | 140 |
| FIGURA 5.1. SOLUCIONES OSMÓTICAS LUEGO DE 8 H DE TRATAMIENTO OSMÓTICO A DIFERENTE TEMPERATURA Y CONCENTRACIÓN..... | 146 |
| FIGURA 5.2. FOTOGRAFÍAS DE MORAS DESHIDRATADAS DURANTE 5 H CON AIRE A 45, 60 Y 75 °C..... | 147 |
| FIGURA 5.3. VARIACIÓN DE LA HUMEDAD ADIMENSIONAL EXPERIMENTAL Y LA PREDICHA POR EL MODELO DIFUSIONAL PARA EL SECADO DE MORAS..... | 148 |
| FIGURA 5.4.VARIACIÓN DE LA HUMEDAD ADIMENSIONAL EXPERIMENTAL Y LA PREDICHA POR EL MODELO DE PAGE PARA EL SECADO DE MORAS..... | 149 |
| FIGURA 5.5. IMÁGENES DE FRUTAS DE MORAS SECADAS CON MICROONDAS | 151 |
| FIGURA 5.6. PUNTUACIÓN EN ESCALA HEDÓNICA DE 5 PUNTOS PARA CARACTERIZAR TRES ATRIBUTOS EN CADA FORMULACIÓN DE LÁMINAS DE MORAS | 153 |
| FIGURA 5.7. LÁMINA DE MORA FORTIFICADA EN CALCIO Y VITAMINA C..... | 154 |
| FIGURA 5.8. VARIACIÓN DE LA HUMEDAD ADIMENSIONAL EXPERIMENTAL Y LA PREDICHA POR EL MODELO DE FICK Y PAGE DE LÁMINA DE MORA SECADA A 60°C | 156 |
| FIGURA 5.9. ISOTERMA DE SORCIÓN DE LÁMINA DE MORA A 25°C | 158 |
| FIGURA 5.10. LÁMINAS DE MORAS LUEGO DE 20 DÍAS DE ALMACENAMIENTO A DIFERENTES A_w Y 25 °C..... | 159 |
| FIGURA 5.11. EVOLUCIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA EXPRESADO COMO M/MO DE LÁMINAS DE MORAS ALMACENADAS A 25, 35 Y 45 °C | 160 |
| FIGURA 5.12. CONTENIDO DE AGUA EXPERIMENTAL (SÍMBOLOS) Y PREDICHO POR EL MODELO (LÍNEAS PUNTEADAS) DE LÁMINA DE MORA FORTIFICADA Y DESHIDRATADA CON AIRE EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE ALMACENAMIENTO | 161 |
| FIGURA 5.13. VARIACIÓN DEL CONTENIDO DE ÁCIDO ASCÓRBICO EN LÁMINAS DE MORAS FORTIFICADAS DURANTE SU ALMACENAMIENTO A 25, 35 Y 45 °C | 162 |
| FIGURA 5.14. VARIACIÓN DEL CONTENIDO DE ÁCIDO ASCÓRBICO EN LÁMINA DE MORA FORTIFICADA Y DESHIDRATADA A 60°C DURANTE EL ALMACENAMIENTO A 75%HR Y 25°C | 163 |
| FIGURA 5.15. VARIACIÓN DEL CONTENIDO DE ÁCIDO ASCÓRBICO POR PORCIÓN DE LÁMINA DE MORA FORTIFICADA Y DESHIDRATADA CON AIRE CALIENTE (SAC) DURANTE SU ALMACENAMIENTO A 25°C Y 75%HR | 164 |
| FIGURA 5.16. VARIACIÓN DEL CONTENIDO DE ANTOCIANINAS EN LÁMINA DE MORA FORTIFICADA DURANTE EL ALMACENAMIENTO A 25, 35 Y 45°C | 165 |

FIGURA 5.17. COLORACIÓN DEL EXTRACTO DE ANTOCIANINAS A PH=1 DE LÁMINAS DE MORA EXPUESTAS A 45°C DURANTE LOS DÍAS 6,14, 20 Y 40166

FIGURA 5.18. GRÁFICA DE ARRHENIUS PARA LA DEGRADACIÓN DE ANTOCIANINAS EN LÁMINAS DE MORAS DURANTE EL ALMACENAMIENTO166

Índice de Tablas

| | |
|--|-----|
| TABLA 2.1. COMPOSICIÓN CENTESIMAL DE FRUTA DE ANANÁ | 25 |
| TABLA 2.2. COMPOSICIÓN CENTESIMAL DE FRUTA DE MORA | 29 |
| TABLA 2.3. INGESTA DIARIA RECOMENDADA DE VITAMINA C SEGÚN GRUPO ETARIO | 33 |
| TABLA 2.4. INGESTA DIARIA RECOMENDADA DE CALCIO SEGÚN GRUPO ETARIO | 35 |
| TABLA 2.5. REFERENCIAS DE MATRICES VEGETALES IMPREGNADAS CON CALCIO Y/O ÁCIDO ASCÓRBICO Y CONDICIONES EXPERIMENTALES | 39 |
| TABLA 3.1. SALES EMPLEADAS PARA LA REALIZACIÓN DE ISOTERMAS | 60 |
| TABLA 3.2. CONDICIONES Y NOMENCLATURA DE LOS TRATAMIENTOS DE IMPREGNACIÓN ENSAYADOS EN FRUTA DE ANANÁ | 65 |
| TABLA 4.1. CARACTERIZACIÓN DE LA FRUTA DE ANANÁ..... | 84 |
| TABLA 4.2. PARÁMETROS DE TRANSFERENCIA DE MASA EN DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE ANANÁ..... | 86 |
| TABLA 4.3. CONSTANTES Y AJUSTES DEL MODELO DE PAGE PARA EL SECADO DE ANANÁ..... | 96 |
| TABLA 4.4. ATRIBUTOS Y DESCRIPTORES DE ANANÁ DESHIDRATADO..... | 98 |
| TABLA 4.5. VALORES PROMEDIOS DE LAS PUNTUACIONES PARA CADA ATRIBUTO SENSORIAL SEGÚN CONDICIÓN DE SECADO | 99 |
| TABLA 4.6. CINÉTICA DE IMPREGNACIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO Y DE CALCIO EN FRUTA DE ANANÁ IMPREGNADA EN MEDIO ACUOSO ISOTÓNICO (FR I) E HIPERTÓNICO (FR H)..... | 106 |
| TABLA 4.7. COEFICIENTES DIFUSIVOS DEL CALCIO Y ÁCIDO ASCÓRBICO EN MEDIO ISOTÓNICO E HIPERTÓNICO, Y PARÁMETROS DE AJUSTE DEL MODELO DIFUSIONAL | 107 |
| TABLA 4.8. VALORES MEDIOS Y DESVÍO ESTÁNDAR DE HUMEDAD, PH, CONTENIDO DE SÓLIDOS SOLUBLES (SS) Y DE ACIDEZ TITULABLE (AT) DE FRUTA FRESCA (FR FR) Y EN FRUTAS TRATADAS EN DIFERENTES TIEMPOS | 109 |
| TABLA 4.9. VALORES NORMALIZADOS DE PARÁMETROS MECÁNICOS DE MUESTRAS DE ANANÁ CON DIFERENTES TRATAMIENTOS EN FUNCIÓN DEL TIEMPO | 111 |
| TABLA 4.10. PARÁMETROS DE COLOR DE ANANÁ FRESCO Y CON 5 HORAS DE TRATAMIENTO DE IMPREGNACIÓN EN MEDIO ISOTÓNICO (TI _{CAAA}) E HIPERTÓNICO (TH _{CAAA}) | 114 |
| TABLA 4.11. VALORES MEDIOS DEL CONTENIDO DE SÓLIDOS SOLUBLES (SS), PH, ACIDEZ TITULABLE (AT) Y CONTENIDO NORMALIZADO DE ÁCIDO ASCÓRBICO (AA/AA ₀) Y DE CALCIO (CA/CA ₀) EN LA SOLUCIÓN ISOTÓNICA E HIPERTÓNICA CON Y SIN NUTRIENTES EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE TRATAMIENTO | 117 |
| TABLA 4.3 BIS. CONSTANTES Y AJUSTES DEL MODELO DE PAGE PARA EL SECADO DE ANANÁ..... | 120 |
| TABLA 4.12. APOORTE DE ÁCIDO ASCÓRBICO Y CALCIO EN ANANÁ DESHIDRATADO Y COBERTURA DIARIA | 121 |
| TABLA 4.13. PARÁMETROS DE COLOR DE FRUTAS DE ANANÁ FORTIFICADAS POR MEDIO ISOTÓNICO E HIPERTÓNICO (TI Y TH) Y DESHIDRATADAS POR SECADO CON | |

| | |
|---|-----|
| AIRE CALIENTE (SAC) Y SECADO CON AIRE CALIENTE Y PULSOS DE MICROONDAS (SAC/MW) | 122 |
| TABLA 4.14. COMPOSICIÓN CUALI-CUANTITATIVA POR SEM-EDS DE FRUTAS DE ANANÁS IMPREGNADAS EN MEDIO ISOTÓNICO (TI_{CAA}) E HIPERTÓNICO (TH_{CAA}) Y DESHIDRATADAS POR SECADO CON AIRE CALIENTE (SAC) Y SECADO CON AIRE CALIENTE Y PULSOS DE MICROONDAS (SAC60/MW20) | 125 |
| TABLA 4.15. PARÁMETROS ESTIMADOS DE LOS MODELOS DE GAB Y BET PARA LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS DE ANANÁ | 128 |
| TABLA 4.16. COEFICIENTES DE DIFUSIÓN DE AGUA DE LOS PRODUCTOS DESHIDRATADOS Y LOS ERRORES PORCENTUALES DE ESTIMACIÓN DEL MODELO | 133 |
| TABLA 4.17. CONSTANTES DE LA ECUACIÓN $k_{AA} = A aw^2 + Baw + C$ QUE DESCRIBEN AL COEFICIENTE k_{AA} DE LA ECUACIÓN DE DEGRADACIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO ... | 134 |
| TABLA 4.18. PARÁMETROS L^* , a^* Y CROMA DE MUESTRAS DESHIDRATADAS POR SECADO CON AIRE CALIENTE, IMPREGNADAS EN MEDIO HIPERTÓNICO E ISOTÓNICO | 141 |
| TABLA 4.19. PARÁMETROS L^* , a^* Y CROMA DE MUESTRAS DESHIDRATADAS POR SECADO CON APLICACIÓN DE PULSOS DE MICROONDAS, IMPREGNADAS EN MEDIO HIPERTÓNICO E ISOTÓNICO..... | 142 |
| TABLA 5.1. CARACTERIZACIÓN DE MORA NEGRA | 144 |
| TABLA 5.2. PARÁMETROS DE TRANSFERENCIA DE MASA DE MORAS TRATADAS OSMÓTICAMENTE DURANTE 8H A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE SOLUCIÓN OSMÓTICA Y DIFERENTES TEMPERATURAS..... | 145 |
| TABLA 5.3. CONSTANTES Y AJUSTES DE LOS MODELOS DE PAGE Y DIFUSIONAL | 147 |
| TABLA 5.4. DETERMINACIONES DE COLOR EN MORAS FRESCAS Y DESHIDRATADAS | 150 |
| TABLA 5.5. FORMULACIONES PRELIMINARES ENSAYADAS PARA LA OBTENCIÓN DE LÁMINAS DE MORAS (% P/P) | 152 |
| TABLA 5.6. CONSTANTES Y AJUSTES DE LOS MODELOS DE PAGE Y DIFUSIONAL | 155 |
| TABLA 5.7. CONTENIDO DE ANTOCIANINAS EN MORAS FRESCAS, FORMULACIÓN Y LÁMINAS DE MORAS | 156 |

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

La provincia de Misiones posee características y condiciones agroecológicas que son aptas para el cultivo y desarrollo de proyectos productivos hortofrutícolas. Sin embargo, actualmente la producción de frutas en la provincia de Misiones no es explotada en su totalidad, debido a la falta de tecnologías apropiadas y planificaciones socio-económicas que permitan la comercialización no solo de productos frescos sino también de vegetales procesados, con mayor vida útil que ayuden al impulso de la producción e industria regional.

En las últimas décadas se observó una tendencia creciente al consumo de alimentos naturales y de alto valor nutritivo, en vista a una alimentación más saludable y la prevención de enfermedades cada vez más frecuentes en la sociedad (obesidad, enfermedades cardiovasculares, estrés, etc.). En el 2017, el Ministerio de Agroindustria de la Argentina inició una campaña para incentivar el consumo de frutas y verduras, con el objetivo de potenciar las cadenas de valor asociadas y la promoción de productos regionales.

En vistas a la industrialización de alimentos, la fortificación y enriquecimiento de alimentos permite agregarle valor y aportar nutrientes a la dieta. El ácido ascórbico o vitamina C participa en múltiples procesos metabólicos, siendo bien conocidos su ayuda en la absorción del hierro y su propiedad antioxidante. Por otra parte, el consumo de cantidades adecuadas de calcio es fundamental para prevenir la osteoporosis en adultos y para generar una apropiada masa ósea durante la infancia.

El secado, en sus diferentes metodologías, es una operación unitaria ampliamente utilizada para prolongar la vida útil de los vegetales y facilitar su comercialización. Estos procesos provocan diversos cambios en la estructura y composición del tejido vegetal en función de las condiciones de operación y de la naturaleza de la materia prima. Los productos deshidratados están ganando considerable atención debido al estilo de vida actual y, en los últimos años, la presencia de frutas deshidratadas en el mercado ha aumentado considerablemente.

Sin embargo, algunos de los constituyentes de interés de los alimentos son sensibles a la temperatura y vulnerables a cambios químicos, físicos y microbiológicos. Por lo tanto, las etapas de procesamiento como el almacenamiento son claves para garantizar la estabilidad de los productos. La determinación de ácido ascórbico y componentes fenólicos son utilizados generalmente como indicadores de estos cambios debido a su carácter termolábil y fácilmente oxidable.

Los estudios enfocados al procesamiento de frutas permiten obtener una amplia información sobre el comportamiento de dichas materias primas durante diferentes tratamientos, para contribuir a la elaboración de alimentos de calidad, seguros y saludables que conserven, en la medida de lo posible, los atributos nutricionales y sensoriales característicos de los productos frescos.

En el presente trabajo se busca establecer un apropiado procedimiento de fortificación con ácido ascórbico (AA) y calcio (Ca) y de preservación de ananá y mora, para un mejor aprovechamiento de frutas de temporada y originar nuevos productos con valor agregado. De la diversidad de frutas de la región se seleccionaron dos frutas polidrupas de características fisicoquímicas y estructurales muy diferentes: ananá y mora.

El ananá (*Ananá comosus* var. cayena Lisa) es una fruta de forma ovoide, aproximadamente de 20 cm de diámetro y 1,5 a 2 kg de peso. Su pulpa es fibrosa, ácida, de intenso sabor y aroma característicos. La mora negra (*Morus nigra* L.) es una fruta polidrupa que pertenece al grupo de las llamadas berries o también frutos del bosque junto con las frutillas, frambuesas, arándanos y grosellas. Es una fruta de color negro púrpura y mide de 2-3 cm de largo.

Las frutas de ananá cortadas en medias rodajas de 6 mm de espesor, fueron impregnadas con AA y Ca, posteriormente secadas por diferentes métodos: secado con aire caliente, deshidratación osmótica y secado con pulsos de energía de microondas, y combinación de éstos. En fruta de moras se evaluaron estos métodos de deshidratación y finalmente se elaboraron láminas deshidratadas a partir de pulpa de mora. Se analizaron las características de los productos deshidratados a través de propiedades físicas y nutricionales, durante el procesamiento y su posterior almacenamiento a temperatura y humedad controlada.

Objetivo general

En el presente trabajo se pretende estudiar diferentes procesos de preservación de fruta de ananá y mora, para obtener productos deshidratados, fortificados en nutrientes esenciales como vitamina C y calcio, mediante la adecuada combinación de técnicas de impregnación y secado, en un proceso global tecnológico y económicamente viable de ser implementado en la provincia de Misiones.

Objetivos específicos

- Determinar las condiciones más favorables para la deshidratación de ananá y mora aplicando deshidratación osmótica (DO), secado con aire caliente (SAC), y secado con pulsos de energía de microondas (MW) teniendo en cuenta la pérdida de agua y las características del producto final.
- Analizar el incremento de ácido ascórbico y calcio en la matriz vegetal de ananá en función del tiempo de impregnación, empleando soluciones isotónicas e hipertónicas de sacarosa como medio de transporte.
- Desarrollar láminas deshidratadas en base a pulpa de moras con alto contenido de ácido ascórbico y calcio.
- Estudiar el efecto de las condiciones de los procesos de impregnación y secado sobre algunas propiedades que caracterizan la calidad de las frutas: nutricionales (contenido de ácido ascórbico y/o calcio), físicoquímicas (color, humedad, contenido de antocianinas) y mecánicas (textura).
- Describir mediante modelos matemáticos la pérdida de agua durante los procesos de deshidratación, como así también la migración de AA y Ca durante la etapa de impregnación.
- Analizar la degradación de la vitamina C de los productos fortificados envasados en bolsas tipo Ziploc®, durante el almacenamiento en condiciones controladas de humedad y temperatura.

CAPÍTULO 2: ANTECEDENTES

ANTECEDENTES

2.1 Características de las frutas

2.1.1 ANANÁ

El ananá (*Anana comosus* var. *cayena* Lisa), también conocido como piña, es una planta perenne que pertenece a la familia de las bromeliáceas, nativa de América del Sur.

Su clasificación científica es:

- Reino: Plantae
- Subreino: Tracheobionta
- División: Magnoliophyta
- Clase: Liliopsida
- Orden: Poales
- Familia: Bromeliaceae
- Género: *Ananas*
- Especie: *Ananas comosus*
- Variedad: *cayena* Lisa

Esta planta está formada por: un sistema radicular, tallo corto, hojas duras y lanceoladas, pedúnculo, fruto, corona y brotes laterales (Figura 2.1). Los carpelos junto con sus brácteas adheridas a un eje central (corazón) se hacen carnosas y se unen para formar la fruta del ananá. Cada planta produce un único fruto. En la parte superior del fruto se localiza la corona, la cual se desarrolla mientras dura la formación del fruto después entra en estado de letargo.

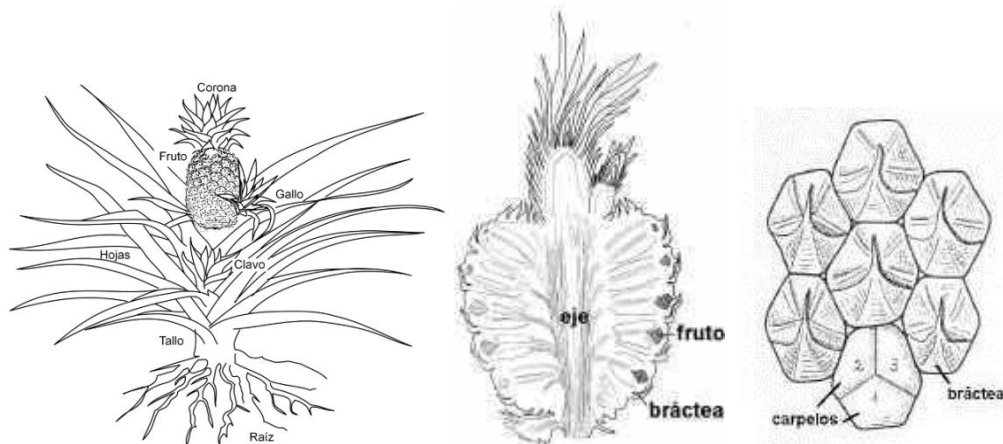


Figura 2.1. Principales partes del ananá

Fuente: lapiniatropical.blogspot.com.ar/2015/04/taxonomia-botanica-y-fisiologia-de-la.html

Cabe destacar que el ananá es un fruto compuesto ya que se forma de la unión de los frutos de varias flores alrededor de un eje carnosos. Posee una pulpa de color amarillo o blanco que se encuentra rodeada de brácteas (escamas) que forman la piel

del fruto, la cual es gruesa y dura; en el extremo superior las brácteas se transforman en una corona de hojas verdes (Figura 2.1).

El fruto comestible tiene una forma ovoide que mide unos 20-30 cm de alto y tiene un diámetro de 15-20 cm aproximadamente. Su peso ronda de 1 a 2 kg.

El ananá está maduro en el momento en el que las puntas de las brácteas cambian del color verde al anaranjado-amarillento. Posee en este estado, un aroma característico que se debe al acetato de etilo, un sabor dulce y ácido.

2.1.1.1 Producción y mercado

El principal productor mundial de ananá es Tailandia, creció durante 50 años al 3,6% anual, su mayor crecimiento se dio en la década del 90 y su producción es consumida totalmente en el país. Brasil, el segundo país productor crece al 4,4% anual y Filipinas al 6,1% anual. Los países del Sudeste Asiático y Latinoamericanos producen para su mercado interno.

La producción de ananá a nivel mundial ocupa el segundo lugar en volumen de cultivo tropical, superado por la banana (*Musa paradisiaca*), y conforma más del 20% de la producción comercial de este tipo de frutos (15,5 millones de toneladas), de la cual el 70% se consume fresca en el país de origen. El resto se destina al enlatado en almíbar, que es la forma más consumida en los países templados.

Los principales productores son Costa Rica, Brasil, Filipinas, Indonesia, India, que concentran el 50% de la producción. Otros productores importantes son Kenia, México y Nigeria, Tailandia y China.

Otros cultivos tropicales que le siguen en producción mundial son el mamón con casi el 13%, y luego la palta con un 5%.

En Argentina, la producción de frutas tropicales es de 2,5% del mercado nacional, insuficiente para cubrir la demanda por lo que debe importar de otros países, en especial de Brasil, Bolivia, Ecuador y Paraguay. Las frutas de mayor producción en Argentina son banana, palta y mango.

La mayor limitante para el progreso exitoso de cultivos tropicales en la Argentina es la existencia de heladas invernales.

El relieve del terreno es el segundo factor en importancia. Un terreno al borde de una pronunciada pendiente facilitará el drenaje hacia abajo del aire frío que se acumula junto al piso en las noches invernales.

La protección térmica, ya sea por tener una cobertura artificial o por copas de los árboles, suele ser una buena manera de proteger a las plantas.

En el mercado de Estados Unidos, la madurez de la fruta de ananá se evalúa en la extensión de la planitud del "ojo" de la fruta (bráctea) y del color de la piel. Se requiere un mínimo de 12% de contenido de sólidos solubles (SS) para la fruta fresca. Se recomienda una proporción SS/TA (acidez titulable) de 0,9 a 1,3 (USDA, 2016) (Figura 2.2).

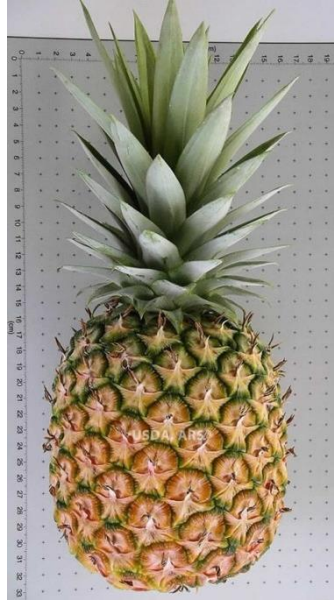


Figura 2.2. *Ananá comosus* var. cayena Lisa en estado de madurez
Fuente: USDA

En la Argentina, las zonas más adecuadas para la implantación de cultivos tropicales son tres: Misiones y el norte de Corrientes; Chaco y Formosa; norte de Salta y al este de Jujuy.

La provincia de Misiones tiene importante trayectoria en la producción de cultivos tropicales, gracias a una arraigada tradición agrícola de sus habitantes rurales y a la existencia de microclimas libres de heladas severas en regiones onduladas próximas a los ríos Paraná y Uruguay y en laderas de la sierra de Misiones.

El consumo anual de ananá en Argentina está en el orden de las 23.000 toneladas. Los mayores cultivos de ananá en la Argentina se encuentran en la provincia de Misiones (Figura 2.3). Siendo los Departamentos de 25 de Mayo y Eldorado las zonas de mayor cultivo. La comercialización se destina un 60% para el mercado de fresco y 40% para industria (Molina, 2016b). Para el año 2015 contaba con 300 hectáreas con producción de unas 12.000 Tn, que son cultivadas por 200 pequeños agricultores, si bien la superficie ha disminuido de las 700 ha que llegó a tener en el año 2011 (explotadas por 500 agricultores), al desistir muchos productores en razón de problemas con las heladas y fitosanitarios.



Figura 2.3. Plantación de ananá en Misiones
Fuente: Barboza, 2011.

En lo industrial, los antecedentes datan de 1983, cuando el Gobierno de la provincia de Misiones construyó y equipó una agroindustria para el envasado de ananá y otros productos regionales. Los productos elaborados en esta planta envasadora se ofrecen al mercado bajo la marcas Viejo Pago y Río Uruguay. La zona de Colonia Aurora, Santa Rita y Alba Posse se vió beneficiada con la reactivación de esta planta envasadora. También se procesa fruta para industrias agroalimentarias como Orieta (Santa Fe) y Arcor (Córdoba) e Inca (Mendoza) (Molina, 2016a).

Se planta entre octubre y diciembre y se cosecha cerca de dos años después, entre diciembre y marzo; el 95 % se destinaba al mercado argentino de fruta fresca y lo que resta se industrializa. Para el 2014 la Argentina producía 12.000 Tn (el 0,02 % de la producción mundial).

2.1.1.2 Composición nutricional

El ananá es una fruta tropical con características sensoriales y nutricionales que hacen atractivo su consumo. Posee 85-90 % de agua. Contiene hidratos de carbono, minerales como hierro, fósforo, calcio, zinc, potasio, magnesio y manganeso. Es rica en vitamina C y vitaminas del grupo B. Tiene alto contenido de fibra. Su composición nutricional se presenta en la tabla 2.1.

Tabla 2.1. Composición centesimal de fruta de ananá

| Composición | Unidad | Valores por 100 g |
|-----------------------------|-----------|------------------------------|
| | | <small>Fuente: USDA.</small> |
| Energía | kcal | 50 - 80 |
| Proteínas | g | 0,54 |
| Grasas | g | 0,10 - 0,20 |
| Carbohidratos | g | 13,12 - 20 |
| Azúcar | g | 10 - 20 |
| Fibra dietaría | g | 1-1,4 |
| Tiamina (vit. B1) | mg | 0,079 (6%) |
| Riboflavina (vit. B2) | mg | 0,032 (2%) |
| Niacina (vit. B3) | mg | 0,5 (3%) |
| Ácido pantoténico (vit. B5) | mg | 0,213 (4%) |
| Vitamina B6 | mg | 0,112 (9%) |
| Ácido fólico (vit. B9) | µg | 18 (5%) |
| Vitamina C | mg | 47,8 (58%) |
| Calcio | mg | 13 (1,3%) |
| Hierro | mg | 0,29 (2%) |
| Magnesio | mg | 12 (3%) |
| Manganeso | mg | 0,927 (46%) |
| Fósforo | mg | 8 (1%) |
| Potasio | mg | 109 (2%) |
| Sodio | mg | 1 (0%) |
| Zinc | mg | 0,12 (1%) |

* Valor entre paréntesis corresponde al % de cobertura recomendado por día.

El ananá es una de las frutas más populares por los beneficios que le atribuyen para la salud. Posee una enzima proteolítica, la bromelina, que ayuda a metabolizar los alimentos durante la digestión. Sugerido como diurético, antiséptico, antiinflamatorio.

2.1.2 MORA

Las frutas de mora comestibles provienen de dos especies diferentes, unas son las llamadas *Moras* provenientes de los morales (árboles), que son las *Morus alba*, *nigra* y *rubra*, y la otra especie son las *Rubus* provenientes de la zarza mora (arbustos).

La mora negra (*Morus nigra*) es una fruta polidrupa que pertenece al grupo de las llamadas bayas, berries o también frutos del bosque junto con las frutillas, frambuesas, arándanos y grosellas. En inglés se lo nombra como mulberry. Es una fruta de color negro púrpura, de 2-3 cm de largo, en racimos de varias drupas pequeñas (Figura 2.4). Es originaria del sudoeste de Asia. En América se encuentra principalmente en Colombia, Ecuador, Guatemala, Honduras, México y Salvador.

Crece en un árbol perteneciente a la familia de las moráceas, se lo llama Morera negra o Moral negro. Es un árbol de relativo pequeño tamaño que puede alcanzar entre 10 y 15 metros de altura, posee una ramificación densa, con ramas largas, divergentes y extendidas y ramillas lisas de coloración pardo-castaña. Tiene hojas grandes de 6 a 12 y hasta 20 cm, rugosas y ovaladas algo acorazonadas.

Su clasificación científica es:

- Reino: Plantae
- Subreino: Tracheobionta
- Filo: Magnoliophyta
- Clase: Magnoliopsida
- Orden: Rosales
- Familia: Moraceae
- Tribu: Moreae
- Género: *Morus* (planta)
- Especie: *Morus nigra* L.



Figura 2.4. Drupas múltiples en mora (*Morus nigra*)

2.1.2.1 Producción y mercado

En los últimos años hubo un crecimiento en el consumo y comercialización de estas frutas en forma principalmente fresca, congelada y desecada.

Los principales destinos de estas frutas son para el sector minorista que lo consume fresco, sector industrial y sector gastronómico, que emplea mayormente el producto congelado. En estos últimos lo usan en la elaboración de confituras, mermeladas, jarabes o bebidas, o como ingredientes en productos lácteos (yogur), barras de cereales, galletitas, entre otras opciones.

Las moras poseen como otros berries, importantes propiedades antioxidantes. Por ello, la agroindustria alimenticia es el mayor demandante. En la mayoría de países europeos, como Turquía y Grecia, las moreras son cultivadas para la producción de fruta, y se consumen frescas, secas o procesadas (Erciqli y Orhan, 2008). Así, se emplea en jugos de frutas, cócteles, mermeladas y dulces.

En algunos países, como India, Japón y China, cultivan el árbol de mora para utilizar su follaje para alimentar a los gusanos de seda (Vijayan et al, 1997). En Argentina, y en particular en la provincia de Misiones, también lo están implementando para este uso. Tanto desde la Universidad como desde el INTA se impulsa la cría de gusanos de seda como un emprendimiento de bajo costo, no contaminante y rentable. Esto podría generar una producción conjunta, por un lado las hojas para alimentar a los de gusanos de seda para producción textil, como para obtener las frutas de moras para alimentación humana, logrando así diversificar la producción regional y favorecer la agricultura familiar.

Se estima que la producción mundial de moras es de alrededor de 60.000 toneladas. Estados Unidos es el principal productor mundial y su producción interna, cercana a las 13.000 toneladas, es aproximadamente el 22% del total mundial. El resto de la producción mundial se encuentra dispersa principalmente en países del Hemisferio Sur entre los que se destacan Nueva Zelanda y Chile. En Europa existen pequeñas áreas de producción en países como España, Inglaterra, Francia, Polonia y Hungría, cuya producción se destina, principalmente, a la exportación, entre los meses de junio y octubre, hacia países de Europa Occidental como Alemania y Holanda (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2000). En el mercado internacional la mora se comercializa como fruta de mesa y como materia prima para uso industrial. En el mercado internacional, cerca del 90% de la producción de mora se destina al procesamiento y sólo el 10% se consume como fruta fresca. Los mercados internacionales demandan, preferiblemente, mora congelada mediante la tecnología IQF (Congelamiento Rápido Individual), debido a que este proceso amplía la vida útil de la fruta que es altamente perecedera, manteniendo una buena presentación en cuanto a tamaño, textura y consistencia y facilitando la utilización por parte de los consumidores.

En Argentina la producción de bayas o frutas finas se engloban como un conjunto por sus similitudes en la producción y comercialización, principalmente por las características de perecibilidad de estos cultivos, donde se requieren de cuidados específicos, es decir que se vinculan al aspecto comercial y no al botánico. Se denomina al grupo de frutas finas como al conjunto de especies frutales que se

caracterizan principalmente por su reducido tamaño, en comparación a las pomáceas o frutas de pepita (manzana, pera, membrillo) o las cítricas.”(IICA, 2003).

En la Argentina la producción de frutas finas (berries y cherries) se ha convertido en una actividad agroindustrial de suma importancia, debido a los variados productos de alta demanda que ofrece, a la generación de empleos y, asimismo, al fuerte impacto económico que esta clase de cultivos produce en las economías regionales donde tienen lugar. La más difundida es la frutilla, y en los últimos años es significativo el crecimiento de los arándanos.

En el caso particular de las moras en Argentina, se comercializa en mayor medida las moras de tipo arbustivas (*Rubus*). Existen más de trescientas especies de moras en el mundo, pero sólo unas nueve tienen actualmente valor comercial.

En Argentina, más del 70% de la superficie cultivada con frambuesas, moras y grosellas se concentra en territorio patagónico (Figura 2.5): Comarca Andina, Valle Inferior del Río Chubut, Alto Valle del Río Negro, Neuquén, Los Antiguos (Santa Cruz). También existen plantaciones de frambuesa y moras en áreas de Tucumán (Tafí Viejo), Santa Fé (Santa Isabel) y norte de Buenos Aires (Arrecifes, Baradero, Zárate, Lima y Tandil). Asimismo, se producen moras en Entre Ríos (Concordia y Nogoyá), aunque la superficie es poco significativa (Foro Federal de Frutas Finas, 2008).

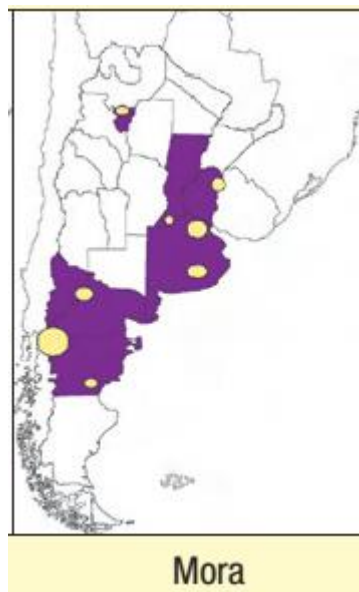


Figura 2.5. Zonas productoras de moras en Argentina

Como se observa en la figura 2.5, Misiones no es considerada como una zona productora de este cultivo. Sin embargo se observa la presencia de morales (del género *Morus nigra*) naturales o silvestres en su mayoría, usualmente en plazas, casas y chacras, es decir sin fines comerciales. Se reportó en los últimos años un crecimiento en la producción de seda en Misiones, que utiliza las hojas de estos árboles como alimentación para los gusanos de seda, siendo una alternativa para la diversificación de los agricultores familiares (INTA).

En la Argentina existen casi 100 hectáreas implantadas con moras, de las cuales un poco más del 30% están ubicadas en las provincias mesopotámicas, principalmente

en Entre Ríos y Corrientes. Luego le siguen en importancia Buenos Aires que exhibe un 28% del total y la Patagonia, con un 22%. En este último caso resaltan El Bolsón, Lago Puelo y Epuyén. Se han sumado a la tendencia productora zonas como Tucumán, Córdoba y Santa Fe.

Las principales desventajas de esta fruta son su corto tiempo de cosecha y ser muy perecederas. Por ello es necesario el desarrollo de técnicas que posibiliten el procesamiento y preservación de estas frutas, dando la oportunidad de surgimiento de nuevos productos que ayuden al impulso de la producción e industria regional.

2.1.2.2 Composición nutricional

Las moras brindan un bajo aporte calórico debido a su escaso contenido en hidratos de carbono. Pero son fuente de minerales y vitaminas, especialmente ricas en vitamina C, vitamina E y vitamina A, así como en potasio y fibra alimentaria. Su composición nutricional se presenta en la tabla 2.2.

Las moras contienen importantes concentraciones de ácido elágico, fólico y antocianinas (las cuales son flavonoides), que les dan su destacado valor como antioxidantes, asociado en diversos estudios a ciertas propiedades consideradas beneficiosas para el organismo, y también como alimento funcional (Aramwit et al., 2010).

Tabla 2.2. Composición centesimal de fruta de mora

| Composición | Unidad | Valores por 100 g |
|-----------------------|--------|-------------------|
| Energía | kcal | 37 |
| Proteínas | g | 0,30 – 1,40 |
| Grasas | g | 0-1 |
| Carbohidratos | g | 6,3 |
| Fibra dietaría | g | 9 |
| Tiamina (vit. B1) | mg | 0,020 |
| Riboflavina (vit. B2) | mg | 0,026 |
| Niacina (vit. B3) | mg | 0,646 |
| Vitamina E | mg | 13,3 |
| Vitamina C | mg | 24 |
| Calcio | mg | 29 |
| Hierro | mg | 18 ^a |
| Magnesio | mg | 20 |
| Manganeso | mg | 1,29-1,6 |
| Fósforo | mg | 58 ^a |
| Potasio | mg | 210 |
| Zinc | mg | 0,27 |

Fuente: ^a Zhumatov, 1996.

Koyuncu (2004) determinó la composición de ácidos orgánicos presentes en moras negras, encontrando un contenido predominante de ácido málico, responsables de su sabor, en un rango de 35,4-198,5 mg/g. El ácido cítrico fue el segundo en abundancia, con un rango de 5,5-23,4 mg/g, seguido de tartárico, oxálico y fumárico con un promedio de 4,16, 0,62 y 0,019, respectivamente.

2.2 Antocianinas

Las antocianinas son los pigmentos hidrosolubles responsables del color rojo, violeta y azul de muchas frutas, vegetales, granos de cereales y flores. Se clasifican dentro del grupo de los compuestos flavonoides, que son polifenoles vegetales ampliamente distribuidos en la naturaleza. La antocianina es un glucósido compuesto por una aglicona llamado antocianidina y un residuo de azúcar unidos a través de un enlace glucosídico, las estructuras más comunes se presentan en la Figura 2.6.

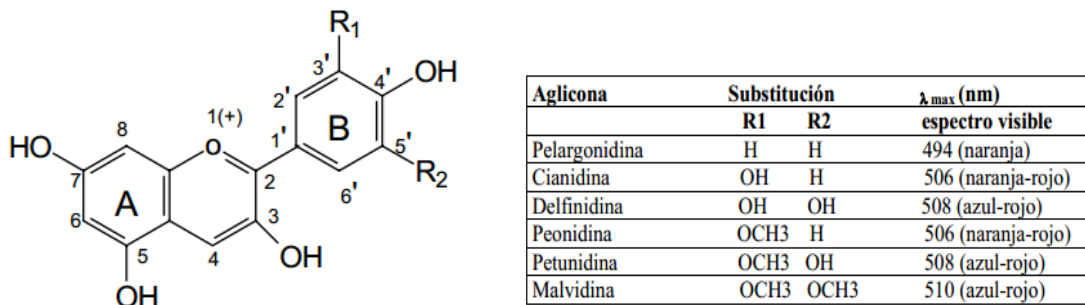


Figura 2.6. Estructura química y sustituyentes de antocianinas más comunes

Estos compuestos presentan gran interés debido a sus beneficios potenciales para la salud como agentes antioxidantes y antiinflamatorios (Smith, 2000, Sánchez-Salcedo et al., 2015). Hassimotto y col. (2007) identificaron y caracterizaron las antocianinas de moras negras de Brasil, encontrando que entre los flavonoides presentes en las moras, los derivados cianidina fueron los componentes principales, y la pelargonidina y la quercetina los menores. Entre las cianidinas se identificaron como mayoritarias la cianidina-3-glucósido y cianidina-3-glucosilramnosa.

Las antocianinas se pueden encontrar en diferentes formas químicas dependiendo del pH del medio. A pH 1, el catión de flavilo (color rojo) es la especie predominante y contribuye a los colores púrpura y rojo (Figura 2.7A). A valores de pH entre 2 y 4, predominan las especies azules quinoidales (Figura 2.7B-D). A valores de pH entre 5 y 6 sólo se pueden observar dos especies incoloras, que son una carbinol pseudo base (Figura 2.7E) y una chalcona (Figura 2.7F), respectivamente. A valores de pH superiores a 7, las antocianinas se degradan dependiendo de sus grupos sustituyentes (Figura 2.7, reacción de degradación).

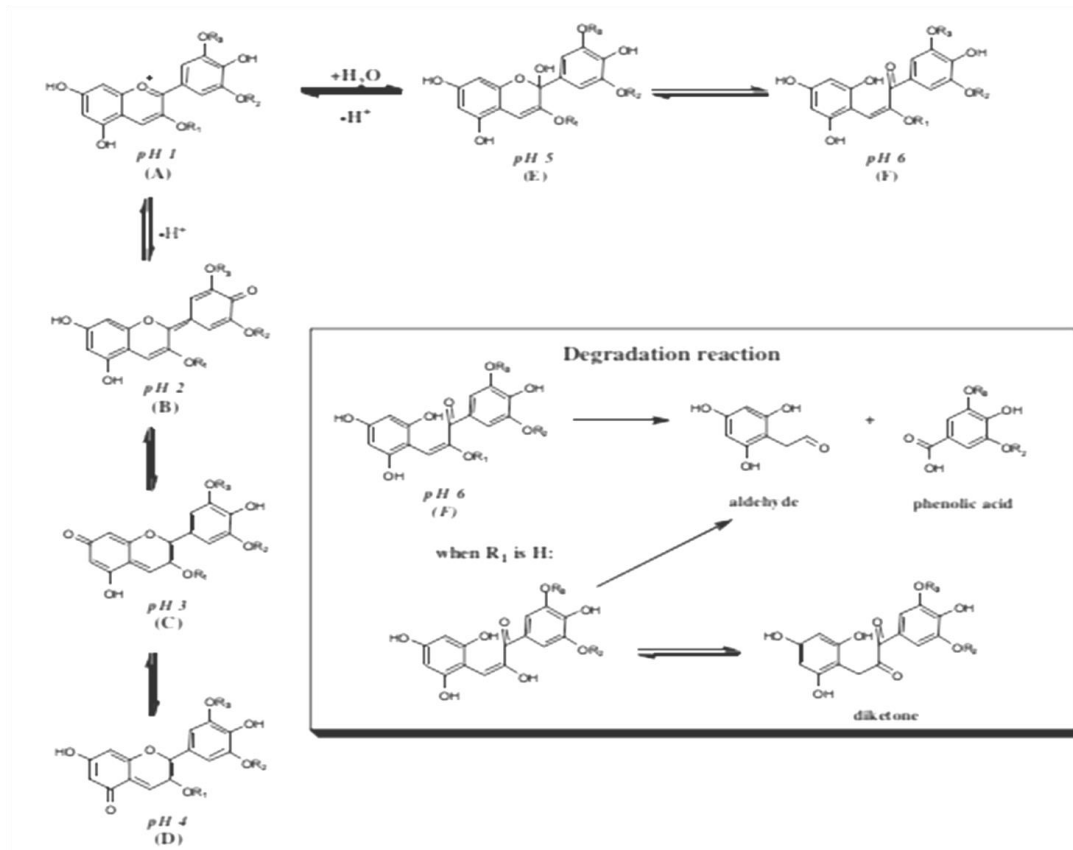


Figura 2.7. Formas químicas de antocianinas dependiendo del pH y reacción de degradación

Las investigaciones sobre la estabilidad de las antocianinas y la variación del color con el pH concluyen que los cambios en el color de estos compuestos son más significativos en la región alcalina debido a su inestabilidad (Cabrita, 2000).

Debido a que las antocianinas son moléculas polares, los métodos más comunes empleados para su extracción son aquellas que usan disolventes polares. Los más utilizados en las extracciones son mezclas acuosas de etanol, metanol o acetona (Suzuki et al., 2002). La extracción con metanol suele ser el disolvente más eficiente, Metivier y col. (1980) encontraron que en las extracciones de antocianinas de pulpa de uva, la extracción con metanol fue 20% más efectiva que con etanol y 73% más efectiva que sólo agua; sin embargo, en la industria alimentaria se prefiere el etanol debido a la toxicidad del metanol.

Además varios autores mencionan buenos resultados en la extracción de antocianinas en moras empleando disolventes polares acidificados y uso de ultrasonido (Sývacý y Sökmen, 2004; Espada-Bellido et al., 2017).

El método usualmente empleado para la determinación de antocianinas es el método de pH Diferencial (AOAC 2005.02, descrito también por Giusti y Wrolstad 1996), que se basa en la modificación del color de las antocianinas en función del pH manifestando diferentes espectros de absorbancia (Figura 2.8). A pH 1 las antocianinas libres se encuentran en sus formas coloreadas (Oxonio) mientras que a pH 4,5 pasan a sus formas no coloreadas (Hemicetal).

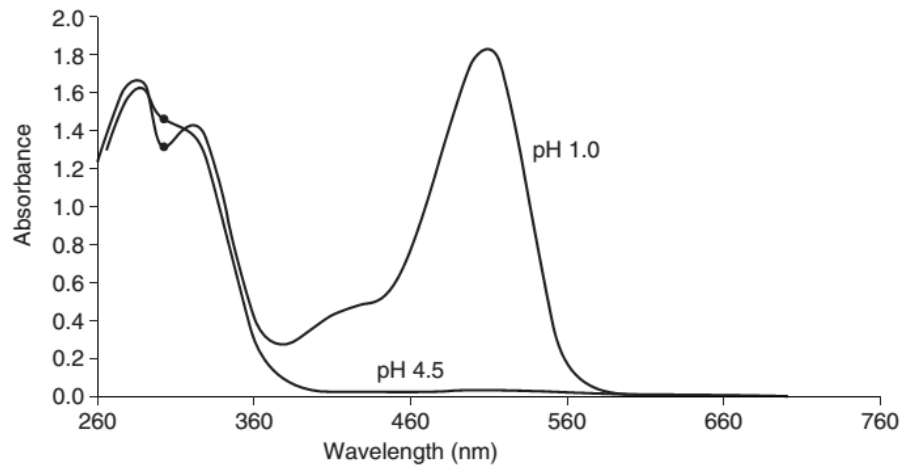


Figura 2.8. Características espectrales de antocianinas en soluciones tampones de pH 1,0 y pH 4,5

2.3 Ácido ascórbico o vitamina C

El ácido ascórbico (AA) es un cristal incoloro, inodoro, sólido, soluble en agua (33g/100 mL), con sabor ácido. Su fórmula química es $C_6H_8O_6$, y su nombre IUPAC es 5-((s)-1,2-dihidroxietil)-3,4-dihidroxifuran-2(5H)-ona. Su peso molecular es de 176,12 g/mol. El enantiómero L (levógiro) de este ácido comúnmente se conoce como vitamina C (Figura 2.9). Es una vitamina hidrosoluble derivada del metabolismo de la glucosa.

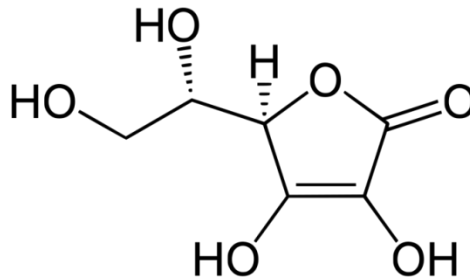


Figura 2.9. Estructura química de la vitamina C

Debido a su estructura química el AA es muy sensible a la degradación. Numerosos factores influyen en los mecanismos degradativos, entre ellos el pH, la concentración de oxígeno, la luz, el calor, las enzimas, los catalizadores metálicos.

La degradación del AA se lleva a cabo mediante procesos oxidativos que resultan de la transferencia de dos electrones. Independientemente de la vía degradativa, la apertura del anillo lactona elimina irreversiblemente la actividad de la vitamina C generando distintos productos: a) intermediarios polimerizados, b) ácidos carboxílicos insaturados de 5-6 carbonos, y c) productos de fragmentación de algunos pocos carbonos (<5 C). Los productos terminales de la degradación del AA adquieren importancia debido a su participación en el pardeamiento no enzimático o Reacción de Maillard (Serra y Cafaro, 2007).

El AA es un reductor que se oxida fácilmente por oxidantes suaves, dando ácido dehidroascórbico (Figura 2.10). Esta propiedad se debe a su estructura enediol y a la posibilidad de ionizar el hidroxilo situado sobre el carbono 3, formando un anión que queda estabilizado por resonancia.

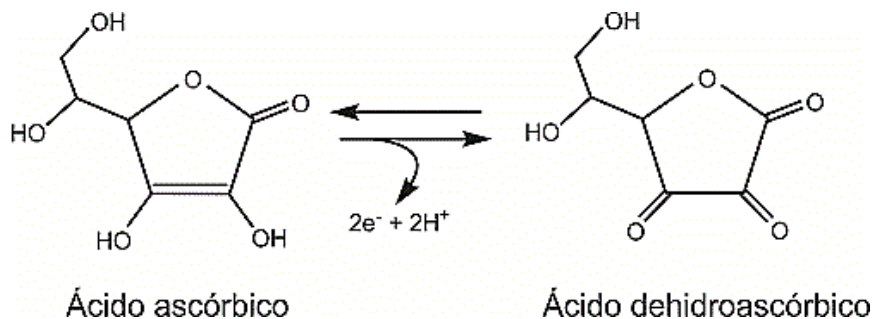


Figura 2.10. Reacción de oxidación del ácido ascórbico

Dado que la vitamina C es la menos tolerante cuando el producto se somete a manipulación y condiciones de almacenamiento adversas, por ello se han propuesto medidas que permitan estabilizarlo o recuperarlo entre las que se puede mencionar la fortificación (Merciali et al., 2012).

2.3.1 Ingesta diaria recomendada de vitamina C

Las recomendaciones diarias de vitamina C para diferentes grupos de la población se presentan en la Tabla 2.3. En abril de 2000, el Instituto de Medicina (IOM) de la Academia Nacional de Ciencias de los EEUU publicó las últimas recomendaciones sobre las ingestas diarias de vitamina C. Estas son de 90 mg/día para un hombre adulto y 75 mg/día para una mujer adulta (lo que supone un aumento sobre las ingestas de 60 mg/día recomendadas anteriormente), en promedio sería 82,5 mg/día para una persona adulta. Las dosis máximas tolerables se sitúan en los 2.000 mg/día.

Tabla 2.3. Ingesta diaria recomendada de vitamina C según grupo etario

| GRUPO ETARIO | RECOMENDACIÓN (mg/día) |
|--|------------------------|
| 1 - 3 años | 15 mg/día |
| 4 - 8 años | 25 mg/día |
| 9 - 13 años | 45 mg/día |
| Adolescentes (varones) de 14 a 18 años de edad | 75 mg/día |
| Adolescentes (niñas) de 14 a 18 años de edad | 65 mg/día |
| Adultos (hombres) | 90 mg/día |
| Adultos (mujeres) | 75 mg/día |
| Mujeres embarazadas | 85 mg/día |
| Mujeres en período de lactancia | 120 mg/día |

2.3.2 Deficiencias

La no ingestión y por consiguiente la ausencia de AA en el organismo conlleva a la aparición de escorbuto ($AA < 2,5$ mg/L). El efecto se hace evidente luego de tres semanas de no ingestión de AA y las manifestaciones clínicas son fatiga, mialgias, artralgias, púrpura vascular (en la piel), cabello rizado "en sacacorchos" y síndrome hemorrágico. En los niños, este síndrome se denomina enfermedad de Moeller-Barlow. También hay gingivo-hemorragias y pérdida de dientes. Los signos biológicos más evidentes son: anemia, hipocolesterolemia, hipoalbuminemia, hiperqueratosis folicular, hemorragias peri-foliculares, equimosis, edema y deficiencia en la cicatrización (Ministerio de Salud, 2007).

A partir de la última encuesta Nacional de Nutrición y Salud (Ministerio de Salud, 2007) realizada en Argentina se dispone de información referida al estado de salud de niños y niñas, y mujeres de todo el país, sus provincias y regiones geográficas.

Para todos los micronutrientes estudiados se tomó como patrón de referencia los valores establecidos por la Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos de América (National Academy of Sciences - NAS).

Con respecto a **niños y niñas de 6 a 23 meses** la ingesta de vitamina C, en general, fue baja. Se reportó que la mediana de ingesta de vitamina C a nivel nacional fue de 14,25 mg. El valor más bajo observado correspondió a la región NEA, con 10,24 mg, y el más alto a Gran Buenos Aires, con 15,26 mg.

Para **niños y niñas de 2 a 5 años** la mediana de la ingesta de vitamina C a nivel nacional fue de 23,31 mg. Los valores regionales variaron entre 17,90 mg (NEA) y 25,99 mg (NOA). Al comparar la ingesta de vitamina C con el requerimiento, el porcentaje de niños y niñas de 2 a 5 años con ingesta inadecuada, a nivel nacional, fue de 40,7%.

La mediana de ingesta de vitamina C en **mujeres de 10 a 49 años** de Argentina fue de 29,18 mg, es decir que un 73,3% de las mujeres presentó ingesta inferior a la IDR. El valor medio más bajo se observó en el NEA (25,35 mg), y el más alto a Patagonia (30,52 mg). En embarazadas la mediana fue de 40,76 mg.

2.4 Calcio

El calcio es un mineral, y es el más abundante en el cuerpo humano. Este contiene alrededor de 850-1,500 g de calcio, un 99 % del mismo se almacena en los huesos y los dientes, y el 1% restante se encuentra en el plasma, sangre, músculo y líquidos intracelulares, participando en la regulación de funciones metabólicas importantes, del cual el 45% está ligado a proteínas principalmente la albúmina, y el 47% está como calcio libre.

Los principales alimentos que aportan calcio en la dieta son los lácteos: leche, yogur y queso son los alimentos fuentes de calcio. Entre los vegetales, las hojas de color verde oscuro poseen también importantes cantidades de calcio, aunque la biodisponibilidad es menor debido a la presencia en los mismos de ácido oxálico. Los pescados que se consumen con espinas, como sardinas, cornalitos, caballa, constituyen otra alternativa para aumentar la ingesta de calcio.

2.4.1 Ingesta diaria recomendada de calcio

La ingesta de alimentos ricos en calcio y/o la suplementación de calcio es fundamental para el mantenimiento de un balance cálcico positivo y en consecuencia para la integridad esquelética (Quesada Gómez, y Sosa Henríquez, 2011).

Los requerimientos diarios para el calcio según grupo etario se presentan en la Tabla 2.4. Se utilizaron como referencia las tablas de ingestas dietéticas de referencia (IDR) elaboradas por el Instituto de Medicina (IOM) de la Academia Nacional de Ciencias de los EEUU (IOM 2011), por ser las más actualizadas y siendo, que en el caso de los micronutrientes, la recomendación no depende principalmente de las características étnicas de la población sino que son universales. Además los datos fueron revisados en lo relativo al impacto de estos nutrientes a nivel óseo y otros aspectos fisiológicos menos estudiados, que recientemente fueron objeto de numerosos artículos. Se confirmó que existe una relación causal entre nutrientes y salud ósea, y se estableció una actualización en las recomendaciones. Para otros efectos reportados, como aquellos relacionados con cáncer, enfermedad cardiovascular, diabetes y desórdenes autoinmunes no se encontró evidencia concluyente, por lo que se consideró insuficiente para establecer requerimientos nutricionales asociados.

Tabla 2.4. Ingesta diaria recomendada de calcio según grupo etario

| GRUPO ETARIO | RECOMENDACIÓN (mg/día) |
|---|------------------------|
| 1 - 3 años | 700 mg/día |
| 4 - 8 años | 1000 mg/día |
| Adolescentes | 1300 mg/día |
| Adultos (hombres y mujeres) de 19 a 50 años | 1000 mg/día |
| Adultos (hombres y mujeres) mayores a 50 años | 1200 mg/día |

2.4.2 Deficiencias

La deficiencia de calcio, puede deberse a la baja ingestión de este mineral a través de la alimentación o problemas de baja absorción (provocada por ciertos medicamentos u otros compuestos). Los problemas más comunes asociados a esta deficiencia son osteoporosis, osteomalacia, raquitismo e hipoparatiroidismo (Ministerio de Salud, 2016).

En Argentina, según la encuesta Nacional de Nutrición y Salud (Ministerio de Salud, 2007) presentó también el panorama de la ingesta del calcio. La evidencia señaló que la ingesta en Argentina se encuentra por debajo de las recomendaciones. Según las encuestas nacionales y estudios locales, la ingesta inadecuada de calcio ronda el 94% de la población, con un consumo medio de 367 mg/día.

En **niños y niñas de 6 a 23 meses** se informó que la mediana de ingesta de calcio en la muestra nacional fue 702 mg. Siendo la región del NEA el valor de mediana más bajo (549 mg) en tanto que el valor más elevado se observó en Cuyo (772 mg). Se observó que a mejor situación socioeconómica, mayor ingesta de calcio

En **niños y niñas de 2 a 5 años** la mediana de la ingesta de calcio para el del país fue 700 mg. Un 45,6% está por debajo del requerimiento. La región que presentó el menor valor fue NOA con 552 mg, en tanto que el valor más elevado se observó en la región Pampeana, de 765 mg.

En **mujeres**, la mediana de ingesta de calcio en la muestra nacional fue 367 mg, con variaciones entre regiones: de 273 mg en el NOA, 298 mg en el NEA y de 406 mg en Gran Buenos Aires. La proporción de mujeres en la muestra nacional con ingesta inferior de calcio a lo recomendado fue de 94,3%.

Del análisis de los datos de ingesta de calcio y su comparación con las recomendaciones nutricionales pudo observarse que una importante proporción de la población no alcanza una ingesta adecuada, sin importar su locación geográfica, situación socioeconómica, o la edad.

Fuentes sintéticas. Fuentes sintéticas de calcio sirven como suplementos dietarios para cubrir la ingesta diaria o se emplean en la formulación de productos alimenticios para aumentar su aporte nutricional o por un beneficio tecnológico. Por ejemplo en productos vegetales se usa para reducir su pardeamiento enzimático y aumentar la resistencia del tejido celular a los ataques bacterianos y fúngicos, dependiendo de la sal utilizada, como consecuencia de la estabilización y/o reforzamiento de las paredes celulares (Grant et al., 1973; Anino et al., 2006).

La selección de la fuente de calcio apropiada para su aplicación en las formulaciones alimenticias se basa en consideraciones de sus propiedades asociadas al producto a elaborar, como solubilidad, contenido de calcio, sabor y biodisponibilidad, como así también su costo.

Entre las sales de calcio más usadas se encuentran: gluconato, lactato, y lactato-gluconato de calcio, carbonato, fosfato, cloruro y citrato de calcio.

El lactato de calcio posee alto grado de solubilidad y buena biodisponibilidad. Además, puede encontrarse con facilidad en el mercado y su precio no es excesivamente elevado.

Se ha empleado en carnes (para su ablandamiento), en frutas y hortalizas, en panificados (como inhibidor del pardeamiento enzimático) y como suplemento de calcio.

El lactato de calcio se ha utilizado también como agente de potenciador de firmeza en fresas (Morris et al., 1985), en papaya (Lovera et al., 2014), y en uvas (Baker, 1993) sin encontrar grandes diferencias de sabor con los productos no tratados.

2.5 Impregnación

Actualmente existe una promoción de dietas saludables, lo que incentiva la inclusión de productos con alto valor nutritivo y un aumento significativo de frutas en la dieta (Ciurzyńska et al., 2016; Villaño et al., 2016). Asimismo los consumidores están cada vez mejor informados acerca de la relación alimentos/salud, y en consecuencia realizan una selección de alimentos seguros y nutritivos. Este cambio de hábitos alimenticios generó un crecimiento en las investigaciones y en el desarrollo de productos innovadores que satisfagan estas demandas (Alzamora et al., 2005; Da Silva et al., 2016; Kowalska et al., 2017).

Surge así la elaboración de productos con alto contenido de nutrientes, destinados a satisfacer necesidades específicas de la población, los cuales poseen efectos beneficiosos sobre el organismo y evitan posibles enfermedades.

Los alimentos fortificados están dentro del grupo de los que se denomina “Alimentos dietéticos” o “Alimentos para regímenes especiales” según su denominación en el Código Alimentario Argentino (CAA, Capítulo XVII). Son alimentos envasados, preparados especialmente, que se diferencian por composición y/o por sus modificaciones físicas, químicas, biológicas o de otra índole, resultantes de su proceso de fabricación o de la adición, sustracción o sustitución de determinadas sustancias componentes.

En este capítulo del Código Alimentario Argentino, Artículo 1363, define como Alimentos Fortificados a:

“aquellos en los cuales la proporción de proteínas y/o aminoácidos y/o vitaminas y/o sustancias minerales y/o ácidos grasos esenciales es superior a la del contenido natural medio del alimento corriente, por haber sido suplementado significativamente”.

Esto quiere decir que los **Alimentos Fortificados** se elaboran especialmente con un contenido mayor de algún nutriente, su fin es satisfacer necesidades alimentarias específicas de determinados grupos de personas sanas (población en general), siendo una elección que toma la industria para agregar valor a sus productos, y no una medida obligatoria.

Estos alimentos para poder ser rotulados como tal, deben cubrir desde un 20% hasta un 50% de los requerimientos diarios recomendados de vitaminas liposolubles (vitaminas A, D, E y K) y minerales; y entre 20 a 100% de los requerimientos diarios recomendados de vitaminas hidrosolubles (como la vitamina C).

Estos valores deben cumplirse en la porción del producto. Una porción es la cantidad media del alimento que debería ser consumida por personas sanas, mayores de 36 meses de edad, en cada ocasión de consumo, con la finalidad de promover una alimentación saludable. Esto es importante aclarar ya que la cobertura de cada nutriente no es lo mismo si se consume 1 kg de un alimento o 100 g del mismo. En particular, se considera que la porción de frutas deshidratadas es de 50 g (Ministerio de Agroindustria, 2016).

Los requisitos que deben cumplir los nutrientes a incorporar son:

a) Ser estables en el alimento en las condiciones habituales de almacenamiento, distribución, expendio y consumo y presentar una adecuada biodisponibilidad.

b) No presentar incompatibilidad con ninguno de los componentes del alimento ni con otro nutriente agregado.

c) Estar presente en niveles tales que no ocasionen una ingesta excesiva por efecto acumulativo a partir de otras fuentes de la dieta.

La fortificación de alimentos se ha impulsado notoriamente desde la década de los años sesenta, como una alternativa atractiva, económicamente favorable y biológicamente efectiva para prevenir y controlar la deficiencia de micronutrientes.

2.5.1 Antecedentes de impregnación en frutas

La técnica de impregnación de matrices vegetales consiste en sumergir el producto en soluciones conteniendo determinados nutrientes o sustancias fisiológicamente activas, obteniéndose así productos con mayor valor nutricional o funcional (Zhao y Xie, 2004; Anino et al., 2006; Moraga et al., 2009; Silva et al., 2014ab).

Diversos trabajos fueron publicados sobre fortificación y enriquecimiento en frutas empleando la técnica de impregnación (Fito et al., 2001; Gras et al., 2003; Alzamora, 2005; Silva et al., 2014), siendo vitamina C, vitamina E, calcio y hierro los nutrientes más empleados.

Los procesos de impregnación pueden realizarse a presión atmosférica o bajo vacío, en la primera se produce una transferencia de los solutos desde la solución hacia la fruta debido al gradiente de potencial químico entre el medio y el tejido celular vegetal a través del mecanismo difusivo en donde la estructura celular de la planta actúa como una membrana semipermeable; en el segundo caso, el aire es extraído de los poros (espacios intercelulares) y la solución de impregnación penetra en los poros de la matriz vegetal por capilaridad cuando la presión atmosférica es restablecida.

Otra variable de estudio es el medio de impregnación. Dado que la técnica emplea los mismos mecanismos de transporte que en la deshidratación osmótica, diversos estudios fueron publicados sobre impregnación durante la deshidratación osmótica de frutas, obteniendo una disminución del contenido de agua del alimento más la incorporación de los solutos del medio, sean los solutos habituales de la solución osmótica (sacarosa, glucosa, etc.) como los nutrientes que se desean impregnar para aumentar el valor nutricional de la fruta. Sin embargo también ha sido estudiado la impregnación en medio isotónico, es decir con un contenido de sólidos solubles igual al del alimento. En vista a esto se detallan en la Tabla 2.5 distintos grados de incorporación de nutrientes dependiendo de la matriz vegetal y de las condiciones de tratamiento de impregnación estudiados.

Tabla 2.5. Referencias de matrices vegetales impregnadas con calcio y/o ácido ascórbico y condiciones experimentales

| <i>Matriz vegetal</i> | <i>Nutriente</i> | <i>Medio de Impregnación</i> | <i>Condiciones experimentales</i> | <i>Referencia</i> |
|-------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|--|-------------------------------|
| Melón | Calcio | Hipertónico | Sn sacarosa (40 y 60 °Brix) + Lactato de Ca: 0,5-1-1,5-2% /30°C/ 1:10/ Agitación. Tiempo de Imp: 2 h | Ferrari y col., 2010 |
| Ananá | Calcio | | Sn sacarosa (40 y 50°Brix) + Ca: 2-4% / 27°C/Agitación/1:14. Tiempo de Imp: 1-2-4-6 h | Silva y col., 2014 a |
| Ananá | Calcio y ácido ascórbico | | Sn sacarosa (40-45-50 °Brix) + Lactato de Ca: 0-4% + AA: 0-2% /27°C/Agitación. | Silva y col., 2014 b |
| Mango | Ácido ascórbico | | Sn sacarosa (40-60°Brix) + AA: 0,5 - 2% / 25°C/Agitación/1:10. Tiempo de Imp: 1-2-3 h | Nagai y col., 2015 |
| Pera | Calcio | | Sn sacarosa (40-50-60°Brix) + Cloruro de Ca: 1-2 %/ 25°C/Sin Agitación /1:3; 1:4; 1:5. Tiempo de Imp: 1-2-3 h | da Costa Ribeiro y col., 2016 |
| Manzana | Calcio | Isotónico | Sn glucosa (10,9°Brix) + Ca: Lactato de Ca + Gluconato de Ca+ Sorbato de potasio + ác.cítrico/ Impreg. a vacío y atmosférica/ Tiempo de Imp.A: 2-6-10-22 h | Anino y col., 2006 |
| Mango | Calcio | | Sn sacarosa (16°Brix)+Ca: 6% Lactato de Ca + 1% Cloruro de Ca/ Impreg. a vacío | Ostos y col., 2012 |
| Papaya | Calcio | | Sn sacarosa + Ca: Lactato de Ca - Gluconato de Ca: 0,5 - 1,5%; pH: 4,2 - 6/Agitación/30-45°C/Tiempo de Imp: 2-4-6-8-24 h | Lovera y col., 2014 |
| Berenjena, hongos y zanahoria | Calcio | | Sn sacarosa + Lactato de Ca: 33 g Sac/20 g LCa / Impreg. a vacío | Gras y col. 2003 |
| Hongo | Ácido ascórbico, calcio y selenio | | Sn ClNa 1% + AA + Cloruro de Ca + Selenio/ Impr. al vacío | Cortés y col., 2007 |
| Papa | Ácido ascórbico | | Sn AA 10% | Hironaka y col., 2011 |
| Pomelo | Calcio | Isotónico e Hipertónico | Sn isotónica 2% Lactato de Ca; Imp. a vacío / Sn sacarosa 55°Brix + 2% Lactato de Ca; Pulso de vacío + 180min DO | Moraga y col., 2009 |

Diferentes fuentes de calcio han sido empleadas para fortificar alimentos, entre las sales más destacadas se encuentran gluconato, lactato, cloruro, lactato-gluconato (Barrera et al., 2004; Anino et al., 2006; Ostos et al., 2012, De Lima et al., 2016). El lactato de calcio presenta buena solubilidad a temperatura ambiente, sabor suavemente dulce y buena biodisponibilidad (Gestner, 2002). Numerosos trabajos fueron publicados sobre el efecto de diferentes sales de calcio sobre las propiedades mecánicas de productos frutihortícolas y sobre la viabilidad de incorporar calcio para mejorar el aporte nutricional (Anino et al., 2006; Cortés Rodríguez et al., 2007; Barrera et al., 2009).

El ácido ascórbico empleado debe ser de grado alimenticio, que además de aumentar el aporte nutricional de un alimento, es utilizado como aditivo, con función antioxidante principalmente (Hironaka et al., 2011; Henríquez et al. 2012).

2.6 Métodos de deshidratación

La deshidratación de los alimentos es el método más antiguo de conservación de los alimentos perecederos que permite prolongar la vida útil de los mismos.

El principal objetivo del secado de productos alimenticios es la reducción del contenido de agua a niveles en los cuales pueda almacenarse por tiempos más prolongados de manera segura, debido principalmente a que esta reducción del contenido de agua permite limitar el crecimiento microbiano y retardar las reacciones químicas de deterioro. Además este proceso brinda una sustancial reducción en la masa y el volumen, minimiza el empaque y brinda mejoras en los costos de almacenamiento y transporte (Okos et al., 1992; Sobukola et al., 2008).

Las frutas deshidratadas tienen un gran potencial de uso como ingredientes en barras de cereales, yogur, confitería, cereales para el desayuno y panadería. También pueden consumirse solos.

Los procesos de secado pueden inducir numerosos cambios físico-químicos (cambios de color y textura, pérdida de nutrientes, etc.) en los tejidos vegetales, lo cual tiene un alto impacto en la calidad del producto final (Bonazzi y Dumoulin, 2011), es por esto que deben estudiarse las condiciones óptimas de secado para cada materia prima en particular.

Existen diferentes métodos para hacerlo, entre los que se estudiarán: deshidratación osmótica (DO), secado con flujo de aire caliente (SAC), y secado con energía de microondas (MW).

2.6.1 Deshidratación osmótica

La Deshidratación Osmótica (DO) es una técnica que permite reducir parcialmente el contenido de agua e incrementar el contenido de sólidos solubles en productos alimenticios ricos en agua, especialmente frutas y vegetales, mediante la inmersión en solución acuosa de alta concentración de soluto (solución hipertónica) (Tortoe, 2010; Nahimana et al., 2011).

El mayor interés en el tratamiento osmótico proviene principalmente de la necesidad de mejorar la calidad de los productos alimenticios. Es un proceso de

deshidratación parcial donde se obtiene un producto de humedad intermedia que por sí solo no constituye un método de preservación que garantice una larga vida de almacenamiento y, por lo tanto debe complementarse con algún otro proceso, como la congelación o el secado.

Se ha considerado como el método para obtener frutas y verduras mínimamente procesadas debido a la mayor semejanza sensorial entre el producto deshidratado y el producto natural. También proporciona ciertos beneficios, como minimizar el daño térmico a los nutrientes, inhibiendo el pardeamiento enzimático y reduciendo costos (Ahmed et al., 2016).

El fenómeno se lleva a cabo debido a diferencia de potenciales entre la solución y el alimento, denominado presión osmótica: el agua se traslada desde la solución menos concentrada en soluto (alimento) hacia la más concentrada (solución hipertónica), de tal manera que las concentraciones tienden a igualarse (Barbosa y Vega, 2000). Es decir, que se da lugar a dos procesos simultáneos: por un lado el movimiento del agua desde el alimento hacia la solución hipertónica; y por el otro la impregnación del sólido con el soluto en cuestión. Puede ocurrir además el egreso de sólidos solubles desde el alimento a la solución (Figura 2.11).

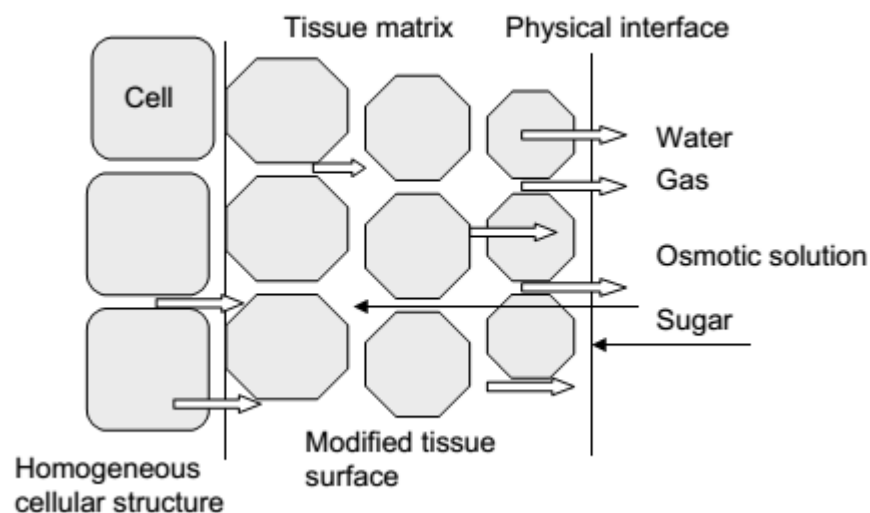


Figura 2.11. Representación esquemática del tejido celular y flujos de transferencia de masa durante la deshidratación osmótica

Fuente: Shi y Xue, 2008

Estos procesos son posibles debido a que las paredes o membranas biológicas de frutas y vegetales son semipermeables, es decir permiten el paso de sustancias como el agua y compuestos hidrosolubles (sales, minerales y vitaminas) pero no el de moléculas más grandes y complejas.

Las pérdidas de agua en los alimentos durante la deshidratación osmótica se pueden dividir en dos períodos (Barbosa-Cánovas y Vega-Mercado, 200): (1) un período de aproximadamente 2 horas con una alta tasa de remoción de agua y (2) un período de 2 a 6 h, con una velocidad descendente de eliminación de agua.

El mecanismo principal a través del cual tiene lugar la transferencia de masa es por difusión debido al gradiente de concentración existente entre el alimento y la solución osmótica. La tasa de difusión del agua puede estimarse mediante la Segunda Ley de Fick (Barbosa-Cánovas y Vega-Mercado, 2000) y depende de la geometría del producto a deshidratar.

El requerimiento energético en la osmodeshidratación es menor que en otros procesos de deshidratación, puesto que no hay cambio en el estado del agua, además a medida que el producto se deshidrata, este se puede impregnar con otras sustancias de interés como; suplementos nutritivos, mejoradores de propiedades sensoriales o conservantes. Uno de los problemas que plantea la osmodeshidratación, es la solución osmótica residual, la cual puede ser utilizada en la fabricación de refrescos o néctares, mermeladas, almíbares, o como agente saborizante u aromatizante (Pereda et al., 1998), o en la reutilización en ciclos sucesivos de deshidratación osmótica (Fernández et al., 2017).

Existen una serie de factores o variables que afectan el proceso de deshidratación osmótica, y por ende al producto. Entre los más importantes se destacan el agente osmótico a emplear y su concentración; temperatura de la solución osmótica, agitación, presión de trabajo, relación masa alimento /masa solución.

2.6.1.1 Antecedentes de Deshidratación Osmótica en ananá

Han sido estudiados distintos aspectos de la deshidratación de ananá, bajo diferentes condiciones experimentales. A modo de síntesis se presenta un historial de los principales estudios en esta temática.

Los primeros estudios datan de 1986 realizados por Tomasicchio y colaboradores, quienes estudiaron la eficiencia de 2 azúcares (sacarosa y glucosa) durante la deshidratación de rodajas de ananá a 2 temperaturas (25 y 40°C), y encontraron que las condiciones de tratamiento con las que se logra la mayor pérdida de peso y de agua fueron con solución de glucosa a 40 °C.

La transferencia de masa durante la deshidratación osmótica con sacarosa de anillos de ananá fue estudiada por Beristain y col. (1990) a temperaturas de 30, 40 y 50 °C, y a concentraciones crecientes del jarabe osmótico: 50, 60 y 70 °Brix, relación fruta/jarabe de ¼ sin agitación. Concluyeron que la ganancia de sacarosa aumentó con el incremento de la concentración del jarabe, y al aumentar la temperatura se logró alcanzar más rápido el equilibrio. Asimismo, la pérdida de agua fue mayor al aumentar la temperatura y la concentración del jarabe. No obstante, manifiesta la dificultad de trabajar a altas concentraciones.

Silveira y col. (1996) estudiaron la deshidratación osmótica de triángulos truncados de ananá de 12 mm de espesor, con relación fruta/jarabe de ¼, concentración del jarabe de 50 a 75 °Brix y temperatura de la solución de 30 a 60 °C. La cinética de deshidratación osmótica indicó que tanto la pérdida de agua como la ganancia de sólidos aumentaron con el aumento de la temperatura y con la concentración del jarabe, teniendo el primero mucho más efecto. El color, el sabor y

la textura del ananá deshidratado osmóticamente indicaron que el producto era organolépticamente aceptable. Similares resultados fueron reportados por Castro y col. (1998) que encontraron que la pérdida de agua en DO de ananá se incrementa con la temperatura y con el tiempo de inmersión.

Rastogi y col. (1998) afirmaron que pretratamiento de alta presión favorece a la transferencia de masa durante la deshidratación osmótica de ananá.

Asimismo, Saputra (2001) concluyó que la concentración del soluto (sacarosa y glucosa) y la temperatura tienen efecto significativo sobre la pérdida de agua y la ganancia de sacarosa durante la deshidratación osmótica de rodajas de ananá y concluyó que la sacarosa tiene mejor capacidad de incrementar la pérdida de agua y reducir la ganancia de soluto que la glucosa.

Waliszewski y col. (2002) observaron que el coeficiente de difusión del agua durante la deshidratación osmótica de ananá en solución de sacarosa no presenta dependencia con las variables del proceso (temperatura, concentración y pH) en el rango estudiado (50, 60, 70°C; 50, 60, 70°Brix; pH: 6, 7, 8).

Lombard y col. (2008) estudiaron la deshidratación osmótica de cilindros de ananá de 2 cm de diámetro y 1 cm de grosor en soluciones de sacarosa de 45, 55 y 65 °Brix a 30, 40 y 50 °C durante 4 h. Los experimentos se llevaron a cabo a presión atmosférica y aplicando un pulso de vacío de 200 mbar durante los primeros 10 min. La pérdida de agua y el aumento de sólidos aumentaron con la temperatura y la concentración de la solución. La temperatura afectó principalmente a la pérdida de agua, mientras que la concentración de la solución afectó principalmente a la ganancia de sólidos. La aplicación de un pulso de vacío facilitó la pérdida de agua, especialmente a la mayor concentración y temperatura.

Suresh Kumar y Devi (2011) estudiaron diferentes condiciones operativas de la deshidratación de ananá: espesores (3, 6, 9 mm); concentraciones de azúcar (50, 60 y 70 °Brix); y temperatura (35, 45 y 55 °C) durante seis horas. Además de incorporar bisulfito de potasio como conservante (KMS) a la solución de sacarosa a 3 concentraciones (0,025%, 0,05%, 0,075%). Las variables respuestas fueron pérdida de agua y ganancia de sacarosa. Obtuvieron que las mismas aumentaron linealmente con el aumento de las concentraciones de azúcar y las temperaturas de la solución. La optimización de los parámetros reveló que el espesor y el porcentaje de KMS tuvieron un efecto mínimo en la transferencia de la masa. La deshidratación osmótica óptima correspondió a 58-63 °Brix, 55 °C de temperatura, 6 mm de espesor de corte y 0,05-0,065 % de conservante KMS.

Zahoor y Khan (2017) evaluaron varios factores de la deshidratación osmótica de ananá. Rodajas de 10 mm de espesor fueron deshidratadas osmóticamente en dos soluciones osmóticas: sacarosa y fructosa a diferentes concentraciones (40, 50 y 60 %), diferentes temperaturas (40, 50 y 60°C) y con relaciones solución: fruta de 1:4, 1:5 y 1:6. Encontrando que la pérdida de agua y la ganancia de solutos aumentan con el aumento de la temperatura y con la concentración de la solución osmótica. La mayor transferencia de masa se observó a una concentración del 60°Brix y una temperatura de 60 °C. Sin embargo, altas temperaturas generan un efecto de cocción que no es recomendable.

2.6.1.2 Antecedentes de Deshidratación Osmótica en mora

No se encontraron antecedentes de deshidratación osmótica de moras negras, del género *Morus*, y escasos trabajos del género *Rubus*.

Giraldo Bedoya y col. (2004) evaluaron la deshidratación osmótica de mora de castilla (*Rubus*) con tres soluciones diferentes: sacarosa, sacarosa invertida y miel de caña, todas a 70 °Brix, a 20°C y relación fruta: Sn de 1:2. Siendo el último el que presentó mayor poder osmótico evaluado a través de la mayor pérdida de peso de la mora.

Giraldo y col. (2005) estudiaron la deshidratación osmótica de mitades de moras (*Rubus*) y uchuvas en soluciones de sacarosa a 25, 35, 45, 55 y 65 °Brix a temperatura ambiente durante 5 h. Los procesos se llevaron a cabo a presión atmosférica, con y sin aplicación de pulso a vacío (117 mm Hg durante 10 minutos al inicio del proceso). En ambos casos se analiza la ganancia de azúcar, pérdida de agua, variación de masa y volumen de las muestras. La cinética de la mora muestra la mejor respuesta en el tratamiento con solución de sacarosa a 65 °Brix y con pulso a vacío, mientras que la cinética de deshidratación en la uchuva presenta una buena respuesta en soluciones a 55 y 65 °Brix y presión atmosférica.

Se hallaron antecedentes de la deshidratación osmótica de frutas finas como frambuesas, arándanos y frutilla.

2.6.2 Secado con aire caliente

El secado con aire caliente (SAC) es una de las técnicas de preservación más ampliamente usada, y consiste en un proceso de remoción de agua por medio de aplicación de aire a una temperatura específica, involucrando así procesos simultáneos de transferencia de calor y de materia. La eliminación de agua en forma de vapor desde la superficie del material depende fundamentalmente de las condiciones externas de temperatura, humedad, velocidad y dirección del flujo de aire caliente, así como de la geometría del sólido.

Sin embargo, la exposición de los alimentos a temperaturas elevadas de secado o periodos largos de secado provoca un aumento en la contracción y la dureza, reducción de la capacidad de rehidratación del producto seco y también causa graves daños a las características organolépticas del producto, como sabor, color y contenido de nutrientes (Zanoni et al., 1998; Vega et al., 2007; Al-Harashseh et al., 2009).

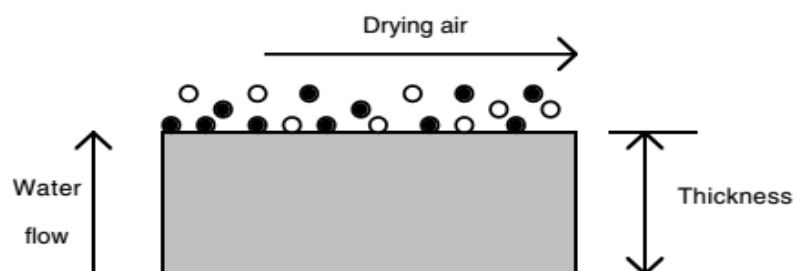


Figura 2.12. Mecanismo de difusión de la superficie y de transporte de vapor de agua

Fuente: Ibarz y Barbosa, 2003.

El mecanismo principal en el secado de sólidos es la difusión del agua en el sólido a través de finas estructuras y capilares, poros y pequeños orificios llenos de vapor de agua. El vapor de agua se difunde hasta que alcanza la superficie, donde pasa a la corriente de aire (Figura 2.12).

Los principales factores operativos que afectan el secado convectivo son la velocidad de circulación del aire, la humedad relativa y la temperatura. A mayor temperatura mayor velocidad de secado, más rápida la pérdida de agua. Sin embargo, puede provocar daño en el tejido. Además el secado al aire convencional puede provocar un oscurecimiento o caramelización del azúcar debido a la exposición prolongada al calor.

Ventajas

- Aumenta la estabilidad microbiológica por disminución de la actividad del agua.
- Se obtienen productos estables a temperatura ambiente.
- Reducción del peso y volumen de los productos. Esto genera disminución de los costos de transporte y almacenamiento.
- Operativamente, es el método más utilizado por su simplicidad y eficiencia.

Desventajas

- Pérdida de ciertos compuestos volátiles propios del alimento.
- El empleo de altas temperaturas de secado provoca un daño en el tejido del alimento, con consecuencias en el color, sabor y textura.
- Mayor consumo energético.

2.6.2.1 Antecedentes de secado con aire caliente en ananá y mora

Ramallo y Mascheroni (2012) estudiaron la calidad de rodajas de ananá secadas mediante esta metodología a tres temperaturas fijas: 45, 60 y 75 °C y con velocidad de aire constante de 1,5 m/s. La calidad de los productos se analizó a través de cambios de color y textura, pérdida de ácido L-ascórbico y la capacidad de rehidratación.

Entre las tecnologías para deshidratar moras se reportó en la literatura el secado convectivo con aire caliente (Doymaz, 2004a), secado solar (Akbulut y Durmus, 2009; Doymaz, 2004b), secado al vacío, secado por pulverización (Fazaeli et al., 2012).

Márquez y col. (2003) trabajaron en la deshidratación con aire caliente de moras (*Rubus*) a tres temperaturas (35, 50 y 65 °C) pero empleando dos tamaños de las mismas: troceadas y licuadas. La pérdida de vitamina C, fenoles totales, capacidad antioxidante y actividad acuosa fueron determinadas. Los resultados mostraron una disminución del contenido de la vitamina C, fenoles totales a medida que se

incrementó la temperatura de deshidratación. Sin embargo, la capacidad antioxidante de la mora no fue afectada severamente por el proceso de deshidratación.

Doymaz (2004a) comparó el secado con flujo transversal de aire caliente a 50°C y velocidad de aire de 1m/s de moras blancas pretratadas con soluciones de oleato de etilo, ácido cítrico y ascórbico, concluyendo que el oleato de etilo reduce en mayor medida el tiempo de secado. De estas conclusiones, Doymaz (2004b) ocupa el oleato de etilo como pretratamiento para secar moras blancas en un secadero solar (26 a 34°C) obteniendo menor tiempo de secado que las no tratadas.

Maskan y Göğüş (1998) estudiaron las características del secado de moras blancas a 60, 70 y 80 °C y velocidad de aire de 1,2 m/s.

2.6.3 Secado por energía de microondas

En la industria de los alimentos se ha comenzado a integrar nuevas tecnologías de conservación como el uso de microondas, debido principalmente a la reducción de los tiempos de proceso por su rápida transferencia de calor y al aumento de la eficiencia energética.

Las microondas son ondas electromagnéticas definidas en el rango de frecuencias situado entre 300 MHz y 30 GHz, que corresponden a longitudes de onda desde 1 mm a 30 cm. Estas, al igual que las ondas de luz, son reflejadas por los objetos metálicos, absorbidos por materiales dieléctricos, o transmitidos a partir de vidrio.

Una de las aplicaciones más conocidas de las microondas es el horno microondas, que usa un magnetrón para producir ondas a frecuencias de aproximadamente 2.450 MHz o 915 MHz.

Estas ondas hacen vibrar las moléculas de agua, lo cual genera calor; como la mayor parte de los alimentos contienen un importante porcentaje de agua, pueden ser fácilmente calentados de esta manera. Por lo tanto, la energía de las microondas no es una forma de calor, sino que el calor es un efecto secundario resultante de la interacción de un campo electromagnético oscilante con un material (Schiffmann, 1995).

La absorción de la energía de microondas en los alimentos implica principalmente dos mecanismos: la interacción iónica y la rotación dipolar.

- El campo eléctrico neto en el horno acelerará la partícula en una dirección y la partícula de carga opuesta en la otra dirección. Si la partícula choca con una partícula adyacente, le impartirá la energía cinética a ella y habrá un movimiento más agitado. Como resultado de la agitación, la temperatura de las partículas aumentará (Figura 2.13a).
- El agua es el principal componente del calentamiento dieléctrico, pues sus características dipolares permiten que sus moléculas sigan el campo eléctrico y oscilan a las mismas frecuencias que el campo, generando calor (Figura 2.13b).

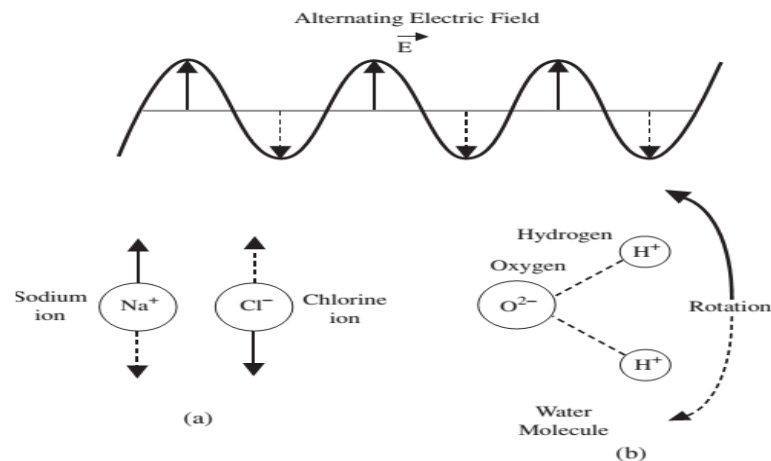


Figura 2.13. Mecanismos de interacción de las microondas con el alimento. a) Iónico, y b) Rotación dipolar

Las limitaciones del uso de microondas vienen dadas por la falta de un método para monitorear o controlar la distribución del campo electromagnético. Por otra parte, una de las desventajas es el calentamiento no homogéneo debido a la distribución espacial no uniforme del campo dentro de la cavidad del horno (Brennan et al., 1990; Zhang et al., 2006). La cual puede generar que la temperatura sea excesiva a lo largo de la esquina o los bordes de los productos alimenticios dando como resultado el quemado y la producción de sabores extraños, especialmente durante las etapas finales de secado (Maskan, 2001; Chandrasekaran et al., 2013). No obstante, esta desventaja disminuye marcadamente si el producto se mantiene en movimiento, asegurando que las diferentes partes del alimento reciban una intensidad promedio del campo magnético durante el secado (Funebo y Ohlsson, 1998).

2.6.3.1 Antecedentes de secado con microondas en frutas

Según Zhang y col. (2010) la aplicación de microondas en el secado de frutas y verduras es una oportunidad única en el desarrollo de tecnologías avanzadas, principalmente por la reducción del tiempo de secado y la calidad de los productos obtenidos.

En cuanto a la aplicación de las microondas en el secado de frutas y vegetales encontramos que se ha usado en secado de manzana (Bilbao-Sainz et al., 2005; Zarein et al., 2015), uvas (Kassem et al., 2011), kiwi (Maskan, 2000a y 2001), hongos (Lombraña et al., 2010), durazno (Wang y Sheng, 2006), banana (Maskan, 2000b; Mousa y Farid, 2002).

El empleo de microondas en el secado de uchuva y mora disminuye el tiempo de proceso, aumentando la calidad y la vida útil de los productos, y la combinación de microondas (bajos niveles de potencia) y secado con aire caliente, es más eficiente que el secado solo ya que las frutas requieren de menor tiempo para alcanzar el equilibrio (Duque et al., 2011), similares conclusiones llega Alibas (2007) para el secado de rodajas de calabaza.

Evin (2011) estudió el secado con microondas de moras blancas a 90, 180, 360, 600 y 800 W en un horno de microondas modificado, a partir de dos pesos iniciales diferentes (50 y 150 g). Los tiempos de secado fueron menores de 1 h y para una dada potencia de microondas el tiempo de secado es mayor cuando mayor es la masa inicial de producto.

Botha y col. (2012 a,b) estudiaron el uso de microondas como complemento de deshidratación osmótica y secado convectivo de ananá.

Zarein y col. (2015) estudiaron la cinética de secado con energía de microondas (2450 MHz) a tres potencias: 200, 400 y 600 W de placas delgadas de manzana. Reportando que los tiempos de secado de las muestras fueron de 25 y 4,25 minutos en las potencias de microondas a 200 y 600 W, respectivamente.

2.6.4 Métodos combinados de deshidratación

La deshidratación de alimentos es uno de los métodos de preservación que se ha utilizado desde tiempos prehistóricos, pero en los últimos años se registra un creciente interés por la aplicación de métodos combinados de secado para suplir las desventajas del secado tradicional, entre las que podemos mencionar las alteraciones en la forma y la textura del producto, cambios de sabor y aroma, modificación del color, degradación de componentes nutricionales, mala capacidad de rehidratación, etc. (Mascheroni, 2002).

Estos métodos combinados, también llamados híbridos, se están volviendo comunes, ya que la tecnología combinada recibe los beneficios de cada proceso individual (Sugar y Kumar, 2010), mejoran la calidad del producto, y en varios casos presenta la ventaja adicional de ahorro de energía (Rahman y Lamb, 1991; Karathanos et al., 1995; Simal et al., 1997; Nicoletti et al., 2001; Vega, 2003, Zielinska y Markowski, 2016).

2.6.4.1 Deshidratación Osmótica + Secado con aire caliente (DO + SAC)

Los beneficios de incorporar a la DO como etapa de procesamiento residen en que la calidad de los productos es superior a los obtenidos cuando no se la incluye como operación previa a otros métodos de deshidratación convencionales, como el secado con aire caliente.

El proceso de DO favorece la preservación de las características organolépticas y nutricionales de las frutas, pudiendo, en algunos casos, realzar atributos de calidad específicos (Torreggiani y Bertolo, 2002). El limitado efecto deshidratante de la DO hace poco práctica su implementación industrial como proceso individual. Por lo tanto, se deben incorporar otros procesos para obtener productos estables con baja actividad de agua, es decir que se deben aplicar “Métodos combinados”.

Al combinar el proceso de DO con el secado con aire caliente (SAC) se pueden obtener productos con las características impartidas por el deshidratado osmótico hasta valores de actividad acuosa que permitan su preservación a temperatura ambiente (Ertekin y Cakaloz, 1996). Diversos autores han estudiado la deshidratación osmótica en frutas y vegetales seguida del secado con aire caliente (Torreggiani, 1993;

Ertekin y Cakaloz, 1996; Nieto et al., 1998; Sereno et al., 2001; Vega, 2003; El-Aouar et al., 2003; Beaudry et al., 2004; García et al., 2007).

Rahman y Lamb (1991) estudiaron la cinética de secado a 60°C de la fruta fresca de ananá y osmóticamente deshidratada aplicando el modelo difusional basado en la segunda Ley de Fick, considerando volumen constante.

Nicoletti y col. (2001) analizaron la cinética de secado de rodajas de ananá fresco y osmóticamente deshidratado bajo diferentes condiciones de temperatura y velocidad del aire. Además, mediante control automático de la temperatura, obtuvieron curvas de secado con condiciones de temperatura constante del sólido y encontraron que manteniendo la temperatura del sólido fija en 35°C y 50°C las curvas de secado son similares a las resultantes del secado con aire a temperatura constante de 50 y 70°C respectivamente.

Diversos estudios demostraron que los azúcares empleados en la solución osmótica preservan las frutas de reacciones de oxidación, y por ende disminuyen las variaciones del color en los procesos combinados de DO+SAC, en ananá (Lombard et al., 2008; Cortellino et al., 2011; Ramallo y Mascheroni, 2012), en pimiento (Vega, 2003) y en melón (Velarde-Parra et al., 2008).

Fernandes y col. (2009) evaluaron los cambios estructurales de la fruta de ananá como resultado de procesos combinados de deshidratación osmótica (0; 35 y 70°Brix) con ultrasonido y posterior secado con aire caliente a 60°C. Ambos pretratamientos afectaron la microestructura del ananá generando aumento en los coeficientes difusivos y en consecuencia menor tiempo de secado.

Cortellino y col. (2011) evaluaron el proceso combinado de DO+SAC en anillos de ananá de 6 mm de espesor para obtener productos secos y crujientes, empleando solución osmótica de sacarosa a 50°Brix y solución de jugo de ananá a la misma concentración, y un posterior secado a 70, 75 y 80°C.

Berbert y col. (2016) compararon la cinética de secado convectivo a 60°C de ananá fresco y ananá osmóticamente deshidratado con azúcar invertido a 3 concentraciones y a 40 y 50 °C. Observaron que el pretratamiento osmótico facilitó la eliminación de agua durante las primeras horas de secado, una tendencia que se revirtió hacia el final del proceso en las muestras osmodeshidratadas a la mayor concentración de solución. El efecto de los pretratamientos osmóticos en la velocidad de secado fue despreciable a 40 °C, pero a 50 °C la velocidad de eliminación de la humedad fue más intensa para las muestras en estado natural y osmodehidratadas a la menor concentración (11°Brix). La difusividad efectiva de la humedad aumentó con la temperatura y la concentración de la solución.

En el caso de secados combinados de moras encontramos a Chottamom y col. (2012), quienes estudiaron el efecto de la deshidratación osmótica de moras enteras seguida de un secado convectivo sobre la cinética de secado, cinética de degradación de antocianinas y compuestos fenólicos y capacidad antioxidante. Las condiciones operativas de la DO fueron tres soluciones osmóticas (sacarosa, maltosa y sorbitol) a 60 °Brix y 35 °C, relación fruta/ jarabe fue de 1/6, durante 6 h. El SAC se llevó a cabo a 60°C y velocidad del aire a 1 m/s.

2.6.4.2 Secado con aire caliente con pulsos de energía de microondas (SAC/MW)

La energía de microondas (MW) ofrece varias ventajas en comparación con los métodos convencionales de secado, como la velocidad de operación, ahorro de energía, control de procesos precisa y más rápida puesta en marcha, y mejor calidad del producto final (Datta et al., 2001; Maskan, 2001; Zang et al., 2006). Los largos tiempos de secado a temperaturas relativamente altas durante el período de velocidad decreciente en los métodos de secado convencionales a menudo conducen a resultados indeseables (Zhang et al., 2006), que pueden ser evitados con la aplicación de microondas (Mousa and Farid, 2002; Vega-Mercado et al., 2001).

Sin embargo, las MW generarían calor en el volumen entero del producto (“efecto de calentamiento”), por lo que el modo intermitente o a potencias variables permitiría mantener la calidad de los productos deshidratados con asistencia de MW (Szadzińska et al., 2016).

Numerosos trabajos se han enfocado en el uso de esta tecnología de esta manera, es decir en la combinación de SAC/MW, logrando la reducción de horas a minutos en tratamientos aplicados sobre diversas matrices vegetales (Sharma y Prasad 2001; Kesbi et al., 2016; Zarein et al., 2015; Monteiro et al., 2016).

Duque y col. (2011) evaluaron la eficiencia de la reducción del agua de frutas de la uchuva y la mora por medio de métodos de secado con aire caliente (SAC) a 35°C, y secado combinado de aire caliente y microondas (SAC/MW) con pulsos de 7 segundos, cada 45 segundos y SAC a 35°C. Obteniendo que el secado con SAC/MW es más eficiente que el SAC, ya que las frutas requieren de menor tiempo para alcanzar el equilibrio.

Por su parte Kassem y col. (2011) realizaron estudios de secado de uvas sin semillas empleando 2 métodos combinados de secado con aire caliente y microondas y secado con aire caliente solamente, concluyendo que el proceso de mayor duración fue el secado con aire caliente, luego el secado convectivo+1 pulso, y el de menor tiempo de secado fue el ensayo que aplica 1 pulso al inicio y continúa el secado convectivo.

Recientemente, Zielinska & Michalska (2016), evaluaron el efecto del secado convectivo con aire caliente, el secado con MW y vacío y su combinación en la cinética de secado, color, polifenoles totales, antocianinas, capacidad antioxidante y textura de arándanos congelados. Las muestras que se deshidrataron combinando el secado convectivo (90°C) con MW y vacío dieron lugar a las concentraciones más altas de antocianinas y capacidades antioxidantes satisfaciendo los requerimientos de aumento de calidad del producto y reducción de tiempos de proceso.

2.6.4.3 Deshidratación osmótica + Secado con aire caliente con pulsos de energía de microondas (DO + SAC/MW)

Algunos autores han combinado estas metodologías con el fin de optimizar los procesos y obtener productos de alta calidad.

Beudry y col. (2004) emplearon arándanos osmodeshidratados para evaluar diferentes métodos de secado para obtener productos de bajo contenido de agua: secado con aire caliente; secado convectivo asistido por microondas; liofilizado; y secado al vacío. No encontraron diferencias significativas en las mediciones de color, pero si una diferencia significativa en los tiempos de secado, donde el tiempo más corto se obtuvo usando secado asistido por microondas, y el tiempo de secado más prolongado se observó solo para el secado con aire caliente. Los arándanos liofilizados tenían el menor valor de dureza y, por lo tanto, serían menos apreciados por los consumidores. Las características de tenacidad de los frutos secos indicaron que el uso de microondas para secar los arándanos dio como resultado un producto con una textura similar a la comercial.

Prothon y col. (2001) estudiaron el efecto de métodos combinados en la calidad de cubos de manzanas: DO+SAC/MW y SAC/MW. La DO se realizó con solución osmótica de sacarosa de 50 °Brix, 22 °C con agitación por 16 h. El secado con aire caliente fue a 50, 60 y 70 °C, con asistencia de microondas. Obteniendo que el pretratamiento osmótico antes del secado al aire asistido por microondas aumentó la calidad global del producto. En cuanto a la velocidad de secado, no hubo diferencias entre los secados a 60 y 70 °C para muestras con y sin DO.

Fumagalli y Silveira (2005) estudiaron la calidad de rodajas de peras deshidratadas por diferentes métodos: DO+SAC; DO+SAC+MW; SAC+MW. La DO fue realizada con solución de sacarosa de 37,5 °Brix y 40 °C durante 6h, secado a 3 niveles de potencia de MW y el SAC a 50 °C durante 3h. Encontrando que los mejores resultados de calidad fueron para las muestras DO+SAC+MW. La deshidratación osmótica y los cortos tiempos de secado proporcionados por el MW fueron importantes para mantener las características de la muestra.

Pereira y col. (2007) estudiaron la influencia de la potencia de microondas, la temperatura y la velocidad del aire en la cinética de secado de bananas osmodeshidratadas. Encontrando que el aumento de la potencia de microondas minimizó el tiempo de secado y mejoró la calidad general del producto final.

El proceso combinado de deshidratación osmótica (DO) y secado con energía de microondas preserva mejor la estructura celular que con la aplicación de MW únicamente (Erle et al., 2001). Asimismo, Venkatachalapathy y Raghavan (1998) registraron que la deshidratación osmótica previa al secado con microondas permite obtener arándanos secos con calidad similar al liofilizado en tiempos más cortos.

En el caso de ananá, fue reportado por Botha y colaboradores (2012 a, b). En sus primeros estudios mencionan que la potencia de microondas y la temperatura del aire son los factores que más influyeron en la calidad del ananá pretratado osmóticamente (solución de 55 °Brix a 40 °C durante 90 min) y secado con aire caliente (30, 40, 50 y 70 °C) asistido con energía de microondas a potencia de emisión constante. Siendo los parámetros más afectados por las condiciones de operación el contenido de agua y el porcentaje de piezas carbonizadas. Posteriormente, estudiaron el secado con aire caliente asistido con microondas en potencia variable sobre ananá osmóticamente tratado, indicando que el uso de un apropiado programa de potencia variable de microondas (pulsos) combinado con bajas temperaturas del aire (30 y 50°C) puede dar lugar a un proceso de secado rápido, sin carbonización del producto. Asimismo mencionan que la aplicación de energía de microondas fue más eficaz en las primeras

horas de procesamiento, pero se lentifica el secado hacia el final probablemente debido a valores muy bajos de humedad de equilibrio.

2.6.5 Láminas de fruta deshidratada (fruit leathers o fruit roll-ups)

Las láminas de frutas son productos deshidratados a base de frutas (una o varias) y otros ingredientes, como ácidos, azúcar y pectina, para producir una lámina fina, seca y flexible (Vijayanand et al., 2000; Man y Sin, 1997; Raab y Oehler, 1976).

Se pueden consumir como snacks (aperitivos) dulces, y se presentan como tiras flexibles estables a temperatura ambiente. Debido a su aspecto nuevo y atractivo, constituyen una forma práctica de aumentar el consumo de frutas, especialmente para niños y jóvenes (Ruiz et al., 2012).

Las principales frutas empleadas en la elaboración de láminas se encuentran: manzana, mamón, guayaba, durazno, mango, naranja, banana, berries (cereza, moras, frambuesas), ciruela, uva, fresa, kiwi, pera, durian y jackfruit (Huang y Hsieh, 2005; Man, 1995; Man y Sin, 1997).

Como aditivos incorporados se usa sacarosa, glucosa, entre otros. Estos azúcares aumentan el dulzor y el contenido de sólidos, que favorecen la gelificación de la mezcla azúcar – ácido – pectina de alto metoxilo. Además, se incorpora generalmente ácido cítrico para disminuir el pH por debajo de 3,5. A pH bajo, los grupos carboxilo de pectinas no se disocian y participan en los enlaces de hidrógeno que soportan la estructura del gel.

Cabe aclarar que las láminas de frutas son productos existentes en el mercado internacional, se los conoce como Fruit leathers, Fruit rolls o Fruit Roll-ups. En la última década ha aumentado su popularidad debido a su practicidad y su asociación a productos más saludables que otros dulces porque se produce a partir de frutas, y suelen agregarse otros aditivos nutritivos para aumentar su valor.

Pero respecto a los estudios científicos se han publicado pocos sobre este tipo producto, la mayoría de ellos utilizando no solo purés de frutas, sino también otros ingredientes (especialmente azúcares) y aditivos.

2.6.5.1 Antecedentes de láminas de frutas

Los datos más antiguos encontrados sobre láminas de frutas son reportes técnicos publicados por la Universidad Estatal de Oregón y el Departamento de Agricultura de Estados Unidos sobre la elaboración casera de láminas de frutas (Raab y Oehler, 1976). Luego, en 1978, Chan y Cavaletto estudiaron sobre las variables de la deshidratación (Temperatura) y la estabilidad de almacenamiento (Temperatura y tiempo) de láminas de papaya.

Trabajos de pulpas de frutas deshidratados fueron publicados por Moyls (1981) quien estudió las condiciones de secado de puré de manzanas, evaluando las

características del equipo, como el espacio entre las bandejas y el régimen de fluido dinámico del aire de secado. Bains y col. (1989) evaluaron el efecto del SAC sobre purés comerciales a altas temperaturas con diversas velocidades de aire y humedades relativas. Encontrando que altas temperaturas (85 y 95 °C), alta velocidad de aire (4,1 m/s) y baja humedad relativa (5%) causa una disminución del tiempo de secado. Sin embargo, las características organolépticas fueron mejores a bajas temperaturas de secado (70 °C).

Algunos investigadores en Malasia informaron sus estudios sobre lámina de frutas centrándose principalmente en la aceptación del consumidor de los productos en base a frutos con alto contenido de semillas y escasa pulpa tales como la fruta de jaca y durian (Man y Sin, 1997; Man et al., 1997; Irwandi et al., 1998).

En los últimos años se han publicado estudios más profundos sobre los efectos del tratamiento sobre la calidad organoléptica y nutricional del producto final (Vijayanand et al., 2000, Ruíz et al., 2012; Torres et al., 2015).

Huang y Hsieh (2005) realizaron láminas de pera a partir de una mezcla de concentrado de pera, pectina, jarabe de maíz y agua, luego lo deshidrataron a 70 °C durante 8 h. Evaluaron los efectos de los ingredientes sobre la textura, el color, el crecimiento microbiano, el contenido de agua, la actividad del agua (a_w), la temperatura de transición vítrea (T_g) y los atributos sensoriales. La pectina fue la variable independiente más significativa que afectó a las propiedades de interés, seguido por el contenido inicial de humedad y el jarabe de maíz.

Dado que las láminas de fruta se componen principalmente de carbohidratos de bajo peso, que son altamente higroscópicos, el producto se vuelve pegajoso cuando se almacena a la humedad relativa ambiente. Valenzuela y Aguilera (2015a) contrarrestan esta dificultad con el agregado de maltodextrina en la formulación de láminas de manzana. La higroscopicidad la evaluaron mediante estudios de sorción y su estado crujiente por propiedades mecánicas y acústicas. El resultado que obtuvieron con la adición de maltodextrina fue la disminución de la higroscopicidad, y a bajos contenidos de humedad las láminas se vuelven crujientes.

Así mismo, estos autores (2015b) continuaron analizando los factores que afectan la pegajosidad de las láminas de manzanas sobre la adherencia: ingredientes, humedad relativa, rugosidad superficial y tiempo de compresión. La rugosidad superficial tuvo el mayor impacto sobre la adherencia, siendo el lado más suave más pegajoso que el lado más duro. La humedad relativa en la que se acondicionaron las láminas y los ingredientes utilizados tuvieron una gran influencia en la fuerza de adhesión. De esta manera, la adherencia se puede modificar (aumentar o disminuir) según los requisitos específicos para usar láminas en diferentes aplicaciones.

2.7 Almacenamiento y evaluación de la calidad

Los productos alimenticios al finalizar su procesamiento son envasados y almacenados. Durante este almacenamiento los productos alimenticios están expuestos a diferentes factores externos que pueden influir sobre la calidad de los mismos. Dentro de los que ejercen mayor influencia se encuentran la temperatura, pH, actividad del agua, humedad relativa, radiación (luz), concentración de gases, potencial redox, presión y presencia de iones (Sagar y Kumar, 2010).

La calidad engloba muchos aspectos del alimento, como sus características físicas, químicas, microbiológicas, sensoriales, nutricionales y referentes a inocuidad. En el instante en que alguno de estos parámetros se considera como inaceptable el producto ha llegado al fin de su vida útil (Singh, 2000).

La pérdida de calidad puede ser descrita mediante modelos matemáticos, cuya importancia radica en que son vías objetivas para medir la calidad y predecir los límites de la vida útil. Estos modelos se fundamentan en que la tasa de pérdida de calidad puede expresarse como un cambio en las concentraciones de componentes deseables o indeseables en función del tiempo. La cinética de la reacción de deterioro del atributo seleccionado va a depender en gran medida de las condiciones ambientales, y no sólo del tiempo de almacenamiento (Labuza, 1982).

En el caso de alimentos enriquecidos o fortificados debemos evaluar como atributo de calidad la concentración de los nutrientes en cuestión durante el almacenamiento en las condiciones ambientales habituales y el tipo de envase. La degradación parcial o total de estos nutrientes puede que no implique un riesgo a la salud del consumidor pero ya no se podría rotular como alimento fortificado.

La vitamina C es utilizada como indicadora de degradación en alimentos, especialmente frutas, durante tratamientos osmóticos, deshidratación y condiciones de almacenamiento, entre otros (Megías-Pérez et al., 2014; Külen et al., 2013; Chebroly et al., 2012). Es por ello que las vías de su reactividad y degradación se han estudiado en diversas matrices de alimentos (Ramallo y Mascheroni, 2012; Bosch et al., 2013). La mayoría de las reacciones de deterioro estudiadas se han caracterizado como de orden aparente 0 ó 1.

Durante el secado de frutas se reportaron trabajos de la pérdida de vitamina C. Wojdyło y col. (2009) en un estudio sobre el secado de la frutillas a 70 °C durante 550 min, informaron una pérdida de vitamina C del 72%, y Frías y col.(2010) obtuvieron resultados similares en zanahorias secadas a 65°C por 6h. En frutas finas (mora, frambuesa, arándanos) también sufren reacciones de deterioro durante el secado, principalmente cambios de color y pérdida de valor nutricional (reacciones de pardeamiento enzimático y no enzimático, destrucción de antocianinas).

Durante el almacenamiento, Peñas y col. (2013) informaron una disminución drástica de la vitamina C en vegetales deshidratados almacenados a temperatura ambiente durante 12 meses.

2.8 Modelado matemático

Los modelos matemáticos constituyen una herramienta para conocer el comportamiento de diversos procesos. Estos pueden explicar los datos experimentales y predecir los resultados en condiciones diferentes (Gómez-Salazar et al., 2015).

2.8.1 Modelo difusional

Para aplicar el modelo difusional suponemos que el alimento está compuesto de una matriz sólida homogénea, y el mecanismo de transferencia de masa podría producirse debido a la difusión de los solutos a través de dicha matriz.

Para resolverla se consideran propiedades constantes, condiciones iniciales uniformes para la humedad. De esta forma pueden ser resueltas analíticamente para

medios semiinfinitos regulares, como placas planas, cilindros infinitos y esferas (Crank, 1975).

La velocidad de difusión del agua y sólidos solubles puede estimarse mediante la segunda ley de Fick (Conway et al., 1983):

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \nabla(D\nabla C)$$

donde C es la concentración de agua o soluto, t es el tiempo y D es el coeficiente de difusión de agua o soluto.

El coeficiente de difusión (D) es una medida de la velocidad a la cual las sustancias difunden unas en otras, depende de las especies moleculares que difunden, del medio en el cual se encuentran, de la matriz alimenticia y de las condiciones experimentales, como la temperatura. Por ejemplo, los valores de coeficientes de difusión de solutos en agua a temperatura ambiente, se extiende de 10^{-9} para pequeñas moléculas a 10^{-11} m²/s para grandes, por ejemplo proteínas.

El uso del modelo difusional se convierte en un procedimiento empírico para ajustar los datos experimentales y la difusividad efectiva en un parámetro cinético fuertemente dependiente de las condiciones experimentales (Salvatori, 1999). Numerosos investigadores han utilizado modelos teóricos basados en la segunda Ley de Fick para describir los fenómenos de transferencia de masa que ocurren durante procesos de deshidratación y de impregnación de alimentos (García et al., 2007; Derossi et al., 2008; Silva et al., 2010; Ruiz-López et. al, 2010; Souraki et al., 2012).

En deshidratación osmótica de ananá encontramos que Beristain y col. (1990) reportaron valores de D de 0,6 a $2,5 \cdot 10^{-9}$ m²/s en solución osmótica de 50 a 70 °Brix y temperatura entre 30 y 50°C; Rastogi y col. (2004) informaron coeficientes de difusión de 1,48 a $3,24 \cdot 10^{-9}$ m²/s en medio hipertónico de 40 a 70 °Brix y temperatura de 30-50°C; Ramallo y Mascheroni (2005) informaron valores de D de 5,80- $17,17 \cdot 10^{-9}$ m²/s en solución osmótica de 60 °Brix a 30, 40 y 50 °C respectivamente. No se hallaron referencias en deshidratación osmótica de moras.

Asimismo existen numerosos antecedentes de aplicación de la Ley de Fick para describir los mecanismos de transferencia de agua en el secado con aire caliente de vegetales (Rahman y Lamb, 1991; Vega, 2007). Se encontró que los valores de difusividad reportados en la literatura se encuentran en el rango de 10^{-9} - 10^{-11} m²/s. En el secado de moras blancas Akpınar (2008) reportó valores de difusividad de $3,56 \cdot 10^{-9}$ m²/s utilizando un secadero solar y de $2,40 \cdot 10^{-9}$ m²/s para el secado en forma directa al sol.

Doymaz (2003) obtuvo valores de difusividad en el rango de $2,3 \cdot 10^{-10}$ m²/s a $1,2 \cdot 10^{-9}$ m²/s, durante el secado convectivo de moras blancas pretratadas con oleato de etilo a 50°C y 80°C, respectivamente. Maskan y Göğüş (1998) reportaron para moras blancas deshidratadas de 60 a 80°C valores de difusividad comprendidos desde $2,32 \cdot 10^{-10}$ hasta $2,76 \cdot 10^{-9}$ m²/s.

Evin (2011) consideró el modelado matemático de la cinética de secado con microondas de una capa delgada de moras blancas ajustando los datos de secado experimental a ocho modelos. La difusividad efectiva de la humedad de la mora

blanca varió de $0,45 \times 10^{-8}$ a $3,25 \times 10^{-8}$ m²/s, aumentando con el aumento del nivel de potencia de microondas.

En lo que se refiere al empleo de la solución analítica de la Segunda Ley de Fick para explicar la transferencia de nutrientes en matrices de alimentos durante la impregnación encontramos a Silva y col. (2014 b) que estudiaron la transferencia de masa durante la deshidratación osmótica de láminas de ananá en solución de sacarosa con lactato de calcio y ácido ascórbico, reportando valores de coeficientes de difusión efectivos de 6,16 y $4,99 \cdot 10^{-10}$; 1,63 y $1,40 \cdot 10^{-10}$; 9,87 y $4,86 \cdot 10^{-10}$ m²/s para el agua, calcio y ácido ascórbico respectivamente en solución osmótica a 40 y 50 °Brix a 27°C.

2.8.2 Modelo empírico: Page

En la búsqueda de explicar los fenómenos de transferencia en forma sencilla y cuando no se cumplen las consideraciones del modelo teórico, se han empleado modelos empíricos como el modelo de Page (1949).

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} = \exp(-kt^N)$$

Donde: M_0 , M y M_e son los valores de humedad inicial ($t=0$), al tiempo t de secado y al tiempo de equilibrio, respectivamente (g de agua/g de materia seca); t es el tiempo de secado (min); k (min⁻¹) y N son coeficientes de la Ec. de Page.

La ventaja de estos modelos es que no tienen en cuenta el tamaño, la forma o la estructura del alimento y permiten alcanzar una solución cuando no se conocen en profundidad los mecanismos de transferencia.

Los modelos empíricos establecen una relación directa entre las variables cinéticas de pérdida de agua, ganancia de sólidos y el tiempo de procesamiento con el objetivo de obtener coeficientes o parámetros que sirven para la interpretación del proceso físico.

El modelo empírico de Page deriva de una relación directa entre la humedad promedio del sólido y el tiempo de secado, además de estar fuertemente relacionados con el modelo difusional de la Segunda Ley de Fick (Akpınar, 2006).

A pesar de que las constantes k y N no tienen significado físico claramente definido, esta ecuación permite describir en forma satisfactoria la curva de secado de alimentos, tal como lo reportan varios autores, Simal y col., (2005) en kiwi, Ceylan y col. (2007) en banana, kiwi y palta, Doymaz (2006, 2007) en tomates y uvas negras, entre otros productos.

Chottamom y col. (2012) emplearon los métodos empíricos de Lewis, Henderson & Pabis, y Page para describir la cinética de secado de moras negras secadas con SAC a 60°C y pretratadas con deshidratación osmótica.

CAPÍTULO 3: MATERIALES Y MÉTODOS

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Materia Prima

3.1.1 ANANÁ

Frutas de ananás *comosus* var. cayena Lisa, en estado de madurez comercial ($12,00 \pm 2,55$ °Brix) fueron obtenidas en mercados de la ciudad de Posadas, Misiones. La fruta lavada con agua clorada fue pelada manualmente con cuchillo de acero inoxidable y luego seccionada en medias rodajas de $6,0 \pm 0,5$ mm de espesor, se quitó el centro con un sacabocado (Fig. 3.1). Se excluyen los extremos de la fruta para minimizar errores debido a la variación del contenido de compuestos naturales en la misma (Ramallo y Mascheroni, 2004).

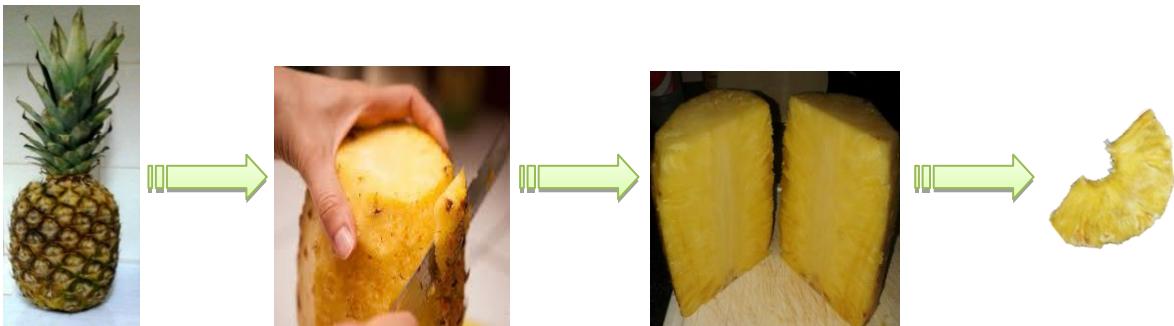


Figura 3.1. Procesamiento de la fruta de ananá

3.1.2 MORA

Se utilizaron moras del género *Morus*, especie *nigra* cosechadas en la Provincia de Misiones (Figura 3.2). Fueron clasificadas según grado de madurez ($14,87 \pm 2,97$ °Brix), color y de tamaño de $2,37 \pm 0,58$ g uniformes. La obtención de las muestras de mora se realizó manualmente, directamente de los árboles. Todos los materiales extraños tales como trozos de ramas y hojas y también las frutas inmaduras y dañadas se retiraron. Antes de procesarlas se cortaron con tijera los pedúnculos que sobresalían en cada fruta. Las muestras no utilizadas en el momento se guardaron en freezer a -18°C , en frascos de vidrio con cierre hermético.



Figura 3.2. Frutas de mora

3.2 Determinaciones analíticas

3.2.1 Contenido de agua

La humedad se cuantificó mediante método gravimétrico, llevando una pequeña porción de muestra a estufa a 70 ± 5 °C hasta pesada constante (aproximadamente 48 horas). Las determinaciones se realizaron por duplicado.

3.2.2 Contenido de sólidos solubles

Los sólidos solubles se determinan con el índice de refracción, el cual se expresa con los grados brix (°Brix). El equipo que se empleó fue un refractómetro digital (Hanna, HI96801, Instruments Inc, Rumania).

3.2.3 Contenido de acidez titulable y pH

El pH se determinó mediante un peachímetro digital con electrodo de vidrio (TPA-III, Altronix, Argentina), y el contenido de ácido cítrico de la fruta, medido como acidez titulable, fue determinado aplicando una adaptación del método AOAC 942.15, por titulación con solución de hidróxido de sodio 0,1 N y los resultados se expresan como porcentaje (%) de ácido cítrico/100 g de fruta, calculados por la Ecuación 3.1. Para tal fin, se pesaron 5 g de fruta, se adicionó 40 mL de agua desmineralizada, se trituró con mixer (Philips HR 1364-600W, Argentina) durante 1 minuto y luego se enrasó a 50 mL con agua desmineralizada. Se midió el pH y luego la acidez titulable.

$$AT \left(\frac{g \text{ ácido cítrico}}{100 g \text{ o mL}} \right) = \frac{mL \text{ NaOH} * N * 0,064 * 100}{mL \text{ o g de muestra}} \quad (3.1)$$

Donde:

N: es la normalidad de la solución de NaOH

0,064: Miliequivalente de ácido cítrico (ácido predominante en frutas)

3.2.4 Isotermas

Para la determinación de las isothermas, las muestras desecadas (por triplicado) se colocaron en frascos cerrados con humedad fijada mediante equilibrio con soluciones saturadas de sales (Tabla 3.1), en el rango de a_w de 0,113 a 0,843, almacenados a temperatura constante de 25 ± 2 °C durante 20 días (Kaymak-Ertekin, 2004).

Tabla 3.1. Sales empleadas para la realización de isotermas

| N° | Sales | a _w (25°C) |
|----|---------------------------------|-----------------------|
| 1 | CLi | 0,113 |
| 2 | MgCl ₂ | 0,327 |
| 3 | MgNO ₃ | 0,528 |
| 4 | NaBr | 0,575 |
| 5 | CoCl ₂ | 0,649 |
| 6 | Na ₂ NO ₃ | 0,742 |
| 7 | NaCl | 0,752 |
| 8 | KCl | 0,843 |

El contenido de agua se cuantificó por método gravimétrico en estufa a 70°C hasta pesada constante (aproximadamente 48 horas).

Los datos experimentales se ajustaron a los modelos matemáticos de Brunauer, Emmett y Teller (BET) (Ecuación 3.2), y el modelo de Guggenheim, Anderson y DeBoer (GAB) (Ecuación 3.3) para describir la variación en el contenido de agua del producto en función del a_w.

$$X = \frac{X_m * C * a_w}{(1 - a_w) * (1 + (C - 1) * a_w)} \quad (3.2)$$

$$X = \frac{X_m * C * K * a_w}{(1 - K * a_w) * (1 - K * a_w + C * K * a_w)} \quad (3.3)$$

En el modelo de GAB, C es la constante de Guggenheim y K una constante correctiva de las propiedades de adsorción de agua más allá de la monocapa, X es el contenido de agua (g/100g la materia seca) y X_m es el contenido de agua en la monocapa (g/100g la materia seca).

3.2.5 Contenido de antocianinas

Extracción: Fruta fresca de mora o lámina de mora (≈5 g) fueron trituradas con un mixer (Philips HR 1364-600W, Argentina) durante 2 minutos, adicionando 50 mL de solución etanol: agua (80:20) acidificada con HCL hasta pH=2. Posteriormente a esta mezcla se le aplicó la técnica de extracción con asistencia de ultrasonido (UAE) (Oancea et al., 2013) empleando un equipo de ultrasonido (Arcano PS-10A 70W, China) con frecuencia de 40 kHz, durante 5 minutos a T (25°C). Luego se centrifugó a 1750 rpm durante 15 minutos. Hasta el momento de la cuantificación las muestras se guardaron a 4°C en frascos color caramelo.

Cuantificación: Para la determinación de Antocianinas Monoméricas Totales se utilizó el Método de pH Diferencial empleando un espectrofotómetro UV-VIS (UV-2550, Shimadzu, Japón). Se prepararon para cada extracción dos diluciones, una con buffer a pH 1 (cloruro de potasio 0,025 M) y otra con buffer a pH 4,5 (acetato de sodio 0,4 M). Para ello, se tomó una alícuota del extracto alcohólico obtenido de 0,5 mL llevada a 6 mL con cada buffer, obteniendo un factor de dilución (FD) de 13. Se

dejaron reposar por 20 minutos y se hizo un barrido espectral desde 350 hasta 750 nm, obteniendo la absorbancia máxima, resultante en 510 nm, y una absorbancia entre 0,2 y 1,2 UA para cumplir con la Ley de Beer. Luego se registraron los valores de absorbancia a las longitudes de onda $\lambda_{\text{máx}}$ y a 700 nm para cada dilución.

Las mediciones se realizaron por duplicado. El contenido de antocianinas se calculó con la Ecuación 3.4 y se expresó como cianidina-3-O-glucósido (Cyn-3-O-G) por ser el principal compuesto en moras.

$$\text{Concentración Antocianinas } \left[\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right] = \frac{A \cdot PM \cdot FD \cdot 1000}{\epsilon \cdot l} \quad (3.4)$$

Donde:

$$A = (A_{510\text{nm}} - A_{700\text{nm}})_{\text{pH } 1} - (A_{510\text{nm}} - A_{700\text{nm}})_{\text{pH } 4,5};$$

PM, es el peso molecular = 449,2 g/mol;

FD, es el factor de dilución establecido experimentalmente (Vol final/Vol M);

ϵ , coeficiente de extinción molar = 26.900 L/cm.mol;

l, longitud de la cubeta = 1 cm.

Y 1000 es el factor de conversión de g a mg.

3.2.6 Contenido de ácido ascórbico

Extracción: Cada muestra previamente pesada (≈ 3 g) fue triturada con un mixer (Philips HR 1364-600W, Argentina) durante 1 minuto, adicionando 50 mL de solución buffer (fosfato de potasio 0,02M, pH=2,5 ajustado con ácido orto-fosfórico). Posteriormente se trató con ultrasonido por 15 minutos, se filtró y se inyectó al cromatógrafo. En el caso de las soluciones de impregnación se tomó 5 mL de la misma y se adicionó 5mL solución buffer, se filtró y se inyectó al cromatógrafo.

Cuantificación: Se utilizó cromatografía líquida (HPLC), con columna Alltima C-18 (250 mm x 4,6 mm, 5 μm de tamaño de partícula) y detector UV ($\lambda = 254$ nm). La fase móvil formada por solución buffer (fosfato de potasio 0,02M, pH=2,5 ajustado con ácido orto-fosfórico): acetonitrilo (98:2 v/v) a una velocidad de flujo de 1,0 mL/min. La identificación y cuantificación se realizó por comparación del tiempo de retención y magnitud del área del pico con un estándar de referencia de ácido L-ascórbico (CAS 50-81-7, MP Biomedicals, USA) en concentración de 0,1 mg/mL.

Los análisis se realizaron por duplicado y los resultados se expresan en mg AA/g fruta fresca, y en mg AA/mL de solución.

3.2.7 Contenido de calcio

Extracción: Se pesaron muestras de fruta fresca y tratadas (≈ 2 g) en cápsulas de porcelana, se calcinaron a 550°C en mufla (ORL, Argentina), hasta la obtención de cenizas blancas (6 horas). Luego estas cenizas fueron disueltas en 10 mL de HCl 2N, calentadas mediante un mechero de Bunsen, manteniendo en ebullición durante 5 minutos. La solución resultante fue filtrada a un matraz de 25 mL, se le adicionaron 2 mL de solución 10% p/p de óxido de lantano (La_2O_3) y 2,2% de cloruro de potasio

(KCl) para evitar interferencias aniónicas durante la lectura, y agua desmineralizada hasta completar el volumen (25 mL).

Cuantificación: El contenido de calcio fue medido por espectrofotometría de absorción atómica (Perkin Elmer 3110, Perkin Elmer Inc., USA) empleando longitud de onda de 422,7 nm, ancho de rendija de 0,7 nm y relación de combustible / oxidante de 2,5/4,5. El equipo se calibró mediante soluciones patrón de carbonato de calcio (CaCO₃) de concentración conocida (2, 4 y 6 ppm). Las determinaciones se realizaron por duplicado. Los resultados se expresan en mg Ca/ g fruta fresca.

3.3 Determinaciones físicas

3.3.1 Propiedades ópticas

La lectura instrumental del color se realizó con un colorímetro portátil MiniScan (EZ 4500L HunterLab, USA). Se midió el color en el sistema CIELAB, en fruta fresca (ananá y mora), fruta impregnada (ananá) y deshidratada (ananá y mora). Las mediciones se realizaron por triplicado. En el sistema CIE LAB se define un espacio de coordenadas rectangulares (L*a*b*) y otro en coordenadas cilíndricas (Croma, Hue) (Figura 3.3). L* indica luminosidad (0=negro a 100=blanco); a* y b* cromaticidad. Donde +a*=rojo, -a*=verde, +b*=amarillo y -b*=azul. Y coordenadas cilíndricas: Croma, que indica la saturación, intensidad o pureza de la tonalidad del color que va desde el cero en el centro y aumenta de acuerdo con la distancia respecto al centro. El ángulo Hue representa el tono, y se define comenzando en el eje +a* y se expresa en grados: 0° sería +a* (rojo), 90° sería +b*(amarillo), 180° sería -a* (verde) y 270° sería -b* (azul) Otro parámetro que se emplea para el análisis de color fue la variación de color total ΔE que se utiliza para saber cuánta diferencia hay entre los colores de 2 muestras.

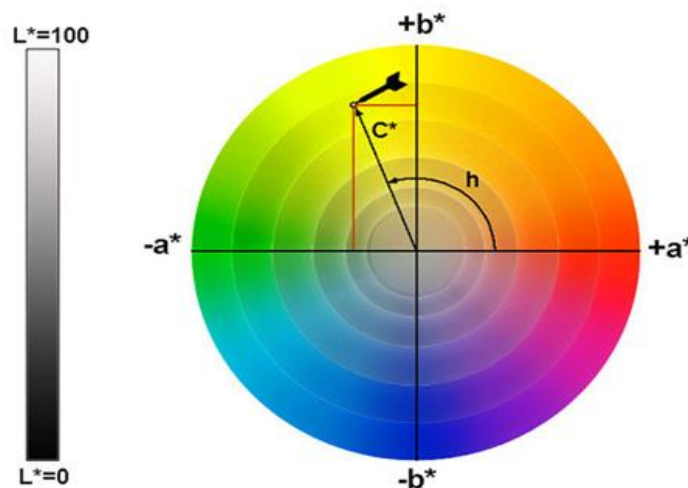


Figura 3.3. Círculo de cromaticidad en Sistema CIEL*a*b*

Las ecuaciones utilizadas para determinar el Croma, Hue y ΔE se describen en las ecuaciones 3.5.1, 3.5.2, 3.6 y 3.7 respectivamente.

$$Hue = \tan^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right), \text{ cuando } a^* > 0 \quad (3.5.1)$$

$$Hue = 180^\circ + \tan^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right), \text{ cuando } a^* < 0 \quad (3.5.2)$$

$$Croma = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (3.6)$$

$$\Delta E = \sqrt{(L_0 - L^*)^2 + (a_0 - a^*)^2 + (b_0 - b^*)^2} \quad (3.7)$$

Donde L_0 , a_0 y b_0 corresponden a las coordenadas de color de la fruta fresca (o control) a tiempo 0, y, L^* , a^* y b^* a las coordenadas de la muestras medidas a tiempo t.

3.3.2 Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas fueron evaluadas con un texturómetro universal (TA.XT2 Plus Texture Analyser, Stable Micro Systems, USA), con una celda de carga de 50 N. Se realizaron ensayos de compresión uniaxial a las muestras de ananá en forma de discos de 25 mm de diámetro y espesor variable según el tratamiento, mediante una sonda de acero inoxidable, de sección circular, de 75 mm de diámetro, a velocidad constante de 0,5 mm/s, hasta un nivel de deformación del 70% del espesor de la muestra (Figura 3.4).

Se registraron los datos de fuerza $F(t)$ (N) y distancia $d(t)$ (mm) de nueve replicas por tratamiento. Se calcularon los parámetros esfuerzo (σ), deformación (ε) y Módulo de elasticidad (E) según las ecuaciones 3.8, 3.9 y 3.10 respectivamente. El módulo de elasticidad fue estimado como la pendiente de la parte inicial de la curva de tensión-deformación hasta un 6% de compresión (Ramallo y Mascheroni 2012, Ribeiro et al., 2003). El esfuerzo de ruptura (σ_{rup}) se determinó en el punto máximo de la curva tensión-deformación.

$$\sigma_{rup} = \frac{F_{rup} * H_{rup}}{H_0 * A_0} \quad (3.8)$$

$$\varepsilon_{rup} = -\ln\left(\frac{H_{rup}}{H_0}\right) \quad (3.9)$$

$$E = \left(\frac{d\sigma}{d\varepsilon}\right)_{\varepsilon \rightarrow 0} \quad (3.10)$$

Donde A_0 (m^2) es el área inicial de la muestra, H_0 (mm) es la altura de la muestra al comienzo de la prueba de compresión y H_{rup} (mm) es la altura en el momento de la ruptura.

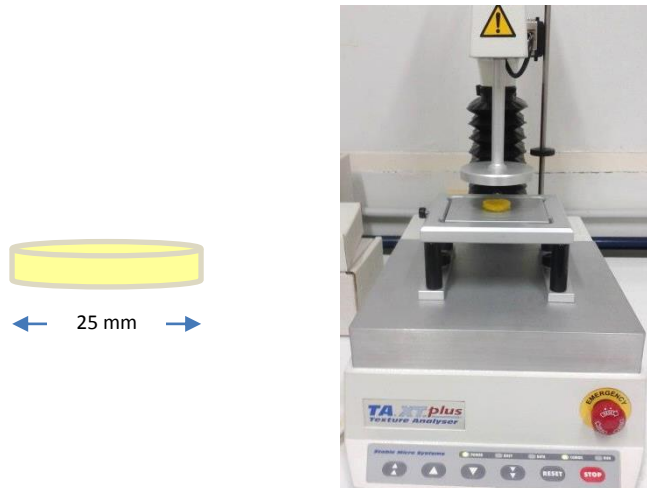


Figura 3.4. Muestra de ananá seccionada para la evaluación de propiedades mecánicas y texturómetro universal TA.XT2

3.3.3 Microestructura

La microestructura de las muestras de ananá fresco y luego de los tratamientos de impregnación y secado fue observada a través de un microscopio electrónico de barrido ambiental (ESEM, Modelo FEI ESEM Quanta 200, USA). Las muestras cortadas con bisturí en forma de cubos de 5 mm³ fueron fijadas en solución de formaldehído-ácido acético-alcohol (FAA) durante 24 horas y luego deshidratadas por inmersión en soluciones de alcohol etílico de concentración ascendente (30, 50, 60, 70, 85 y 95%) durante 15 minutos en cada solución, y durante 20 minutos en alcohol etílico absoluto (Cicarelli, Argentina).

Luego las muestras fueron secadas en un equipo de secado por punto crítico para evitar el colapso o deformación de la estructura original, se colocaron en una cámara presurizada a 10 °C, hasta que el alcohol fue reemplazado por dióxido de carbono líquido. Y posteriormente se recubrieron con una capa de oro para ser conductoras. Las condiciones empleadas en el microscopio fueron de alto vacío, 15kV.

Además se realizó un microanálisis del calcio a través del sistema dispersivo en energías de rayos X (EDS) (Modelo EDAX SDD Apollo 40) acoplado al SEM.

3.4 Proceso de impregnación con ácido ascórbico y calcio

3.4.1 Materiales y soluciones

Las muestras de ananá fueron colocadas en vasos de precipitado conteniendo solución de impregnación en una relación masa fruta /masa de solución de 1/4. Se mantuvieron en baño termostático (Dubnoff, Vicking, Argentina), a temperatura (40 °C) y agitación (70 opm) constantes. A tiempos preestablecidos (1, 2, 3, 6 y 24 horas) se extrajeron muestras, se las enjuagó con agua desmineralizada y el exceso de agua superficial se eliminó con papel tissue.

Las condiciones de impregnación en solución isotónica de sacarosa, y solución hipertónica de sacarosa, con y sin adición de ácido ascórbico (Parafarm, Argentina-

Grado Alimenticio) y lactato de calcio pentahidratado (Parafarm, Argentina-Grado Alimenticio) se presentan en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2. Condiciones y nomenclatura de los tratamientos de impregnación ensayados en fruta de ananá

| Tratamiento | Concentración de sacarosa (°Brix) | Concentración de calcio (% p/p) | Concentración de ácido ascórbico (% p/p) |
|--------------------|-----------------------------------|---------------------------------|--|
| TI | ≈12* | 0 | 0 |
| TI _{CaAA} | ≈12* | 2 | 1 |
| TH | 50 | 0 | 0 |
| TH _{CaAA} | 50 | 2 | 1 |

* Concentración definida según °Brix de cada fruta

3.4.2 Transferencia de masa durante la impregnación

Los parámetros de transferencia de masa (ΔM), agua (ΔW), calcio (ΔCa), ácido ascórbico (ΔAA) y sacarosa (ΔS) se calcularon con las ecuaciones 3.11, 3.12, 3.13, 3.14 y 3.15 respectivamente (Mauro et al., 2016).

$$\Delta M (\%) = \frac{M_t - M_0}{M_0} * 100 \quad (3.11)$$

$$\Delta W (\%) = \frac{M_t * W_t - M_0 * W_0}{M_0} * 100 \quad (3.12)$$

$$\Delta Ca (\%) = \frac{Ca_t * M_t - Ca_0 * M_0}{M_0} * 100 \quad (3.13)$$

$$\Delta AA (\%) = \frac{AA_t * M_t - AA_0 * M_0}{M_0} * 100 \quad (3.14)$$

$$\Delta S (\%) = \Delta M - \Delta W - \Delta Ca - \Delta AA \quad (3.15)$$

Donde: M es la masa de la fruta (g); W, Ca y AA son los contenidos de agua, calcio y ácido ascórbico (g/ g de fruta). El subíndice 0 corresponden a tiempo inicial, y t corresponde a un determinado tiempo t.

3.5 Procesos de deshidratación

Uno de los objetivos de esta tesis fue evaluar diferentes métodos de secado, en forma individual o combinados, de fruta ananá y de mora.

Los métodos de deshidratación estudiados fueron:

- Deshidratación osmótica (DO)
- Secado con aire caliente (SAC)
- Secado con pulsos de energía de microondas (MW)

3.5.1 Deshidratación Osmótica

3.5.1.1 Ananá

El proceso de deshidratación osmótica (DO) se realizó en solución de sacarosa a diferentes concentraciones (35-50-65°Brix), a temperatura (40°C) y agitación constante (70 opm) en shaker termostatizado (Dubnoff, Vicking, Argentina) (Figura 3.5.a). La relación peso de las muestra / volumen de solución osmótica fue de 1/4. Una vez retiradas las muestras de la solución osmótica, se las enjuagó con agua desmineralizada y el exceso de agua superficial se eliminó con papel tissue.

3.5.1.2 Mora

Para evaluar la deshidratación osmótica de moras se empleó la misma metodología y equipamiento descritos en el párrafo anterior, utilizando a tal fin solución osmótica de sacarosa a concentración constante de 40, 50 y 60 °Brix. Los ensayos se efectuaron a tres temperaturas diferentes: 20, 30 y 40°C, durante 8h, con agitación constante (70 opm).

3.5.1.3 Transferencia de masa durante la deshidratación osmótica

Para determinar la pérdida de agua (ΔW), la ganancia de solutos (ΔS) y la pérdida de peso (ΔM) en función del tiempo t se utilizaron las 3.16, 3.17 y 3.18 respectivamente.

$$\Delta M (\%) = \frac{M_t - M_0}{M_0} * 100 \quad (3.16)$$

$$\Delta W (\%) = \frac{M_t * W_t - M_0 * W_0}{M_0} * 100 \quad (3.17)$$

$$\Delta S (\%) = \Delta M - \Delta W \quad (3.18)$$

3.5.2 Secado con aire caliente (SAC)

3.5.2.1 Ananá

El secado convectivo (SAC) se llevó a cabo en secadero con flujo de aire axial a las muestras (Dalvo Instrumentos, modelo S343, Argentina) a temperatura (60°C) y velocidad de aire (1 m/s) constantes. Las muestras de ananá se colocaron en bandejas plásticas evitando el contacto entre ellas. (Figura 3.5.b). Se registró la masa individual de cada muestra de fruta en intervalos de tiempo variable: cada 30 minutos hasta las 2 horas y luego cada 60 min. Asimismo se evaluó la humedad media de la fruta fresca y al final de los procesos de secado. Las mediciones se realizaron por triplicado.

3.5.2.2 Mora

El proceso de secado se realizó en el mismo secadero convectivo descrito en el párrafo anterior, con flujo de aire axial a temperatura (45, 60 y 75°C) y velocidad de aire (1 m/s) constantes.

Las muestras de mora (10 frutas, peso promedio de 20,43±2,80 g) fueron colocadas en canastas de malla perforada. Se registró el peso de cada canasta cada 10 minutos en la primer hora, cada 15 minutos las dos horas siguientes y cada 30 minutos las últimas dos horas. Los ensayos se realizaron por triplicado.

3.5.3 Secado con pulsos de energía de microondas (MW)

Se aplicaron pulsos de energías de microondas (MW) a la potencia máxima de salida del equipo (Whirlpool, WMD20SB, Argentina) de 800 W y 2450 MHz, los intervalos de aplicación estudiados fueron de 10 y 20 segundos (amplitud del pulso). La frecuencia de la aplicación del pulso de energía de microondas se definió como la inversa del tiempo entre dos repeticiones (período), de acuerdo a la Ecuación 3.19. Se aplicaron períodos de 30 y 60 min.

$$f=1/T \quad (3.19)$$

El equipo empleado se presenta en la Figura 3.5.c, y la ubicación de las muestras en el plato de microondas se muestra en la figura 3.6.

Se registró el peso de cada muestra antes y al finalizar la aplicación de cada pulso.



Figura 3.5. Equipamiento empleado para la deshidratación de las frutas: deshidratación osmótica (a), secado convectivo (b), y secado con energía de MW (c)



Figura 3.6. Disposición de las medias rodajas de ananá en el plato del microondas

3.5.4 Métodos combinados de deshidratación

Para evaluar los métodos combinados se llevaron a cabo nueve procesos de deshidratación con fruta de ananá:

- **E1: SAC.** Secado convectivo a 60°C, durante 4 h. (Control)
- **E2: SAC30/MW10.** 30 min de SAC + 10 s de energía de microondas, de modo iterativo durante 4 h.
- **E3: SAC60/MW10.** 60 min de SAC + 10 s de energía de microondas, de modo iterativo durante 4 h.
- **E4: SAC30/MW20.** 30 min de SAC + 20 s de energía de microondas, de modo iterativo durante 4 h.
- **E5: SAC60/MW20.** 60 min de SAC + 20 s de energía de microondas, de modo iterativo durante 4 h.
- **E6: SAC/MW20/2.** SAC + 20 s de energía de microondas a las 3 h y 3,5 h.
- **E7: DO+SAC.** 5 h de deshidratación osmótica + 4 h de SAC.
- **E8: DO+SAC30/MW20.** 5 h de deshidratación osmótica y luego secado combinando 30 min de SAC + 20 s de energía de microondas, de modo iterativo durante 4 h.

- **E9: DO+SAC60/MW20.** 5 h de deshidratación osmótica y luego secado combinando 60 min de SAC + 20 s de energía de microondas, de modo iterativo por 4 h.

Los ensayos se realizaron por triplicado.

3.5.5 Láminas comestibles de moras fortificadas con ácido ascórbico y calcio

3.5.5.1 Formulación

Las frutas de moras seleccionadas y libres de pedúnculos fueron trituradas utilizando un mixer (Philips HR 1364-600W, Argentina) hasta obtener un puré homogéneo. La formulación fue compuesta por los siguientes ingredientes con sus respectivas proporciones (% p/p): puré de mora (75,23); sacarosa (11,28); glucosa (9,31); pectina (0,75); ácido ascórbico (0,08); lactato de calcio (2,26). Además se adicionó solución de ácido cítrico hasta alcanzar un pH de 3,6. La concentración de la solución de ácido cítrico fue de 0,302 M, equivalente a la del jugo de limón. Esta formulación fue elegida por sus características organolépticas frente a otras formulaciones ensayadas (mostradas en Capítulo 5).

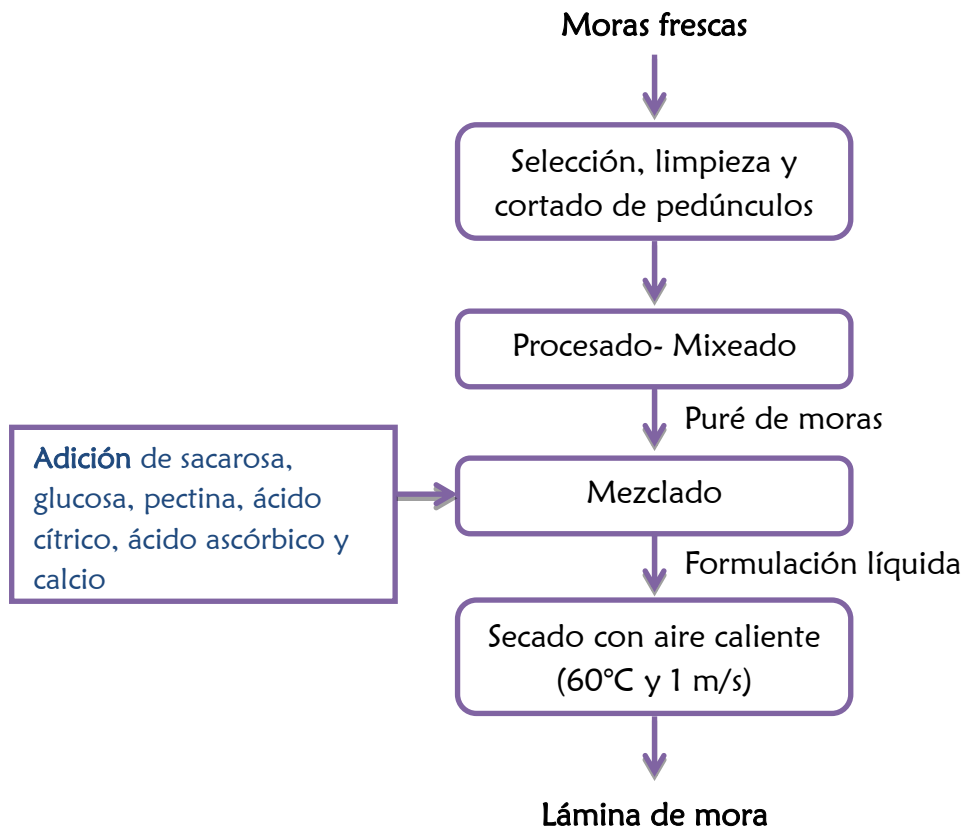
3.5.5.2 Secado

Las formulaciones líquidas se colocaron en bandejas acrílicas rectangulares de 13x25x1 cm³, lubricadas con una fina capa de antiadherente para facilitar el desmolde.

El secado de las láminas de moras se efectuó por método de secado convectivo (SAC) llevado a cabo en el mismo secadero con flujo de aire axial a las muestras a temperatura (60°C) y velocidad de aire (1 m/s) constantes.

Se registró la masa de cada muestra en intervalos de tiempo variable: cada 30 minutos hasta las 2 horas y luego cada 60 min. Asimismo se evaluó la humedad media de la fruta fresca, de la formulación y al final del proceso de secado. Las mediciones se realizaron por triplicado.

El diagrama de flujo permite describir las etapas de elaboración y procesamiento de secado de las láminas de mora.



3.6 Caracterización sensorial de fruta de ananá deshidratado

La evaluación sensorial es una disciplina científica utilizada para evocar, medir, analizar e interpretar las reacciones a aquellas características de alimentos y otras sustancias, que son percibidas por los sentidos de la vista, olfato, gusto, tacto y oído (IFT, 1981).

Se realizó la caracterización sensorial de las muestras obtenidas por métodos combinados de deshidratación: SAC; DO+SAC; SAC+MW. Esta evaluación sensorial fue realizada únicamente con muestras de ananá ya que los resultados de mora deshidratada no fueron satisfactorios y se procedió a ensayar un modo alternativo de preservación del puré de moras: láminas comestibles de fruta.

3.6.1 Análisis Descriptivo

La evaluación sensorial de las muestras de ananá deshidratado con distintos procesos de deshidratación se realizó a través de un “análisis descriptivo cuantitativo” (QDA) (Stone et al., 1974). A tal fin se entrenó un panel de 13 miembros (6 hombres y 7 mujeres), docentes y alumnos de la Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales de la Universidad Nacional de Misiones, con edades comprendidas entre 24 y 60 años, todos ellos consumidores habituales de fruta de ananá.

Los ensayos se realizaron en un laboratorio adaptado para ensayos sensoriales, con cabinas individuales para cada evaluador en la etapa de medición.

El Análisis Descriptivo Cuantitativo (QDA) se llevó a cabo en tres etapas:

1. Desarrollo de descriptores

En la primera sesión grupal los evaluadores se familiarizan con las características de los productos y se buscan descriptivos de los mismos. Para ello se presentan cada muestra en platos blancos de plástico identificadas con números al azar, acompañadas de un vaso de agua para enjuagar la boca entre medidas y galletitas para neutralizar, y una planilla del tipo comparativa (Anexo I) para la búsqueda de descriptores. Esta planilla ayuda al evaluador a generar los descriptores, que surgen de comparar las muestras entre sí. El líder del panel lista en una pizarra los descriptores generados agrupándolos por atributos, se debaten los mismos y se unifican conceptos, y se eligen los descriptores más representativos que serán usados en las etapas siguientes. A tal fin se llevaron a cabo dos sesiones.

2. Entrenamiento

En las sesiones siguientes se efectuó el entrenamiento del panel. Cada evaluador recibió las muestras codificadas junto al listado de los descriptores generados con su correspondiente escala de valoración estructurada de 10 cm ancladas en los extremos para facilitar la tarea del evaluador (Anexo II), donde 0 representa el mínimo, 5 el medio y 10 el máximo. De manera conjunta, se les entregó una planilla con la definición de cada descriptor y sus técnicas de evaluación (Anexo III). También se dispuso de referencias o estándares de cada atributo para orientar a los evaluadores. Las referencias empleadas para cada atributo fueron las siguientes:

- Color Amarillo: arroz marca Molinos Ala (blanco largo fino) como valor mínimo y yema de huevo como valor máximo. El color amarillo de la fruta fresca se consideró como punto medio.
- Color Pardo: el mínimo fruta fresca (sin coloraciones pardas) y semillas de alfalfa como valor máximo.
- Aroma: Rodaja de 0,6 cm de ananá fresco como valor medio.
- Sabor Dulce: Solución de sacarosa al 1% como valor mínimo y al 15% como valor máximo.
- Sabor a Ananá Fresco: se utilizaron rodaja de 0,6 cm de ananá “previamente inmersos en agua destilada durante 3 h para disminuir la intensidad de sabor como valor mínimo y rodajas de 0,6 cm de ananá fresco como valor máximo.
- Cohesividad: Vainillas como valor mínimo y chicle como valor máximo (éste último no se le entregó a los evaluadores ya que se considera que tiene carácter invasivo y se supuso que todos los evaluadores conocen o asimilan su cohesividad).
- Dureza: Queso cremoso como valor mínimo y caramelos duros como valor máximo.

Luego se debate en el grupo y llega a un consenso de puntuación respecto a cada muestra. Esta etapa se llevó a cabo en 3 sesiones de 2 h aproximadamente.

3. Medición

Una vez que los evaluadores reconocieron cada atributo, se realizó la etapa de análisis descriptivo, por duplicado en 2 días diferentes. Cada evaluador recibió planillas con el listado de los descriptores con su correspondiente escala de valoración estructurada (Anexo II), sin presentarles referencias.

Estas mediciones se realizaron en cabinas individuales, presentando las muestras en platos plásticos, los cuales fueron rotulados con códigos de 3 dígitos diferentes a los utilizados en la etapa de entrenamiento, y se le entregó agua para neutralizar los sabores y caramelos masticables en forma de obsequio (Figura 3.7).



Figura 3.7. Presentación de las muestras para la sesión de Medición

Análisis estadísticos

Los datos obtenidos en los ensayos sensoriales se analizaron mediante ANOVA de un factor y con pruebas de comparaciones múltiples de Tukey ($p < 0,05$) utilizando el programa estadístico Statgraphics Centurion XVI.

3.7 Modelado matemático

3.7.1 Segunda Ley de Fick: difusión a través de sólidos porosos

Para aplicar el modelo difusional suponemos que la fruta está compuesta de una matriz sólida homogénea, y el mecanismo de transferencia de masa podría producirse debido a la difusión de los solutos a través de dicha matriz.

La velocidad de difusión del agua y sólidos solubles durante los procesos de secado y deshidratación osmótica puede estimarse mediante la Segunda Ley de Fick (Conway et al., 1983):

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \nabla(D\nabla C)$$

donde C es la concentración de agua o soluto, t es el tiempo y D es el coeficiente de difusión.

La determinación de la concentración media de AA y Ca en la fruta a través del tiempo durante los procesos de impregnación permitió calcular los coeficientes de difusión de la segunda Ley de Fick, suponiendo que el mecanismo de transferencia de masa es puramente difusivo. Las condiciones experimentales de temperatura, agitación de la solución, relación masa de fruta/masa de solución se mantuvieron constantes durante el proceso. El modelo físico del movimiento de agua y solutos dentro de las medias rodajas de ananá, las películas comestibles de moras y las frutas de mora durante el secado, la deshidratación osmótica y la impregnación con Ca y AA puede describirse en base a las siguientes suposiciones:

1. material sólido, homogéneo y uniforme
2. movimiento de humedad: unidimensional
 - a. Ananá y películas comestibles de moras: placa plana infinita de espesor e constante
 - b. Frutas de mora: esfera infinita de radio r constante
3. las propiedades fisicoquímicas del producto permanecen constantes durante el proceso
4. el coeficiente de difusión y la temperatura del sólido permanecen constantes durante el proceso
5. condiciones uniformes y constantes del medio circundante:
 - a. secado: temperatura, velocidad y humedad del aire
 - b. deshidratación osmótica e impregnación: temperatura, velocidad de agitación y concentración del/los soluto/s en la solución
6. resistencia externa a la transferencia de masa despreciable

Considerando las simplificaciones y observaciones del modelo antes detalladas, la transferencia de agua y solutos durante el secado, la deshidratación osmótica y la impregnación con Ca y AA puede ser considerada un fenómeno de difusión unidimensional descrito por la Segunda Ley de Fick de la difusión (Crank, 1975), Ecuación 3.20.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_{ef} \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (3.20)$$

x = distancia desde el centro de la placa o del centro de la esfera.

Condiciones iniciales y de contorno:

- distribución uniforme de humedad y/o solutos

$$C = C_0 \quad -L < x < L \quad t = 0$$

- la concentración de agua y/o solutos en la superficie del sólido a cualquier tiempo es igual a la concentración en el equilibrio

$$C = C_e \quad x = \pm L \quad t > 0$$

Condiciones de frontera:

- la velocidad a la cual el agua sale de la fruta (secado y DO) es la misma a la cual entra a la corriente de aire (secado) y a la solución hipertónica de sacarosa (DO).
- la velocidad a la cual el soluto (sacarosa, AA y Ca) abandona la solución es la misma a la cual entra a la superficie de la fruta, tanto en DO como en los procesos de impregnación.

$$a \frac{\partial C^i}{\partial t} = \pm D_{ef}^i \frac{\partial C^i}{\partial x} \quad x = \pm L \quad t > 0$$

La solución de la Ecuación 3.20 promediada en el volumen (Crank, 1975), puede escribirse:

Placa plana:

- Deshidratación osmótica e Impregnación

$$MR_i = \frac{\bar{C}^i - C_e^i}{C_0^i - C_e^i} = \sum_{n=1}^{\infty} C_n \exp\left(-\frac{D_{ef}^i q_n^2}{L^2} t\right) \quad (3.21)$$

$$C_n = \frac{2\alpha(1+\alpha)}{(1+\alpha+\alpha^2 q_n^2)} \quad (3.22)$$

$$\tan q_n = -\alpha q_n \quad (3.23)$$

- Secado

$$MR_i = \frac{\bar{C}^i - C_e^i}{C_0^i - C_e^i} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left[-(2n+1)^2 \pi^2 \frac{D_{ef}^i t}{4L^2}\right] \quad (3.24)$$

Esfera:

$$MR_i = \frac{\bar{C}^i - C_e^i}{C_0^i - C_e^i} = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \exp\left[-n^2 \pi^2 \left(\frac{D_{ef}^i t}{r^2}\right)\right] \quad (3.25)$$

Donde:

i = agua, sacarosa, ácido ascórbico o calcio; C_0^i , \bar{C} y C_e^i = valor medio del contenido del componente i en la fruta a tiempo $t=0$ (inicial), al tiempo t y de equilibrio respectivamente (g / g de materia seca en el proceso respectivo); D_{ef}^i =

coeficiente de difusión (m^2/s) del componente i ; $L = e/2$ es el medio espesor de la placa de ananá (m) y $L = e$ es el espesor de la lámina de mora; $r =$ radio de la esfera (m); $t =$ tiempo de secado (s); q_n son las raíces positivas no nulas de la Ecuación 3.23; α es la relación entre el volumen de solución y de fruta.

Una característica importante de estas series (Ecuaciones 3.21, 3.24 y 3.25) es que los exponenciales tienden rápidamente a cero a medida que crece el tiempo, por lo que los métodos simplificados obvian los términos de orden superior. En el presente trabajo se tomaron los seis primeros términos de la serie (Ecuaciones 3.24 y 3.25) para la cuantificación del coeficiente de difusión durante el secado. Por regresión no lineal de los resultados experimentales expresados como la relación adimensional de humedad (MR_i) versus el tiempo se calcularon los valores de D_{ef} del agua.

Para el cálculo del coeficiente de difusión D_{ef} del agua, de la sacarosa, del ácido ascórbico y del calcio en los procesos de deshidratación osmótica y de impregnación se consideró solo el primer término de la serie (Ecuación 3.21). Aplicando el logaritmo natural esta expresión toma la forma de la Ecuación 3.26:

$$\ln \left[\frac{\bar{C}^i - C_e^i}{C_0^i - C_e^i} \right] = \ln C_1 - \frac{D_{ef}^i q_1^2}{L^2} t \quad (3.26)$$

El gráfico de los datos experimentales $\ln(MR_i)$ versus el tiempo es una recta, cuya ordenada al origen permite calcular el valor de C_1 y con éste, conociendo experimentalmente el valor de α , hallar el valor de q . Luego, a partir del valor de la pendiente de esta recta y el valor de q recientemente hallado, se calculó el valor del D_{ef} correspondiente.

Los valores de C_e^{agua} utilizados en los cálculos de secado se cuantificaron experimentalmente, dejando las muestras secar por 48 h a 60°C. En los procesos de deshidratación osmótica e impregnación, la concentración en el equilibrio C_e^{agua} , C_e^{sac} , C_e^{AA} y C_e^{Ca} fueron evaluados experimentalmente a tiempo de deshidratación osmótica e impregnación de 48 h.

3.7.2 Modelo empírico: Modelo de Page

Los modelos empíricos establecen una relación directa entre las variables cinéticas de pérdida de agua, ganancia de sólidos y el tiempo de procesamiento con el objetivo de obtener coeficientes o parámetros que sirven para la interpretación del proceso físico.

Se utilizó el modelo de Page para describir la pérdida de agua de ananá durante los métodos combinados de deshidratación, en los cuales incluye el proceso de secado con aplicación de pulsos de microondas. También se evaluó la pérdida de agua de láminas de moras.

Este modelo está basado en las siguientes suposiciones:

- La temperatura es constante durante el proceso
- La humedad inicial es uniforme en las muestras

El modelo de Page fue desarrollado para explicar la pérdida de agua durante el secado en capa fina (Page, 1949) y se describe a través de la Ecuación 3.27.

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} = \exp(-kt^N) \quad (3.27)$$

Donde: M_0 , M y M_e son los valores de humedad inicial ($t=0$), al tiempo t de secado y al tiempo de equilibrio considerado en este estudio a las 48h, respectivamente (g de agua/g de materia seca); t es el tiempo de secado (min); k (m^{-1}) y N son coeficientes de la Ec. de Page.

Las curvas de $\ln(MR)$ como una función del tiempo se graficaron a partir de los datos experimentales y los valores de k y N se determinaron mediante análisis de regresión de la Ecuación 3.28:

$$\ln MR = -kt^N \quad (3.28)$$

Donde k se definió como la pendiente de la recta resultante y N fue el parámetro de ajuste en base al mejor valor de coeficiente de correlación (r^2).

La bondad del ajuste de cada modelo a los resultados experimentales se evaluó a través del coeficiente de regresión lineal (r^2) y del error promedio porcentual (E_{pp} %) de la estimación (Ecuación 3.29).

$$E_{pp}(\%) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{\bar{M}_{exp} - \bar{M}_{pred}}{\bar{M}_{exp}} \right| * 100 \quad (3.29)$$

3.8 Evaluación de calidad de los productos durante el almacenamiento

Para predecir la estabilidad de los productos fortificados se seleccionó como variable indicadora de la pérdida de calidad, la degradación del ácido ascórbico. Una forma de evaluar la degradación de un compuesto es realizarlo bajo condiciones habituales o “normales” de almacenamiento durante un periodo de tiempo.

A tal fin, en este estudio se buscó homologar las condiciones ambientales medias de la provincia de Misiones: humedad de 75% HR y temperatura de $25 \pm 3^\circ\text{C}$ (INTA).

En las muestras de ananá fortificado se realizaron ensayos de almacenamiento a 25°C durante 60 días y para moras se efectuaron ensayos de almacenamiento a 25, 35 y 45°C durante 40 días.

Las muestras fueron almacenadas de a dos unidades en bolsas de doble cierre hermético de polietileno de baja densidad (Bolsas Ziploc®) de tamaño 17x15 cm. El sistema alimento-envase se ubicó en el interior de un recipiente estanco con humedad relativa del 75%. La constancia del valor de humedad en el interior de dicha celda se garantizó a través de un lecho de solución saturada de ClNa. La temperatura se mantuvo constante en $25\pm 1^{\circ}\text{C}$ mediante un sistema de aire acondicionado y a $35\pm 2^{\circ}\text{C}$ y $45\pm 2^{\circ}\text{C}$ mediante estufas de cultivo. Se emplearon estas bolsas para simular condiciones domiciliarias habituales.

En la Figura 3.8 se presenta un esquema modelo del almacenamiento de ananá. Muestras procedentes de distintos tratamientos se almacenaron en diferentes recipientes. A intervalos de tiempo preestablecidos, se tomaron muestras para evaluar el contenido de ácido ascórbico, humedad y color.

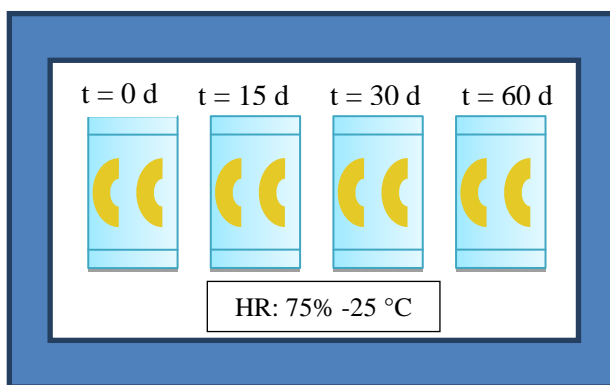


Figura 3.8. Esquema del almacenamiento de frutas de ananá fortificado y deshidratado

En la Figura 3.9 se presenta un esquema modelo del almacenamiento de láminas de moras. A intervalos de tiempo preestablecidos, se tomaron muestras para evaluar el contenido de ácido ascórbico, humedad y contenido de antocianinas.

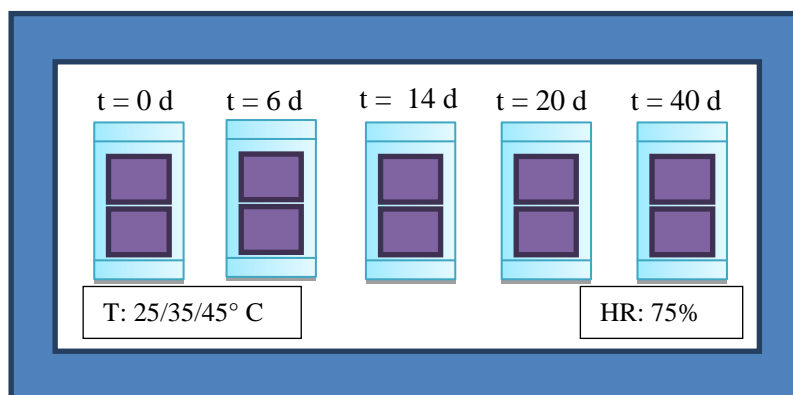


Figura 3.9. Esquema del almacenamiento de láminas de moras

3.8.1 Modelado de la ganancia de agua durante el almacenamiento

Para predecir la ganancia de humedad durante el almacenamiento de los alimentos deshidratados y envasados en bolsas tipo ziploc®, se consideró que el proceso global de ganancia de humedad es controlado mediante mecanismos combinados de permeabilidad del envase, balances de sorción del producto y difusión interna en el alimento.

En base a estas consideraciones, se aplicó el modelo de transferencia de masa propuesto por Ramallo y Albani (2007) para predecir la ganancia de humedad en yerba mate envasada.

Para esto, se supone que el sistema está formado por una membrana de permeabilidad conocida y un sólido homogéneo (alimento) colocados en contacto (Figura 3.10).



Figura 3.10. Imágenes del sistema modelo de estudio en ananá y lámina de mora

El pasaje de agua a través del envase se puede cuantificar utilizando el coeficiente de permeabilidad según Ecuación 3.30 (Robertson 1993).

$$P = \frac{Q \delta}{At(p_1 - p_2)} \quad (3.30)$$

Donde Q es la cantidad de agua que se transfiere a través de un material de espesor δ , un área expuesta A , en un tiempo t . La presión parcial del agua en ambos lados de la película es p_1 y p_2 .

En nuestro sistema la humedad externa es constante e igual a 75% HR, por lo cual se supone que la presión p_1 es constante. Sin embargo p_2 en el interior del envase varía con el tiempo, lo que hace necesario introducir una función que relacione la presión de vapor p_2 con el contenido de agua del alimento: la isoterma de sorción.

La difusión de agua dentro del producto (placa plana infinita) se consideró descrita por la segunda ley de Fick (Ecuación 3.31)

$$\frac{\partial M}{\partial t} = D_{ef} \frac{\partial^2 M}{\partial x^2} \quad (3.31)$$

Las condiciones iniciales y de borde fueron:

$$M_{(x,0)} = M_0$$

$$M_{(0,t)} = M_e = M_{sup}$$

La Ecuación 3.31, con las condiciones de contorno planteadas en el modelo, constituye una ecuación diferencial parcial no lineal. Para su resolución se utilizó el método explícito de diferencias finitas, con un arreglo de 10 nodos para discretizar las láminas de mora y las medias rodajas de ananá deshidratado (Δl varió entre 0,01 y 0,03mm y $\Delta t=0,5$ día).

Nodos superficiales:

$$\Delta W_{per} = \frac{P}{\delta} A(p_1 - p_2^t) \Delta t \quad (3.32)$$

$$\Delta W_{diff} = D_{eff} (M_{sup}^t - M_1^t) A_f \rho \frac{\Delta t}{\Delta l} \quad (3.33)$$

$$M_1^{t+\Delta t} = [M_1^t m_{ss} + (\Delta W_{per} - \Delta W_{dif})] \frac{1}{m_{ss}} \quad (3.34)$$

Nodos interiores:

$$M_i^{t+\Delta t} = D_{ef} (M_{i+1}^t - 2M_i^t + M_{i-1}^t) \frac{\Delta t}{\Delta l^2} + M_i^t \quad (3.35)$$

Nodo del centro de la placa:

$$M_i^{t+\Delta t} = D_{ef} (2M_{i-1}^t - 2M_i^t) \frac{\Delta t}{\Delta l^2} + M_i^t \quad (3.36)$$

Donde ΔW_{per} y ΔW_{diff} son cambios de masa (agua) en el subvolumen 1, como resultado de los procesos de permeabilidad y difusividad, respectivamente; A y A_f son el área del envase y el área superficial del alimento respectivamente; m_{ss} es la masa del sólido seco. El subíndice i y el superíndice t indican tamaño de paso o incremento de las variables espacio (x) y tiempo (t).

A partir de los datos experimentales (al inicio del almacenamiento, $t = 0$) del peso, la temperatura y la humedad del alimento, utilizando la respectiva isoterma de sorción, se calculó la presión de vapor interna ($p_2^{t=0}$). A continuación, con los datos experimentales de la permeabilidad del material de envase Ziploc®, la presión de vapor externa (p_1) y un valor estimado del coeficiente de difusión, se calcula la humedad del producto en cada nodo, en un paso de tiempo preestablecido (Δt). Este nuevo valor de humedad ($X_i^{t+\Delta t}$) establecido a partir del balance de la ganancia de agua, define un nuevo valor de presión de vapor en equilibrio con el alimento ($p_2^{t+\Delta t}$).

El procedimiento de cálculo se repite hasta que se alcanza el tiempo final de la prueba (t_f); los valores experimentales de humedad de las muestras se comparan con los predichos por el modelo en los días respectivos. El error medio porcentual (E_{pp}

(%) se utilizó para estimar la calidad del ajuste del modelo y se calculó por la Ecuación 3.37.

$$E_{pp} (\%) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{\bar{M}_{exp} - \bar{M}_{pred}}{\bar{M}_{exp}} \right| * 100 \quad (3.37)$$

3.8.2 Modelado de la degradación del ácido ascórbico durante el almacenamiento

La pérdida de calidad puede ser descrita mediante modelos matemáticos, que permiten predecir las pérdidas o ganancias de ciertos componentes que afectan directamente sobre la calidad del producto, en condiciones de almacenamiento establecidas.

Estos modelos se fundamentan en que la velocidad de pérdida de calidad puede expresarse como un cambio en las concentraciones de componentes deseables o indeseables en función del tiempo (Ecuación 3.38).

$$\pm \frac{dA}{dt} = kA^n \quad (3.38)$$

donde:

A= característica del alimento;

n= orden aparente de la reacción;

k= constante aparente de reacción;

\pm = aumento de una característica indeseable (+) y pérdida de una característica deseable (-).

Es así que la simulación de la pérdida de ácido ascórbico (C_{AA}) se efectuó suponiendo, en condiciones de temperatura constante, una cinética de degradación de primer orden (Ecuación 3.39).

$$\frac{dC_{AA}}{dt} = -k_{AA} C_{AA}^1 \quad (3.39)$$

La cinética de degradación del ácido ascórbico en *ananá comosus*, en condiciones de humedad y temperatura constante, fue estudiada por Pardo Sedas y col. (1994). Los autores determinaron los valores de k_{AA} (constante de velocidad) durante el almacenamiento a tres temperaturas (30, 35 y 40°C) y tres valores de a_w (0,92, 0,95 y 0,97). Mediante análisis de regresión obtuvieron una ecuación empírica de k como una función de la actividad acuosa y de la temperatura (Ecuación 3.40).

$$\ln(k_{AA}) = -3,87 - 94700.T + 202000.a_w/T - 107800a_w^2/T \quad (3.40)$$

Es bien sabido que las ecuaciones empíricas resultantes de la aplicación de herramientas estadísticas (análisis de regresión, superficies de respuesta, etc.) son estrictamente válidas dentro del rango de las variables aplicado en el estudio. Debido a las diferencias en temperatura y condiciones de almacenamiento, características del material (en nuestro caso ananá fortificado con Ca y AA) y metodología de deshidratación aplicada, no se consideró apropiado aplicar la ecuación propuesta por

Pardio Sedas y col. (1994) de manera estricta a los resultados de retención de vitamina C durante el almacenamiento a 25 °C.

Modelo propuesto: k varía con la actividad acuosa

En el presente trabajo de tesis, en base a los antecedentes mencionados y contando con datos experimentales que mostraron que la humedad de las muestras no se mantuvo constante durante el almacenamiento, tomando en consideración que la constante cinética de degradación del ácido ascórbico es función de la actividad acuosa y por lo tanto es sensible al contenido de agua, se plantea el siguiente modelo para describir la cinética de degradación del ácido ascórbico durante el almacenamiento de ananá y de láminas de mora:

- el coeficiente cinético de la Ecuación 3.39 varía con la actividad acuosa de acuerdo al siguiente modelo:

$$k_{AA} = (A a_w^2 + B a_w + C) \quad (3.41)$$

- temperatura de almacenamiento constante e igual a 25°C
- la humedad de las muestras se incrementa debido a la permeabilidad del envase
- la humedad de las muestras y la a_w se relacionan a través de las isotermas de sorción a 25°C

Durante el almacenamiento, se registraron los datos de contenido de agua en la fruta en función del tiempo. Por otra parte, se elaboraron isotermas de sorción a 25°C. Estas isotermas fueron utilizadas para evaluar la a_w correspondiente a cada tiempo en función al contenido medio de humedad del producto. Estos valores de a_w se utilizaron en el cálculo de la constante cinética k_{AA} (Ecuación 3.41).

El procedimiento de cálculo seguido para estimar la retención de ácido ascórbico durante el almacenamiento de medias rodajas de ananá y láminas de mora es presentado en la Figura 3.11. En este algoritmo, la Ecuación 3.39 se resolvió numéricamente aplicando el método de Euler (Ecuación 3.42), con $h = \Delta t = 0,5$ días.

$$C_{i+1} = C_i + f(t_i, C_i)h \quad (3.42)$$

La capacidad de predicción del modelo se analizó comparando los resultados predichos con los valores experimentales del contenido medio de AA a diferentes tiempos, a través del error promedio porcentual de la estimación (E_{pp}) (Ecuación 3.38).

$$E_{pp} (\%) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{\bar{C}_{exp} - \bar{C}_{pred}}{\bar{C}_{exp}} \right| * 100 \quad (3.43)$$

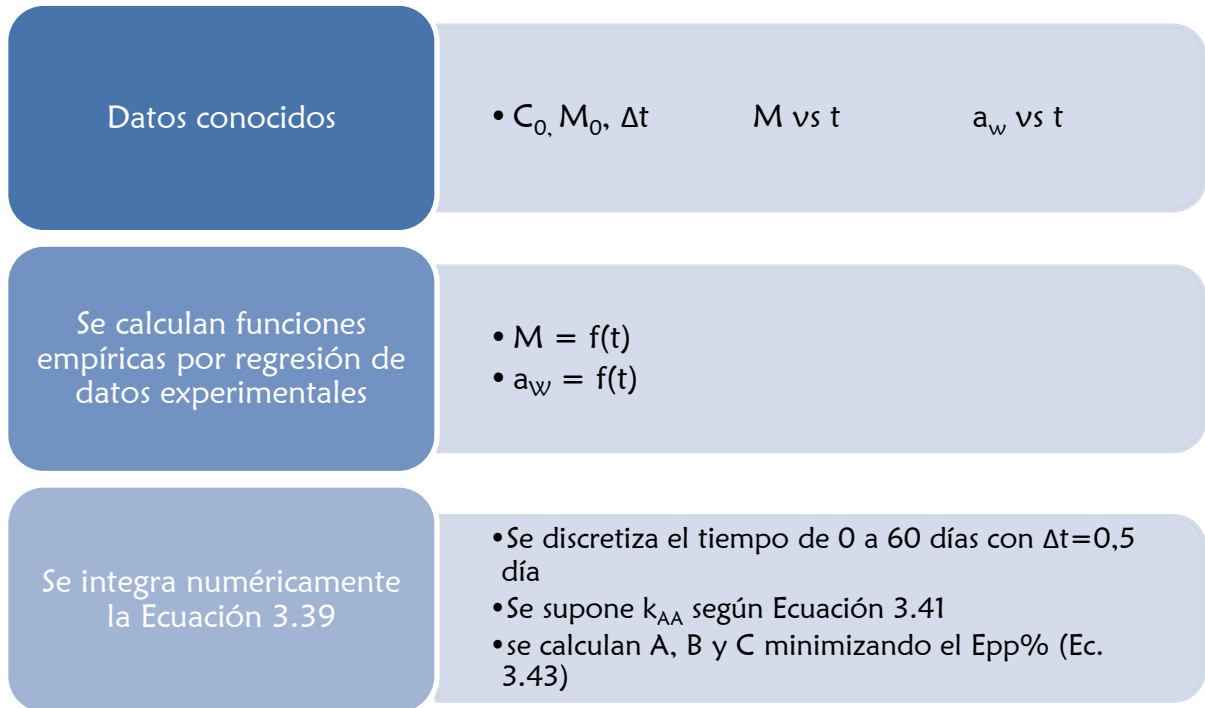


Figura 3.11. Metodología de cálculo para describir la cinética de degradación del ácido ascórbico

CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE ANANÁ

4.1 Introducción

En esta sección se presentan y discuten los resultados de los ensayos de fortificación, deshidratación y almacenamiento de ananá. Primeramente y con el objetivo de seleccionar el método más apropiado para reducir la a_w de las frutas se realizó el estudio experimental de diferentes métodos de secado, individuales y combinados. Se aplicaron distintos modelos matemáticos para describir los resultados de la cinética de pérdida de agua, y se evaluaron los cambios de diferentes atributos para caracterizar los productos obtenidos. Además se llevó a cabo una evaluación sensorial de los productos deshidratados para definir los métodos de preservación a aplicar en el material fortificado. En una segunda etapa, se impregnó la matriz vegetal con ácido ascórbico (AA) y lactato de calcio (Ca) en dos medios de impregnación diferentes: isotónico e hipertónico. Se analizó el incremento en el contenido de ácido ascórbico y calcio en función del tiempo de inmersión y por medio de medidas instrumentales, su efecto sobre las propiedades mecánicas y el color de la fruta. Posteriormente se efectuó la deshidratación de las muestras fortificadas según las condiciones seleccionadas previamente y se caracterizó a las frutas deshidratadas por medio de propiedades fisicoquímicas, ópticas, estructurales y nutricionales. Para evaluar su estabilidad en el tiempo, se realizaron ensayos de almacenamiento en condiciones de humedad y temperatura similares a las de anaquel.

4.2 Caracterización de la fruta de ananá

Cada sección presentará, de acuerdo al estudio descrito, valores específicos de algunas propiedades de la fruta empleada, pero a continuación se presenta en forma resumida una caracterización general de la fruta de ananá fresco empleada en la presente tesis que engloba diferentes cosechas (2013, 2014, 2015, 2016 y 2017) (Tabla 4.1).

Tabla 4.1. Caracterización de la fruta de ananá

| <i>Parámetro</i> | <i>Valor medio ± desvío estándar</i> |
|--|--------------------------------------|
| Humedad (% base húmeda) | 87,16 ± 2,62 |
| Contenido de sólidos solubles (°Brix) | 12,45 ± 2,31 |
| pH | 3,73 ± 0,40 |
| Acidez Titulable (g de ácido cítrico/100 g Fr) | 0,69 ± 0,24 |
| Cenizas (%) | 0,28 ± 0,08 |
| Contenido de Ácido ascórbico (mg/ 100 g Fr Fr) | 40 ± 1,20 |
| Contenido de calcio (mg/ 100 g Fr Fr) | 17 ± 1,00 |
| <i>Color:</i> L^* | 79,50 ± 5,30 |
| a^* | 3,50 ± 2,30 |
| b^* | 42,61 ± 6,50 |

* Donde: Fr= fruta; Fr Fr= fruta fresca

4.3 Selección del método de preservación de ananá

Se estudió la aplicación de diferentes métodos de deshidratación para establecer las condiciones más favorables en términos de cinética de pérdida de agua y su influencia sobre la calidad de los productos resultantes.

El secado con flujo de aire caliente (SAC) ha sido ampliamente estudiado en diferentes frutas, ya sea desde el punto de vista de la calidad del producto como de las características del proceso (velocidad de pérdida de agua, principalmente).

Ramallo y Mascheroni (2012) evaluaron la calidad de las muestras de ananá durante el secado convectivo a 45, 60 y 75°C. Los valores de los parámetros instrumentales de color y las propiedades mecánicas mostraron dependencia con la humedad de la fruta pero no con la temperatura del proceso. La variación en la concentración de ácido L-ascórbico no mostró diferencias significativas en el secado a 60 y 75°C para un dado valor de humedad, siendo la retención algo mayor a 45°C. Por otra parte, encontraron que la velocidad de rehidratación del ananá deshidratado se reduce cuando el secado se realizó a 75°C. No obstante, en este trabajo se muestra que la velocidad de secado a 45°C es muy inferior que a 60°C y que la diferencia de velocidad de secado a 60 y 75°C es pequeña.

En base a estos antecedentes y con el objetivo de reducir los efectos desfavorables del secado sobre la calidad del producto y simultáneamente el consumo energético, que se refleja en el tiempo de proceso, se seleccionó la temperatura de secado de 60°C.

El proceso de secado con aire caliente precedido por una etapa de deshidratación/impregnación osmótica ha sido propuesto por numerosos autores para preservar frutas (Torreggiani, 1993; Ertekin y Cakaloz, 1996; Nieto et al., 1998; Sereno et al., 2001; Vega 2003; El-Aouar et al., 2003; Beaudry et al., 2004; Teles et al. 2006, Fernandez et al. 2006; García et al., 2007; Ahmed et al., 2016). Asimismo diversos estudios fueron publicados sobre impregnación durante deshidratación osmótica de frutas (Moraga et al., 2009; Silva et al., 2013; Silva et al., 2014b; Mauro et al., 2016).

Ramallo y Mascheroni (2009) estudiaron la evolución del ácido ascórbico durante la deshidratación osmótica en solución de sacarosa de 60 °Brix, a 30, 40 y 50 °C, demostrando que se obtiene la mayor retención de vitamina C cuando la temperatura del proceso no supera los 40°C. Según Lazarides (2001) tratamientos osmóticos con temperaturas por encima de 45°C causan daños térmicos en el tejido, deterioro del flavor y pardeamiento enzimático.

De igual manera se ha implementado el uso de microondas para minimizar el tiempo de secado y mejorar la calidad general del producto final (Datta et al., 2001; Maskan, 2001; Zang et al., 2006; Duque et al., 2011; Botha et al., 2012a). No obstante, si no se aplican correctamente las microondas los productos resultantes pueden ser de baja calidad por el excesivo calor generado en su interior. Se espera que la aplicación intermitente de microondas reduzca la falta de uniformidad en la distribución de temperatura y mejore la eficiencia energética.

Los métodos de preservación de ananá por reducción del contenido de agua aplicados en el presente trabajo de tesis fueron el secado con aire caliente (SAC) y el secado con aplicación de pulsos de energía de microondas (SAC/MW) en fruta de ananá fresco y previamente deshidratado/impregnado en solución osmótica de

sacarosa. La energía de microondas se aplicó en diferentes intervalos (30 y 60 minutos) y con diferentes amplitudes (10 y 20 segundos).

4.3.1 Pretratamiento: Deshidratación osmótica

Se estudió la cinética de deshidratación osmótica (DO) de medias rodajas de ananá de 6 mm de espesor en solución de sacarosa a tres concentraciones diferentes (35 – 50 – 65 °Brix) y distintos tiempos de operación, manteniendo la temperatura (40°C) y agitación (70 opm) constantes, y una relación masa de fruta a masa de jarabe osmótico de 1/4.

En la Tabla 4.2 se presentan los valores medios y desvíos estándares de la pérdida de agua (Ec. 17), ganancia de sacarosa (Ec. 18) y humedad resultantes de los diferentes tratamientos ensayados.

Tabla 4.2. Parámetros de transferencia de masa en deshidratación osmótica de ananá

| Tratamiento | Pérdida de Agua (%) | Ganancia de Sacarosa (%) | Humedad (%b.h) |
|-------------------|---------------------|--------------------------|----------------|
| 35°Brix – 30 min | 9,81 ± 1,30 a | 3,97 ± 0,80 a | 80,56 ± 1,30 b |
| 35°Brix – 120 min | 18,07 ± 1,10 c | 6,85 ± 0,73 c | 77,88 ± 0,90 b |
| 50°Brix – 30 min | 12,03 ± 1,21 b | 4,31 ± 1,50 b | 79,05 ± 2,10.b |
| 50°Brix – 120 min | 22,74 ± 1,26 e | 8,58 ± 1,64 d | 74,52 ± 1,40 a |
| 65°Brix – 30 min | 12,36 ± 1,17 b | 4,83 ± 1,30 b | 78,62 ± 2,41 b |
| 65°Brix – 120 min | 24,75 ± 1,50 e | 8,07 ± 1,10 d | 72,16 ± 1,30 a |

**Letras diferentes indican que las muestras presentan diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0% de confianza.*

A través del análisis estadístico de Prueba de Múltiples Rangos podemos concluir que hay influencia significativa de la concentración del agente osmótico como también del tiempo de proceso sobre la pérdida de agua y ganancia de sacarosa. Estos resultados están en concordancia con los reportados por Azoubel y Murr (2004) que reportan que al aumentar la concentración de la solución, aumenta la presión osmótica y por ende aumenta la velocidad de pérdida de agua y los valores de difusión de agua y soluto durante la deshidratación osmótica de tomates cherry. Por otra parte, Giraldo y col. (2003) estudiaron la transferencia de masa durante la deshidratación osmótica del mango. Los procesos se llevaron a cabo a 30 °C, usando jarabe de sacarosa 35 °Brix, 45 °Brix, 55°Brix y 65 °Brix. Informaron que la velocidad de transferencia de agua aumentó cuando la concentración de sacarosa aumentó hasta 45 °Brix, mientras que este efecto no se evidenció entre 55 y 65 °Brix. Un efecto de endurecimiento superficial podría ser responsable de la reducción de la transferencia de masa a la mayor concentración de sacarosa. Además, cuando la solución es más concentrada, la penetración del líquido externo está más limitada por la viscosidad.

La fruta de ananá fresco presentó un contenido medio de agua de 88,40% y de sólidos solubles de 12,35%, luego de los tratamientos osmóticos se obtuvieron productos con un contenido de agua que varió entre 71 y 80% y un contenido de sólidos solubles comprendido entre 21,50 y 31%, dependiendo de las condiciones operativas.

Se observa que la pérdida de agua fue significativamente mayor que la ganancia de sacarosa. Además se distingue que a los 30 minutos hay un buen resultado de pérdida de agua en todos los ensayos, tal como lo menciona la literatura que en las primeras horas del proceso osmótico se observa el mayor efecto. A las 2 horas de proceso osmótico se observa que la reducción de agua se incrementa con el aumento de la concentración osmótica, pero no hubo diferencias significativas en la ganancia de sacarosa al utilizar solución a 50 °Brix y 65 °Brix. El uso de soluciones osmóticas de mayor concentración hace el proceso más costoso, a su vez aumenta la viscosidad de la solución, por lo que se verá frenado el proceso de transferencia de masa. Lo referencia Beristain (1990) en la deshidratación de ananá que a 60 °Brix a 30°C y a 70 °Brix (30 y 40 °C) ocurre precipitación y acumulación de sacarosa en la base del recipiente. Por estos motivos se seleccionaron las condiciones de DO en solución de sacarosa a 50°Brix y 40°C.

Mediante la DO se logró disminuir la humedad de las frutas, pero esta metodología debe ir acompañada de otra técnica de conservación que le permita disminuir aún más la humedad para garantizar un producto seguro microbiológicamente.

4.3.1.1 Cinética de Deshidratación osmótica a 50 °Brix

Se evaluó el proceso de deshidratación osmótica de medias rodajas de ananá de 6 mm de espesor con solución osmótica de sacarosa a 50 °Brix durante 5 horas, obteniéndose los respectivos parámetros de transferencia de masa: pérdida de peso, pérdida de agua (Figura 4.1) y ganancia de sacarosa (Figura 4.2).

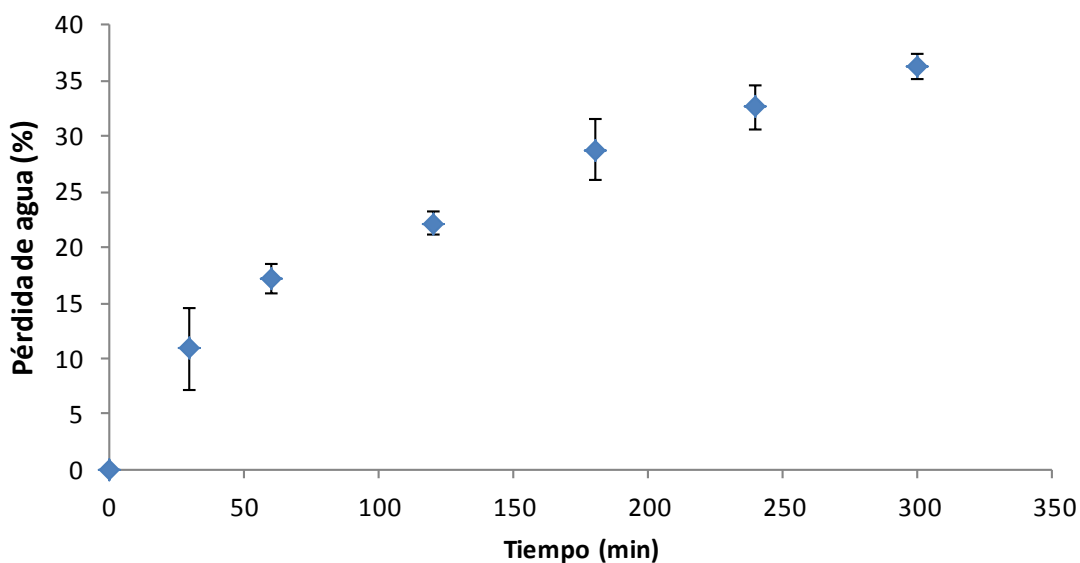


Figura 4.1. Pérdida de agua en función al tiempo de la deshidratación osmótica de ananá a 50 °Brix

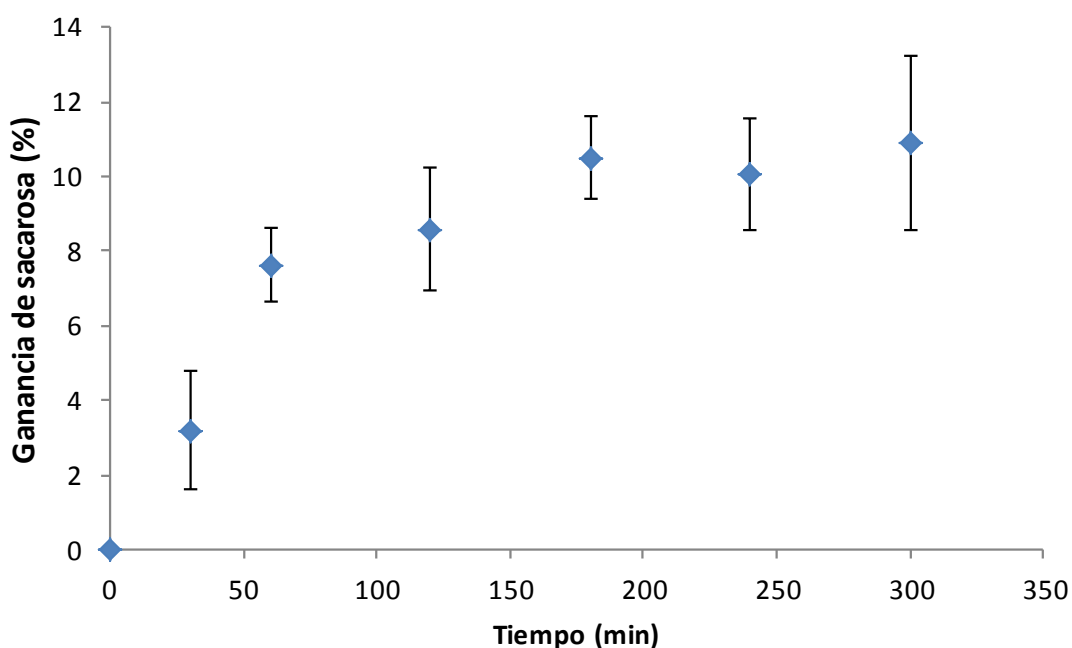


Figura 4.2. Ganancia de sacarosa en función al tiempo de la deshidratación osmótica de ananá a 50 °Brix

Luego del proceso de deshidratación osmótica de ananá en solución de sacarosa a 50 °Brix obtuvimos un producto de humedad intermedia de $62,55 \pm 2,10$ g agua/100 g fruta, con una pérdida de agua de $36,30 \pm 1,50$ %, pérdida de masa de $25,85 \pm 1,10$ % y ganancia de sacarosa de $11 \pm 2,40$ %.

A las 2 horas de proceso se alcanzan valores de ganancia de sacarosa que no presentan diferencias significativas con los resultantes a tiempos mayores, sin embargo aún continúa la pérdida de agua ejercida por la presión osmótica de la solución.

En cuanto al color de las muestras que fueron deshidratadas por este método podemos observar que el proceso de DO no modifica las características de color amarillo (medido instrumentalmente con el parámetro b^*) luego de 5 horas ni de 48 horas (Figura 4.3), esto es positivo desde el punto de vista sensorial ya que no estamos alterando la percepción del consumidor por el color de la fruta fresca. Se presentan además en la Figura 4.4 los valores del parámetro Hue, que indican el ángulo en el círculo cromático. Esto indicaría que se mantienen en la zona del amarillo, desde la fruta fresca con un valor de Hue de $82,35 \pm 0,26$ hasta un valor de $81,20 \pm 0,64$ al finalizar el proceso.

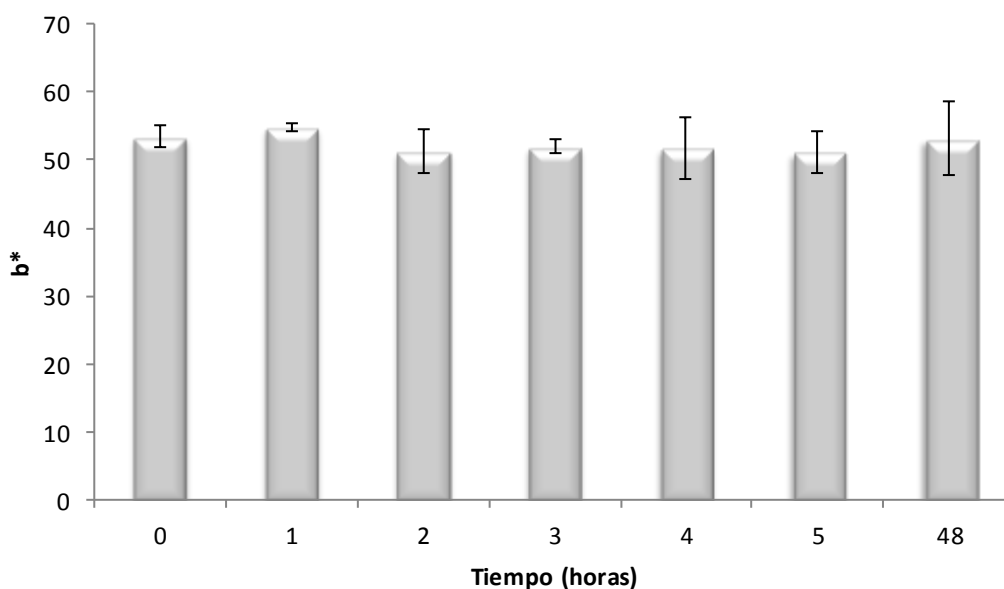


Figura 4.3. Evolución del parámetro b^* en fruta de ananá deshidratada osmóticamente a 50 °Brix

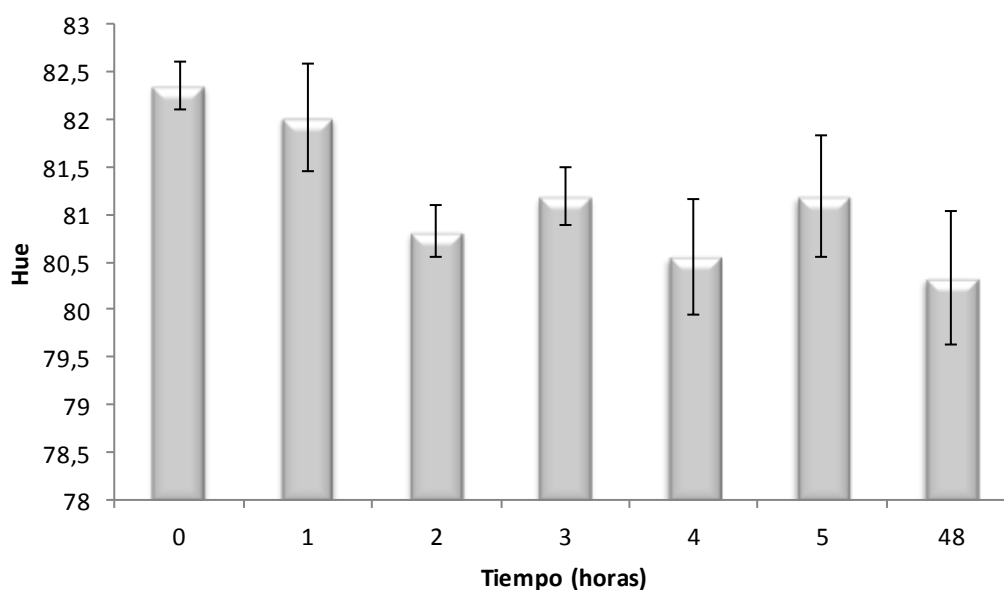


Figura 4.4. Evolución del ángulo Hue en fruta de ananá deshidratada osmóticamente a 50 °Brix

Como pretratamiento, los efectos de la deshidratación osmótica se relacionan principalmente con la mejora de algunas propiedades nutricionales, sensoriales y funcionales del producto. Varios autores informan que los parámetros, como el color, el sabor y la textura de las frutas y verduras susceptibles de secado al aire, secado al vacío o liofilización, mejoraron cuando se utilizó una etapa anterior de deshidratación osmótica (Silveira et al., 1996; Torreggiani y Bertholo, 2002).

Una gran cantidad de modelos matemáticos son usados para describir los procesos que ocurren en la deshidratación osmótica, pero uno de los más mencionados es el modelo difusivo. Autores que han usado este modelo en deshidratación osmótica de ananá fueron: Rastogi y Raghavarao (2004) considerando geometría cúbica; Ramallo, Schvezov y Mascheroni (2004), Ramallo y Mascheroni (2013), y Silva y col. (2014b) considerando difusión unidireccional en placa plana; y Ruiz-López y col. (2010) consideraron forma hexaédrica.

A través del modelado difusional de la segunda ley de Fick (Ecuación 3.21) se determinaron los coeficientes de difusión del agua que egresa del alimento, y del soluto, en este caso sacarosa, que ingresa a la matriz vegetal durante el proceso osmótico de ananá, considerando una placa plana con difusión en las 2 caras de la placa. Los datos experimentales del contenido de agua, expresado adimensionalmente como MR en función del tiempo de deshidratación osmótica (símbolos), y el ajuste del modelo de Fick (líneas punteadas) se presentan en la Figura 4.5. El valor del contenido de agua en el equilibrio, medido experimentalmente en 48 h de DO, fue de 1,10 g agua/ g de fruta seca.

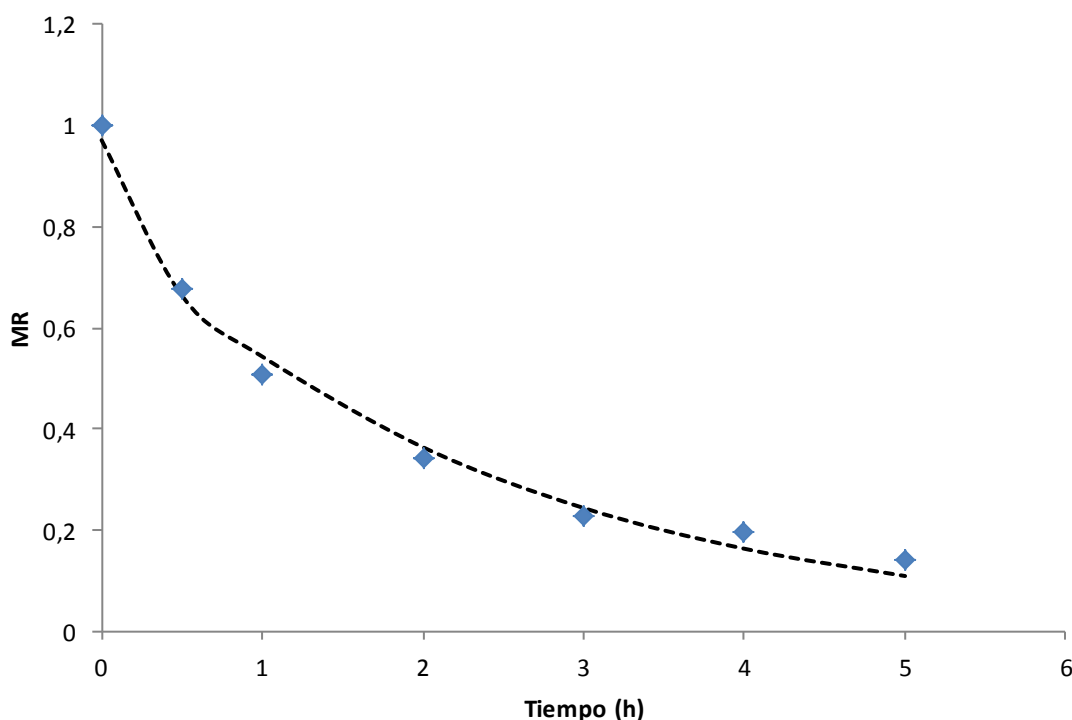


Figura 4.5. Valores experimentales y calculados del contenido adimensional de agua durante la cinética de deshidratación osmótica de ananá a 50 °Brix

El valor calculado para el coeficiente difusivo del agua durante la DO de ananá a 50 °Brix y 40 °C fue de $3,30 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$, con un error promedio porcentual de 9,30%.

Se observó que alcanzada las 3 h de proceso osmótico se ve frenada la ganancia de soluto (Fig. 4.2). El coeficiente difusivo de la sacarosa, calculado con los datos experimentales de ganancia de sacarosa y con un valor de equilibrio de 0,20 g sacarosa/g fruta, fue de $1,74 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$, con un error promedio porcentual de 6,63%.

Para este sistema observamos que los coeficientes difusivos de ambos componentes están en el mismo orden, siendo el coeficiente difusivo del agua mayor que el de sacarosa. Los resultados obtenidos se encuentran en concordancia con los publicados en la literatura. Silva y col. (2014b) reportaron para un sistema similar al nuestro (50 °Brix) un coeficiente difusivo de agua de $4,99 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ y un coeficiente difusivo de sacarosa de $3,92 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$, pero la relación de fruta/jarabe empleado por dichos autores fue de 1/10. Rastogi y col. (2004) reportaron en deshidratación osmótica de cubos de ananá en condiciones similares a las nuestras, valores de coeficiente de difusión para el agua de $2,20 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ y coeficiente de difusión de sacarosa de $1,06 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$.

4.3.2 Secado

Se combinaron diferentes métodos y condiciones de reducción del contenido de agua de la fruta aplicando: deshidratación osmótica a 40°C/50°Brix, energía de microondas de 800 W y 2450 MHz y secado con aire caliente a 60°C a 1 m/s. La energía de microondas se aplicó a modo de pulsos durante el secado convectivo de frutas de ananás en diferentes relaciones de tiempo microondas-tiempo convección

forzada. La duración de los pulsos, llamada amplitud, fue de 10 y 20 segundos. Y la frecuencia de la aplicación del pulso de energía de microondas se definió como la inversa del tiempo entre dos repeticiones (período), es decir $f = \frac{1}{T}$, los cuales fueron aplicados en períodos de 30 y 60 min del secado con aire caliente.

Los ensayos experimentales fueron diseñados en las siguientes condiciones:

E1: SAC. Secado con flujo de aire a 60°C, velocidad de aire 1 m/s. **CONTROL**

E2: SAC30/MW10. 30 min de SAC + 10 s de energía de microondas, de modo iterativo durante cuatro horas.

E3: SAC60/MW10. 60 min de SAC + 10 s de energía de microondas, de modo iterativo durante cuatro horas.

E4: SAC30/MW20. 30 min de SAC + 20 s de energía de microondas, de modo iterativo durante cuatro horas.

E5: SAC60/MW20. 60 min de SAC + 20 s de energía de microondas, de modo iterativo durante cuatro horas.

E6: SAC+MW20/2. 20 s de energía de microondas a las 3 horas y 3,5 horas de SAC.

E7: DO+SAC. 5 h de deshidratación osmótica + 4 h de secado continuo.

E8: DO+SAC30/MW20. 5 h de DO y luego secado combinando 30 min de SAC + 20 s de energía de MW, de modo iterativo durante cuatro horas.

E9: DO+SAC60/MW20. 5 h de DO y luego secado combinando 60 min de SAC + 20 s de energía de microondas, de modo iterativo durante cuatro horas.

La efectividad de los procesos combinados de secado respecto al secado continuo (E1) puede interpretarse a través de los valores experimentales de humedad de las muestras en tiempos homólogos de proceso. Estos resultados fueron representados como relación adimensional de humedad (MR) en función del tiempo en las Figuras 4.6, 4.7, y 4.8.

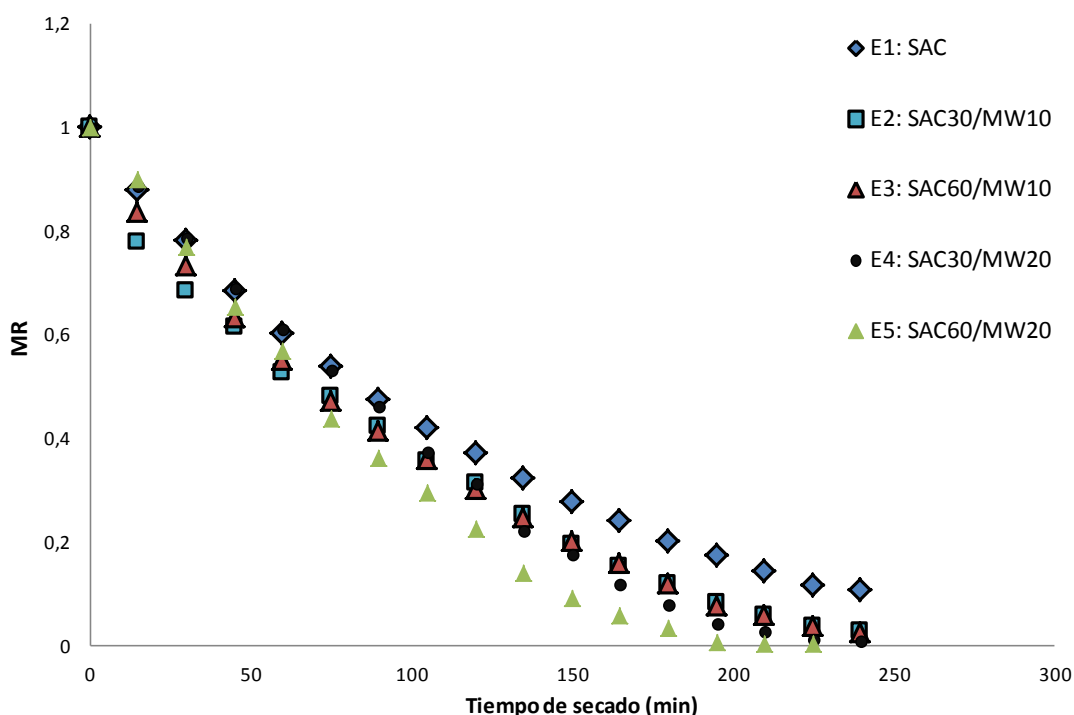


Figura 4.6. Variación de humedad en ananá durante el secado con aire caliente (E1) y con aplicación de pulsos de microondas de diferente frecuencia y amplitud

Los resultados experimentales señalan que la aplicación de pulsos de microondas al secado con flujo de aire a 60°C favorece la velocidad de pérdida de agua, puesto que las curvas de secado con aplicación de pulsos de microondas se encuentran por debajo de la curva de secado continuo (Figura 4.6).

Con respecto a la frecuencia de aplicación de los pulsos de microondas (1/30 o 1/60 min^{-1}) se observó que esta variable afecta significativamente la velocidad de pérdida de agua durante el secado para los ensayos con pulsos de 20 segundos (Figura 4.6) y no afecta los resultados del secado de muestras de ananá previamente tratados con DO (Figura 4.8).

También se deduce de lo expuesto en la Figura 4.6 que el tiempo de aplicación de energía de microondas o amplitud del pulso influye significativamente sobre la cinética de pérdida de agua y que este efecto es más significativo cuando la frecuencia de aplicación de los pulsos fue de 1/60 min^{-1} . Los mejores resultados de cinética de pérdida de agua se registraron en el secado con pulsos de microondas de 20 segundos cada 60 minutos (E5, Fig. 4.6), donde a las 3 h de proceso las muestras de fruta retuvieron el 3,5% del agua inicial en tanto que en ese período las muestras de SAC retuvieron el 20%; asimismo el 10% del contenido de agua inicial se alcanzó en 150 y 240 minutos con secado con pulsos de microondas de 20 segundos cada 60 minutos y con secado continuo, respectivamente.

Aghilinategh y col. (2015) han señalado que el secado por microondas es más apropiado para secar alimentos con bajo contenido de agua, por lo cual sería de esperar efectos positivos en la aplicación de pulsos de microondas al final del proceso de secado. Los resultados del ensayo E6 se muestran en la Fig. 4.7. En este ensayo,

donde se aplicaron solamente 2 pulsos (a los 180 y 210 min de secado), el efecto positivo de la aplicación de pulsos de microondas es evidenciado en la aplicación del segundo pulso, acelerando la pérdida de agua en la etapa final del secado cuando la velocidad de SAC (E1) se reduce.

Estos resultados muestran que la metodología de aplicación de pulsos de MW en las etapas de secado convectivo de menor velocidad puede ser una alternativa apropiada para reducir considerablemente los tiempos de secado. Sin embargo Botha y col. (2012b) menciona que la aplicación de energía de microondas fue más eficaz en las primeras horas de procesamiento, pero se lentifica el secado hacia el final atribuyendo este hecho a valores muy bajos de humedad de las muestras.

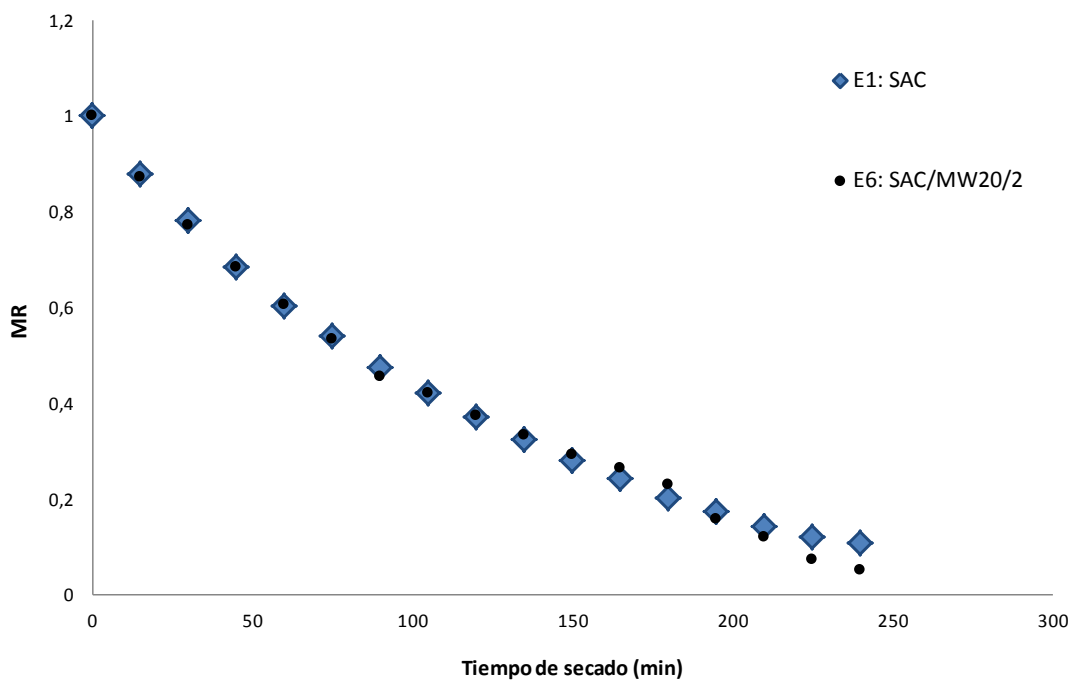


Figura 4.7. Variación de humedad en ananá durante el secado continuo (E1) y con aplicación de pulsos de microondas a los 180 y 210 min del proceso (E6)

Por su parte, las muestras impregnadas previamente con sacarosa resultaron con valores de humedad más altos a igual tiempo de secado (Figura 4.8), posiblemente debido a que durante el proceso de deshidratación osmótica se forma una costra o capa superficial de mayor concentración de sacarosa y ello incrementa la dificultad de migración del agua desde el interior del sólido.

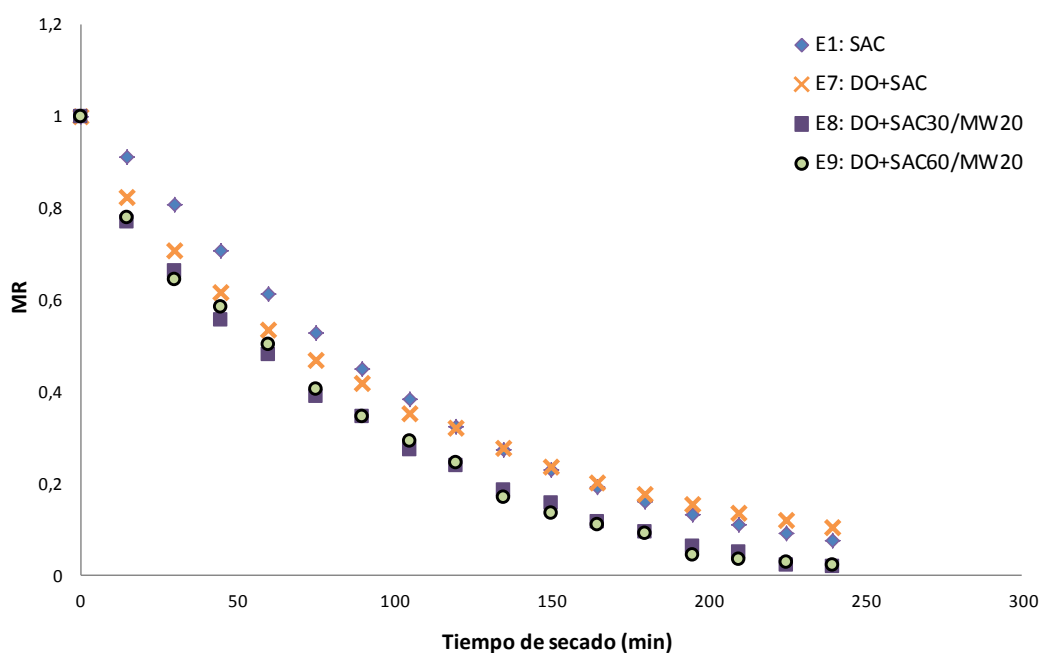


Figura 4.8. Variación de humedad en ananá con y sin pre-tratamiento osmótico, durante el secado continuo (E7 y E1) y con aplicación de pulsos de microondas de diferente frecuencia (E8 y E9)

Sin embargo, puede observarse en la Figura 4.8 el efecto positivo que tiene la aplicación de pulsos de microondas sobre la cinética de secado de la fruta con un tratamiento previo de DO: la fruta alcanza alrededor del 14% del agua contenida al inicio del secado en 150 y 210 minutos de secado con pulsos de microondas y con secado continuo respectivamente. Asimismo, no se registraron diferencias significativas entre los resultados de pérdida de agua de los ensayos E8 y E9, señalando esto que la frecuencia de aplicación de pulsos de microondas de 20 s ($1/30$ o $1/60 \text{ min}^{-1}$) no afecta los resultados de ananá pre-tratado con deshidratación osmótica.

Los resultados de Botha y col. (2012b) en un estudio sobre secado con aire asistido con microondas en potencia variable de ananá osmóticamente tratado, indicaron que el uso de un apropiado programa de potencia variable de microondas combinado con bajas temperaturas (30 y 50 °C) del aire puede dar lugar a un proceso de secado rápido, con excelentes características del producto final.

Los resultados experimentales demostraron que la aplicación de pulsos de energía de microondas en métodos combinados favorece la velocidad de secado de fruta de ananá con y sin DO previa. Específicamente se observó que al disminuir la frecuencia de aplicación de microondas se conserva o incrementa la velocidad de pérdida de agua, es decir que se recomienda la frecuencia de $1/60 \text{ min}^{-1}$. Asimismo, los resultados señalan que en ensayos con pulsos aplicados con igual frecuencia la velocidad de pérdida de agua es mayor cuando la amplitud de pulso fue de 20 segundos respecto de los ensayos con pulsos de 10 segundos.

4.3.3 Modelado matemático de la pérdida de agua

La aplicación de pulsos de energía de microondas al secado convectivo aumenta las diferencias del sistema físico real al modelo difusivo estricto (que implica temperatura constante, entre otras consideraciones), por lo cual no se consideraron aplicables las ecuaciones integradas de la segunda ley de Fick para describir la transferencia de masa durante el secado de ananá en corriente de aire con aplicación de pulsos de MW. Los valores de humedad experimentales expresados como relación adimensional (MR) se ajustaron al modelo empírico de Page (Page, 1949).

Los valores de los parámetros resultantes del ajuste por regresión no lineal de la Ecuación 3.28 a los datos experimentales y los errores de estimación para el modelo de Page se presentan en la Tabla 4.3. El parámetro k puede ser considerado como una medida de la velocidad de pérdida de humedad cuando se comparan experiencias con valores de N equivalentes (Ramallo y Mascheroni, 2012).

Tabla 4.3. Constantes y ajustes del modelo de Page para el secado de ananá

| Tratamiento | Modelo de Page | | | |
|---------------------|----------------|-----|--------|--------------|
| | k | N | r^2 | E_{pp} (%) |
| E1: SAC | 0,0036 | 1,2 | 0,9978 | 3,25 |
| E2: SAC30/MW10 | 0,0045 | 1,2 | 0,9715 | 13,43 |
| E3: SAC60/MW10 | 0,0045 | 1,2 | 0,9726 | 12,15 |
| E4: SAC30/MW20 | 0,00014 | 1,9 | 0,9916 | 10,29 |
| E5: SAC60/MW20 | 0,0002 | 1,9 | 0,9804 | 15,72 |
| E6: SAC + MW20/2 | 0,0021 | 1,3 | 0,9567 | 12,47 |
| E7: DO + SAC | 0,0097 | 1,0 | 0,9978 | 2,60 |
| E8: DO + SAC30/MW20 | 0,0142 | 1,0 | 0,9576 | 11,44 |
| E9: DO + SAC60/MW20 | 0,0145 | 1,0 | 0,9647 | 13,17 |

Se encontró que la frecuencia de aplicación de los pulsos de MW no afecta los valores de k en los ensayos con pulsos de 10 segundos (E2 y E3) pero son ligeramente mayores a los valores de k del secado continuo (E1), indicando una mayor velocidad de secado para los ensayos con aplicación de pulsos de energía de microondas. Esto puede deberse a que las microondas producen incremento de la temperatura en el interior del sólido, afectando a la presión de vapor en el interior del sistema que facilitan los mecanismos de movimiento de agua hacia el exterior del producto. Como consecuencia de este proceso, los tiempos de tratamiento se acortan y la calidad final del producto se incrementa (Gamboa y Santos, 2016).

En la Figura 4.9 se muestran los datos experimentales (símbolos) de la cinética para el secado continuo con aire caliente (E1) y el secado con pulsos de microondas de 20 segundos cada 60 minutos (E5) y el calculado por el modelo de Page (líneas). El coeficiente de regresión lineal (r^2) fue de 0,98, indicando un buen ajuste y el error

promedio porcentual de la estimación fue de 15,72% para las condiciones del ensayo E5.

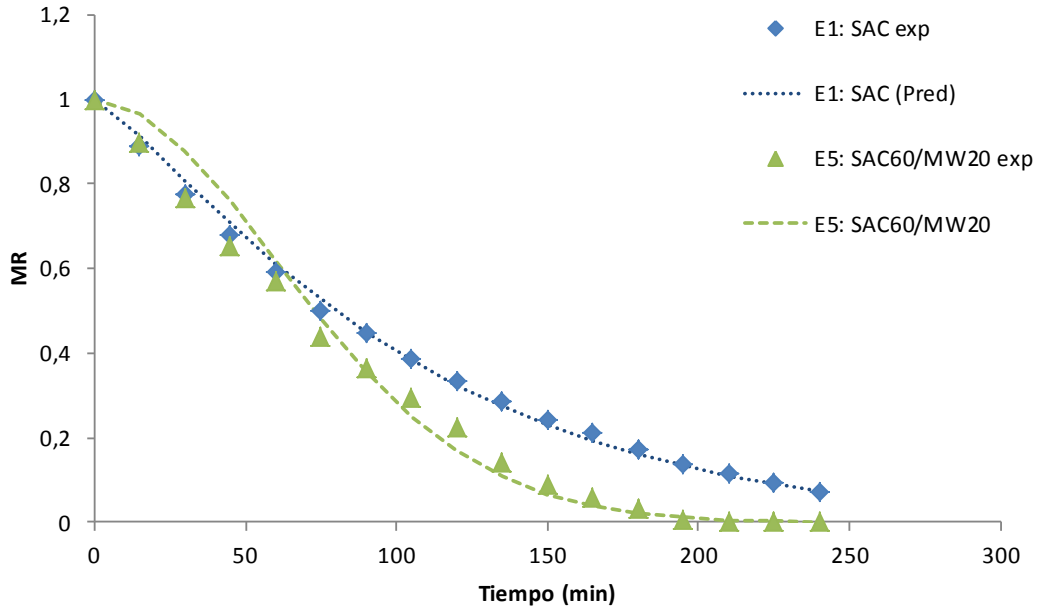


Figura 4.9. Variación de la humedad adimensional experimental y la predicha por el modelo de Page para el secado de ananá

Se puede apreciar en la gráfica anterior que en las muestras de E5, luego del pulso de microondas a los 60 minutos un aumento de la velocidad de pérdida de agua respecto del ensayo E1.

Kassem y col. (2011) realizaron estudios similares en la comparación del secado de uvas sin semillas empleando 2 métodos combinados de secado con aire caliente y microondas y secado con aire caliente solamente, concluyendo que el proceso de mayor duración fue el secado con aire caliente, luego el secado convectivo+1 pulso, y el de menor tiempo de secado fue el ensayo que aplica 1 pulso al inicio y continúa el secado convectivo. Al aplicar el modelo de Page, Kassem obtuvo resultados similares de la constante N para el secado con aire caliente (1,189), y en los métodos combinados de SAC/MW los valores fueron de 1,446 y 1,513 respectivamente, siendo superiores al obtenido por SAC, semejantes resultados fueron obtenidos en este estudio.

En el caso de las muestras osmodeshidratadas previamente al secado tuvieron un cambio en el valor de N manifestando su cambio composicional, y con respecto a la velocidad de secado se obtuvo un aumento de la constante en las muestras secadas con aire caliente más pulsos de microondas. Esto se debe a que la aplicación de pulsos de microondas beneficia a la salida de agua del producto hacia la superficie. Una deshidratación osmótica previa de muchas horas generaría una costra superficial gruesa que limitaría el posterior secado (Fernandes et al., 2009). Berbert y col. (2016) sugieren que las moléculas de soluto penetran en los tejidos de la capa superficial de la

fruta, impregnando de manera más intensa que impide la eliminación de agua de su interior, lo que reduce la velocidad de secado posterior.

4.3.4 Caracterización de fruta de ananá deshidratado

Diversos aspectos integran el concepto de calidad de un alimento: calidad sensorial, calidad nutritiva, calidad sanitaria, entre otros.

A lo largo de la tesis abordaremos algunas de estas cuestiones con el fin de caracterizar los productos obtenidos y la influencia de las variables sobre las mismas.

4.3.4.1 Caracterización sensorial: Análisis Descriptivo

Se empleó la evaluación sensorial como herramienta para describir o caracterizar los productos elaborados, como así también su aceptabilidad sensorial, como parámetros importantes en la calidad de los productos.

Con el objetivo de describir las características más representativas de los productos deshidratados obtenidos y evaluar si existen diferencias entre los tres métodos de secado (SAC, SAC60/MW20 y DO+SAC), se realizó un análisis descriptivo cuantitativo (QDA).

Se trabajó con frutas de ananá con un contenido promedio de humedad de $88,06 \pm 2,28$ (g agua/100g fr fresca) y de sólidos solubles de $11,52 \pm 1,38$ °Brix. El contenido promedio de agua de las muestras de ananá deshidratados por los métodos de secado fue de $25,86 \pm 7,24$ g agua/100g fr fresca.

En las primeras sesiones grupales (Etapa 1), los evaluadores se familiarizaron con las características de los productos y desarrollaron términos descriptivos de los mismos y se utilizaron para el análisis descriptivo de las muestras (Figura 4.10a).

Los descriptores elegidos por consenso se presentan en la Tabla 4.4.

Tabla 4.4. Atributos y descriptores de ananá deshidratado

| Atributo | Descriptores |
|---------------|--------------|
| Color | Amarillo |
| | Pardo |
| Aroma | Ananá fresco |
| Sabor | Ananá fresco |
| | Dulce |
| Textura bucal | Dureza |
| | Cohesividad |

En las sesiones siguientes (Etapa 2) se efectuó el entrenamiento del panel, donde se familiarizaron con el uso de la escala de medición, se presentaron las referencias o estándares de cada atributo para orientar a los evaluadores y se generó el consenso entre los evaluadores (Figura 4.10b). Posteriormente a ello, se realizó la etapa de medición final (Etapa 3), por duplicado en 2 días diferentes (Figura 4.10c).



Figura 4.10. Sesión de desarrollo de descriptores (a); Sesión de entrenamiento (b) y Sesión de medición (c)

Los resultados obtenidos de la evaluación sensorial por ensayos descriptivos de las tres muestras de ananá deshidratados y la fruta fresca (usada como referencia) se presentan en la Tabla 4.5. Aquí se observan los promedios de la calificación de los evaluadores para cada atributo según condiciones de secado.

Tabla 4.5. Valores promedios de las puntuaciones para cada atributo sensorial según condición de secado

| <i>Atributos</i> | <i>SAC</i> | <i>SAC60/MW20</i> | <i>DO+SAC</i> | <i>Fruta Fresca (Referencia)</i> |
|----------------------|------------|-------------------|---------------|----------------------------------|
| Color amarillo | 7,29 b | 7,43 b | 5,54 a | 5 |
| Color pardo | 5,77 c | 4,29 b | 3,08 a | 0 |
| Aroma | 3,39 a | 5,50 c | 4,75 b | 5 |
| Dulce | 3,25 a | 4,57 b | 8,82 c | 5 |
| Sabor a ananá fresco | 5,18 a | 5,89 a | 4,04 a | 10 |
| Cohesividad | 6,25 a | 5,82 a | 4,89 a | 5 |
| Dureza | 7,82 b | 5,25 a | 4,21 a | 3 |

**Letras distintas en cada fila indican diferencias significativas de cada atributo según el test de Tukey ($p < 0,05$).*

Los evaluadores consideraron que existen diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre los ananás deshidratados utilizando los tres tratamientos en los siguientes descriptores: colores amarillo y pardo, aroma, sabor dulce, y dureza,

donde se observó que $F_{exp} > F_{crit}$. En cambio, no han detectado diferencias en los descriptores sabor característico a la fruta fresca y cohesividad.

No se observaron diferencias significativas del color amarillo entre las muestras secadas con SAC y SAC60/MW20, esto es positivo para la aplicación de pulsos de MW al secado tradicional sin cambios visibles del color amarillo. En cuanto a las muestras tratadas con DO+SAC presentaron diferencias significativas con las otras dos muestras. Fueron las que presentaron mayor variabilidad de respuestas, pero la media resultó ser cercana a 5, es decir la más cercana al color de la fruta fresca. En otras palabras, presentan una coloración amarilla más clara.

Los evaluadores calificaron con mayor puntuación del atributo color pardo a las muestras secadas con aire caliente y la menor puntuación fue atribuida a las muestras tratadas con DO+SAC. Esta coloración puede ser atribuida a reacciones de oxidación o de pardeamiento enzimático. Diversos estudios demostraron que los azúcares empleados en la solución osmótica quedan sobre la superficie de la fruta, ejerciendo un efecto protector frente a reacciones de oxidación en áreas directamente en contacto con el oxígeno del aire de secado, y por ende disminuyen las variaciones del color en los procesos combinados de DO+SAC, en ananá (Lombard et al., 2008; Ramallo y Mascheroni, 2012), en pimienta (Vega, 2003) y en melón (Velarde-Parra et al., 2008).

Se observó una mayor puntuación al atributo dureza a aquellas muestras tratadas con el método SAC con una diferencia significativa respecto a los demás métodos de deshidratación. Las muestras tratadas con DO+SAC fueron las que recibieron menor valoración, lo que demuestra que fueron las más blandas. En cuanto a la cohesividad no se encontraron diferencias significativas entre los 3 tratamientos. Este atributo está relacionado con la fuerza necesaria para que la muestra se deforme antes de romperse cuando se muerde con los molares. La mayor puntuación en este caso le corresponde las frutas que fueron secadas por el método convectivo y las que fueron tratadas con DO recibieron la menor puntuación.

Se observó que aquellas que fueron tratadas por el método de secado con aire caliente retienen en menor medida su aroma típico a fruta fresca, habiendo una marcada diferencia con respecto a las demás muestras ($p < 0,05$).

Con respecto al sabor dulce, como es de esperar, las muestras que fueron tratadas con DO+SAC, presentan mayor valoración (más dulces) y existe una notable diferencia ($p < 0,05$) respecto a las otras muestras.

No se han observado diferencias significativas en cuanto al sabor característico de fruta fresca entre las muestras de ananá deshidratado con los distintos métodos. Se puede inferir que las tratadas con SAC60/MW20 tuvieron una mayor puntuación y las tratadas con DO+SAC la menor puntuación.

Para una mejor visualización de las diferencias encontradas en las distintas muestras de ananá deshidratados se presenta en el siguiente gráfico los descriptores analizados (Figura 4.11).

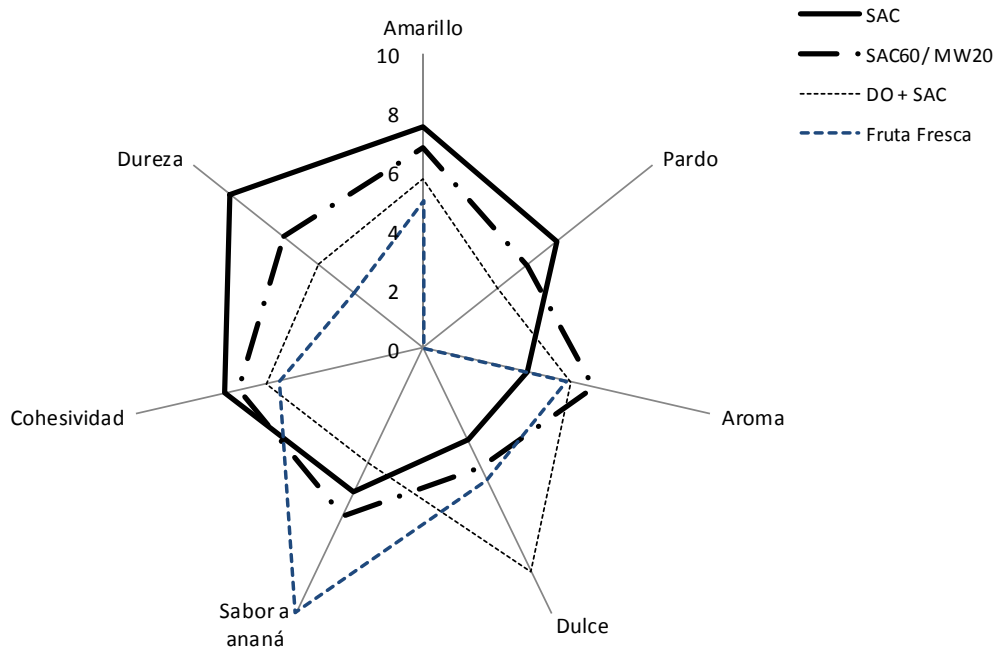


Figura 4.11. Representación tipo “Tela de araña” del perfil sensorial de ananá deshidratado

En términos generales se puede inferir que la muestra tratada con DO+SAC presentó menor puntuación en coloración amarilla y parda, sabor a ananá fresco y en dureza, pero una puntuación notablemente superior en el sabor dulce, lo que era de esperar debido al tipo de tratamiento aplicado. Las muestras tratadas con SAC recibieron mayor puntaje en dureza y muy bajo puntaje en sabor dulce y aroma. Las muestras con pulsos de microondas presentaron características sensoriales intermedias a las anteriores, pero con mayor puntuación en aroma y sabor a ananá fresco, siendo un aspecto positivo a resaltar porque en el secado tradicional se perdía gran parte de los compuestos volátiles. En cuanto a la cohesividad y sabor a ananá fresco no se observan diferencias entre las muestras, lo que indica que los tratamientos no afectan significativamente a dichas propiedades.

El ensayo descriptivo de ananá deshidratado permitió determinar los principales atributos que caracterizan a estos productos, como así también poder evaluar que existen diferencias entre los tres métodos de secado.

4.4 Impregnación de la matriz vegetal con ácido ascórbico y calcio

En esta sección se presentan los resultados de los ensayos de impregnación de medias rodajas de ananá de 6 mm de espesor con lactato de calcio y ácido ascórbico. El estudio de impregnación se llevó a cabo en dos medios: isotónico e hipertónico, a igual concentración de lactato de calcio y de ácido ascórbico, a temperatura y agitación constantes.

Con la finalidad de explicar el fenómeno de incorporación de calcio y ácido ascórbico en la matriz vegetal se aplicó el modelo difusional de Fick y se analizó por medio de medidas instrumentales su efecto sobre características de la fruta impregnada como el incremento en el contenido de los nutrientes, microestructura, parámetros mecánicos y color.

4.4.1 Transferencia de masa

Se presenta en la Figura 4.12 los datos experimentales de pérdida de agua (ΔW) y ganancia de sacarosa (ΔS) de láminas de ananá durante los diferentes tratamientos descritos en el capítulo 3, apartado de 3.4.

Cuando la solución de impregnación tiene la misma concentración de solutos en la fruta (solución isotónica), el flujo de agua del alimento a la solución no es significativo, a diferencia de lo que sucede cuando la concentración de sacarosa es mayor en la solución que en el tejido vegetal (solución hipertónica): el agua sale de la fruta y se produce la deshidratación osmótica. Sin embargo, se observó un ligero aumento en la pérdida de agua durante la inmersión de la fruta en la solución isotónica (Figura 4.12). Dado que el contenido de agua del tejido vegetal permaneció sin cambios significativos durante el proceso isotónico (Tabla 4.8) se puede suponer que el cambio de masa cuantificado como pérdida de agua de acuerdo con las Ecuaciones de transferencia de masa (Cap. 3, Ec 11-15), fue de hecho una pérdida de masa debido a la desintegración del material nativo, pérdida de solutos, etc. Estas observaciones concuerdan con las lecturas de transmitancia (Tabla 4.11) de soluciones de impregnación, ya que la disminución de los valores de transmitancia de la solución isotónica fue mayor que la de la solución hipertónica al final del proceso.

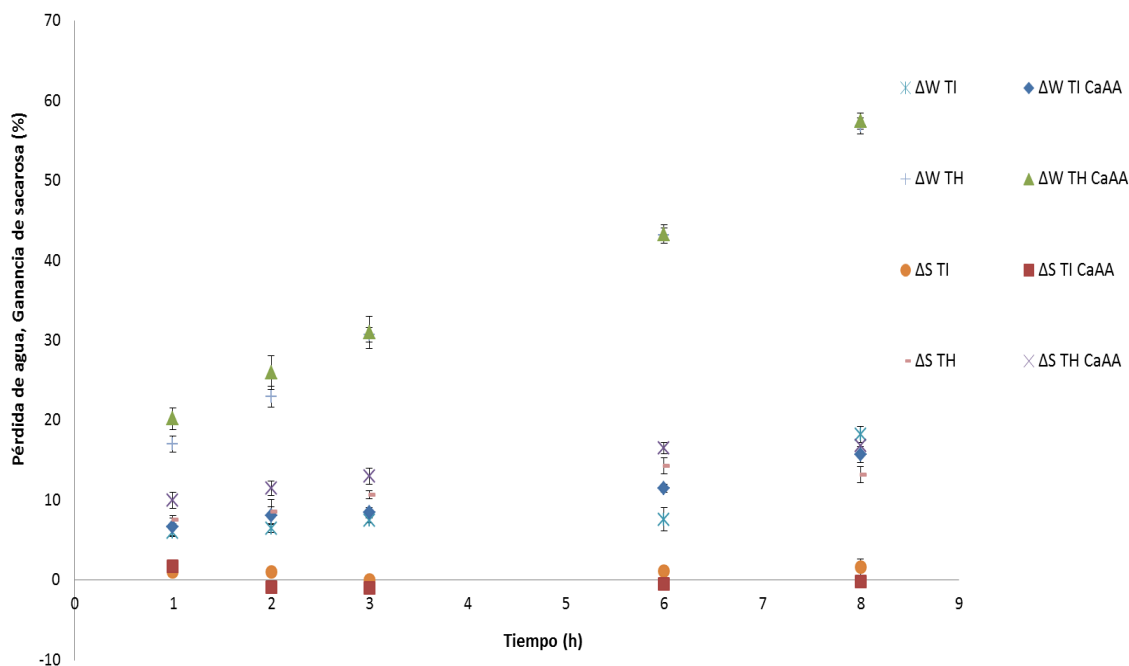


Figura 4.12. Variación de la pérdida de agua (ΔW) y la ganancia de sacarosa (ΔS) del ananá durante el tratamiento de impregnación en solución isotónica e hipertónica, sin (TI y TH) y con ácido ascórbico y lactato de calcio (TI_{CaAA} y TH_{CaAA})

La incorporación de calcio y ácido ascórbico al jarabe no afectó significativamente la pérdida de agua durante la deshidratación osmótica a 50 °Brix. Este comportamiento se repitió en medio isotónico a tiempos de tratamiento cortos, pero después de 6 h de inmersión la pérdida de agua es mayor cuando la solución contiene calcio y ácido ascórbico.

La ganancia de sacarosa se incrementó con la adición de calcio y ácido ascórbico en la solución hipertónica (Figura 4.12). Estos resultados concuerdan con los presentados por Silva y col. (2014b) en un estudio de optimización de deshidratación osmótica de ananá mediante la evaluación del efecto de las concentraciones de sacarosa, lactato de calcio y ácido ascórbico en solución acuosa cuaternaria, donde el ácido ascórbico en solución osmótica aumenta la impregnación de sacarosa y calcio en ananá, pero solo la concentración de sacarosa reduce significativamente la pérdida de agua de las muestras. Del mismo modo, Silva y col. (2014a) estudiaron el efecto de la adición de lactato de calcio en el jarabe osmótico sobre la cinética de transferencia de masa durante la deshidratación osmótica de ananá y concluyeron que la adición de calcio tiende a restringir la ganancia de sacarosa en la matriz de la planta. Este comportamiento restrictivo del calcio sobre la ganancia de sacarosa es similar al observado por Mavroudis y col. (2012) en la deshidratación osmótica de manzanas y por Pereira y col. (2006) durante la deshidratación osmótica de guayabas. Por otra parte, Mauro y col. (2016) señalaron que la adición de ácido ascórbico tiene el efecto opuesto al agregado de calcio, promoviendo los flujos de agua y soluto durante la deshidratación osmótica porque el ácido ascórbico afecta la porosidad de las paredes celulares en los tejidos de manzana.

4.4.2 Incorporación de ácido ascórbico y calcio en la fruta

En las Figuras 4.13 y 4.14 se presentan los resultados del contenido de ácido ascórbico y calcio expresados en mg/100 g de fruta fresca en función del tiempo de inmersión. La concentración de sacarosa en el jarabe de inmersión afecta de forma diferente la ganancia de ácido ascórbico y calcio en la fruta.

Por un lado, la concentración de sacarosa de la solución de impregnación no afectó la incorporación de ácido ascórbico en las primeras horas de tratamientos. A continuación, se registró un marcado aumento del contenido de ácido ascórbico en las muestras procesadas en medio isotónico (Figura 4.13).

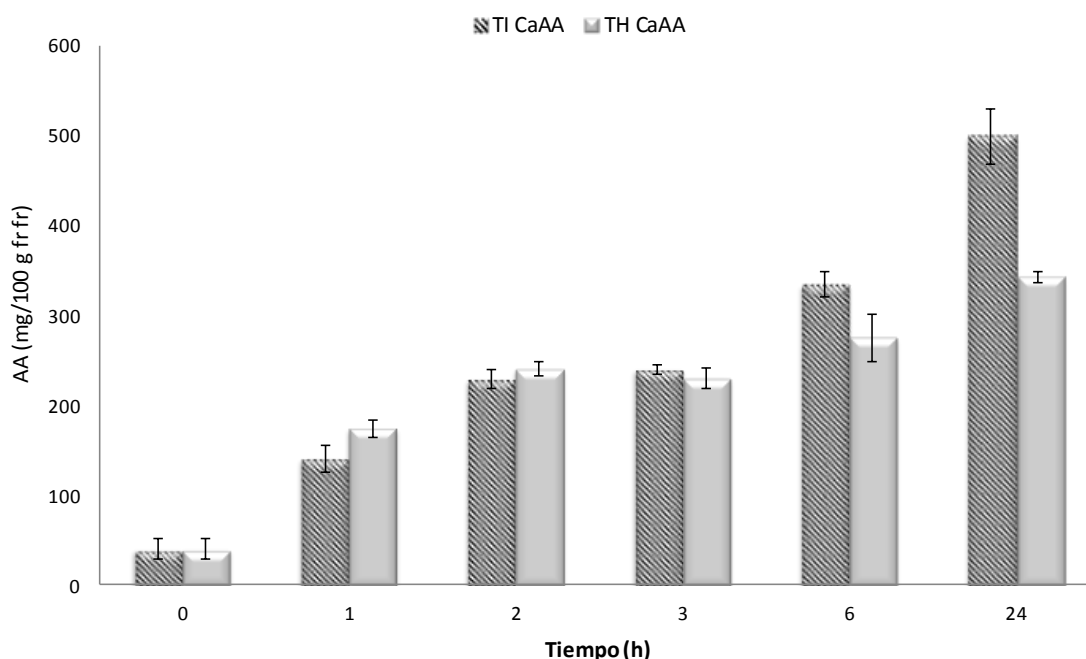


Figura 4.13. Variación del contenido de ácido ascórbico en fruta de ananá en función del tiempo y medio de impregnación

Por el otro lado, como puede verse en la Figura 4.14, la incorporación de calcio en la matriz vegetal se vio favorecida por la disminución del contenido de sacarosa de la solución. El contenido de calcio del ananá aumentó continuamente durante el proceso isotónico; por el contrario, estos valores se mantuvieron prácticamente sin cambios después de la primera hora de tratamiento en solución hipertónica. Este comportamiento podría deberse a la formación de una corteza con alto contenido de sacarosa en la superficie de las muestras de fruta a través del proceso osmótico, como lo corrobora la micrografía de la Figura 4.15. Otros autores (Lenart y Flink, 1984; Saurel et al., 1994; Giraldo et al., 2003) también han observado la formación de costras y la consecuente limitación de la entrada de nutrientes durante la deshidratación osmótica, como así también limitación para el secado posterior (Fernandes et al., 2009).

Sin embargo, la incorporación de ácido ascórbico en la fruta inmersa en solución hipertónica no estuvo limitada por la formación de la costra, que puede deberse al

hecho de que el ácido ascórbico tiene un peso molecular menor que el lactato de calcio pentahidratado (176,12 y 308,29 g / mol respectivamente (Phisut, 2012).

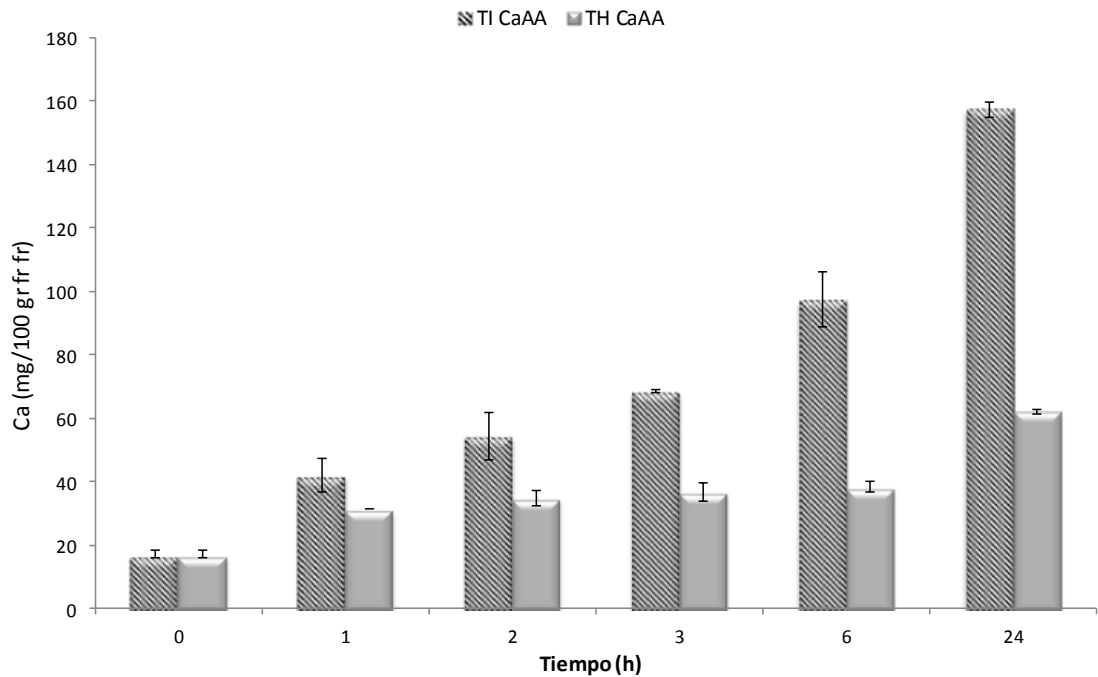


Figura 4.14. Variación del contenido de calcio en fruta de ananá en función del tiempo y medio de impregnación



Figura 4.15. Microfotografía de muestra de ananá inmersa en TH_{CaAA} por 3h que ilustra la capa superficial con alto contenido de sacarosa

El efecto de la concentración de la solución sobre la incorporación de calcio y ácido ascórbico en la fruta varía de acuerdo a las características químicas y estructurales del tejido vegetal. Silva y colaboradores (2014b) evaluaron la ganancia de sacarosa, lactato de calcio y ácido ascórbico en procesos de deshidratación osmótica de ananá a 40-45-50 °Brix, determinando que los ensayos a menor

concentración de sacarosa presentan la mayor ganancia de ácido ascórbico y de calcio. Estudios de impregnación con lactato de calcio en melones durante deshidratación osmótica (40 y 60 °Brix) obtuvieron mayor incorporación del mineral con la menor concentración de solución osmótica (Ferrari et al., 2010). Asimismo, Nagai y colaboradores (2015) en un estudio reciente de impregnación con ácido ascórbico durante la deshidratación osmótica de mangos (40-60°Brix) encontraron que la concentración de sacarosa de la solución no influyó significativamente en la ganancia de ácido ascórbico de las muestras. En procesos de impregnación en medio isotónico, se reportan buenos resultados en la incorporación de calcio en manzanas (Anino et al., 2006) y en papaya (Lovera et al., 2014). No se encontraron estudios de impregnación de ananá con calcio y ácido ascórbico en soluciones isotónicas.

4.4.3 Modelado matemático de la impregnación

Para describir la transferencia de masa de los solutos estudiados: calcio y ácido ascórbico en los medios de impregnación se empleó la solución analítica de la segunda ley de Fick para una placa plana.

Se evaluó la cinética de incorporación de los nutrientes en la matriz vegetal en las dos condiciones mencionadas. Los resultados se presentan en la Tabla 4.6. Cabe aclarar que el ensayo de 24 h de inmersión se efectuó con el objetivo de evaluar el contenido máximo del nutriente en las condiciones de operación aplicadas.

Tabla 4.6. Cinética de impregnación de ácido ascórbico y de calcio en fruta de ananá impregnada en medio acuoso isotónico (Fr I) e hipertónico (Fr H)

| Muestra | AA (mg/ g Fr Fr) | AA (mg/ g de producto) | Ca (mg/ g Fr Fr) | Ca (mg/ g de producto) |
|--------------|---------------------|---------------------------|---------------------|---------------------------|
| Fruta Fresca | 0,40 ± 0,12 | 0,40 ± 0,12 | 0,17 ± 0,01 | 0,17 ± 0,01 |
| Fr I 1 h | 1,41 ± 0,15 | 1,48 ± 0,16 | 0,42 ± 0,05 | 0,44 ± 0,05 |
| Fr I 2 h | 2,29 ± 0,10 | 2,45 ± 0,13 | 0,54 ± 0,07 | 0,59 ± 0,08 |
| Fr I 3 h | 2,40 ± 0,00 | 2,59 ± 0,10 | 0,68 ± 0,01 | 0,74 ± 0,01 |
| Fr I 6 h | 3,43 ± 0,14 | 3,86 ± 0,15 | 0,97 ± 0,09 | 1,10 ± 0,10 |
| Fr I 24 h | 4,99 ± 0,31 | 5,93 ± 0,37 | 1,57 ± 0,03 | 1,87 ± 0,03 |
| Fruta Fresca | 0,40 ± 0,12 | 0,40 ± 0,12 | 0,17 ± 0,01 | 0,17 ± 0,01 |
| Fr H 1 h | 1,74 ± 0,09 | 1,88 ± 0,11 | 0,31 ± 0,01 | 0,34 ± 0,01 |
| Fr H 2 h | 2,41 ± 0,08 | 2,69 ± 0,09 | 0,35 ± 0,02 | 0,39 ± 0,03 |
| Fr H 3 h | 2,29 ± 0,12 | 2,72 ± 0,14 | 0,37 ± 0,02 | 0,43 ± 0,04 |
| Fr H 6 h | 2,75 ± 0,27 | 2,73 ± 0,37 | 0,38 ± 0,02 | 0,52 ± 0,02 |
| Fr H 24h | 3,42 ± 0,06 | 5,69 ± 0,09 | 0,62 ± 0,01 | 1,03 ± 0,01 |

Los valores obtenidos en la fruta fresca se encuentran dentro del rango de valores reportados para diferentes variedades de ananá: en vitamina C, 37 mg/100 g de fruta fresca (Barberis et al., 2012), 30,6 mg/100 g de fruta fresca (Vinci et al., 1995), 27 mg/100 g de fruta fresca (Hernández et al., 2006) y 40,3 mg/g de fruta fresca (ARGENFOOD 2017), y en calcio la base de datos de nutrientes del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA 2016) reportan 13 mg/100 g fruta fresca, y en Argentina, reportan 12 mg/100 g fruta fresca (ARGENFOOD 2017).

En la Tabla 4.7 se presentan los coeficientes de difusión (D_{ef}) para el calcio y el ácido ascórbico, calculados a partir de los datos experimentales del contenido de cada nutriente en función del tiempo de impregnación, y el error promedio porcentual que permite evaluar el grado de ajuste de los datos experimentales contra los datos teóricos del modelo de Fick (Ecuación 3.21).

Tabla 4.7. Coeficientes difusivos del calcio y ácido ascórbico en medio isotónico e hipertónico, y parámetros de ajuste del modelo difusional

| Tratamiento | Calcio | | Ácido Ascórbico | |
|--------------------|---|--------------|---|--------------|
| | $D_{efCa} 10^{11}$ (m ² /s) | <i>Epp</i> % | $D_{efAA} 10^{11}$ (m ² /s) | <i>Epp</i> % |
| TI _{CaAA} | 16,05 | 3,99 | 15,55 | 5,76 |
| TH _{CaAA} | 7,43 | 5,28 | 14,50 | 6,45 |

Los coeficientes de difusión obtenidos para el calcio y ácido ascórbico fueron del orden de 10⁻¹¹ m²/s. Los altos coeficientes obtenidos para el ácido ascórbico se condicen con los resultados de ganancia donde observamos que el ingreso del ácido ascórbico a la matriz vegetal no mostró resistencia al transporte difusivo a través de las membranas celulares, y a su vez son muy similares los valores de coeficientes de difusión de este nutriente en ambos medios de impregnación. Con respecto al calcio, observamos un valor mayor del coeficiente de difusión del Ca en el tratamiento isotónico respecto del hipertónico. En las Figuras 4.16 y 4.17 se presentan los datos experimentales (símbolos) de la variación adimensional del contenido de calcio (MR_{Ca}) y ácido ascórbico (MR_{AA}) respectivamente y los calculados por el modelo de Fick (líneas punteadas) durante la impregnación de ananá en medio isotónico e hipertónico.

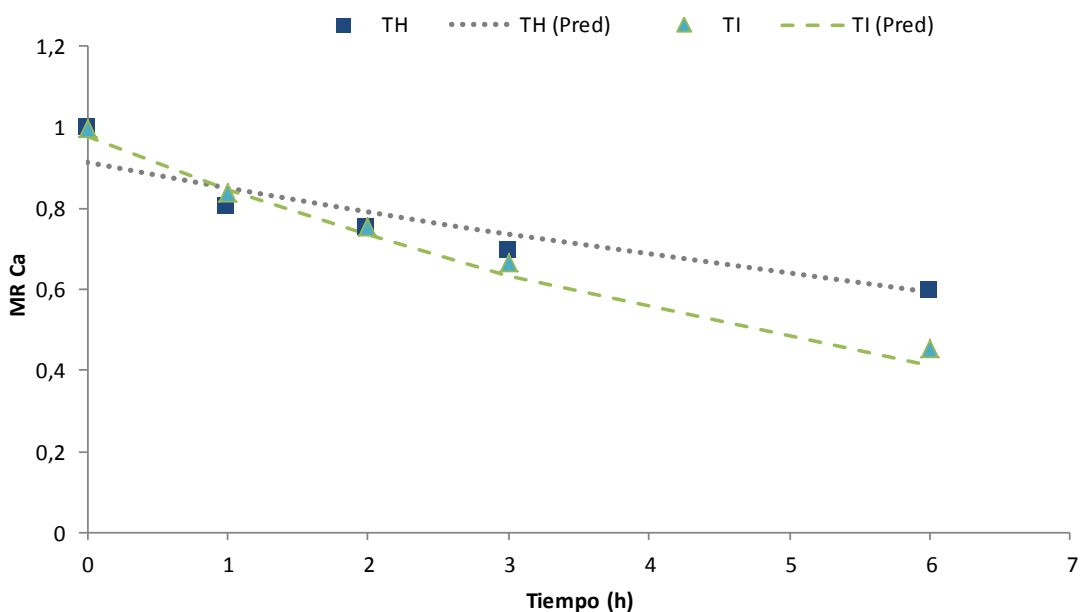


Figura 4.16. Relación adimensional del contenido de calcio durante la impregnación isotónica (TI) e hipertónica (TH) de ananá: valores experimentales (símbolos) y predichos por el modelo de Fick (líneas punteadas)

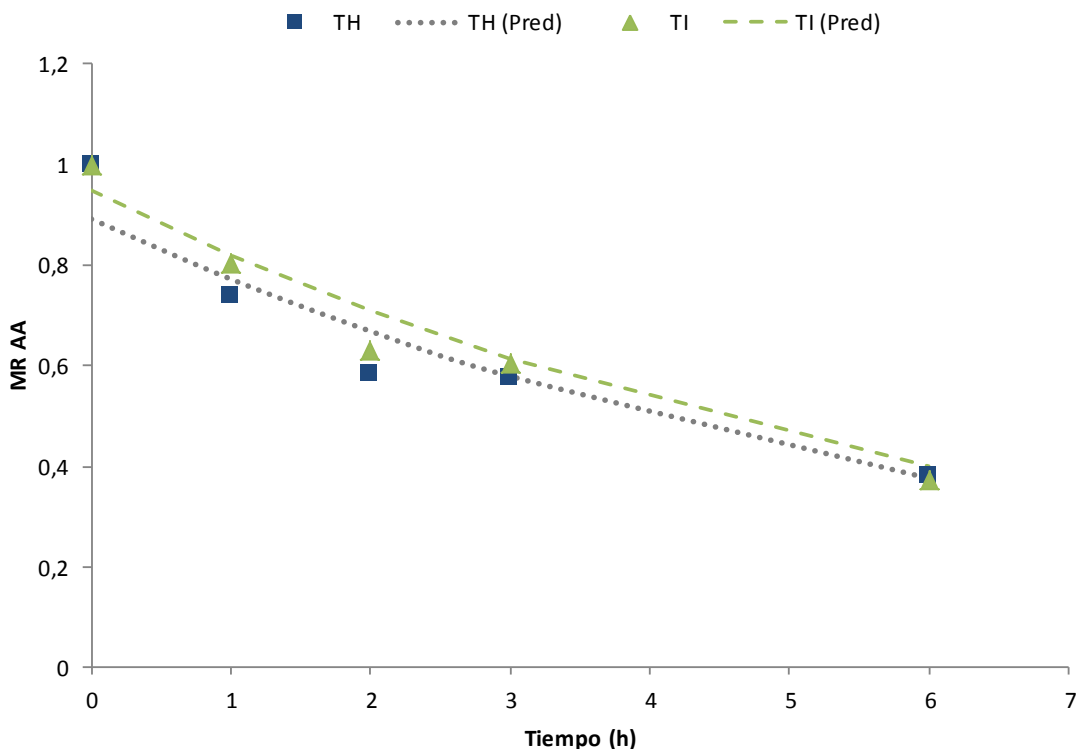


Figura 4.17. Variación de la relación adimensional del contenido de ácido ascórbico durante la impregnación isotónica (TI) e hipertónica (TH) de ananá: valores experimentales (símbolos) y predichos por el modelo de Fick (líneas punteadas)

Varios autores reportan valores de coeficientes de difusión de nutrientes en matrices vegetales del mismo orden de magnitud que los calculados en este trabajo. Silva y col. (2014a) estimaron coeficientes de difusión efectivo del lactato de calcio durante la deshidratación osmótica de placas de ananá, entre $4,9 \cdot 10^{-11}$ – $16,3 \cdot 10^{-11}$ m²/s. Por otra parte, en otro trabajo de estos autores (2014b) reportan coeficientes de difusión para calcio de $57,4 \cdot 10^{-11}$ m²/s y de $48,6 \cdot 10^{-11}$ m²/s para el ácido ascórbico durante deshidratación osmótica de ananá a 50% sacarosa + 4% de lactato de calcio + 2% de ácido ascórbico. Dichos resultados son mayores a los nuestros, esto puede deberse a que la concentración de los nutrientes que emplearon esos autores es el doble de la empleada en este trabajo de tesis, una variedad diferente de ananá, y la relación fruta/jarabe fue de 1/10.

4.4.4 Caracterización de las frutas impregnadas

Con la finalidad de analizar el efecto de los tratamientos de impregnación en dos medios acuosos de diferente contenido de sacarosa pero igual concentración de Ca y AA, a 40°C y con agitación sobre la fruta de ananá se analizaron los contenidos de sólidos solubles (SS), pH, acidez titulable (AT), contenido de los nutrientes, propiedades mecánicas y propiedades ópticas de estos productos intermedios, tanto de fruta tratada en solución isotónica con y sin nutrientes (TI_{CaAA} y TI) y en solución hipertónica con y sin nutrientes (TH_{CaAA} y TH) (Tabla 4.8).

Tabla 4.8. Valores medios y desvío estándar de humedad, pH, contenido de sólidos solubles (SS) y de acidez titulable (AT) de fruta fresca (Fr Fr) y en frutas tratadas en diferentes tiempos

| Muestra | SS (°Brix) | pH | AT (g ác./100 g Fr) | Humedad (g agua/ g Fr) |
|------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|
| Fr Fr | 14,02 ± 1,37 ^a | 3,78 ± 0,04 ^{bc} | 0,63 ± 0,10 ^{cde} | 0,864 ± 0,10 ^c |
| TI 3 h | 14,34 ± 0,23 ^a | 3,76 ± 0,06 ^{bc} | 0,48 ± 0,03 ^b | 0,853 ± 0,09 ^c |
| TI 6 h | 14,52 ± 0,40 ^a | 3,94 ± 0,03 ^d | 0,38 ± 0,01 ^a | 0,843 ± 0,08 ^c |
| TI _{CaAA} 3 h | 15,30 ± 0,10 ^a | 3,91 ± 0,03 ^d | 0,52 ± 0,02 ^{bc} | 0,844 ± 0,01 ^c |
| TI _{CaAA} 6 h | 15,60 ± 0,30 ^a | 3,93 ± 0,02 ^d | 0,51 ± 0,03 ^{bc} | 0,841 ± 0,01 ^c |
| TH 3 h | 31,68 ± 1,00 ^b | 3,92 ± 0,03 ^d | 0,54 ± 0,01 ^c | 0,697 ± 0,02 ^b |
| TH 6 h | 37,78 ± 1,00 ^c | 3,66 ± 0,02 ^a | 0,68 ± 0,05 ^e | 0,607 ± 0,03 ^a |
| TH _{CaAA} 3 h | 30,60 ± 1,80 ^b | 3,82 ± 0,02 ^c | 0,61 ± 0,01 ^d | 0,675 ± 0,02 ^b |
| TH _{CaAA} 6 h | 39,70 ± 3,20 ^c | 3,84 ± 0,03 ^c | 0,77 ± 0,02 ^f | 0,605 ± 0,04 ^a |

* Letras minúsculas iguales en las mismas columnas no hay diferencias significativas entre los valores según Pruebas de Múltiple Rangos ($p > 0,05$).

Como se esperaba, las muestras tratadas en solución hipertónica tuvieron un aumento significativo en el contenido de sólidos solubles, debido al proceso osmótico.

Asimismo, la adición de calcio y ácido ascórbico a la solución hipertónica no afectó el contenido de SS de la fruta; mientras que en los tratamientos en solución isotónica hubo un ligero aumento en los valores de SS con la adición de lactato de calcio y ácido ascórbico y con el tiempo de inmersión, aunque estos cambios no

fueron estadísticamente significativos ($p > 0,05$). La acidez titulable del ananá disminuyó durante los tratamientos isotónicos, y se mantuvo sin variaciones significativas durante los tratamientos hipertónicos. La adición de lactato de calcio y ácido ascórbico a la solución isotónica restringió la reducción de la acidez titulable, posiblemente al aumentar el contenido de ácido ascórbico. Este efecto no se observó durante el tratamiento hipertónico. Aunque hubo variaciones en los valores de pH de las frutas durante los diferentes tratamientos, no hubo una tendencia de estos cambios, de acuerdo con otros estudios de deshidratación osmótica de ananá (Ramallo et al., 2013). No se observó variación en el contenido de agua de las frutas tratadas en solución isotónica, pero si fue significativa la reducción del contenido de agua en la fruta tratada en solución hipertónica donde disminuyó aproximadamente el 30% en 6 h de tratamiento.

4.4.4.1 Aporte nutricional

Frutas con 2 y 3 h de tratamiento en medio isotónico e hipertónico (Figura 4.13) no presentan diferencias significativas en el contenido de ácido ascórbico incorporado a la fruta. A partir de una porción de 50 g de esta fruta tratada se cubriría aproximadamente el 160 % de la ingesta diaria recomendada, (IDR), de vitamina C para una persona adulta promedio, es decir que se obtienen productos fortificados en ácido ascórbico empleando cualquiera de los medios de impregnación.

Sin embargo esta misma porción (3h de tratamiento) cubriría menos del 4 % del requerimiento diario recomendado de calcio, considerando que el requerimiento promedio estimado es de 1000 mg/día (IOM, 2011). En otras palabras, si bien el contenido de calcio de la fruta tratada por 6 h en medio isotónico fue seis veces mayor que en la fruta fresca (Figura 4.14), una porción de 50 g de esta fruta cubriría aproximadamente el 5,5% de la IDR de calcio.

Las dificultades para cubrir los requerimientos de calcio a partir de frutas impregnadas con este mineral ya han sido reportadas en otros estudios: manzanas con 6 h de impregnación en solución isotónica presentaron contenido de calcio de 130 mg/100g cubriendo de esta manera el 6,5% IDR con una porción de 50 g de fruta tratada (Anino et al., 2006); el producto resultante de la impregnación de ananá con 6 h de deshidratación osmótica con adición de lactato de calcio, presentó un contenido máximo de este nutriente de 90 mg/100 g, lo que cubriría aproximadamente el 5% IDR con 50 g de producto (Silva et al., 2014a).

4.4.4.2 Influencia de los medios de impregnación sobre las propiedades mecánicas

Ensayos de compresión uniaxial fueron realizados sobre muestras de ananá fresca y fruta tratada para evaluar el efecto de la incorporación de calcio y ácido ascórbico sobre el comportamiento mecánico de las muestras. El módulo de elasticidad (E_0), el esfuerzo (σ_{rup}^0) y la deformación (ϵ_{rup}^0) a la ruptura de la fruta fresca de ananá fueron $37,81 \pm 12$ kPa, $45,60 \pm 6,30$ kPa y $0,30 \pm 0,06$, respectivamente.

Las muestras de ananá de diferentes frutas frescas, seleccionadas en un grado de madurez similar, mostraron variabilidad de los valores de las propiedades mecánicas. Esta dispersión de los valores de las propiedades mecánicas es típica del tejido vegetal, como se ha documentado en el mango (Torres et al., 2006) y el ananá (Ramallo et al., 2013). Con el fin de comparar los resultados obtenidos en diferentes ensayos, reducir la redundancia de datos y mejorar la integridad de los resultados, las propiedades mecánicas se expresaron en forma normalizada con respecto al valor de la fruta fresca respectiva. Los valores normalizados de parámetros mecánicos medidos en muestras de ananá tratadas a través de diferentes condiciones, por diferentes períodos de tiempo se muestran en la Tabla 4.9.

Tabla 4.9. Valores normalizados de parámetros mecánicos de muestras de ananá con diferentes tratamientos en función del tiempo

| Tiempo (h) | TI | | | TICaAA | | | TH | | | THCaAA | | |
|------------|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| | $\sigma_{rup}/\sigma_{rup}^0$ | $\epsilon_{rup}/\epsilon_{rup}^0$ | E/Eo | $\sigma_{rup}/\sigma_{rup}^0$ | $\epsilon_{rup}/\epsilon_{rup}^0$ | E/Eo | $\sigma_{rup}/\sigma_{rup}^0$ | $\epsilon_{rup}/\epsilon_{rup}^0$ | E/Eo | $\sigma_{rup}/\sigma_{rup}^0$ | $\epsilon_{rup}/\epsilon_{rup}^0$ | E/Eo |
| 0 | 1 ^b | 1 ^a | 1 ^a | 1 ^b | 1 ^a | 1 ^b | 1 ^a | 1 ^a | 1 ^b | 1 ^a | 1 ^a | 1 ^b |
| 3 | 0,93 ^{a,A} (0,05) | 1,25 ^{a,A} (0,27) | 0,92 ^{a,B} (0,16) | 0,86 ^{a,A} (0,06) | 1,10 ^{ab,A} (0,20) | 0,70 ^{a,B} (0,25) | 0,92 ^{a,A} (0,08) | 1,63 ^{b,B} (0,21) | 0,30 ^{a,A} (0,09) | 1,07 ^{b,B} (0,05) | 1,14 ^{b,A} (0,12) | 0,34 ^{a,A} (0,15) |
| 6 | 0,85 ^{a,A} (0,07) | 1,90 ^{b,A} (0,40) | 0,90 ^{a,C} (0,28) | 0,88 ^{a,A} (0,08) | 1,48 ^{b,A} (0,30) | 0,47 ^{a,B} (0,18) | 1,22 ^{b,B} (0,06) | 1,72 ^{b,A} (0,18) | 0,19 ^{a,A} (0,08) | 1,30 ^{c,B} (0,08) | 1,38 ^{c,A} (0,10) | 0,20 ^{a,A} (0,08) |

*Valores entre paréntesis corresponden al desvío estándar.

** Letras minúsculas iguales en las mismas columnas señala que no hay diferencias significativas entre los valores, con nivel de confianza del 95%.

***Letras capitales iguales en las mismas filas y para el mismo parámetro, no hay diferencias significativas entre los valores, con nivel de confianza del 95%.

Durante los procesos isotónicos se observó que los valores de esfuerzo a la ruptura fueron levemente inferiores en comparación con la fruta fresca ($\sigma_{rup}/\sigma_{rup}^0 < 1$), sin efecto significativo del tiempo de tratamiento ni del agregado de calcio y ácido ascórbico. Por el contrario, el proceso de deshidratación osmótica a 50 °Brix tiende a incrementar los valores de la resistencia a la ruptura (σ_{rup}) con el tiempo de tratamiento, efecto que se ve potenciado por el agregado de calcio y ácido ascórbico al jarabe osmótico. Estos resultados señalan que la pérdida de agua afecta positivamente la firmeza del tejido. La reducción de la firmeza en los tratamientos isotónicos puede deberse al efecto de la temperatura de inmersión.

La influencia de la impregnación de alimentos con sales de calcio sobre las propiedades mecánicas ha sido estudiada por varios autores, en muchos casos, el calcio en el tejido de la fruta puede prevenir la pérdida de firmeza durante los tratamientos pero la relación del incremento de calcio y la firmeza del tejido depende finalmente de la composición y estructura de tejido, es decir las propiedades mecánicas de diferentes frutas cambian de modo diferente con la incorporación de calcio (Jackman y Staley, 1995; Chiralt et al., 2001). Anino y colaboradores (2006) manifiestan que a largos periodos de inmersión (>6 h) de manzana en solución de impregnación isotónica con lactato y gluconato de calcio, disminuye la fuerza de ruptura y el módulo de elasticidad y que el contenido de calcio afectó significativamente los valores de las propiedades mecánicas de la fruta. Gras y colaboradores (2003) estudiaron la impregnación a vacío de calcio empleando

solución isotónica de sacarosa en diferentes vegetales, encontrando que en zanahorias y berenjenas hubo un incremento en firmeza con la ganancia de calcio, mientras que el contenido de calcio no afectó los valores de firmeza de hongos. Esto se atribuye a que se los iones de calcio forman enlaces cruzados o puentes entre los grupos carboxilo libres de las cadenas de pectina, resultando en el fortalecimiento de la pared celular. Lovera y colaboradores (2014) hallaron un efecto positivo de la impregnación de lactato de calcio sobre el aumento de firmeza en muestras de papaya en solución isotónica. Silva y colaboradores (2014a) evaluaron el efecto de la impregnación con lactato de calcio durante la deshidratación osmótica de ananá encontrando que no hubo influencia significativa del contenido de calcio en los valores de esfuerzo de ruptura.

El módulo de elasticidad (E) fue afectado por el tiempo de tratamiento y la concentración de la solución osmótica. Este parámetro a menudo se asocia con la pérdida de turgencia tisular. Una disminución drástica en el módulo E del ananá fue causada por la deshidratación osmótica (Tabla 4.8). Este efecto fue más prominente al inicio del procesamiento. En medio hipertónico no se observó efecto significativo del agregado de calcio y ácido ascórbico sobre el módulo de elasticidad.

Hubo una mayor pérdida de turgencia en el tratamiento hipertónico que durante el proceso isotónico. Es decir, las muestras de ananá deshidratada osmóticamente tuvieron un comportamiento más elástico y menor turgencia que la fruta fresca y la fruta tratada en solución isotónica. En tratamientos isotónicos, la adición de Ca y AA favorece la pérdida de turgencia. Por lo tanto, el estado de turgencia de las células (o tejidos) puede deberse al contenido de agua y no al contenido de calcio. Resultados similares fueron observados por Anino y col. (2006) durante la impregnación de muestras de manzana con calcio en solución isotónica.

En cuanto a la deformación a la ruptura (ϵ_{rup}), este parámetro se incrementó con el tiempo de inmersión y se redujo con el agregado de calcio y ácido ascórbico. Asimismo, se observó un leve efecto significativo de la concentración de sacarosa del medio de impregnación sobre este parámetro. Por lo tanto, el valor ϵ_{rup} para ananá con 6 h de tratamiento isotónico se incrementó en 90% y 48% sin y con Ca-AA respectivamente, y las muestras de ananá con 6 h de tratamiento hipertónico se incrementaron en 72% y 38% sin y con Ca-AA, respectivamente. Los valores de ϵ_{rup} para el ananá fresco difieren significativamente del ananá tratada sin Ca, pero hay poca diferencia con las muestras de ananá tratada con Ca. El aumento de la deformación a la ruptura en la deshidratación osmótica del melón, con y sin calcio, fue presentado por Ferrari y col. (2010).

Los parámetros de esfuerzo (Tabla 4.9) son más altos en el proceso hipertónico, manifestando una mayor dureza. En forma inversa, ocurre con el módulo elástico (E), que disminuye a medida que transcurre el tiempo, esto puede deberse a la pérdida de turgencia de las células. Se observó que el esfuerzo máximo fue más significativo en el tratamiento hipertónico con nutrientes luego de 6 horas de impregnación. En el proceso isotónico se observa un leve descenso del esfuerzo entre las muestras impregnadas y la fruta fresca de referencia, aunque no hay evidencias de diferencias significativas.

La influencia de la impregnación con sales de calcio en frutas ha sido estudiada por varios autores, con modificaciones en las variables de procesos, como ser tipo de sales de calcio, tipo de solución (isotónica o hipertónica), a presión atmosférica o bajo vacío. Algunos obtuvieron un incremento de los parámetros mecánicos luego de la impregnación con calcio (Anino et al., 2006 en manzana), mientras que otros no obtuvieron lo mismo (Silva et al., 2014b), estos comportamientos de las matrices vegetales manifiestan la diversidad de respuestas dependiendo de la naturaleza del material y sus condiciones de procesamiento.

Por lo relatado anteriormente, se deduciría que el aumento de dureza (mayor esfuerzo de ruptura) en muestras impregnadas en medio hipertónico se deba al proceso osmótico, y no a la presencia de calcio en primera instancia. Por otro lado, y corroborando con las micrografías, las respuestas de compresión de muestras tratadas en solución isotónica son similares a las respuestas de las muestras frescas.

Con el fin de visualizar más claramente la relación entre la incorporación de calcio y ácido ascórbico sobre la firmeza del ananá, se muestra la Figura 4.18. Durante un período de 6 horas de tratamiento en solución isotónica, el contenido de calcio en la matriz vegetal aumentó en un 570%, mientras que el esfuerzo a la ruptura se redujo en aproximadamente un 12%. En cambio, en el mismo período de tratamiento hipertónico, el contenido de calcio del ananá aumentó en un 224% y el esfuerzo a la ruptura se incrementó en un 30%. En 24 horas de tratamiento isotónico, el contenido de calcio aumentó 9 veces mientras que la firmeza permaneció 12% más baja que la firmeza de la fruta fresca; mientras que por tratamiento hipertónico, el contenido de calcio aumentó 3,7 veces y la firmeza de la fruta se incrementó en un 70% con respecto a la firmeza de la fruta fresca. El continuo aumento en el contenido de calcio sin afectar la firmeza de la fruta podría ser debido a la difusión molecular del mineral en el alimento sólido, sin formación de enlaces de calcio-pectina en el tejido vegetal (Lovera et al., 2014).

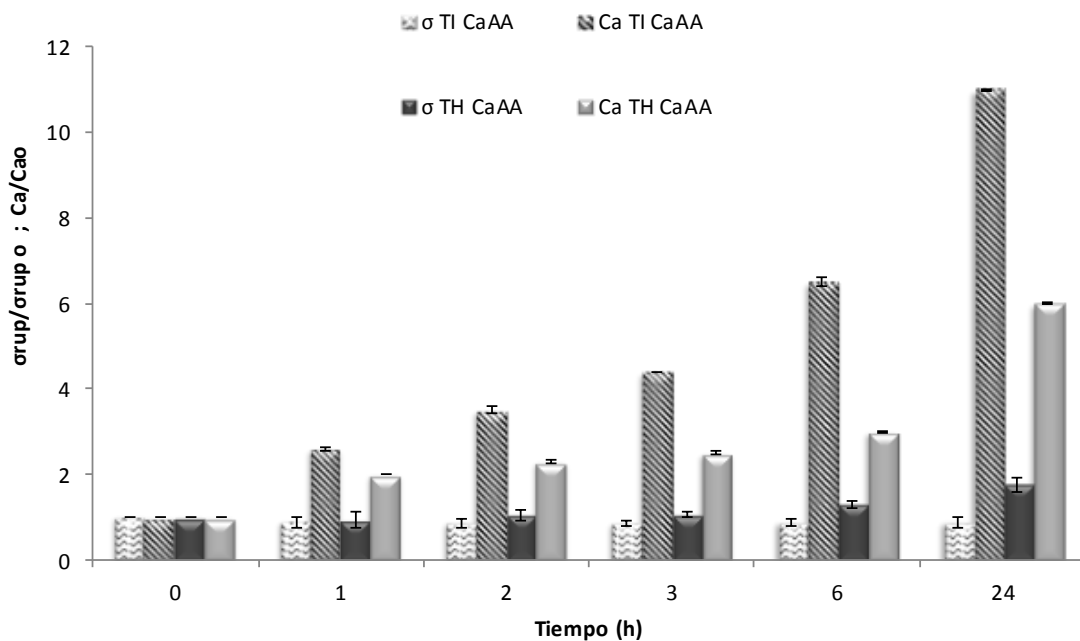


Figura 4.18. Normalización del esfuerzo de ruptura y del contenido de calcio en muestras impregnadas en medio hipertónico e isotónico con calcio y ácido ascórbico

Entonces, en la solución isotónica, el contenido de calcio de ananá aumenta continuamente con el tiempo de inmersión sin afectar la firmeza del producto. Este hecho puede deberse a una formación baja o ausente de pectatos de calcio durante el tratamiento, como consecuencia de la composición de la fruta. Estudios previos indican que las paredes celulares del ananá contienen solo pequeñas cantidades de polisacáridos pécticos (Smith y Harris, 1995). Además, las pectinas aisladas de las paredes celulares de las monocotiledóneas, como el ananá, tienen una longitud reducida (59-67) y muestran un bajo grado de esterificación (Yapo, 2009). Por el otro lado, el aumento de dureza (mayor esfuerzo de ruptura) en muestras impregnadas en medio hipertónico se deba al proceso osmótico, y no a la presencia de calcio.

4.4.4.3 Color

Las condiciones de tratamiento de impregnación, TI_{CaAA} y TH_{CaAA} , tuvieron efecto significativo ($p < 0,05$) sobre los parámetros de color Hue y Cromo. La luminosidad (L^*) de las muestras no fue afectada por las condiciones del tratamiento de inmersión. En la Tabla 4.10 se muestran los valores de estos parámetros a tiempo 0 (fruta fresca) y al finalizar los tratamientos de impregnación. El ángulo Hue aumenta luego de los tratamientos, se acerca a 90° que corresponde al tono de amarillo puro, y asimismo aumenta el Cromo es decir la intensidad o pureza del color, considerándose como cambios positivos.

Tabla 4.10. Parámetros de color de ananá fresco y con 5 horas de tratamiento de impregnación en medio isotónico (TI_{CaAA}) e hipertónico (TH_{CaAA})

| | L^* | | Hue | | Cromo | |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | 0 | 5 | 0 | 5 | 0 | 5 |
| TI_{CaAA} | 81,84±2,23a | 82,34±2,58a | 87,53±1,05a | 90,27±1,34b | 36,53±2,89a | 42,18±7,20b |
| TH_{CaAA} | 82,37±2,17a | 82,44±3,11a | 86,73±1,41a | 89,38±0,92b | 37,91±1,74a | 44,40±4,35b |

* Letras minúsculas iguales en la misma fila de cada parámetro, indica que no hay diferencias significativas según Pruebas de Múltiple Rangos.

En cuanto a las muestras impregnadas observamos disminución del parámetro a^* y un aumento de b^* en las muestras impregnadas en medio hipertónico, corroborando lo antes mencionado. El parámetro que nos da información comparativa sobre la fruta fresca y después de tratarla es el parámetro ΔE . Los cuales fueron de $4,28 \pm 2,04$ y de $5,03 \pm 1,27$ para frutas impregnada en medio isotónico e hipertónico respectivamente, estos valores son relativamente bajos indicando poca variación respecto a la fruta fresca.

4.4.4.4 Análisis microscópico (SEM y EDS)

De acuerdo con los resultados de las propiedades mecánicas, las observaciones microscópicas del tejido de ananá demostraron que el contenido de sacarosa de la solución de inmersión afectó notoriamente a las características estructurales de las células. En la Figura 4.19 se muestran microfotografías de fruta fresca y tratada durante 3 h en solución isotónica e hipertónica con adición de lactato de Ca y AA. En el análisis de microestructura de frutas frescas (Figura 4.19A), se observaron células vegetales típicas de forma poliédrica, ensambladas en un patrón de red no homogéneo, con espacios intercelulares (Ei) y paredes celulares (PC) consistentes con la presencia de plasmodesmos. En muestras impregnadas en solución isotónica de sacarosa con lactato de calcio y ácido ascórbico durante 3 h presentaron células más redondeadas que las de fruta fresca, sin contracción, tamaño no uniforme, con paredes celulares delgadas pero intactas (Figura 4.19B). No hubo diferencias entre las muestras tratadas en solución isotónica con y sin adición de Ca y AA (no se muestran las microfotografías).

Sin embargo, en el tejido de ananá inmerso en solución de sacarosa hipertónica con lactato de calcio y ácido ascórbico, se observaron deformación del tejido, células colapsadas y reducción de espacios intercelulares (Figura 4.19C), posiblemente debido a la pérdida de agua durante el proceso osmótico. Además, las vacuolas (V), donde se encuentra el mayor volumen de agua en el tejido de la planta, han disminuido su volumen en muestras de fruta osmóticamente deshidratada y la conservan en frutas con tratamiento isotónico. Resultados similares fueron reportados por Moreno y colaboradores (2012) para los tejidos de frutillas que atribuyen estos cambios al proceso de deshidratación osmótica. Asimismo, Ferrari y colaboradores (2010) en su trabajo sobre los melones impregnados en soluciones hipertónicas con lactato de calcio observaron que después de los tratamientos hubo una reducción de los espacios intercelulares, células deformadas, contraídas y colapsadas, características del proceso osmótico.

Fernandes y col. (2009) estudiaron el efecto de la aplicación de ultrasonido y de deshidratación osmótica sobre tejido de ananá, reportando que ambos tratamientos afectan al tejido. La deshidratación osmótica produjo cambios significativos en la estructura del tejido del ananá, mayores cambios a 70 °Brix que a 35°Brix. Observando distorsión gradual de la forma de las células, disrupción o pérdida gradual de adhesión entre las células y formación de canales por la ruptura del tejido. Además mencionan la posibilidad de la solubilización de los quelantes solubles de la pectina de la lamela del medio en las primeras etapas de la deshidratación osmótica, esto podría explicar la no formación de cross-linking entre el calcio y las pectinas de la fruta. Recalcando lo mencionado por Smith y Harris (1995) que las paredes celulares del ananá contienen solo pequeñas cantidades de polisacáridos pécticos.

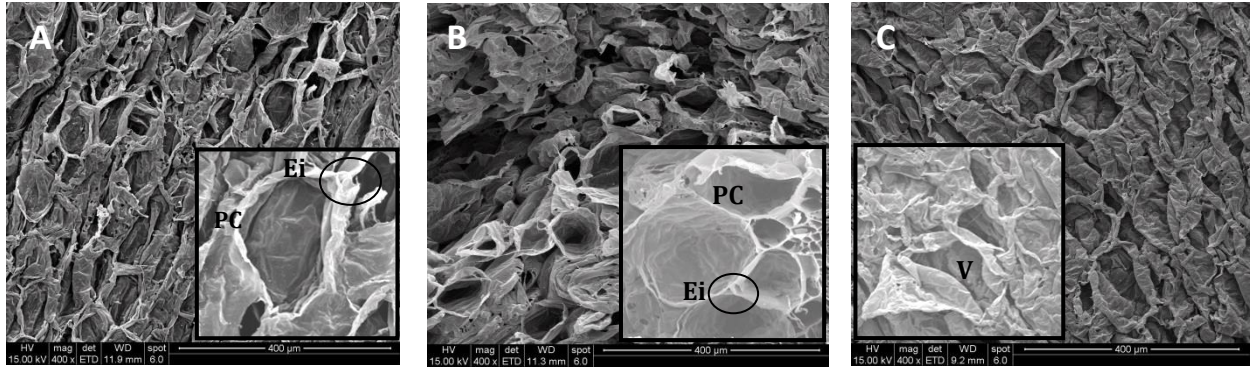
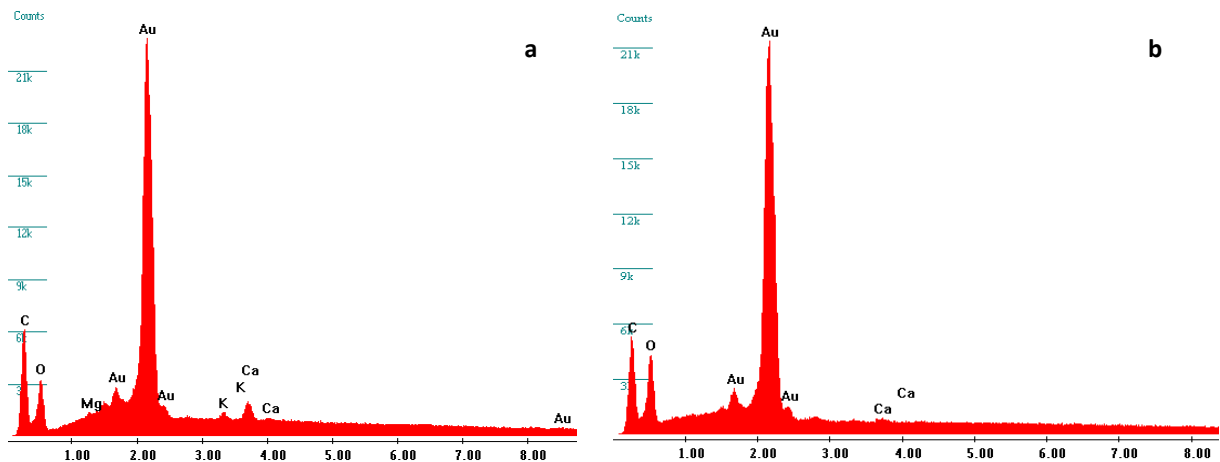


Figura 4.19. Microfotografías SEM del tejido de ananá fresco (A), tejido de ananá impregnada por 3 h en solución isotónica Tl_{CaAA} (B), y solución hipertónica TH_{CaAA} (C). PC, pared celular; Ei, espacio intercelular; V, vacuola

El microanálisis por energía de dispersión de rayos X (EDS), acoplado a la observación microscópica, permite detectar la presencia de componentes en la superficie del material analizado. Se detectó en la superficie superior de las muestras como elementos mayoritarios al carbono y oxígeno, propios de un material biológico, oro por ser el recubrimiento empleado, y calcio (Figura 4.20), esto indicaría que es una técnica que permite revelar la impregnación de la matriz vegetal. El porcentaje en peso (%wt) de calcio encontrado fue de 2,29% y de 0,87% en muestras tratadas con solución isotónica y en solución hipertónica después de 3h respectivamente. La relación entre estos porcentajes son equivalentes a la relación entre los porcentajes de ganancia de calcio obtenidas por el método de espectrofotometría de absorción atómica. La intensidad de los picos de calcio fue más significativa en el tratamiento isotónico que hipertónico. Además, el microanálisis de la superficie lateral mostró un porcentaje de calcio menor que en la superficie superior, esto demostraría que la impregnación con calcio es difusional, y que a las 3h de proceso el calcio no se encontraría en el centro de la matriz.



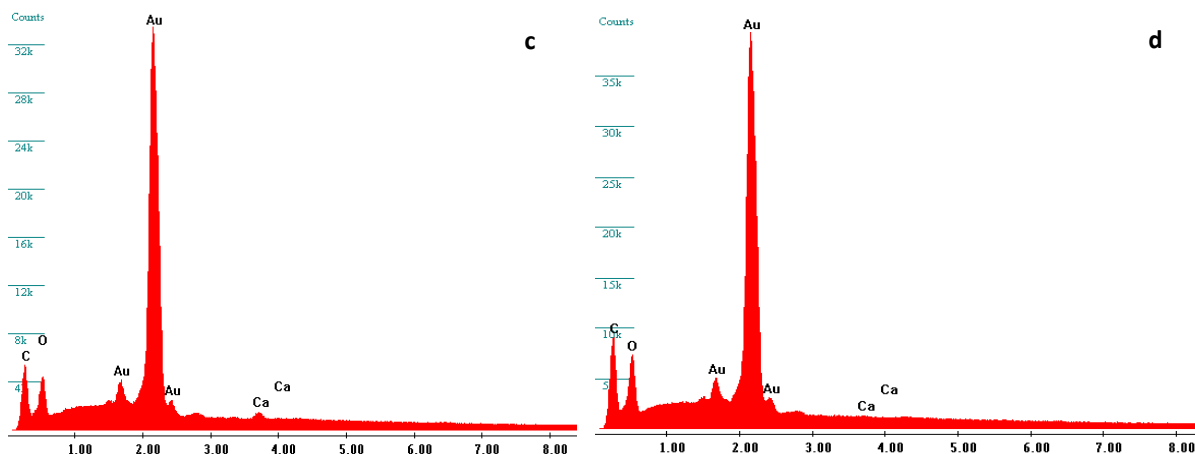


Figura 4.20. Espectros EDS de muestras impregnadas por 3 h en solución isotónica: superficie de la muestra (a) interior de la muestra (b), y en solución hipertónica: (c) superficie de la muestra y (d) interior de la muestra

4.4.5 Caracterización de la solución de impregnación

En vistas a una posible aplicación industrial y con el objetivo de la reutilización de solución de impregnación, se evaluaron cambios en algunos componentes que caracterizan a la misma antes y durante los procesos (Tabla 4.11).

Tabla 4.11. Valores medios del contenido de sólidos solubles (SS), pH, acidez titulable (AT) y contenido normalizado de ácido ascórbico (AA/AA₀) y de calcio (Ca/Ca₀) en la solución isotónica e hipertónica con y sin nutrientes en función del tiempo de tratamiento

| Soluciones | Tiempo (h) | SS (°Brix) | pH | AT (g/100 mL) | AA/ AA ₀ | Ca/ Ca ₀ | Transmitancia (%) |
|------------|------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------|---------------------|---------------------------|
| TI | 0 | 14,72 ± 0,28 ^a | 4,80 ± 0,03 ^e | 0,00 ± 0,00 ^a | - | - | 94,08 ± 0,23 ^e |
| | 1 | 15,00 ± 0,18 ^a | 3,77 ± 0,03 ^c | 0,02 ± 0,01 ^b | - | - | - |
| | 3 | 15,13 ± 0,10 ^b | 3,62 ± 0,05 ^a | 0,05 ± 0,01 ^c | - | - | - |
| | 6 | 15,90 ± 0,09 ^e | 3,67 ± 0,01 ^a | 0,06 ± 0,01 ^c | - | - | 40,25 ± 1,53 ^a |
| TICaAA | 0 | 14,70 ± 0,32 ^a | 3,85 ± 0,03 ^d | 0,35 ± 0,01 ^d | 1 | 1 | 95,54 ± 0,32 ^f |
| | 1 | 14,80 ± 0,18 ^a | 3,82 ± 0,04 ^{cd} | 0,37 ± 0,02 ^{de} | 0,975 | 0,998 | - |
| | 3 | 15,40 ± 0,05 ^c | 3,78 ± 0,02 ^c | 0,39 ± 0,01 ^e | 0,968 | 0,986 | - |
| | 6 | 15,64 ± 0,09 ^d | 3,77 ± 0,01 ^c | 0,43 ± 0,01 ^f | 0,959 | 0,995 | 83,25 ± 0,44 ^b |
| TH | 0 | 50,00 ± 0,03 ^a | 4,92 ± 0,04 ^f | 0,00 ± 0,00 ^a | - | - | 94,62 ± 0,18 ^c |
| | 1 | 45,16 ± 0,50 ^f | 3,72 ± 0,06 ^{abc} | 0,05 ± 0,01 ^c | - | - | - |
| | 3 | 47,95 ± 0,06 ^h | 3,70 ± 0,03 ^{ab} | 0,04 ± 0,01 ^{bc} | - | - | - |
| | 6 | 47,55 ± 0,27 ^g | 3,69 ± 0,03 ^{ab} | 0,05 ± 0,01 ^c | - | - | 88,40 ± 0,88 ^c |
| THCaAA | 0 | 50,00 ± 0,01 ^a | 3,75 ± 0,03 ^c | 0,33 ± 0,01 ^d | 1 | 1 | 93,22 ± 0,12 ^d |
| | 1 | 46,40 ± 0,95 ^f | 3,74 ± 0,01 ^c | 0,34 ± 0,01 ^d | 0,929 | 0,988 | - |
| | 3 | 47,30 ± 0,10 ^g | 3,72 ± 0,01 ^b | 0,35 ± 0,01 ^d | 0,922 | 0,992 | - |
| | 6 | 48,06 ± 0,05 ^h | 3,72 ± 0,01 ^b | 0,35 ± 0,01 ^d | 0,900 | 0,983 | 87,40 ± 0,62 ^c |

*Letras minúsculas iguales en las mismas columnas señala que no hay diferencias significativas en cada grupo, con nivel de confianza del 95%.

Se observa que el contenido de sólidos solubles de las soluciones se modifica levemente en ambos casos, en la solución hipertónica el descenso de este parámetro puede deberse a que la relación masa del jarabe/masa de la fruta no es suficiente para garantizar constancia en la concentración de la solución osmótica. El incremento observado en solución isotónica puede deberse a distintos factores tales como el lixiviado de componentes diferentes a la sacarosa, a evaporación de agua, etc. Por otra parte, los valores de transmitancia de luz de las soluciones isotónicas se reducen en mayor magnitud que en las soluciones hipertónicas, sustentando la probabilidad de mayor migración de componentes desde la fruta hacia la solución en medio isotónico acorde con lo observado en sólidos solubles.

En cuanto al pH en todos los casos se observó un descenso de los valores, siendo más marcado en las soluciones sin ácido ascórbico y calcio, donde se redujo en aproximadamente 25%, posiblemente a raíz de los ácidos orgánicos migrados desde la fruta hacia la solución, acorde a esto se observó un incremento en los valores de acidez titulable (Fennema, 1993). Mientras que en las soluciones con nutrientes fue menor la variación de pH (2%) debido a que la presencia de ácido ascórbico en las mismas mantuvo estabilizado el sistema.

Es sabido que durante períodos largos y a temperatura altas se puede degradar parte del ácido ascórbico de la solución de impregnación (Yuan y Chen, 1998; Fennema, 1993); pero no se observó una disminución significativa de este componente en 6h: en solución isotónica se registró una reducción del 4%, mientras que en solución hipertónica la reducción fue del 10 %.

Por su parte el contenido de calcio permaneció sin cambios substanciales debido a que no es un compuesto termolábil y que la cantidad absorbida por la fruta no modifica significativamente el contenido de calcio en solución. Los valores cuantificados experimentalmente muestran una disminución del orden del 1 y del 2 % que puede responder a un error analítico de la técnica.

4.5 Secado de fruta fortificada

A través de los tratamientos de impregnación y los métodos combinados de deshidratación expuestos en las secciones anteriores, se seleccionaron 4 condiciones de ensayos para la obtención de los productos deshidratados fortificados en calcio y ácido ascórbico.

En esta sección se presentan los resultados del modelado de la pérdida de agua de los productos fortificados a través del modelo de Page. Se evaluó la calidad de los productos obtenidos a través de sus características fisicoquímicas (contenido de agua, color, microestructura) y su calidad nutricional (aporte de vitamina C y calcio).

Los tratamientos ensayados fueron: 3 h de impregnación en medio isotónico e hipertónico, con adición del 1% AA y 2% Ca (TI_{CaAA} y TH_{CaAA} respectivamente), seguido de secado continuo con aire caliente (SAC) a 60°C y velocidad de aire de 1 m/s; y secado a 60 °C con aplicación de pulsos de energía de microondas (MW) de frecuencia de 1/60 min⁻¹ y amplitud de 20 s (SAC60/MW20). La etapa de deshidratación se efectuó hasta lograr una pérdida de peso promedio de 85% respecto a la fruta fresca.

4.5.1 Cinética de secado: resultados experimentales y modelado matemático

Los resultados del contenido promedio de agua de la fruta fresca fue de $87,05 \pm 2,90$ g agua/100 g fruta. Los productos obtenidos luego de los procesos de impregnación y deshidratación presentaron valores de humedad promedio de $9,20 \pm 1,65$ g agua/100 g fruta.

Para lograr una reducción del 85% del peso de la fruta, el secado con flujo de aire caliente duró 5 y 6 h para los tratamientos $TI_{CaAA} + SAC$ y $TH_{CaAA} + SAC$; y una hora menos respectivamente para el secado asistido por pulsos de microondas.

En la Figura 4.21 se muestran los datos experimentales (símbolos) de la variación adimensional de humedad (MR) y los calculados por el modelo de Page (líneas punteadas) durante el secado de muestras de ananá fortificado en medio isotónico. En este gráfico se puede apreciar el efecto positivo de la aplicación de pulsos de energía de microondas sobre la velocidad de pérdida de agua de ananá.

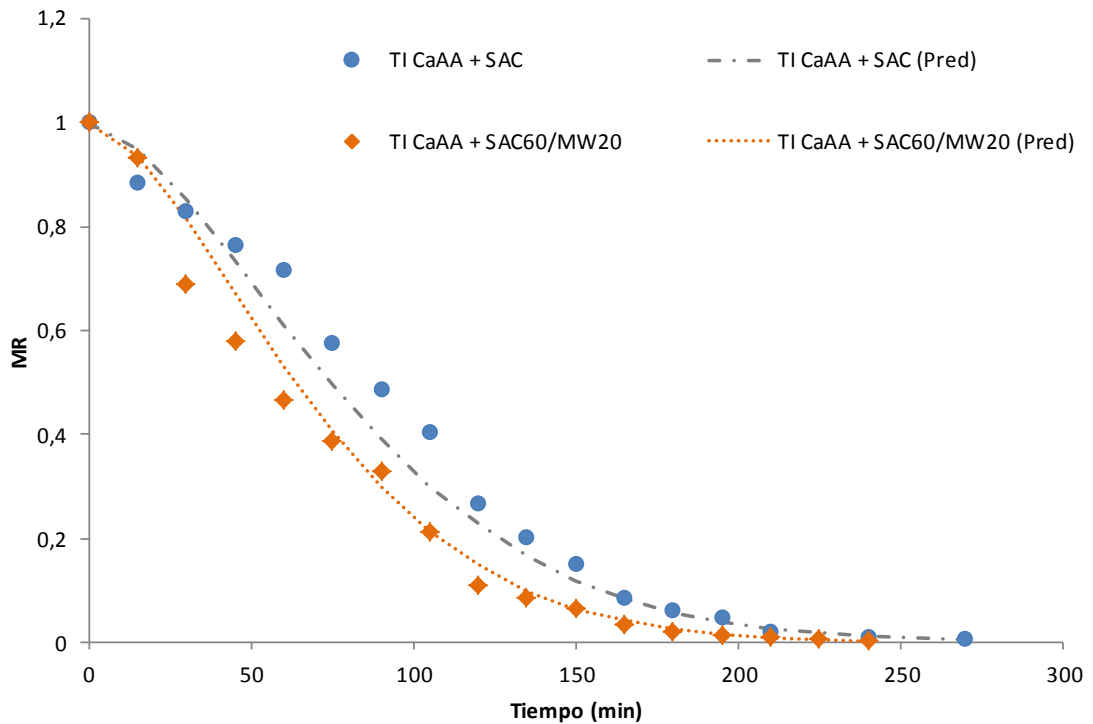


Figura 4.21. Relación adimensional de humedad durante el secado con aire caliente ($TI_{CaAA} + SAC$) y con pulsos de microondas ($TI_{CaAA} + SAC60/MW20$) de ananá fortificado en medio isotónico: valores experimentales (símbolos) y predichos por el modelo de Page (líneas punteadas)

En la Figura 4.22 se presentan los datos experimentales (símbolos) y los calculados por el modelo de Page (líneas punteadas) de la relación adimensional de humedad durante el secado, con y sin aplicación de pulsos de MW, de muestras de ananá fortificado en medio hipertónico. Como era de esperar, la aplicación de pulsos de energía de MW incrementa la velocidad de secado.

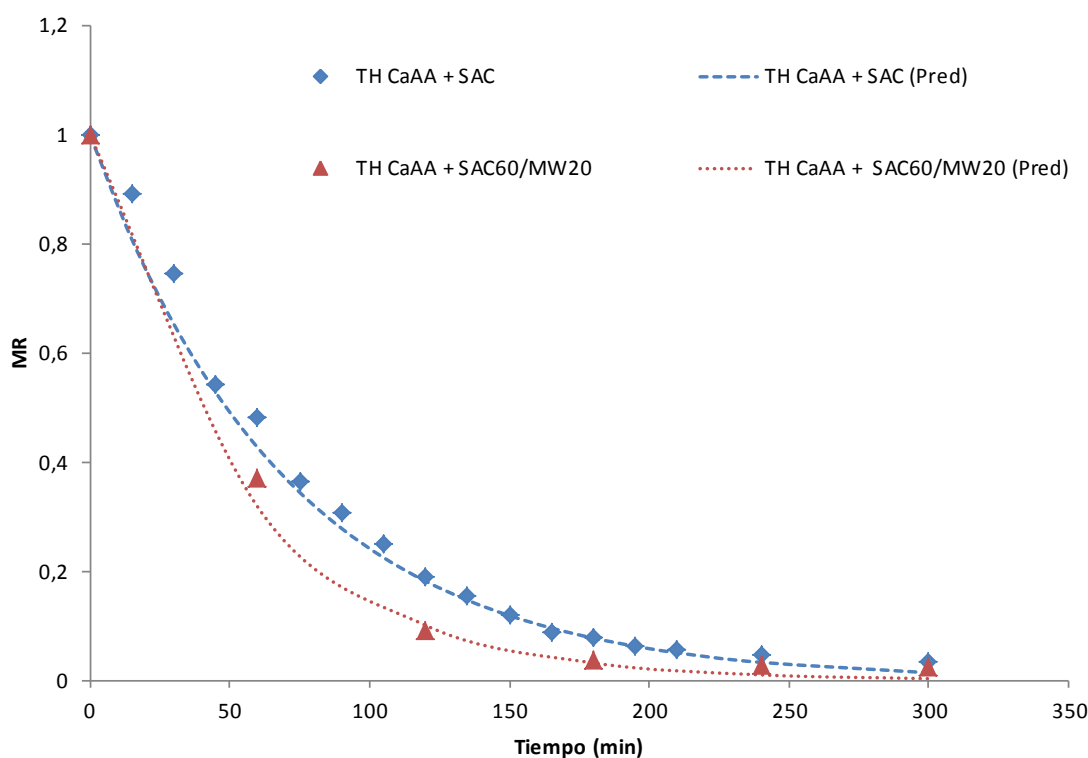


Figura 4.22. Relación adimensional de humedad durante el secado con aire caliente ($TH_{CaAA}+SAC$) y con pulsos de microondas ($TH_{CaAA}+SAC60/MW20$) de ananá fortificado en medio hipertónico: valores experimentales (símbolos) y predichos por el modelo de Page (líneas punteadas)

Los valores de los parámetros resultantes del ajuste por regresión no lineal de la Ecuación 3.28, coeficiente de regresión y los errores promedios de estimación para el modelo se presentan en la Tabla 4.3bis.

El parámetro k puede ser considerado como una medida de la velocidad de pérdida de humedad cuando se comparan experiencias con valores de N equivalentes.

Tabla 4.3 bis. Constantes y ajustes del modelo de Page para el secado de ananá

| Tratamiento | Modelo de Page | | | |
|--------------------------|----------------|-----|--------|-----------|
| | k | N | r^2 | Epp (%) |
| $TI_{CaAA} + SAC$ | 0,0007 | 1,6 | 0,9912 | 11,27 |
| $TI_{CaAA} + SAC60/MW20$ | 0,0009 | 1,6 | 0,9893 | 10,83 |
| $TH_{CaAA} + SAC$ | 0,0142 | 1 | 0,9881 | 8,02 |
| $TH_{CaAA} + SAC60/MW20$ | 0,0191 | 1 | 0,9884 | 10,59 |

Del ajuste por regresión no lineal resultaron dos valores de N diferentes: las muestras impregnadas isotónicamente exhibieron $N=1,6$ y las muestras impregnadas hipertónicamente $N=1$.

Se encontró en ambos grupos (TI_{CaAA} y TH_{CaAA}) que la aplicación de pulsos de MW presentó valores de k mayores que el secado con aire caliente, indicando una mayor velocidad de secado. La incorporación de nutrientes originó un leve incremento en la velocidad de pérdida de agua, como se manifiesta en la comparación de los resultados de la tabla 4.3 y la Tabla 4.3 bis. El ensayo E7 (DO+SAC) es comparable al ensayo $TH_{CaAA} + SAC$ con valores de k de 0,0097 y 0,0142 respectivamente. Asimismo, los ensayos E9 (DO+SAC60/MW20) y $TH_{CaAA} + SAC60/MW20$ son equivalentes, con valores de k de 0,0145 y 0,0191 respectivamente. El incremento de la velocidad del secado puede deberse a la adición de AA, considerando que otros autores han mencionado modificación de la estructura celular por efecto de la adición de este nutriente (Mauro et al., 2016).

En todos los casos, el coeficiente de regresión lineal (r^2) indicó un buen ajuste, con valores de r^2 de 0,98 a 0,99. Y el error promedio porcentual de la estimación fue aceptable, entre 10 y 13%.

4.5.2 Aporte nutricional

Considerando una porción de 50 g de fruta deshidratada, tal como lo recomienda el Código Alimentario Argentino para este tipo de productos, se calculó la cobertura de vitamina C y calcio según la ingesta diaria recomendada (IDR) para adultos (Tabla 4.12).

Tabla 4.12. Aporte de ácido ascórbico y calcio en ananá deshidratado y cobertura diaria

| Tratamiento | Contenido de AA (mg/ g fr proc.) | % IDR * | Contenido de Ca (mg/ g fr proc.) | % IDR * |
|--------------------------|-------------------------------------|---------|-------------------------------------|---------|
| $TI_{CaAA} + SAC$ | 26,71 ± 2,09 | 1620 | 5,64 ± 0,23 | 28 |
| $TI_{CaAA} + SAC60/MW20$ | 20,20 ± 3,26 | 1400 | 4,57 ± 0,40 | 23 |
| $TH_{CaAA} + SAC$ | 9,04 ± 2,50 | 548 | 1,20 ± 0,10 | 6 |
| $TH_{CaAA} + SAC60/MW20$ | 8,55 ± 2,25 | 517 | 1,98 ± 0,17 | 10 |

*En base a los requerimientos diarios promedio de un adulto y consumiendo una porción de 50 g.

Como puede observarse el contenido de AA por porción supera el 100% de la ingesta diaria recomendada (IDR) para los adultos. Cabe aclarar que en ningún caso se supera el máximo de 2.000 mg permitido en una dieta diaria (IOM, 2000). A su vez, la vitamina C es muy susceptible a la degradación por factores ambientales, y se consideró que una parte importante puede degradarse durante el almacenamiento.

En cuanto al contenido de calcio, las muestras impregnadas en medio isotónico fueron las que presentaron el mayor contenido de calcio, y en consecuencia, mayor aporte nutricional que las muestras de fruta impregnadas en medio hipertónico.

De acuerdo con la Código Alimentario Argentino, los alimentos fortificados deben contribuir entre el 20% al 100% de IDR de vitaminas y minerales en una porción para ser considerados como tal. Por lo tanto, 50 g de productos obtenidos por impregnación en medio isotónico y 100 g de productos obtenidos por impregnación en medio hipertónico podrían ser rotulados como alimentos fortificados.

4.5.3 Color

En la industria de alimentos es de gran importancia poder medir el color en forma de código o número, lo cual además de ser más preciso al eliminar gran parte de las influencias de la percepción humana, permite las comparaciones y el procesamiento estadístico. Es muy empleado en el control de calidad de materias primas como de productos terminados (Manresa y Vicente, 2007).

Y por otra parte, es un factor importante a la hora de adquirir un alimento por parte de los consumidores, los cuales tendrán preferencia por aquellos productos de apariencia atractiva.

El color de una materia prima suele cambiar con el procesamiento, no siendo la excepción en el secado. El deterioro de los atributos de color con las condiciones de secado ha sido ampliamente estudiado en un gran número de frutas, en manzana (Mandala et al., 2005); kiwi (Maskan, 2001); membrillo, ciruela y frutilla (Tsami y Katsioti, 2000), entre otros.

De esta manera, mediante del sistema CIEL*a*b*, se evaluó el color en la fruta fresca, impregnada y posteriormente deshidratada a través de los valores L*, a* y b* y los parámetros Hue y Croma que nos permiten ubicar al color en el círculo cromático.

Se presentan en la tabla 4.13 los parámetros de color de los productos obtenidos.

Tabla 4.13. Parámetros de color de frutas de ananá fortificadas por medio isotónico e hipertónico (TI y TH) y deshidratadas por secado con aire caliente (SAC) y secado con aire caliente y pulsos de microondas (SAC/MW)

| Tratamiento | L* | a* | b* | Hue | Croma | ΔE |
|---------------------------------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|------------------|------------|
| <i>TI_{CaAA} + SAC</i> | 75,45±0,51 a | 6,46±0,86 b | 38,33±2,94 ab | 80,41±1,52 ab | 38,88±3,0 ab | 5,40±1,86 |
| <i>TI_{CaAA} + SAC60/MW20</i> | 76,00±2,68 a | 6,81±0,61 b | 39,80±2,12 b | 79,76±1,46 a | 40,46±2,19 b | 12,88±1,75 |
| <i>TH_{CaAA} + SAC</i> | 78,81±1,04 b | 5,02±0,47 a | 35,78±1,77 a | 82,02±0,59 c | 36,13±1,79 a | 4,62±0,60 |
| <i>TH_{CaAA} + SAC60/MW20</i> | 84,22±1,99 c | 5,60±0,56 a | 38,13±2,09 ab | 81,64±0,77 bc | 38,54±2,10 ab | 4,52±1,56 |

*Letras minúsculas iguales en las mismas columnas señala que no hay diferencias significativas entre los valores, con nivel de confianza del 95%.

Se observa que los valores de L^* son mayores en las muestras impregnadas en medio hipertónico que isotónico, esto puede deberse al efecto protector de la sacarosa. Siendo mayor en las secadas con SAC/MW. En cuanto a las muestras impregnadas en medio isotónico no presentaron diferencias significativas entre los métodos de secado.

Los valores de a^* , coordenadas del color rojo, se encuentran entre 4 a 7, presentando los menores valores las muestras tratadas en medio hipertónico, sin diferencias entre los métodos de secado.

Con respecto a los valores de b^* , indicativos del color amarillo, observamos un rango de 34 a 41, sin presentar casi diferencias significativas entre las muestras, solamente se diferenciaron las muestras $TH_{CaAA}+SAC$ y $TI_{CaAA}+SAC60/MW20$.

Se observó un aumento de nitidez del color amarillo, reflejado en los valores de Croma. Por su parte, el ángulo Hue mostró una clara representación del color, mostrando que las muestras con tratamiento hipertónico registraron valores más altos de Hue respecto a las muestras con tratamiento isotónico, más cercanas a 90° (color amarillo puro).

4.5.4 Análisis microscópico (SEM y EDS)

En este apartado se presentan las microfotografías de los productos obtenidos luego de los procesos de impregnación y posterior deshidratación por métodos combinados (Figura 4.23). A modo de comparación entre los métodos de secado, se presentan microfotografías de muestras de ananá secadas con aire caliente (Figura 4.23A) y por secado con aire caliente más pulsos de microondas (Figura 4.23B).

En muestras secadas con aire caliente se observa un tejido uniforme, sin definición de células enteras. Junlakan col. (2017) mostraron las microestructuras de ananá deshidratados por secado convectivo a 100, 110 y 120 °C, evidenciando el colapso de los poros dentro de la estructura.

Mientras que las principales características observadas fueron la aparición de perforaciones en muestras que fueron tratadas con pulsos de microondas (Figura 4.23B), esto puede deberse al aumento de la presión de vapor interna de la fruta que al calentarse tiende a salir rápidamente hacia la superficie, produciendo así una estructura con poros (Pere et al., 1998; Kesbi et al., 2016).

En las muestras impregnadas en solución isotónica (3h) seguido de secado con aire caliente (Figura 4.23C) y por secado con aire caliente más pulsos de microondas (Figura 4.23D) se observan estructuras compactas, engrosamiento de las paredes celulares, pero aún se visualizan células. A diferencia de las muestras que fueron impregnadas en solución hipertónica (3h) donde se observa estructuras totalmente lisas y con presencia de sacarosa en la superficie (Figura 4.23E y F). En las muestras con tratamiento hipertónico y secado con secado con aire caliente asistido por microondas (Figura 4.23F) también puede observarse la presencia de orificios de escape de vapor, que no se observan en las muestras con similar tratamiento de impregnación pero sin pulsos de microondas.

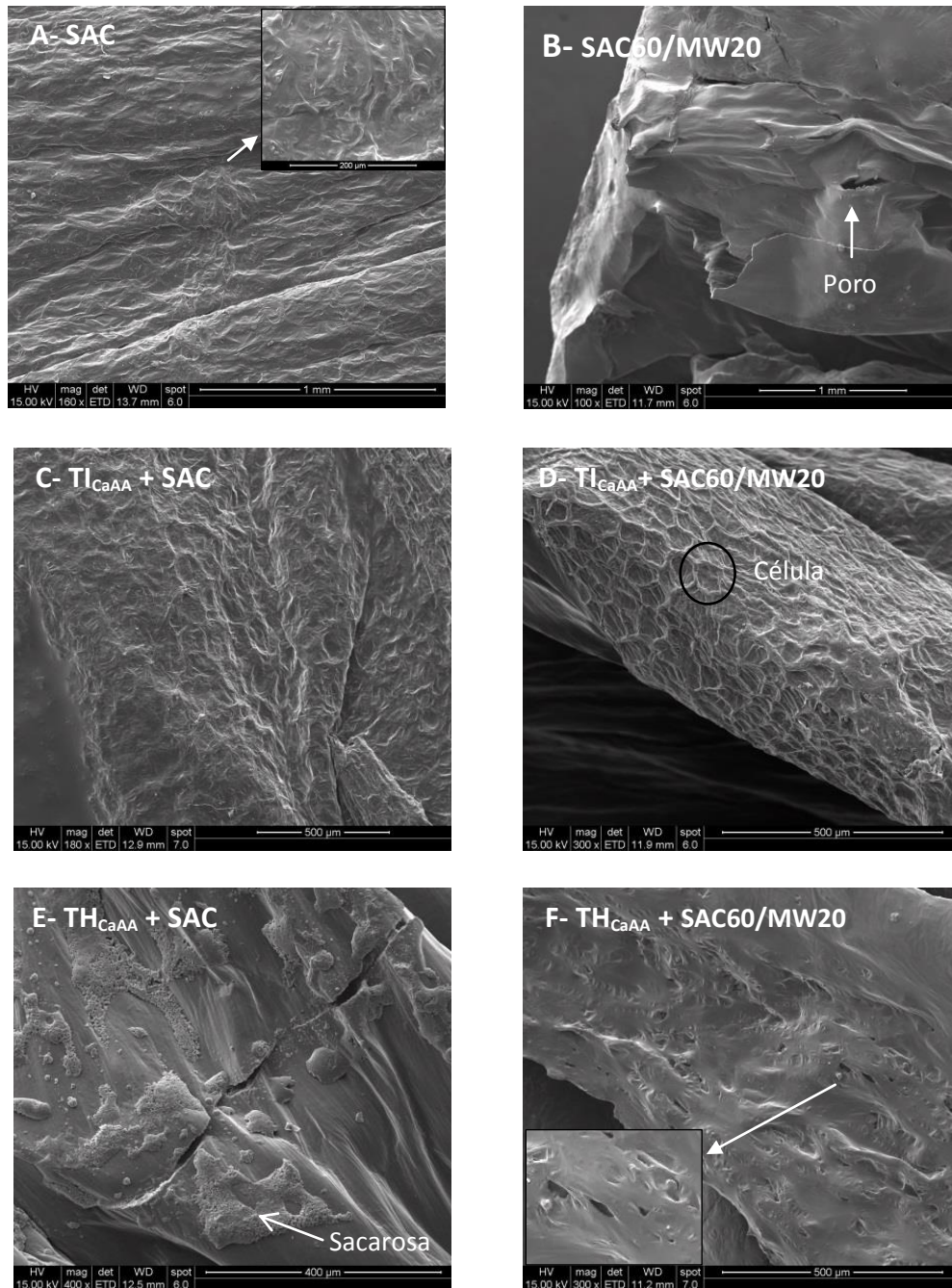


Figura 4.23. Microfotografías SEM de fruta de ananá deshidratado por diferentes métodos (A-F) y con impregnación previa en medio isotónico TI_{CaAA} (C y D) y en medio hipertónico TH_{CaAA} (E y F). SAC: secado con aire caliente (A); MW: Pulsos de microondas (B)

De Lima y col. (2016) no encontraron influencia de los diferentes métodos de impregnación (atmosférico, vacío y con pulsos) aplicados en ananá empleando solución de 1% de cloruro de calcio. Sin embargo, hallaron diferencia microscópica según el método de secado empleado, por un lado con secado por congelación (freeze-drying) observaron una matriz uniforme de poros pequeños, y por el otro

lado el secado convectivo a 60 °C y velocidad de aire de 1 m/s observaron estructuras más compactas, como las observadas aquí.

En cuanto al microanálisis por energía de dispersión de rayos X (EDS) se detectó mayor concentración de carbono en las muestras impregnadas en medio hipertónico debido a la ganancia de sacarosa, mientras que en medio isotónico se mantuvo prácticamente constante este valor. Con respecto al oxígeno hubo un aumento en los 4 productos secos respecto de las muestras impregnadas, esto puede deberse al proceso de deshidratación (Tabla 4.14). El porcentaje en peso (%wt) de calcio encontrado en la superficie de muestras tratadas en medio isotónico y deshidratadas por SAC y por SAC60/MW20 fueron de 2,45% y 1,96% respectivamente. Mientras que en muestras con tratamiento hipertónico y deshidratadas por SAC y SAC60/MW20 presentaron valores de 1,10% y 1,34% respectivamente. En ambos casos se corrobora que el calcio incorporado en la etapa de impregnación no se pierde, que es lo esperado dado que un mineral no se degrada por la temperatura.

Tabla 4.14. Composición cuali-cuantitativa por SEM-EDS de frutas de ananá impregnadas en medio isotónico (TI_{CaAA}) e hipertónico (TH_{CaAA}) y deshidratadas por secado con aire caliente (SAC) y secado con aire caliente y pulsos de microondas (SAC60/MW20)

| Elemento | TI_{CaAA} | $TI_{CaAA} + SAC$ | $TI_{CaAA} + SAC60/MW20$ | TH_{CaAA} | $TH_{CaAA} + SAC$ | $TH_{CaAA} + SAC60/MW20$ |
|---------------|-------------|-------------------|--------------------------|-------------|-------------------|--------------------------|
| Carbono (%wt) | 15,93 | 17,94 | 18,40 | 13,30 | 25,30 | 26,91 |
| Oxígeno (%wt) | 6,31 | 16,65 | 15,09 | 7,43 | 17,30 | 19,29 |
| Calcio (%wt) | 2,29 | 2,45 | 1,96 | 0,87 | 1,10 | 1,34 |

4.6 Evaluación de calidad de los productos durante el almacenamiento

En la presente sección se analizan cambios en algunos parámetros de calidad de los productos fortificados y deshidratados en función del tiempo de almacenamiento. Los parámetros analizados fueron el contenido de agua, color y concentración de ácido ascórbico.

Las frutas y verduras son muy apreciadas por los consumidores, no sólo por sus propiedades organolépticas, sino también por su contenido en compuestos bioactivos (vitaminas y antioxidantes, entre otros) directamente relacionados con los beneficios para la salud (Giampieri et al., 2012).

En los productos deshidratados, es decir con bajo contenido de agua, es fundamental su correcto almacenamiento para evitar modificaciones de humedad que conlleven a alteraciones de sus características organolépticas y nutricionales. La estabilidad de sus componentes está relacionada con la temperatura y la humedad del ambiente de almacenamiento, entre otros factores. En la actualidad las frutas

dsecadas se comercializan a granel y es común su almacenamiento domiciliario en bolsas tipo Ziploc®, a temperatura ambiente. Para evaluar la estabilidad de ananá fortificado con ácido ascórbico y calcio se envasaron en bolsas de polietileno de baja densidad con cierre hermético (Ziploc®), como se muestra en la Figura 4.24. El sistema alimento-envase fue mantenido a humedad relativa de 75% y temperatura de 25°C. Se analizaron las muestras resultantes de los tratamientos $TI_{CaAA}+SAC$, $TI_{CaAA}+SAC60/MW20$, y $TH_{CaAA}+SAC$, $TH_{CaAA} + SAC60/MW20$.



Figura 4.24. Frutas de ananá fortificados y deshidratados almacenadas en bolsas Ziploc®

4.6.1 Isoterma

A partir de las isotermas de sorción podemos relacionar el contenido de agua de equilibrio del alimento y la humedad relativa del ambiente a una dada temperatura. Se representa gráficamente y describe la cinética de ganancia de humedad del producto.

Puesto que la actividad de agua (a_w) tiene efecto directo sobre las reacciones de deterioro, el conocimiento de las isotermas de sorción es importante para predecir cambios en la estabilidad de los alimentos y para diseñar y modelar los procesos. El comportamiento de sorción de humedad de los productos es causado por la variación biológica en los alimentos, el pretratamiento de los alimentos y las diferencias en las técnicas experimentales adoptadas.

Las muestras de frutas fortificadas con AA y Ca y deshidratadas hasta humedad de equilibrio se almacenaron en frascos cerrados con humedad relativa creciente por medio de sales y a 25 ± 2 °C para estudiarse las isotermas de sorción (Figura 4.25).



Figura 4.25. Almacenamiento de frutas de ananá impregnadas y deshidratadas para la determinación de isotermas de sorción a 25 °C

Se presenta en la tabla 4.15 los valores de los parámetros estimados del ajuste de los datos experimentales de acuerdo a los modelos de GAB y BET. Además, con la intención de evaluar la capacidad de cada uno de los modelos para predecir el contenido en humedad de equilibrio, también se ha calculado el error promedio porcentual estándar a cada uno de ellos. Como se puede apreciar los modelos propuestos mostraron una buena correspondencia entre los valores experimentales y los teóricos. El modelo de GAB permitió ajustar mejor en todo el rango de a_w , mientras que el modelo de BET ajusta mejor a bajos valores de a_w . Cabe mencionar que los Epp % fueron menores en las muestras con tratamiento isotónico. En el trabajo de Lomauro y col. (1985) evaluaron isotermas de 3 grupos de alimentos (frutas, verduras y productos cárnicos) encontrando que el modelo GAB puede representar más del 50% de las isotermas de estos alimentos, en comparación con otros modelos que tienen dos parámetros.

Tabla 4.15. Parámetros estimados de los modelos de GAB y BET para los diferentes tratamientos de ananá

| Tratamientos | GAB | | | | BET | | |
|---------------------------------------|----------|----------|---|----------------|----------|---|-------------------|
| | <i>K</i> | <i>C</i> | <i>Xm</i> (g agua/100 g materia seca) | <i>Epp</i> (%) | <i>C</i> | <i>Xm</i> (g agua/100 g materia seca) | <i>Epp</i> (%) |
| <i>TI_{CaAA} + SAC</i> | 0,986 | 13 | 9,9 | 3,78 | 10 | 9,71 | 3,76 |
| <i>TI_{CaAA} + SAC60/MW20</i> | 0,959 | 24 | 11,5 | 3,21 | 30 | 10,6 | 4,94 |
| <i>TH_{CaAA} + SAC</i> | 1,1 | 20 | 3,8 | 6,45 | 30 | 4,4 | 9,67 |
| <i>TH_{CaAA}+SAC60/MW20</i> | 1,037 | 20 | 6,7 | 6,56 | 30 | 7,4 | 7,83 |

Los 3 parámetros (*Xm*, *C* y *K*) caracterizan las interacciones del agua con los macroconstituyentes del alimento (Bell y Labuza 2000).

Los valores estimados de humedad en la monocapa (*Xm*) pueden considerarse como un límite debajo del cual se minimizan las reacciones de deterioro (Goula et al., 2008). Se observan en la tabla 4.13 que los valores de *Xm*, tanto los calculados por el modelo de GAB como por los de BET, de las muestras impregnadas en medio isotónico son más altos que las muestras impregnadas en medio hipertónico, esto evidencia un comportamiento más higroscópico de las primeras, y una protección adicional de las muestras deshidratadas osmóticamente. Comparando entre métodos de deshidratación podemos mencionar que los pulsos de microondas modifican el comportamiento de las muestras, y se obtienen valores más altos de humedad de la monocapa.

En el caso de los productos impregnados en medio isotónico y deshidratados con SAC o SAC60/MW20, presentan un contenido de agua de la monocapa de 9,9 y 11,5 g agua/100 g fr. seca respectivamente, y en el caso de las muestras impregnadas en medio hipertónico y deshidratadas con SAC o SAC60/MW20 se obtuvieron humedades de la monocapa entre 3,8 y 6,7 g agua/100 g fr. seca respectivamente, inferiores a las anteriores.

En cuanto a la constante *K* del modelo de GAB obtuvimos valores mayores a la unidad en muestras impregnadas en medio hipertónico, y valores menores a la unidad en muestras impregnadas en medio isotónico. Los valores de *C* varían entre 1 a 30 y los valores de *K* de 0,7 a 1 para varios productos alimenticios (Rahman, 1995). Tsami y col. (1990) realizaron isoterma de frutas deshidratadas reportando en isoterma de sorción valores de *Xm* entre 9,7 a 17,3, y valores de *K* entre 1,22 a 1,58. Sin embargo otros autores reportaron valores mayores de *C*, como De Lima y col. (2016) con valores de 36 a 38 en ananá. Por otra parte, Simal y col. (2007) reportaron valores de *K*, *C* y *Xm* para fruta de ananá a 25°C de 0,986, 14,30 y 10,83% base seca respectivamente.

En la Figura 4.26 se presentan los valores experimentales (símbolos) de la humedad de equilibrio y el ajuste por el modelo de GAB (líneas punteadas).

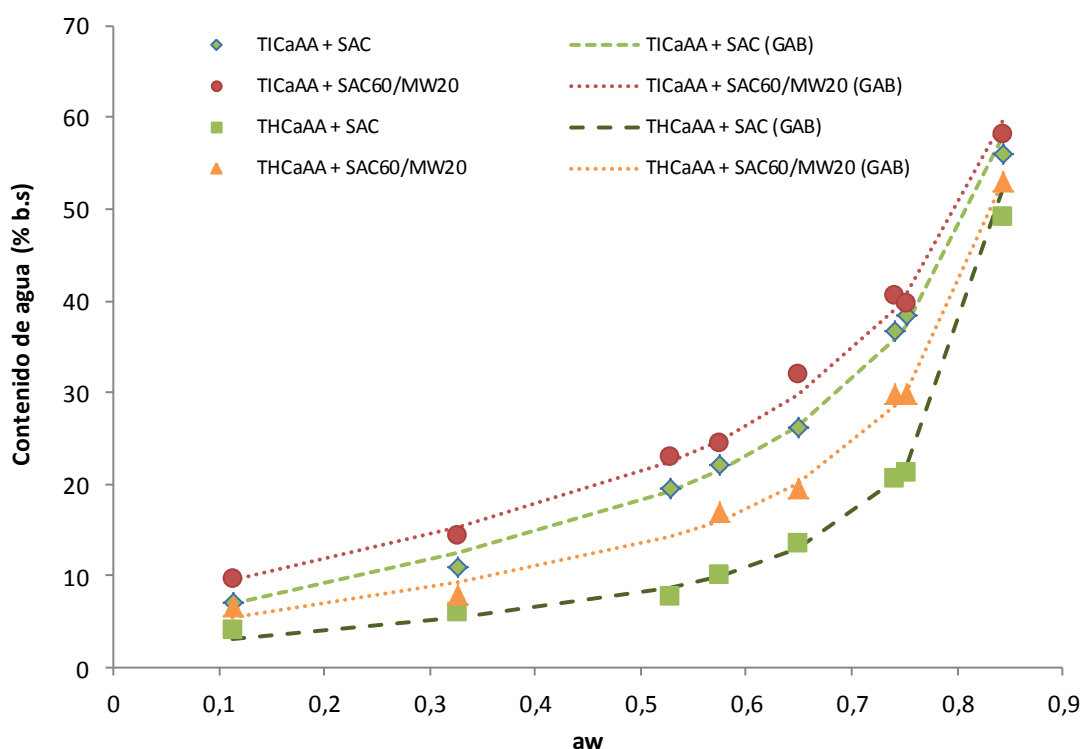


Figura 4.26. Isoterma de sorción de frutas fortificadas y deshidratadas de ananá a 25°C

En el caso de los tejidos vegetales son materiales heterogéneos por lo tanto cada vegetal tendrá su propia cinéticas de sorción de agua. De igual manera, los cambios que ocurran en su composición tendrán un efecto en el comportamiento de sorción del agua, que queda claramente reflejado en la forma que toman las isotermas. En nuestro caso puede observarse claramente que las curvas de las isotermas de sorción son diferentes entre los métodos de impregnación empleados, isotónico (TI) e hipertónico (TH), y el efecto se debe a la incorporación de sacarosa en mayor medida en las muestras TH. Los datos experimentales de las muestras isotónicas están por encima de las muestras impregnadas en medio hipertónico, esto puede indicar una mayor estabilidad de estas últimas, esta diferencia es más notoria en la zona de aw de 0,35 a 0,75. El pretratamiento osmótico de frutas, utilizando soluciones de sacarosa, dio lugar a un aplanamiento de la isoterma, haciendo al producto menos higroscópico (Lenart, 1991). En cambio, la pendiente de las curvas de las muestras TI es más pronunciada en todo el rango de actividad de agua por lo que evidencia que son mucho más higroscópicas, tal como lo informa Konopacka (2002) en snack de manzanas.

Por otra parte se puede observar que las muestras deshidratadas con aplicación de pulsos de microondas están por encima de sus correspondientes muestras sin pulsos, este aumento en la capacidad de adsorción de agua puede atribuirse a su estructura más porosa generada por la aplicación de pulsos de microondas.

Como ya hemos mencionado, la estabilidad de los alimentos frente a diferentes reacciones de deterioro depende de la actividad del agua del alimento. En general se considera como zona segura a partir de una actividad de agua de 0,65 hacia abajo.

Por lo tanto, en el caso de las muestras TH+SAC y TH+SAC60/MW20 se deben alcanzar como límite máximo valores de humedad de 13,51%, y 19,5% para garantizar su mayor estabilidad. Y en las muestras TI+SAC y TI+SAC60/MW20, sus valores límites deben ser de 26,23% y 32%, respectivamente.

4.6.2 Modelado de la ganancia de agua durante el almacenamiento

Para predecir la ganancia de humedad durante el almacenamiento de frutas deshidratadas y envasados en bolsas tipo ziploc® a 75%HR y a 25 °C, se aplicó el modelo propuesto por Ramallo y Albani (2007) empleando para su resolución el método explícito de diferencias finitas.

Si bien el material de envase presenta una importante barrera al pasaje de agua, la velocidad de transmisión de vapor de agua está en el orden de 16-24 g/m² día; razón por la cual es de esperar incremento en el contenido de agua de las muestras envasadas. Esta variación de humedad fue diferente de acuerdo a las características de los productos, resultantes de los diferentes tratamientos impartidos. En las figuras 4.27 y 4.28 se presentan los datos experimentales del contenido de agua (mg/g fr seca) de ananá deshidratado e impregnado en medio isotónico e hipertónico respectivamente (símbolos), y los predichos por el modelo (líneas punteadas) en función del tiempo de almacenamiento.

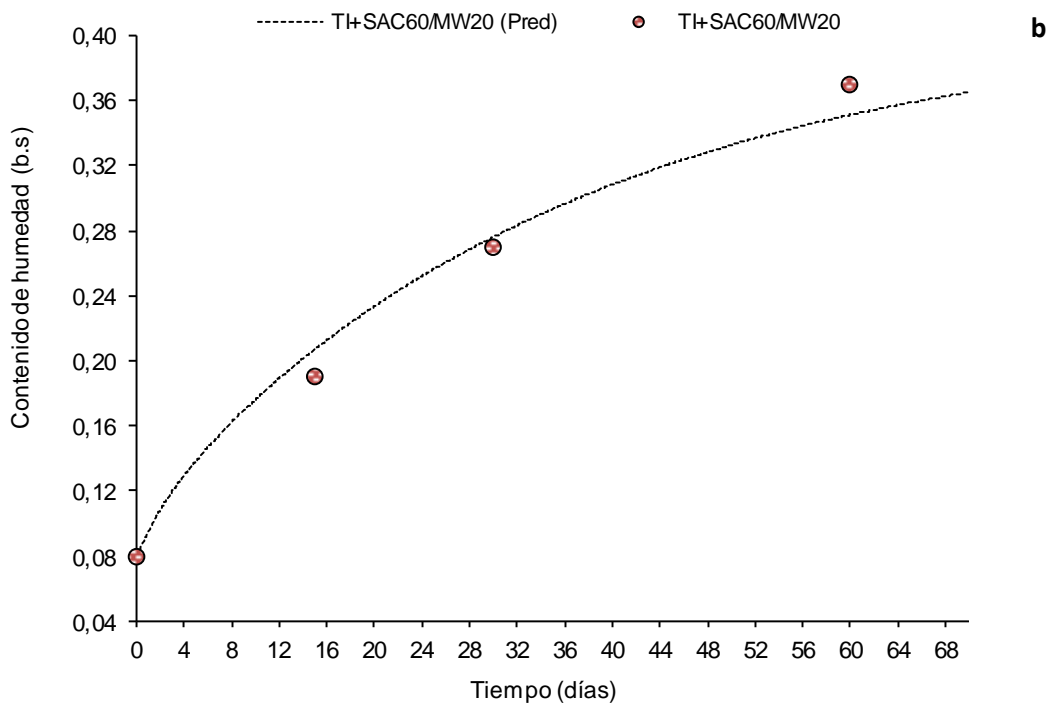
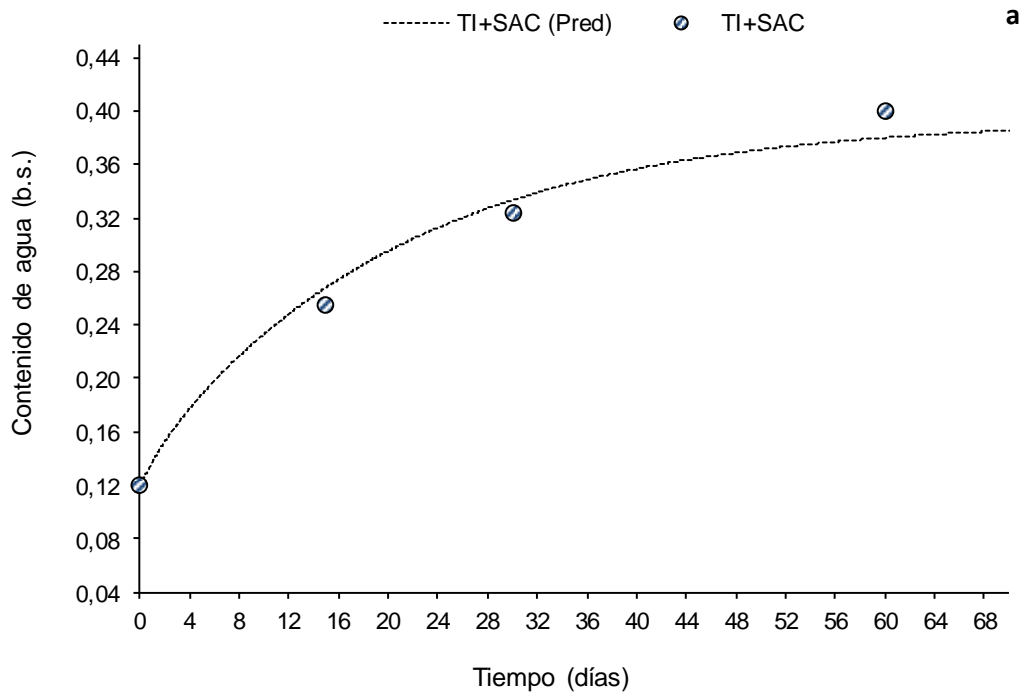


Figura 4.27. Contenido de agua experimental (símbolos) y predicho por el modelo (líneas punteadas) de ananá fortificado en medio isotónico y deshidratado con aire caliente (a) y pulsos de microondas (b) en función del tiempo de almacenamiento

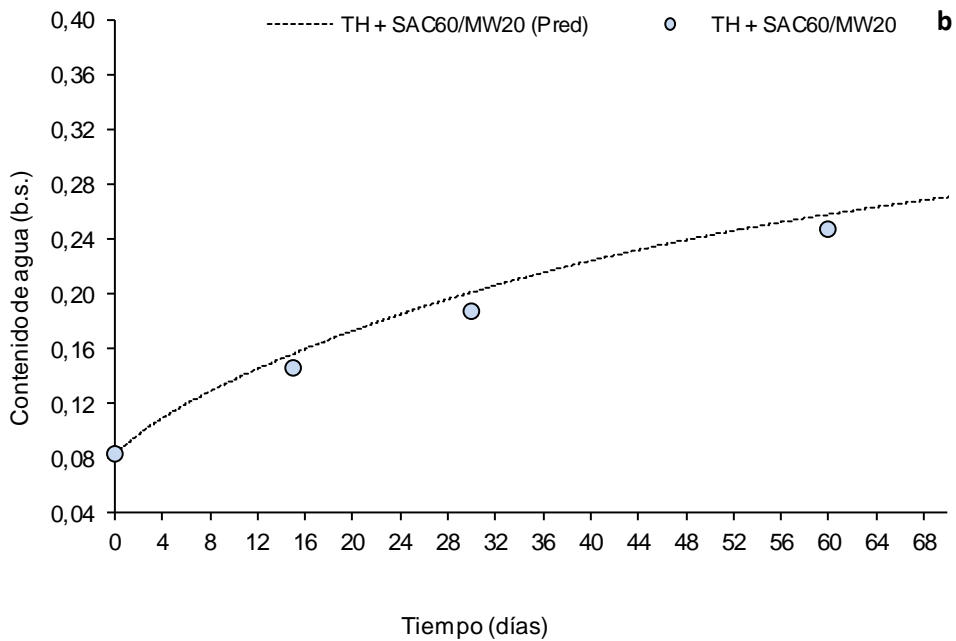
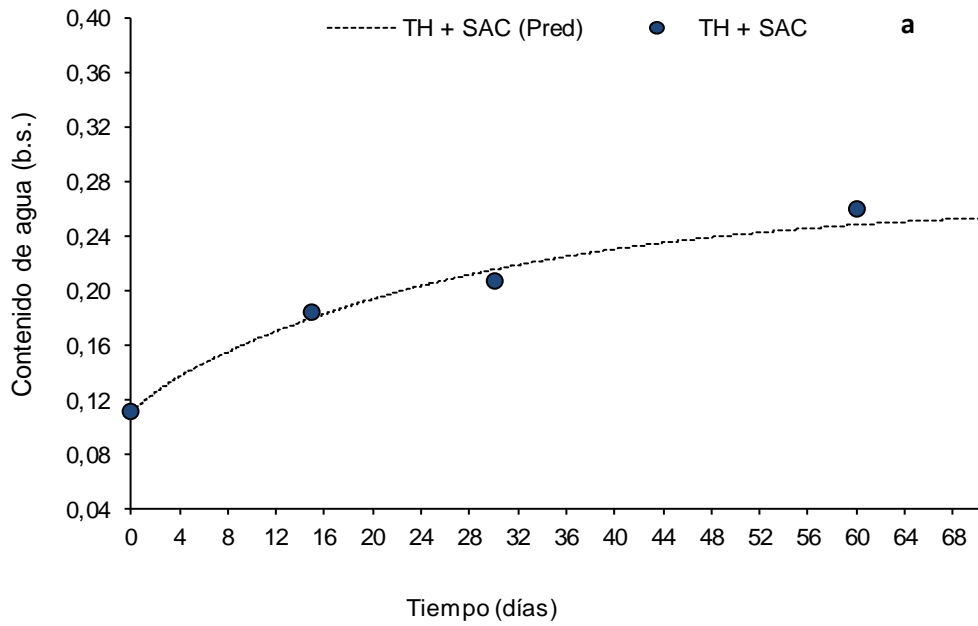


Figura 4.28. Contenido de agua experimental (símbolos) y predicho por el modelo (líneas punteadas) de ananá fortificado en medio hipertónico y deshidratado con aire caliente (a) y pulsos de microondas (b) en función del tiempo de almacenamiento

Como puede observarse en la Figura 4.27 (a y b) las curvas de la ganancia de agua de las muestras impregnadas en medio isotónico son más pronunciadas que las curvas de la ganancia de agua de las muestras impregnadas en medio hipertónico (Figura 4.28 a y b). Estos valores menores de ganancia de humedad en las muestras pre-osmodeshidratadas puede deberse a la ventaja de la impregnación de sólidos y la consiguiente reducción en la permeabilidad de los tejidos de la capa superficial de la fruta, así como la reducción de la difusividad aparente de agua, que actúan como factores beneficiosos para mantener la estabilidad de la fruta deshidratada durante el almacenamiento (Berbert et al., 2016).

Con respecto al tipo de secado, las muestras secadas con aire obtuvieron valores mayores del coeficiente de difusión del agua en comparación con las secadas con pulsos de microondas, como se muestra en la Tabla 4.16.

Tabla 4.16. Coeficientes de difusión de agua de los productos deshidratados y los errores porcentuales de estimación del modelo

| Tratamiento | $D_{\text{agua}} \cdot 10^{13} \text{ (m}^2/\text{s)}$ | $E_{pp} \text{ (\%)}$ |
|---------------------------------|--|-----------------------|
| TI _{CaAA} + SAC | 3,24 | 3,42 |
| TI _{CaAA} + SAC60/MW20 | 1,62 | 4,06 |
| TH _{CaAA} + SAC | 2,27 | 2,53 |
| TH _{CaAA} + SAC60/MW20 | 1,43 | 4,95 |

El error promedio porcentual de la estimación (%Epp) evaluado con la Ec. 3.37 fue <5% en todos los casos.

El modelo fue satisfactorio para determinar la variación del contenido de agua dentro del envase y en condiciones controladas. Dicho modelo considera los efectos de la permeabilidad del envase, las condiciones ambientales de almacenamiento, la isoterma de sorción y la difusión del agua hacia el interior de cada producto.

4.6.3 Contenido de ácido ascórbico: valores experimentales y modelado matemático

Se evaluó el contenido de ácido ascórbico de los productos fortificados al finalizar los cuatro procesos de deshidratación (t=0) y durante su almacenamiento en bolsas Ziploc® colocadas en celdas cerradas a humedad (75% HR) y temperatura (25 °C) constantes, en los tiempos preestablecidos de 15, 30 y 60 días. Esta variación del contenido de AA durante el almacenamiento de ananá es expresada como C/Co.

Los datos experimentales del contenido de ácido ascórbico (mg/g producto) fueron ajustados a una cinética de primer orden (Ec. 3.39), y empleando una ecuación empírica que relaciona la constante de velocidad de degradación (k_{AA}) con la actividad acuosa (Ec. 3.41). La variación de a_w en el interior del envase está vinculada con la humedad de la fruta a través de la isoterma de sorción de agua. La ecuación

diferencial (Ec. 3.39) se integró mediante técnicas numéricas para incorporar la variación de k_{AA} durante el almacenamiento.

Los valores de las constantes A, B y C de la Ecuación 3.41 y la bondad del ajuste del modelo de primer orden (Ec.3.39) se presentan en la tabla 4.17.

Tabla 4.17. Constantes de la ecuación $k_{AA} = A a_w^2 + B a_w + C$ que describen al coeficiente k_{AA} de la ecuación de degradación de ácido ascórbico

| <i>Tratamiento</i> | <i>A</i> | <i>B</i> | <i>C</i> | <i>Epp %</i> |
|---------------------------------------|----------|----------|----------|--------------|
| <i>TI_{CaAA} + SAC</i> | -0,063 | -0,061 | 0,0915 | 5,10 |
| <i>TH_{CaAA} + SAC</i> | -0,063 | -0,0635 | 0,0856 | 5,85 |
| <i>TI_{CaAA} + SAC60/MW20</i> | 0,073 | -0,125 | 0,0597 | 2,83 |
| <i>TH_{CaAA} + SAC60/MW20</i> | 0,073 | -0,130 | 0,0548 | 1,70 |

Se obtuvo un buen ajuste de la Ec.3.36 a los datos experimentales, con valores del error promedio porcentual de la estimación < 6%.

Pardio Sedas y col. (1994) describieron la pérdida de vitamina C en muestras de ananá osmodeshidratadas durante el almacenamiento a 30, 35 y 40°C y altos a_w a través de reacciones de primer orden, y observaron que las mayores pérdidas se debieron a los altos a_w y no por efecto de la temperatura. Uddin y col. (2002) estudiaron la degradación de AA en guabas deshidratadas durante su almacenamiento a tres temperaturas (30, 40 y 50 °C) y a cuatros actividades de agua (0,43; 0,75; 0,84 y 0,97), obteniendo que la degradación de AA seguía una reacción de Pseudo primer orden.

En la Figura 4.29 se muestran los datos experimentales (símbolos) de la cinética de degradación del AA de muestras impregnadas en medio isotónico e hipertónico y secadas con SAC60/MW20, expresados como C/Co , y en líneas punteadas se presentan los ajustes por el modelo. Se observó que la pérdida de vitamina fue similar en muestras de fruta con ambos tratamientos de impregnación hasta los 30 días (31 y 35%), luego hubo una caída más acelerada en las muestras impregnadas en medio isotónico hasta 88% de degradación de AA a los 60 días de almacenamiento, mientras que las muestras impregnadas en medio hipertónico perdieron un 65% del AA en el mismo período.

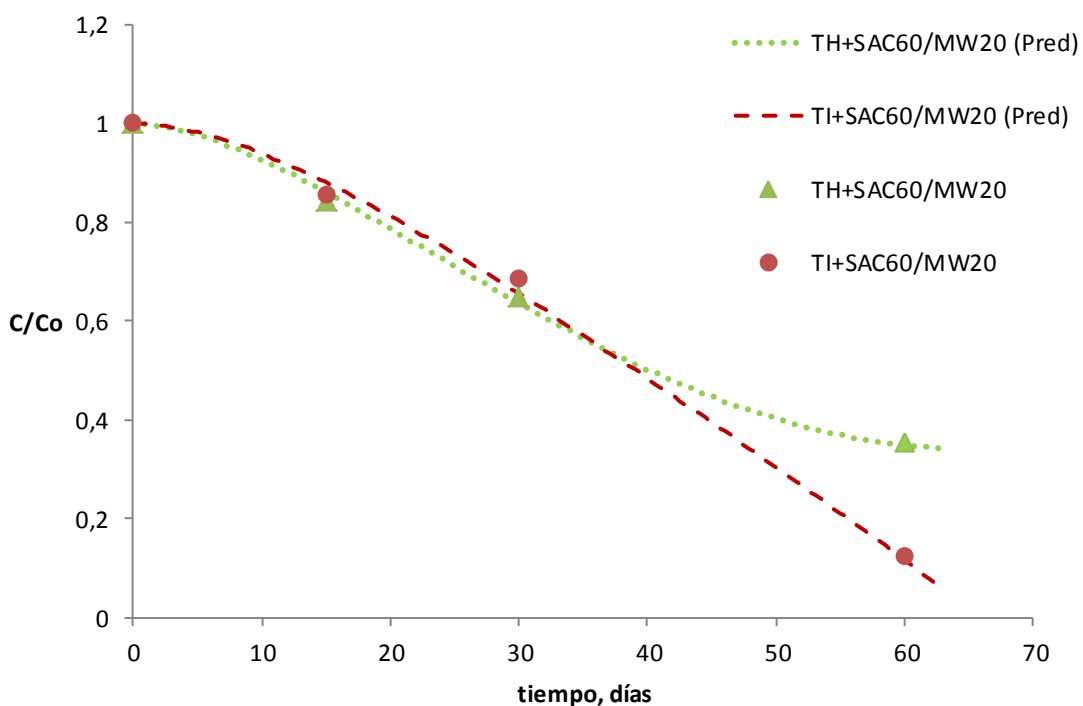


Figura 4.29. Variación del contenido de ácido ascórbico en frutas de ananá fortificadas y deshidratadas (TI+SAC60/MW20 y TH+ SAC60/MW20) durante el almacenamiento a 25°C

Los datos experimentales (símbolos) de la cinética de degradación del AA de muestras impregnadas en medio isotónico e hipertónico y secadas con SAC y en líneas punteadas los ajustes por el modelo de Primer orden se presentan en la Figura 4.30.

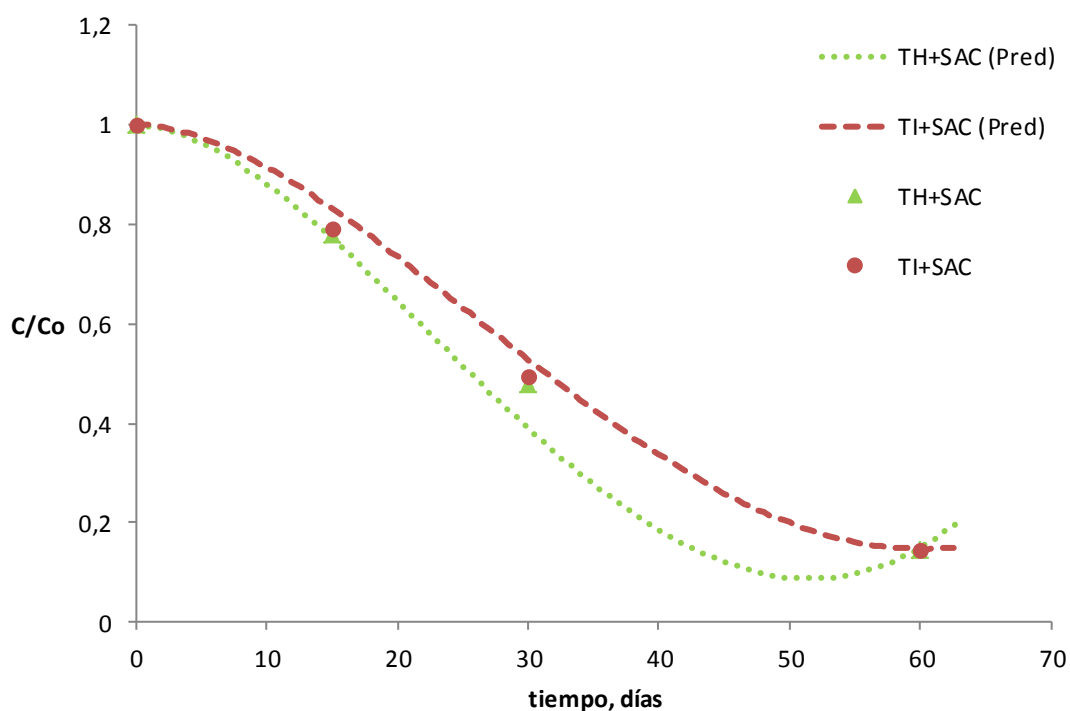


Figura 4.30. Cinética de degradación de ácido ascórbico en frutas fortificadas y deshidratadas (TI+SAC y TH+SAC) durante el almacenamiento a 25°C

Se observó que tanto las muestras impregnadas en medio isotónico como hipertónico que fueron tratadas con secado convectivo presentaron una mayor degradación de vitamina C a los 30 días respecto de aquellas tratadas con pulsos de microondas, representando una pérdida de aproximadamente el 50% en muestras secadas por SAC, mientras que por SAC60/MW20 la pérdida fue de alrededor de 33%. Es decir, que el método de impregnación no influyó significativamente en la velocidad de degradación del contenido de AA de las muestras a los 30 días, pero sí el método de secado.

Sin embargo, a los 60 días se evidenció una degradación notoria del contenido de AA en todas las muestras que se corresponde con los mayores valores de humedad. Los mayores porcentajes de degradación de vitamina en este período de tiempo se registraron en las muestras impregnadas en medio isotónico, de 85 y 87,70 % para TI+SAC y TI+SAC60/MW20, respectivamente. Mientras que en las muestras impregnadas en medio hipertónico presentaron valores de degradación de 82% en TH+SAC, y de 65% en TH+SAC60/MW20. Esto último puede indicar una mayor estabilidad de las muestras con contenido de sacarosa, al ser menos higroscópicas.

En la Figura 4.31 se presenta la evolución del contenido de AA desde su impregnación, secado y posterior almacenamiento en condiciones controladas. El contenido de AA se expresa en mg/100 g de fruta fresca.

Como se mencionó en la sección 3.2, el proceso de 3 horas de impregnación en ambos medios, isotónico e hipertónico, se logra el objetivo de la fortificación, sin diferencias significativas en el contenido de AA de las muestras. Por tal motivo ese fue el tiempo empleado en la etapa de impregnación de la matriz vegetal, y se continuó con los procesos de deshidratación hasta alcanzar una reducción del 85% del peso. No se evidenció una degradación del AA luego de los procesos de secado, excepto en las muestras deshidratadas por el método de secado con pulsos de microondas e impregnadas en medio hipertónico (TH_{CaAA}+SAC60/MW20).

Hasta los 30 días de almacenamiento se observa que hay una menor disminución de AA en las muestras impregnadas isotónicamente, independientes del método de secado; a tiempos de almacenamiento más prolongados este efecto se revierte y las muestras de ananá impregnadas en medio hipertónico presentan un contenido de AA significativamente mayor que aquellas impregnadas en medio isotónico .

A los 60 días se observa una disminución considerable del contenido de AA en todas muestras. Sin embargo, es mayor al contenido natural de la fruta fresca (40 mg/100g fr).

Los 4 productos desarrollados son una buena fuente de ácido ascórbico para la dieta.

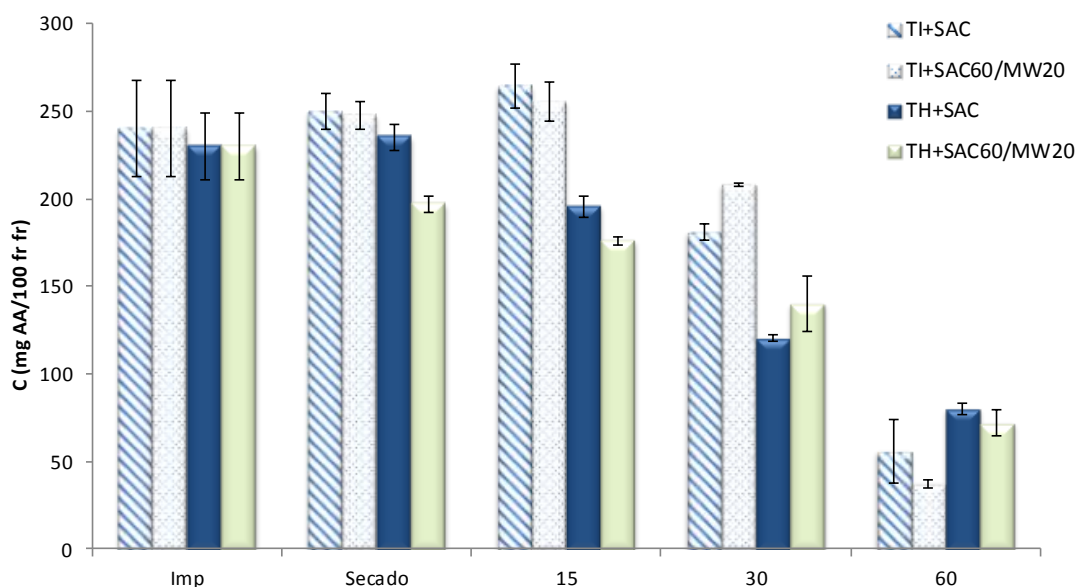


Figura 4.31. Variación del contenido de ácido ascórbico de la fruta de ananá impregnadas en medio isotónico e hipertónico, deshidratadas con aire caliente (SAC) y pulsos de microondas (MW) y durante su almacenamiento a 25°C y 75%HR

Estimación de la vida útil basada en el contenido de ácido ascórbico

Considerando que un producto fortificado en vitamina debe contener entre un 20% a 100% de la ingesta diaria recomendada por porción, estimamos el tiempo de vida útil de los productos.

En la Figura 4.32 se presentan los contenidos de ácido ascórbico para cada producto listo para consumo en una porción de 50 g. Si consideramos los requerimientos de una persona adulta (82,5 mg/día), en 60 días de almacenamiento todos los productos están dentro del tiempo de vida útil según este estudio, como se señala mediante la línea punteada en la Figura 4.32. Aun cuando el contenido de AA es aún superior al requerido para cumplir con el 100% de la IDR, debido a la dispersión de los resultados puede considerarse un período de 60 días el tiempo de vida útil de estos productos.

También se observa en este gráfico el contenido superior de ácido ascórbico en muestras impregnadas en medio isotónico independiente del método de secado, sin embargo su deterioro es más acelerado que el observado en medio hipertónico.

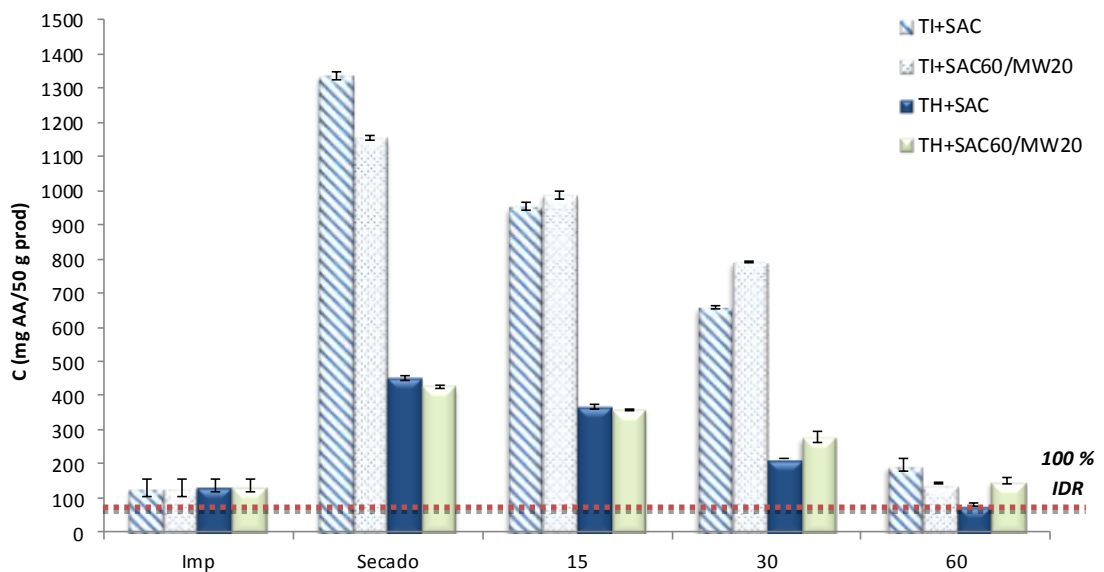


Figura 4.32. Variación del contenido de ácido ascórbico por porción de la fruta de ananá impregnadas en medio isotónico e hipertónico, deshidratadas con aire caliente (SAC) y pulsos de microondas (MW) y durante su almacenamiento a 25°C y 75%HR

4.6.4 Color

Se presenta en la Figura 4.33 la evolución en el tiempo del parámetro b^* que representa la coordenada del color amarillo. Los cuatro productos fortificados y deshidratados presentan valores de b^* muy próximos entre sí sin diferencias significativas entre los mismos. Hubo reducción del parámetro b^* en función del tiempo de almacenamiento, siendo en algunos casos significativos los cambios. Las muestras con secado con aire caliente y pulsos de microondas mostraron la mayor disminución a los 15 días, pero se mantuvieron en estos valores sin modificaciones significativas hasta los 60 días, tanto en muestras impregnadas en medio isotónico como hipertónico.

En las muestras deshidratadas por el método SAC no mostraron variación a los 15 días, pero a los 30 se presentó una disminución en las muestras TH +SAC, mientras que las muestras TI +SAC permanecen sin cambios respecto a la fruta fresca en cuanto a este parámetro. Sin embargo, se observa que a los 60 días sus valores decayeron a valores de $24,38 \pm 2,21$ y de $27,14 \pm 2,67$ respectivamente, por debajo de las muestras con secado asistido por microondas.

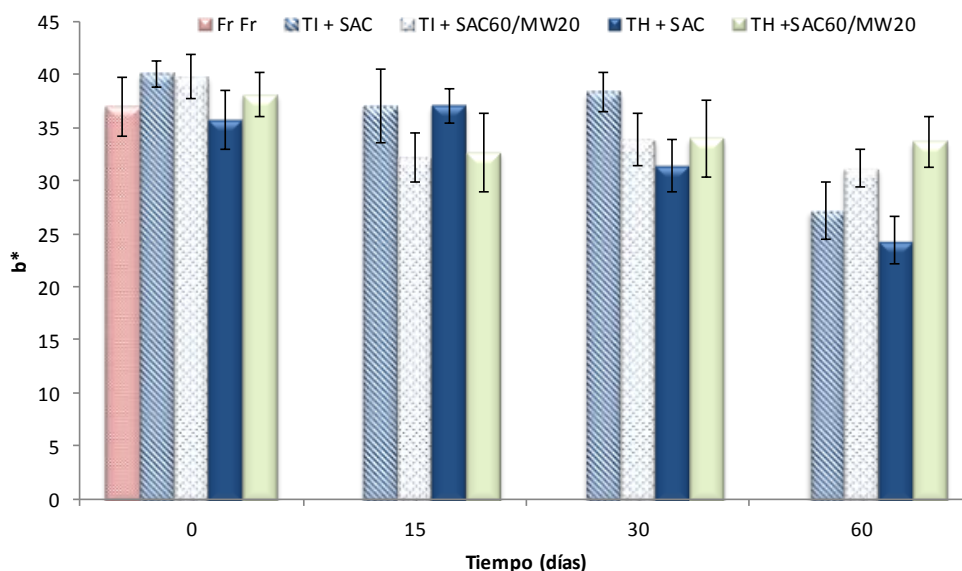


Figura 4.33. Evolución del parámetro b^* de ananás fortificados y deshidratados en función del tiempo de almacenamiento a 25°C

En la Figura 4.34 se presenta gráficamente el parámetro calculado del ángulo Hue en los tiempos de almacenamiento. Este parámetro representa el tono o color, es decir define un color de otro. En el caso de las muestras deshidratadas ($t=0$) presentan un valor promedio de $81,05 \pm 1,00^\circ$ sin diferencias significativas entre sí, correspondiendo a un tono amarillo. A los 15 días no hay cambios significativos en este parámetro. A los 30 días se observa una mayor variación en muestras impregnadas en medio hipertónico. Y alcanzados los 60 días el ángulo Hue se va desplazando a la zona del rojo-naranja, principalmente las muestras secadas con aire

caliente, que presentan valores de $65,02 \pm 1,19$ y de $64,57 \pm 0,83$ para TH+SAC y TI+SAC respectivamente, estos valores manifiestan un pardeamiento en las muestras. Mientras que las muestras con secado con pulsos de microondas tuvieron valores de $71,89 \pm 1,35$ y de $76,88 \pm 1,01$ para TH+SAC60/MW20 y TI+SAC60/MW20.

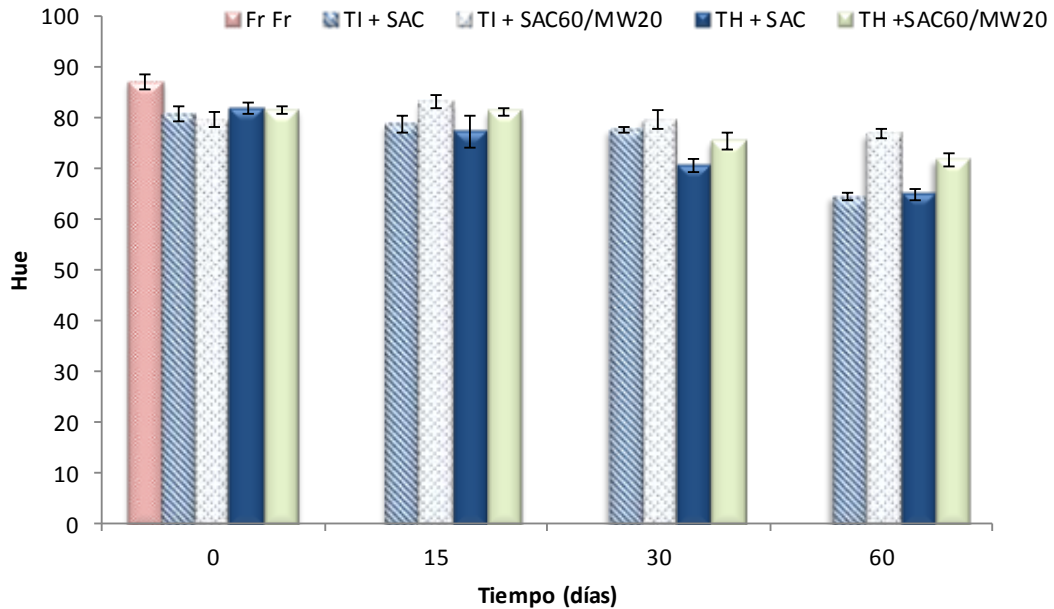


Figura 4.34. Evolución del ángulo Hue de ananás fortificados y deshidratados en función del tiempo de almacenamiento a 25°C

Otro parámetro importante sobre el que se ha trabajado es la diferencia de color entre dos muestras ΔE , donde se compara la variación del color de las muestras a tiempo t frente a la muestra inicial ($t=0$) (Figura 4.35).

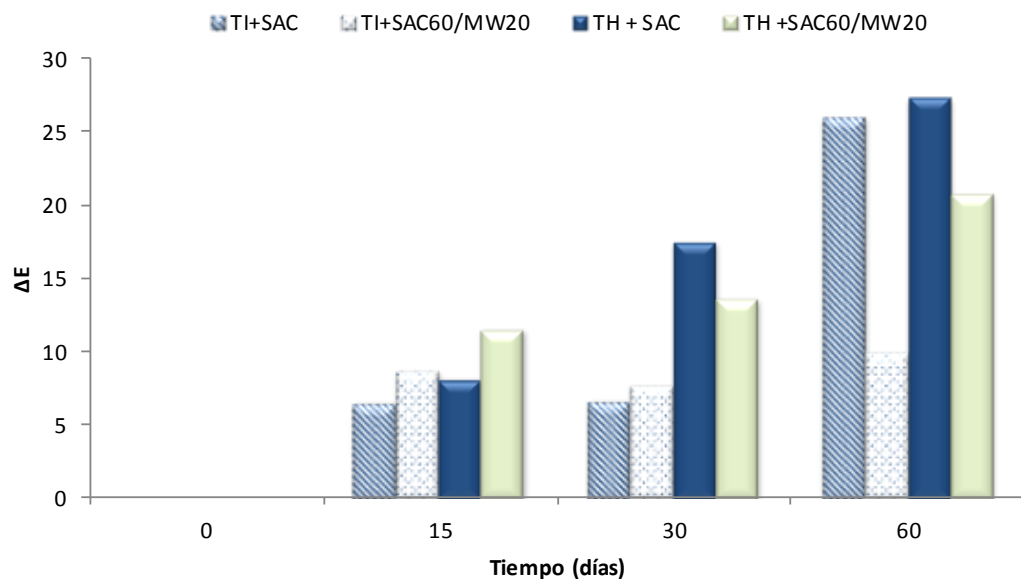


Figura 4.35. Diferencias de color (ΔE) de ananás fortificados y deshidratados en función del tiempo de almacenamiento a 25°C

Este parámetro nos refleja que hay cambios de color a medida que transcurre el tiempo. Mostrando claramente que las muestras impregnadas en medio isotónico y deshidratadas por combinación de secado con aire caliente asistido de pulsos de microondas no mostraron diferencias significativas entre los días 15, 30 y 60, con un valor de 8,76, considerado como un valor bajo de cambio. Su tratamiento similar pero sin pulsos de microondas mostró la misma tendencia pero hasta los 30 días (6,60). En el caso de las muestras impregnadas en medio hipertónico observamos una tendencia lineal positiva en muestras secadas con aire caliente, mientras que las muestras con SAC-MW presentaron un valor medio de $12,56 \pm 1,46$ en los días 15 y 30, pero luego aumentaron.

Los demás parámetros de color se presentan en las Tablas 4.18 y 4.19.

Tabla 4.18. Parámetros L^* , a^* y Croma de muestras deshidratadas por secado con aire caliente, impregnadas en medio hipertónico e isotónico

| <i>Tiempo (Días)</i> | <i>TH+SAC</i> | | | <i>TI+SAC</i> | | |
|--------------------------|---------------|------------|--------------|---------------|------------|--------------|
| | <i>L*</i> | <i>a*</i> | <i>Croma</i> | <i>L*</i> | <i>a*</i> | <i>Croma</i> |
| <i>0</i> | 82,80±2,18 | 1,91±1,13 | 37,08±2,82 | 77,85±2,50 | 6,50±1,63 | 40,62±1,86 |
| <i>15</i> | 72,88±2,69 | 8,38±2,55 | 38,06±3,76 | 76,48±1,35 | 7,29±0,90 | 37,72±3,41 |
| <i>30</i> | 63,12±1,90 | 11,01±0,49 | 33,35±2,43 | 72,23±1,39 | 8,34±0,57 | 39,23±1,91 |
| <i>60</i> | 54,93±2,10 | 11,33±0,78 | 26,90±2,28 | 54,95±3,86 | 12,66±1,47 | 30,41±2,63 |

En todas las muestras aumentaron el parámetro a^* con el tiempo de almacenamiento, indicando presencia de colores rojizos, excepto en las muestras con tratamiento TI+SAC60/MW20 (Tabla 4.19) en las cuales no se registran cambios significativos de este parámetro. Comportamiento similar se registró en los valores de luminosidad, los que disminuyen notoriamente durante el almacenamiento, excepto en las muestras con tratamiento TI+SAC60/MW20 cuyos cambios son no significativos. El croma representa la intensidad o pureza de un color, y como se observan en las tablas estos valores disminuyen a medida que transcurre el tiempo.

Tabla 4.19. Parámetros L*, a* y croma de muestras deshidratadas por secado con aplicación de pulsos de microondas, impregnadas en medio hipertónico e isotónico

| <i>Tiempo (Días)</i> | <i>TH+SAC60/MW20</i> | | | <i>TI+SAC60/MW20</i> | | |
|--------------------------|----------------------|------------|--------------|----------------------|-----------|--------------|
| | <i>L*</i> | <i>a*</i> | <i>Croma</i> | <i>L*</i> | <i>a*</i> | <i>Croma</i> |
| <i>0</i> | 85,11±2,80 | 5,60±0,56 | 38,54±2,10 | 76,69±3,05 | 7,20±1,17 | 40,46±2,19 |
| <i>15</i> | 75,90±1,64 | 4,94±0,86 | 32,63±4,08 | 78,34±2,00 | 3,84±0,82 | 32,44±2,16 |
| <i>30</i> | 69,68±3,30 | 8,86±1,30 | 35,17±3,70 | 73,62±3,31 | 6,17±1,41 | 34,65±2,75 |
| <i>60</i> | 65,59±1,54 | 10,99±0,84 | 35,46±2,42 | 75,53±1,97 | 7,26±0,73 | 32,00±1,80 |

Comparando los 4 métodos podemos concluir que las muestras TI+SAC60/MW20 presentaron las menores variaciones de color durante el almacenamiento. Seguida de las muestras de TH+SAC60/MW20. Con ello se infiere que la deshidratación por secado con aire caliente y pulsos de microondas presentó mejores resultados que el secado con aire caliente respecto a la calidad del color.

CAPÍTULO 5: RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE MORA

5.1 Introducción

En esta sección se presentan y discuten los resultados obtenidos durante el procesamiento de moras. En una primera instancia se evaluó la factibilidad de aplicar los métodos de deshidratación usados con la fruta de ananá.

Los resultados hallados en esta primera etapa no resultaron del todo satisfactorios en cuanto a las características organolépticas de las moras, por ello se empleó como método de deshidratación al secado con aire caliente pero partiendo de un puré de moras al cual se adicionó ácido ascórbico y calcio con el objetivo de aumentar el contenido de estos nutrientes.

Para evaluar la estabilidad del ácido ascórbico incorporado a la formulación y de las antocianinas propias de la fruta se analizó su contenido en función del tiempo de almacenamiento a tres temperaturas: 25, 35 y 45 °C.

5.2 Caracterización de la fruta de mora

La mora negra (*Morus nigra* L.) es una fruta polidrupa que pertenece al grupo de las llamadas berries o también frutos del bosque junto con las frutillas, frambuesas, arándanos y grosellas. La fruta fresca actualmente no se comercializa en mercados misioneros por ser muy perecedera y poseer una estructura frágil, su cosecha es manual durante los meses de Septiembre y Octubre.

Los resultados obtenidos de la caracterización de las frutas de mora utilizadas en la presente tesis se presentan en la tabla 5.1.

Tabla 5.1. Caracterización de mora negra

| <i>Parámetro</i> | <i>Valor medio ± desvío estándar</i> |
|--|--------------------------------------|
| Peso del fruto (g) | 2,37 ± 0,58 |
| Diámetro (mm) | 12,53 ± 1,08 |
| Largo (mm) | 22,28 ± 3,56 |
| Humedad (% base húmeda) | 83,40 ± 2,90 |
| Contenido de sólidos solubles (°Brix) | 14,87 ± 2,97 |
| pH | 4,86 ± 0,70 |
| Acidez Titulable (g de ácido cítrico/100 g fr) | 0,75 ± 0,25 |
| Color: L* | 10,60 ± 1,20 |
| a* | 1,02 ± 0,29 |
| b* | 0,85 ± 0,19 |

Los resultados del contenido de sólidos solubles son similares a los reportados por Ercişli y Orhan (2008) quienes estudiaron las características fisicoquímicas de moras negras cultivadas en diferentes regiones agroclimáticas de Turquía; Kara y

Erçelebi (2013) reportaron un contenido de sólidos solubles totales de 15,02%; Sánchez-Salcedo y col. (2013) informaron valores desde 12,03% a 25,77%.

Los valores de pH para esta fruta reportados en la literatura son diversos: entre 3,43 y 3,66 (Ercişli y Orhan 2008), entre 5,95 y 7,39 (Sánchez-Salcedo et al., 2013), entre otros.

Por otra parte, el valor de acidez titulable (0,75%) fue ligeramente menor a los reportados por otros autores para el género *Morus*: 0,93% a 2,65% (Sánchez-Salcedo et al., 2013), 1,40% (Ercişli y Orhan 2007) y 1,084% (Gundogdu, 2011).

5.3 Selección del método de preservación de mora

5.3.1 Pretratamiento: Deshidratación osmótica

Se estudió el proceso de deshidratación de moras en solución de sacarosa a diferentes concentraciones (40, 50 y 60 °Brix) y diferentes temperaturas (20, 30 y 40°C).

Los resultados promedio del contenido de agua de la fruta fresca utilizada en este apartado fue de $85,00 \pm 2,95$ g agua/100 g fruta. Luego de 8 h de los procesos se evidenció un leve descenso del contenido de agua, existiendo diferencias significativas respecto a la fruta fresca cuando se emplea temperaturas de 30 y 40 °C. Los parámetros que describen la transferencia de masa se presentan en la Tabla 5.2.

Tabla 5.2. Parámetros de transferencia de masa de moras tratadas osmóticamente durante 8h a diferentes concentraciones de solución osmótica y diferentes temperaturas

| Tratamiento | Pérdida de peso (%) | Pérdida de agua (%) | Ganancia de soluto (%) |
|--------------|---------------------|---------------------|------------------------|
| 20°C-40°Brix | 1,46 ± 0,96 a | 4,22 ± 0,83 a | 2,76 ± 0,13 e |
| 20°C-50°Brix | 8,15 ± 0,72 b | 10,18 ± 0,62 c | 2,03 ± 0,10 d |
| 20°C-60°Brix | 7,90 ± 1,13 b | 9,40 ± 0,94 c | 1,51 ± 0,20 c |
| 30°C-40°Brix | 6,29 ± 0,86 b | 6,46 ± 0,70 b | 0,25 ± 0,10 a |
| 30°C-50°Brix | 6,50 ± 1,80 b | 8,20 ± 2,62 bc | 1,60 ± 0,40 cd |
| 30°C-60°Brix | 8,61 ± 2,35 b | 9,60 ± 2,38 bc | 0,91 ± 0,60 bc |
| 40°C-40°Brix | 10,77 ± 0,50 c | 10,10 ± 1,20 cd | 0,67 ± 0,28 b |
| 40°C-50°Brix | 11,63 ± 0,30 d | 11,44 ± 0,12 d | 0,19 ± 0,08 a |
| 40°C-60°Brix | 16,20 ± 1,70 e | 28,02 ± 1,10 e | 11,82 ± 0,60 f |

**Letras diferentes indican que las muestras presentan diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0% de confianza.*

De lo expuesto en la tabla se concluye que la deshidratación osmótica no es una metodología eficiente para reducir el contenido de agua de las moras. Las soluciones a

60°Brix mostraron una mejoría del proceso, pero solamente se evidenció buenos resultados en los parámetros de transferencia de masa y humedad durante la deshidratación osmótica a 40 °C a 60 °Brix.

Sin embargo, se observaron coloraciones rojizas en las soluciones osmóticas al finalizar los procesos, incrementándose esta coloración con la temperatura del proceso (Figura 5.1), lo cual podría afectar la calidad del producto resultante, debido a la pérdida de antocianinas (pigmentos naturales) de la fruta, asociados con su capacidad antioxidante (Stojanovic y Silva, 2007). Durante el proceso osmótico puede ocurrir que sólidos solubles como azúcares, ácidos, minerales, vitaminas hidrosolubles, etc. propios del alimentos pueden perderse por lixiviación (Azoubel et al., 2009). Además, a 40°C se observaron drupas flotando en la solución evidenciando disgregación de la fruta. Chottamom y col. (2012) cuantificaron una importante reducción del contenido de antocianinas (51-68%) durante la deshidratación osmótica de moras a 60°Brix y 35°C.

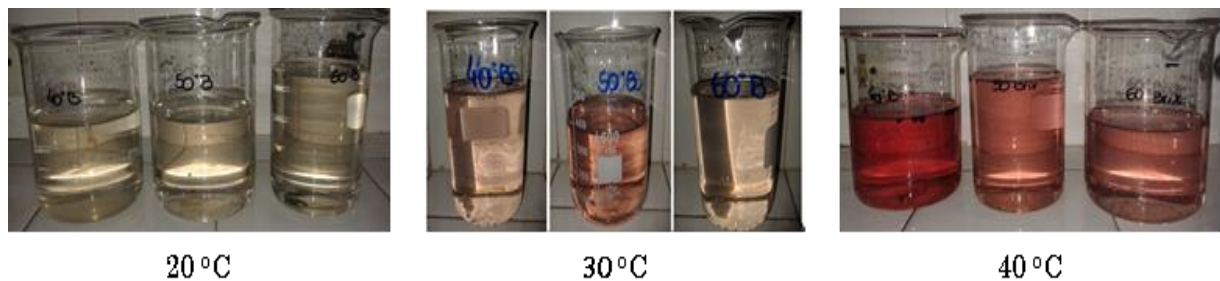


Figura 5.1. Soluciones osmóticas luego de 8 h de tratamiento osmótico a diferente temperatura y concentración

El proceso osmótico en moras se vio limitado en parte por las membranas cerosas de las drupas de la mora. Esto se evidencia al no aumentar la ganancia de solutos ni el contenido de sólidos solubles, similar resultado lo reportan Chottamom y col. (2012), quienes estudiaron la influencia de 3 agentes osmóticos en el tratamiento osmótico de moras negras: sacarosa, maltosa y sorbitol a 60°Brix, 35°C, y con una relación fruta/ solución de 1/6, durante 6 h. Los resultados que hallaron estos autores fueron una reducción del contenido de agua de 83 a 71-75 g agua/100g de fruta, sin diferencias significativas entre las 3 soluciones osmóticas. Varios autores mencionan la dificultad de las berries a los procesos de deshidratación osmótica y secado debido a que la cáscara contiene sustancias de carácter aceitoso o ceroso (Escriche et al., 2000; Pangavhane et al., 1999).

5.3.2 Secado con aire caliente

5.3.2.1 Cinética de secado: resultados experimentales y modelado matemático

Se llevó a cabo el secado con aire caliente de frutas de moras enteras a temperatura de 45, 60 y 75°C, con velocidad de aire de 1 m/s.

El promedio del contenido de agua de las frutas frescas fue de $83,40 \pm 2,90$ g de agua/100g fruta fresca, disminuyendo luego de 5 h de secado a 45, 60 y 75°C a

valores de $80,06 \pm 2,08$; $63,78 \pm 6,22$ y $15,28 \pm 8,55$ g agua/100 g de fruta, respectivamente. Sin embargo, al aumentar la temperatura del secado de moras se observaron signos de daño estructural (Figura 5.2).



Figura 5.2. Fotografías de moras deshidratadas durante 5 h con aire a 45, 60 y 75 °C

Los valores experimentales del contenido de agua se expresaron como una relación adimensional (MR), los cuales se ajustaron por regresión no lineal a los modelos matemáticos de Page (Ecuación 3.28), y a la segunda Ley de Fick (Ec. 3.25).

Los valores de los parámetros de la Ecuación de Page y el coeficiente de difusión del agua, junto al error promedio de estimación (E_{pp} %) para cada modelo se presentan en la Tabla 5.3.

Tabla 5.3. Constantes y ajustes de los modelos de Page y Difusional

| Tratamiento | Modelo de Page | | | | Modelo difusional | | |
|-------------|----------------|-------|--------|--------------|-----------------------|--------|--------------|
| | k | N | r^2 | E_{pp} (%) | D_{ef} (m^2/s) | r^2 | E_{pp} (%) |
| SAC 45°C | 0,0010 | 0,995 | 0,9996 | 0,185 | $1,9 \times 10^{-11}$ | 0,9845 | 4,06 |
| SAC 60°C | 0,0038 | 0,999 | 0,9925 | 3,95 | $1,0 \times 10^{-10}$ | 0,9434 | 7,65 |
| SAC 75°C | 0,0010 | 1,440 | 0,9627 | 12,12 | $8,0 \times 10^{-10}$ | 0,7419 | 62,0 |

El parámetro k de la Ecuación de Page puede ser aplicado para comparar la velocidad de pérdida de humedad cuando se comparan experiencias con idénticos valores de N , puesto que N determina la escala del eje de abscisas (t^n) en el análisis de regresión (Ec. de Page). El parámetro N se mantuvo casi constante en las experiencias de secado a 45 y 60°C, donde los valores de k se incrementaron con la temperatura del proceso, indicando mayor velocidad de secado. Estos resultados son acordes a los presentados por Doymaz (2003) en un estudio de secado de moras blancas a 50, 60, 70 y 80°C.

En la aplicación de la ecuación integrada de la Segunda Ley de Fick, se consideró a la mora de forma esférica, utilizando el radio promedio de la fruta. Los valores de difusividad de agua en moras negras fueron de $1,9 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$, $1 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ y $8 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ para 45, 60 y 75°C respectivamente. Estos valores se encuentran en concordancia con otras investigaciones. Doymaz (2003) obtuvo valores de difusividad en el rango de $2,3 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ a $1,2 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$, durante el secado de moras blancas pretratadas con oleato de etilo a 50°C y 80°C, respectivamente. Maskan y Göğüş (1998) reportaron para moras blancas deshidratadas de 60 a 80°C valores de difusividad comprendidos desde $2,32 \cdot 10^{-10}$ hasta $2,76 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$. Por su parte, Akbulut y Durmuş (2009) reportaron constantes de difusividad de moras secadas en secadero solar entre $1,38 \cdot 10^{-9}$ y $1,09 \cdot 10^{-13} \text{ m}^2/\text{s}$.

En la figura 5.3 y 5.4 se presentan los valores experimentales de MR en función del tiempo de secado, y los valores calculados según el modelo difusional de Fick (Ec. 3.25) y el modelo de Page (Ec. 3.27). De estas figuras se observa que la temperatura influye significativamente sobre la velocidad de pérdida de humedad de las moras.

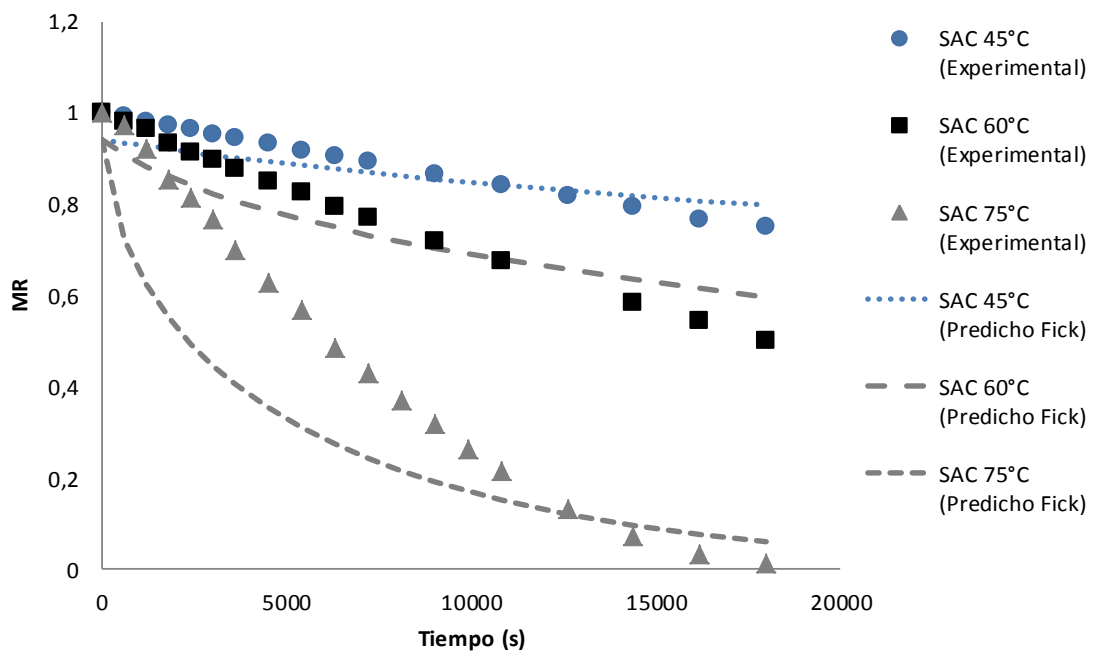


Figura 5.3. Variación de la humedad adimensional experimental y la predicha por el modelo difusional para el secado de moras

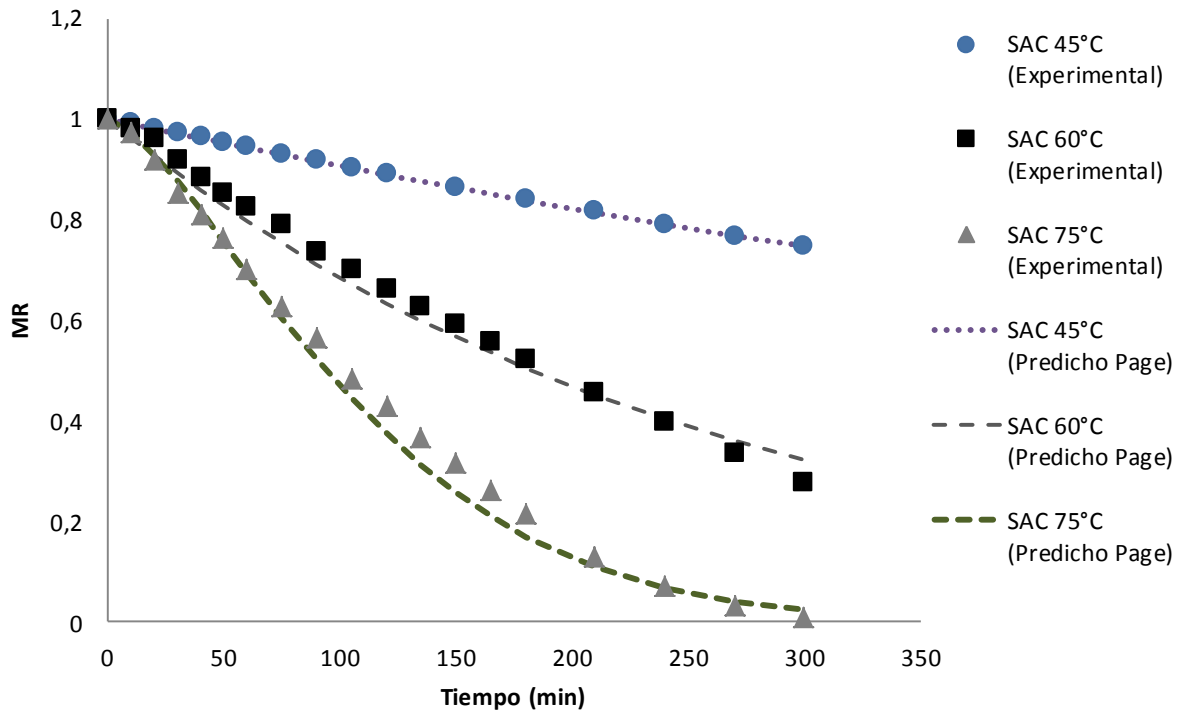


Figura 5.4. Variación de la humedad adimensional experimental y la predicha por el modelo de Page para el secado de moras

En todos los casos, el error promedio porcentual de la estimación a través del modelo de Fick es más elevado que el error de la estimación resultante de la aplicación de la Ecuación de Page. Una de las razones de esta diferencia podría originarse en que la geometría real de las frutas difiere de la esfera asumida para el modelo matemático. Por otra parte, el marcado incremento en los valores del Epp durante el secado a 75°C respecto del secado a 45 y 60°C, puede deberse a los cambios estructurales observados en el tejido, disgregación de las drupas y marcada reducción del volumen (Figura 5.2), no contemplado en la Ecuación de Fick. Por el otro lado, el modelo empírico no considera la forma del sólido.

Azzouz y col. (2002) también informaron que el coeficiente de difusión efectiva estimado por la segunda ley de Fick en el secado de uvas no resultó confiable, debido a las deformaciones de la fruta.

Evaluando la bondad de los ajustes, se concluye que para el secado a 45°C (bajas temperaturas) los dos modelos demostraron un buen ajuste a los datos experimentales.

5.3.2.2 Color

El color varía conforme la mora va madurando, comenzando en un tono blanco verdoso pasando al rojo para finalmente llegar al púrpura oscuro, prácticamente negro.

El color de la mora se atribuye principalmente a la presencia de antocianinas. Las antocianinas son inestables y pueden degradarse debido a varios factores, entre ellos: pH, luz, oxígeno, enzimas, ácido ascórbico, y tratamiento térmico.

Los parámetros de color medidos directamente y calculados mediante las Ecuaciones 3.5.1 a 3.7 se presentan en la tabla 5.4.

Tabla 5.4. Determinaciones de color en moras frescas y deshidratadas

| Muestra | L^* | a^* | b^* | Hue | Croma | ΔE |
|---------------------|--------------|-------------|-------------|--------------|-------------|------------|
| <i>Fruta Fresca</i> | 10,60 ± 1,20 | 1,02 ± 0,29 | 0,85 ± 0,19 | 39,69 ± 4,27 | 1,33 ± 0,33 | |
| <i>SAC 45°C</i> | 11,04 ± 0,69 | 1,38 ± 0,02 | 1,39 ± 0,20 | 45,25 ± 3,76 | 1,96 ± 0,15 | 1,99 |
| <i>SAC 60°C</i> | 11,15 ± 1,12 | 2,45 ± 0,19 | 1,58 ± 0,25 | 32,68 ± 3,66 | 2,92 ± 0,26 | 2,54 |
| <i>SAC 75°C</i> | 12,24 ± 0,70 | 1,99 ± 0,07 | 0,93 ± 0,33 | 24,39 ± 7,23 | 2,21 ± 0,19 | 3,26 |

Los valores de luminosidad (L^*), a^* y b^* de fruta fresca de mora cuantificados en el presente estudio están en el orden de los publicados por otros autores (Özgen 2009, Ercişli y Orhan, 2007). El Hue se encuentra en el primer cuadrante del círculo cromático, en la región de los rojos. El valor del parámetro Croma resultó extremadamente bajo, indicando que los colores son poco saturados y oscuros, ubicándose en la zona donde predominan los grises/negros como señalan los bajos valores de L^* .

El proceso de secado no generó cambios drásticos en el color de las frutas de mora. Estos cambios se ven influenciados con el incremento de la temperatura del proceso, siendo el secado a 75°C el proceso que más cambios de coloración produjo sobre la fruta, como lo indican los resultados de ΔE .

5.3.3 Secado con microondas

Se evaluó el secado de moras con aplicación de microondas a diferentes niveles de potencia ofrecido por el equipo. A niveles altos de potencia ($P=800W$) se generó arcos/chispas posiblemente por los pedúnculos de la fruta. A niveles de potencias bajas fue posible el secado pero el efecto de las ondas de microondas afectó claramente la calidad del producto, provocando pérdida de líquido intracelular y carbonización (Figura 5.5). Concluyendo que el secado con microondas acelera la velocidad de pérdida de agua pero a expensas de la calidad de la fruta fina. Otros autores que han

trabajado con futas han descartado el uso de potencias altas debido a la carbonización y el calentamiento excesivo de las muestras (Maskan, 2001; Pereira, 2007; Botha 2012; Chandrasekaran et al., 2013).

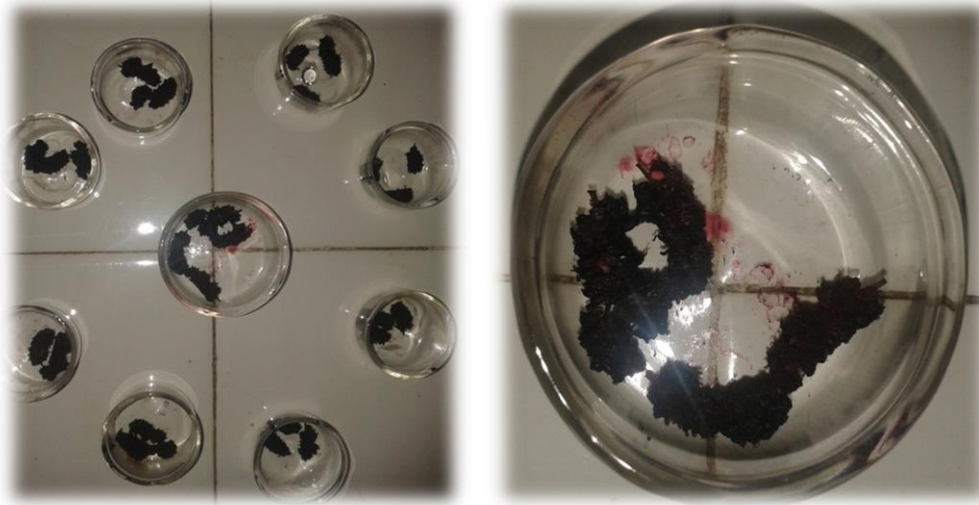


Figura 5.5. Imágenes de frutas de moras secadas con microondas

5.4 Láminas comestibles de moras fortificadas en vitamina C y calcio

Se realizaron ensayos de láminas de frutas (“fruit leathers”), como alternativa de preservación de frutas de mora, debido a que los resultados obtenidos con el secado convectivo, deshidratación osmótica y secado con pulsos de energía de microondas no fueron satisfactorios; si bien con el secado con aire caliente es posible la deshidratación de moras, el producto obtenido no cubre las expectativas sensoriales buscadas. Mientras que con microondas se observó pérdidas del jugo de la mora durante el proceso haciendo inviable su aplicación por la pérdida de componentes asociados.

Las láminas de frutas se obtienen por secado de una formulación de pulpa de fruta, con agentes edulcorantes y gelificantes. El producto final es una lámina fina, atractiva y flexible que puede ser consumido como “snack”. Estos productos ofrecen una alternativa más a una dieta saludable ya que contienen fibra, vitaminas y minerales a la vez que proporcionan una buena ingesta de energía (Ruiz et al., 2014). Además, a través de esta metodología es posible la incorporación de componentes funcionales o nutricionales, por ejemplo Torres y colaboradores (2015) desarrollaron láminas de manzana y membrillo con actividad antioxidante mejorada a través de extracto de maqui.

La elección de los ingredientes se basó en una búsqueda bibliográfica previa. Varios autores trabajaron con pectina, azúcares individuales o mezclas, como sacarosa (Ruiz et. al, 2012), glucosa (Valenzuela y Aguilera, 2015), jarabe de maíz (Huang y Hsieh, 2005), mezcla de sacarosa y povidexosa (Demarchi et. al, 2013), mezcla de sacarosa y glucosa (Vatthanakul et. al, 2010). Otro componente importante en la formulación de este tipo de láminas es el ácido cítrico, para disminuir el pH de la formulación a 3,5 o inferior, proporcionando un obstáculo adicional para el crecimiento microbiano.

En una primera etapa se realizaron ensayos preliminares de diferentes formulaciones para la elaboración de láminas de moras con distintos edulcorantes (sacarosa, glucosa y xilitol), maltodextrina y pectina (Tabla 5.5). El secado se realizó con aire a 60 °C y velocidad de aire de 1 m/s.

Tabla 5.5. Formulaciones preliminares ensayadas para la obtención de láminas de moras (% p/p)

| Formulación N° | Fruta | Azúcar | | | Ácido cítrico | Lactato de calcio | Ácido ascórbico | Malto dextrina | Pectina |
|----------------|-------|----------|---------|---------|---------------|-------------------|-----------------|----------------|---------|
| | | Sacarosa | Glucosa | Xilitol | | | | | |
| 1 | 79,94 | 15,98 | 0 | 0 | 2,31 | 1,60 | 0,16 | 0 | 0 |
| 2 | 79,94 | 0 | 15,98 | 0 | 2,31 | 1,60 | 0,16 | 0 | 0 |
| 3 | 79,94 | 0 | 0 | 15,98 | 2,31 | 1,64 | 0,16 | 0 | 0 |
| 4 | 71,38 | 14,28 | 0 | 0 | 2,07 | 1,43 | 0,14 | 10,70 | 0 |
| 5 | 71,38 | 0 | 14,28 | 0,00 | 2,07 | 1,43 | 0,14 | 10,70 | 0 |
| 6 | 71,38 | 0 | 0 | 14,28 | 2,07 | 1,43 | 0,14 | 10,70 | 0 |
| 7 | 78,68 | 15,74 | 0 | 0 | 2,28 | 1,57 | 0,16 | 0 | 1,57 |
| 8 | 75,70 | 0 | 18,93 | 0 | 2,20 | 1,55 | 0,15 | 0 | 1,51 |
| 9 | 62,93 | 18,88 | 15,54 | 0 | 1,83 | 1,26 | 0,13 | 0 | 0,26 |

Estas formulaciones preliminares fueron evaluadas por un grupo de evaluadores semi-entrenados (7 personas, miembros del laboratorio) que puntuaron a las muestras en función de los atributos: sabor global, pegajosidad y apariencia general. De esta manera se determinó la formulación más aceptable. Se empleó una escala de 5 puntos (1=menor aceptabilidad y 5=mayor aceptabilidad).

Los resultados medios se presentan en la Figura 5.6.

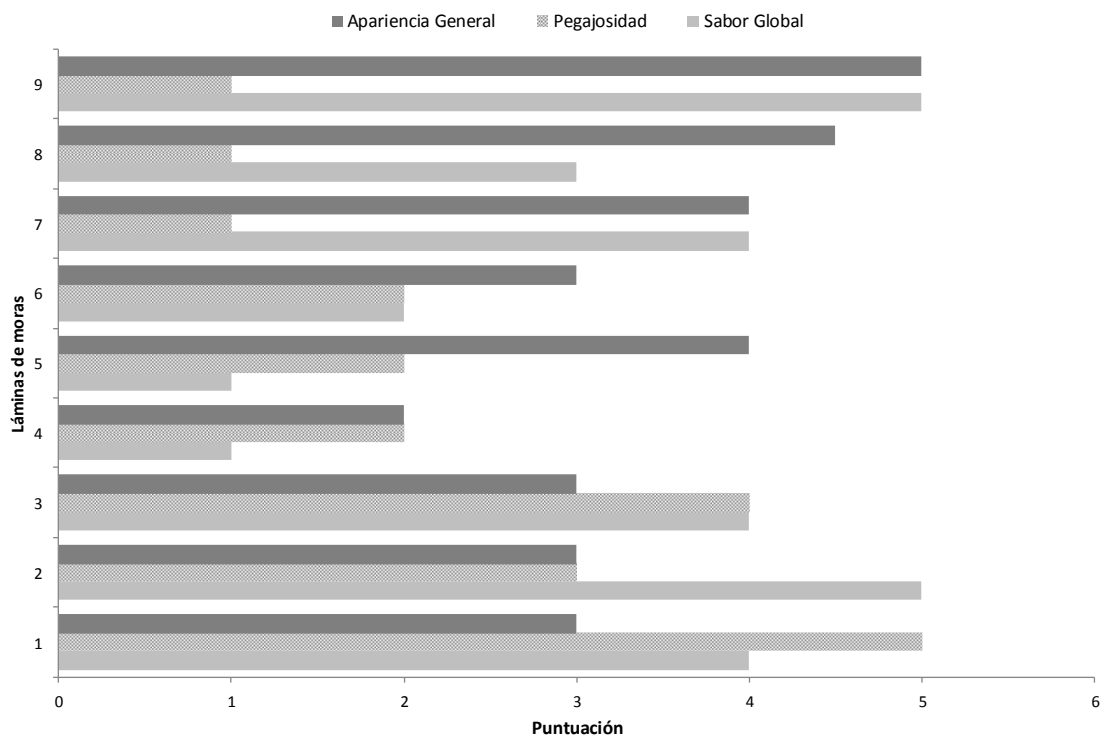


Figura 5.6. Puntuación en escala hedónica de 5 puntos para caracterizar tres atributos en cada formulación de láminas de moras

Las muestras con glucosa en su formulación evidenciaron un mayor brillo. Las muestras con sacarosa obtuvieron buena aceptación en cuanto al sabor. Una de las observaciones más importantes fue la pegajosidad de las muestras de las primeras formulaciones ensayadas, es por ello que se incorporó maltodextrina, como sugiere Valenzuela y Aguilera (2015) para disminuir la higroscopicidad de láminas de manzana. Se incorporó en las formulaciones 10% de maltodextrina (Formulaciones 4, 5 y 6) logrando disminuir la pegajosidad de las láminas pero en la prueba sensorial se evidenció un sabor amargo desagradable.

Finalmente se optó por el uso de pectina como agente gelificante que también benefició la reducción de la pegajosidad, sin aportar sabores extraños a la lámina de mora. Siendo las muestras con sacarosa las que tuvieron mayor aceptación en cuanto a sabor, y las que tenían glucosa presentaron la mejor apariencia debido al brillo. Huang y Hsieh (2005) reportaron que la incorporación de pectina fue el ingrediente más importante que afectó significativamente las propiedades de textura de láminas de pera.

La formulación final seleccionada por sus características organolépticas fue puré de frutas de moras (75,23%), sacarosa (11,28%), glucosa (9,31%), pectina (0,75%) y como nutrientes enriquecedores el lactato de calcio (2,26%) y ácido ascórbico (0,08%), además se incorporó solución de ácido cítrico con concentración similar a un jugo de limón (0,302 M) hasta disminuir el pH de la formulación alrededor de 3,5-3,6.

En cuanto a la fortificación de las láminas de moras con AA y Ca se calculó su proporción en la formulación final teniendo en cuenta la composición nutricional

teórica de la fruta (24 mg AA/100g y 29 mg Ca/100g), y que cubra el 100 %IDR de AA (mayor posibilidad de degradación durante el secado) y un 40 %IDR de Ca.

Se obtuvo una formulación líquida con un contenido de agua de $72,98 \pm 0,20$ g agua/100 g fórmula, contenido de sólidos solubles de $30,50 \pm 0,07$ °Brix y pH de $3,57 \pm 0,05$. El diagrama de flujo para la elaboración de las láminas de mora se presentó en el Capítulo 3, apartado 3.4.

Aquí se presenta una fotografía que muestra la lámina comestible de moras fortificada en calcio y vitamina C (Figura 5.7).



Figura 5.7. Lámina de mora fortificada en calcio y vitamina C

5.4.1 Cinética de secado: resultados experimentales y modelado matemático

La formulación líquida (~100 g) fue deshidratada en bandejas de acrílico transparente de dimensiones 13,3 cm de ancho x 25 cm de largo x 0,5 cm de espesor a 60°C y velocidad de aire de 1 m/s durante 8h obteniendo valores de humedad promedio de $19,24 \pm 1,50$ g agua/ 100 g de producto ($23,83 \pm 2,30$ g agua/100 g producto seco), estando en el orden de los reportados por otros autores en láminas de frutas (Demarchi et al., 2013; Leiva Díaz et al., 2009; Azeredo et al., 2006).

Para describir matemáticamente la transferencia de agua en las láminas de mora se la consideró una placa plana infinita, con un solo lado de la placa expuesta a la corriente de aire.

Los valores de los parámetros resultantes del ajuste por regresión no lineal de la Ecuación 3.28 a los datos experimentales, los valores de difusividad efectiva del agua calculados por la Ecuación 3.24, y los errores de estimación para los dos modelos se presentan en la Tabla 5.6.

Tabla 5.6. Constantes y ajustes de los modelos de Page y Difusional

| Tratamiento | Modelo de Page | | | | Modelo difusional | | |
|----------------|----------------|-------|--------|--------------|------------------------------|-------|--------------|
| | k | N | r^2 | E_{pp} (%) | D_{ef} (m ² /s) | r^2 | E_{pp} (%) |
| Lámina de mora | 0,00029 | 0,936 | 0,9994 | 15,70 | $5,77 \cdot 10^{-11}$ | 0,999 | 14,70 |

El parámetro k de la Ecuación de Page se relaciona con la velocidad de pérdida de agua y N varía con las características del material.

Los valores de la constante de difusividad resultantes se encuentran en el rango de $6 \cdot 10^{-11} \text{m}^2/\text{s}$ estando en concordancia con otros trabajos. Maskan y col. (2002) estudiaron el secado de láminas de uvas mediante secado con aire caliente y secado solar. Manifestando que los efectos del tiempo de secado, la temperatura y el espesor fueron significativos sobre el contenido de agua de la lámina, no siendo así con la velocidad del aire. Los valores efectivos de difusividad de agua para láminas de uvas variaron entre $3 \cdot 10^{-11}$ y $37,6 \cdot 10^{-11} \text{m}^2/\text{s}$ para secado con aire caliente.

Yılmaz y col. (2015) llevaron a cabo la deshidratación de láminas de granadas a través del secado por vacío, convección forzada y por secado por convección natural. Los valores efectivos de difusividad de agua variaron entre $3,93 \cdot 10^{-9}$ y $37,3 \cdot 10^{-9} \text{m}^2/\text{s}$ para el secado convectivo. Las condiciones de secado, el espesor del producto y la temperatura de operación tuvieron efecto sobre la velocidad de secado y la calidad del producto.

En la figura 5.8 se presentan los valores experimentales (símbolos), expresados por MR en función del tiempo de secado, y los valores calculados según el modelo difusional de Fick (Ec. 3.24) y el modelo empírico de Page (Ec. 3.27) (líneas punteadas).

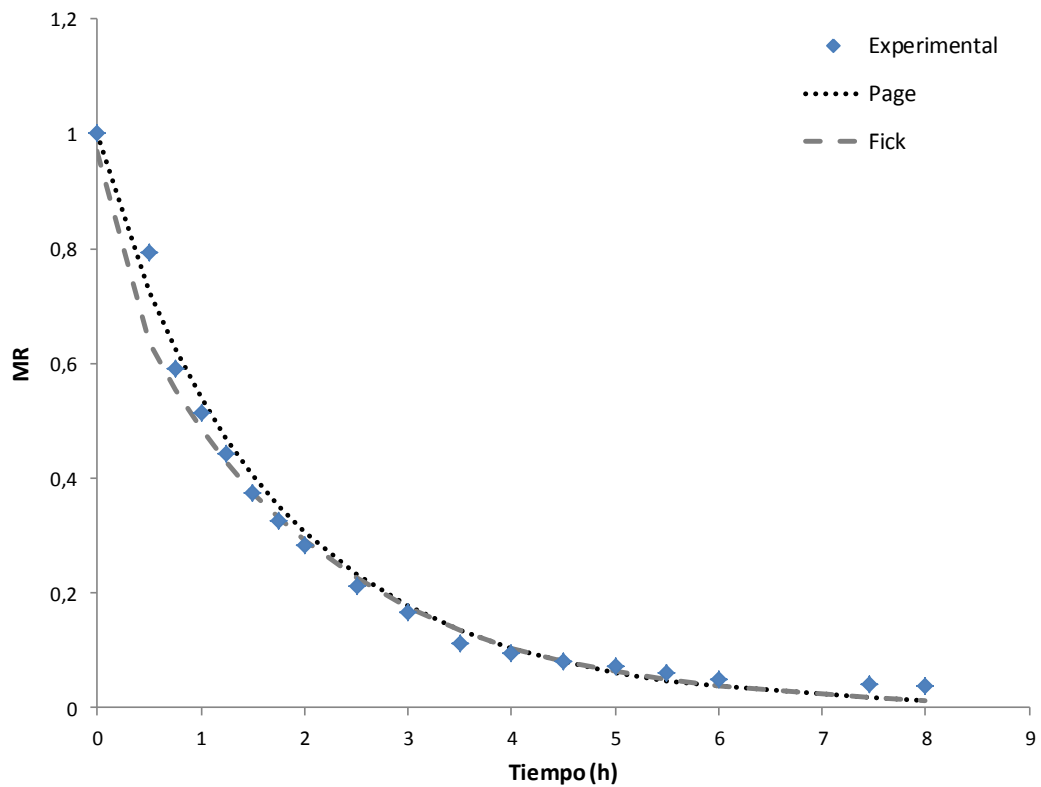


Figura 5.8. Variación de la humedad adimensional experimental y la predicha por el modelo de Fick y Page de lámina de mora secada a 60°C

5.4.2 Contenido de Antocianinas

Se evaluó el contenido de antocianinas monoméricas totales a través del método pH diferencial en muestras de fruta fresca de mora, en la formulación líquida y en el producto final seco (Tabla 5.7), dado que están relacionados con la capacidad antioxidante de la mora.

Tabla 5.7. Contenido de antocianinas en moras frescas, formulación y láminas de moras

| Muestras | Contenido de Antocianinas | |
|---------------------------|---------------------------|---------------------|
| | mg / 100 g prod | mg / g Fruta Fresca |
| <i>Fruta Fresca</i> | 262,25 ± 57,02 | 271,03 ± 52,08 |
| <i>Formulación</i> | 212,76 ± 19,81 | 141,40 ± 13,20 |
| <i>Láminas (8h – SAC)</i> | 321,76 ± 7,16 | 106,90 ± 3,40 |

El contenido de antocianinas determinado experimentalmente para fruta fresca de moras fue de 271,03±52,08 mg/100 g fruta, mostrando variabilidad según los años de cosecha, pero siempre dentro del rango de los reportados en la literatura.

Siriwoham y col. (2004) informan en un rango de 131 a 256 mg/ 100 g de fruta fresca. Burin y col. (2010) 83 a 326 mg/ 100 g fruta. Por su parte, Özgen y col. (2009) informaron valores del contenido total de antocianinas en moras negra hasta 571 mg/100 g fruta seca. Mientras que Park y col. (1997) informaron que el contenido total de antocianinas de la mora madura varió de 190 a 329 mg/100 g. Recientes trabajos reportan en una variedad de mora valores de 188 mg/100 g fruta seca (Sánchez-Salcedo et al., 2015). Por lo tanto, el contenido de antocianinas de las frutas de mora es variable, dependiendo del cultivar y estado de maduración (Bae y Suh, 2007).

En la formulación se obtuvo una reducción del contenido de antocianinas posiblemente a que algún componente de la misma altere la estabilidad de las antocianinas, como así también el cambio de pH diferente al de la fruta fresca. Las antocianinas relativamente simples son más estables en medio ácido que en medio neutro o alcalino. Encontrando en nuestro caso una reducción del 50% respecto a la fruta fresca.

El contenido de antocianinas al finalizar el proceso de secado fue de $321,76 \pm 7,16$ mg/100 g de lámina de mora. El valor cuantificado más elevado que en fruta fresca se debe a que el producto deshidratado concentra los compuestos. Sin embargo cuando lo calculamos en base a la masa de la fruta fresca indicaría una reducción del contenido de antocianinas de aproximadamente 59%. Torres y col. (2015) también cuantificaron una disminución de los compuestos antioxidantes (59%) en láminas de manzana fortificadas con extracto de maqui en comparación con el puré de frutas.

Otros autores informan degradación de estos compuestos al ser expuestos a procesos tecnológicos. Stajanovic y Silva (2007) reportan una disminución del 69% en antocianinas de arándanos deshidratados por SAC y por DO, y sugieren que la combinación de largos tiempos de secado, la disponibilidad de oxígeno y altas concentraciones de azúcares contribuyen a la pérdida de antocianinas. Aramwit y col. (2010) estudiaron las propiedades y la estabilidad de las antocianinas de moras blancas. Encontrando que las moras más maduras tenían el mayor contenido de azúcar, lo que resulta en un contenido elevado de antocianinas. Así mismo el contenido de antocianinas estuvo correlacionado con la actividad antioxidante. La antocianina, el ácido ascórbico y las propiedades antioxidantes de los extractos de morera disminuyeron significativamente después de la exposición al calor a 70 °C o expuestos a la luz durante 10 h.

Con respecto a la temperatura de secado, fue reportado por Cobo (2013) en el desarrollo de láminas formuladas a partir de pulpa de mora y manzana, deshidratadas a 3 temperaturas diferentes (46, 57 y 71 °C), que la temperatura de 57°C fue la que retuvo el mayor contenido de antocianinas.

En el caso de Chottamom y col. (2012) informaron que el secado con aire a 60 °C causó la degradación de antocianinas y compuestos fenólicos de frutas de moras.

Yilmaz y col. (2015) reportaron que el contenido de antocianinas se vio significativamente afectado por el método de secado (al vacío, convección forzada y natural), la temperatura de secado y el espesor del producto en láminas de granada.

5.5 Evaluación de calidad de las láminas de moras durante el almacenamiento

Se evaluó la estabilidad de láminas de moras fortificadas con calcio y ácido ascórbico envasadas en bolsas de polietileno de baja densidad almacenadas a 3 temperaturas diferentes (25, 35 y 45°C) en condiciones de humedad controlada (HR=75%) durante 6, 14, 20 y 40 días.

El contenido de agua de las láminas de moras obtenidas por secado convectivo durante 8 h a 60°C y velocidad de aire de 1 m/s fue de $23,20 \pm 3,50$ g agua/100 g producto seco, correspondiente a una actividad de agua de 0,41.

Durante los tiempos preestablecidos de almacenamiento se registró la variación de masa, humedad, contenido de ácido ascórbico, y contenido de antocianinas de las láminas de moras.

5.5.1 Isotherma

Las muestras de láminas de mora fortificadas con AA y Ca y deshidratadas hasta valores medios de humedad de $10,70 \pm 0,28$ g agua/100g producto seco se almacenaron en frascos cerrados con humedad relativa constante por medio de soluciones salinas saturadas, a 25 ± 2 °C para elaborar las isotermas de sorción.

En la Figura 5.9 se presentan los valores experimentales (símbolos) del contenido de agua de equilibrio a cada valor de a_w y el ajuste de estos datos por el modelo de GAB (línea punteada).

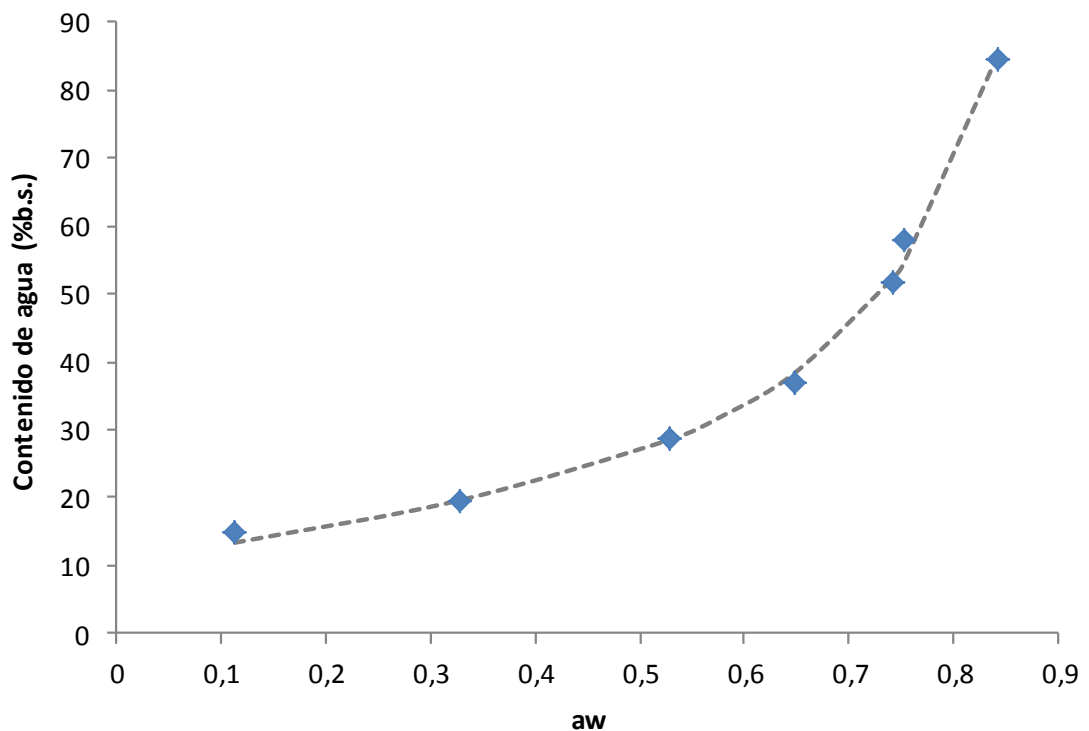


Figura 5.9. Isotherma de sorción de lámina de mora a 25°C

Se observa que el contenido de agua presenta un aumento pronunciado a valores de a_w intermedios ($\approx 0,6$), probablemente se deba a que aumentan los efectos de las interacciones soluto-solvente asociados a la disolución de los azúcares presentes en el alimento (Saravacos et al., 1986; Hubinger et al., 1992; Rao et al., 1994; Konopacka et al., 2002). Las isothermas de tal forma son características de los productos que contienen cantidades sustanciales de monosacáridos y sacarosa (Labuza, 1983; Tsami et al., 1992).

Los valores de las constantes del modelo de GAB fueron $k=0,996$, $C=50$ y un valor del contenido de agua en la monocapa (X_m) de 13,60 g agua/ 100 g masa seca. Como se puede apreciar en la Figura 5.9 los valores estimados por el modelo de GAB muestran una buena correspondencia con los valores experimentales, presentando un $E_{pp}\%$ de 3,53%.

Por otra parte, la inspección visual de las muestras al completar 20 días de almacenamiento a 25°C y humedad relativa constante, determinada en cada caso por la correspondiente solución salina en equilibrio reveló que para valores de actividad de agua por encima de 0,649 (es decir, acondicionada a 64,9% de HR) las muestras de láminas de mora fortificada exhiben alta pegajosidad. En el almacenamiento a 84,3% de HR (máximo valor de actividad de agua utilizado en la elaboración de isothermas de láminas de moras) las láminas mostraron presencia de líquido en la superficie, ablandamiento y disolución de algunos componentes. Las muestras almacenadas durante 20 días a humedad relativa intermedia entre 11,3% a 57,5% se observaron sin modificaciones aparentes a las características típicas de la lámina de mora del día 0: flexibles y sin pegajosidad. En ningún caso se evidenció formación de colonias o desarrollo microbiano en el total de días ensayados, aún en las muestras almacenadas a HR de 84,3% (Figura 5.10).

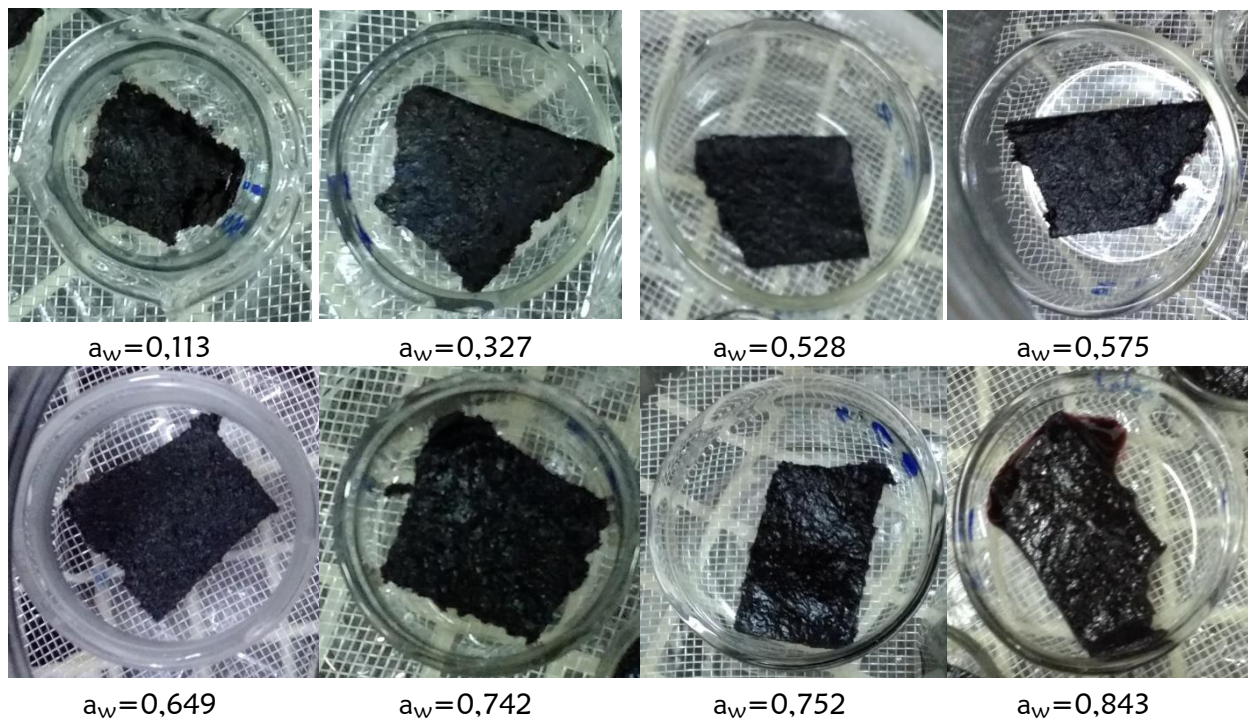


Figura 5.10. Láminas de moras luego de 20 días de almacenamiento a diferentes a_w y 25 °C

Por su parte, Valenzuela y Aguilera (2015a) reportaron que en el caso de láminas de manzanas con diferentes niveles de maltodextrina (0 a 15%) observaron que el límite de HR fue de 44%, y en HR superiores (75%) las muestras tuvieron una mayor sorción de humedad que condujo al crecimiento de hongos, oscurecimiento del color y láminas blandas. Vijayanand y col. (2000) observaron también que en láminas de mango y en láminas de guayaba en HR >80 % comenzaron a presentar mayores valores de humedad y se volvían más blandas y con crecimiento de hongos. La isoterma de sorción indica que las pectinas deshidratadas con alto contenido de azúcar deben manipularse y almacenarse como materiales higroscópicos a fin de preservar su calidad y funcionalidad. Chinachoti y Steinberg (1984) encontraron que la sacarosa añadida a los geles de almidón aumentó bruscamente la sorción de agua en actividades de agua superiores a 0,85.

5.5.2 Modelado de la ganancia de agua durante el almacenamiento

Durante el almacenamiento de láminas de mora envasadas en bolsas Ziploc® y mantenidas en un ambiente cerrado de humedad relativa constante de 75% a 3 temperaturas: 25, 35 y 45°C se evaluó el contenido de agua de las muestras a los días 6, 14, 20 y 40.

En la Figura 5.11 se presentan los datos experimentales expresados como M/Mo para poder ser comparables los resultados. Se observó que el contenido de agua aumentó en función de la temperatura y del tiempo de almacenamiento.

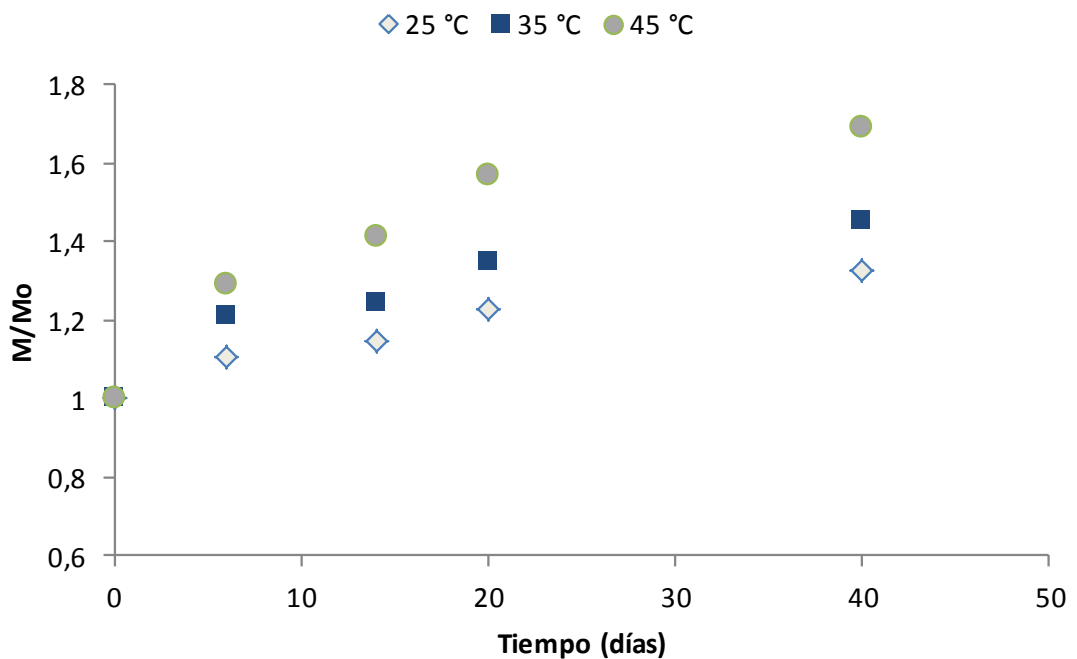


Figura 5.11. Evolución del contenido de agua expresado como M/Mo de láminas de moras almacenadas a 25, 35 y 45 °C

Kaya y Maskan (2003) reportaron que láminas de uvas y almidón expuestas en un ambiente de alta humedad relativa presentaron un aumento del grosor de las películas debido a la adsorción de agua, estando fuertemente afectados con el cambio de humedad relativa y temperatura, siendo más pronunciado con el aumento de la temperatura.

Estos resultados indican que el sistema de almacenamiento en bolsas Ziploc® no es el adecuado, ya que observamos una ganancia de agua en las muestras que puede inducir reacciones de deterioro.

Para predecir la ganancia de humedad durante el almacenamiento de láminas fortificadas, deshidratadas y envasados en bolsas ziploc® en condiciones ambientales típicas de Misiones (75%HR y 25 °C), se aplicó el modelo propuesto por Ramallo y Albani (2007) empleando para la resolución de las ecuaciones diferenciales resultantes el método explícito de diferencias finitas, como fue explicado en el Capítulo 3, apartado 3.8.1. Para esto, se supone que el sistema está formado por una membrana de permeabilidad conocida (bolsa Ziploc®) y un sólido homogéneo (alimento) colocados en contacto.

En la Figura 5.12 se presentan los datos experimentales del contenido de agua (g/g producto seco) de láminas de moras (símbolos), y los predichos por el modelo (líneas punteadas) en función del tiempo de almacenamiento.

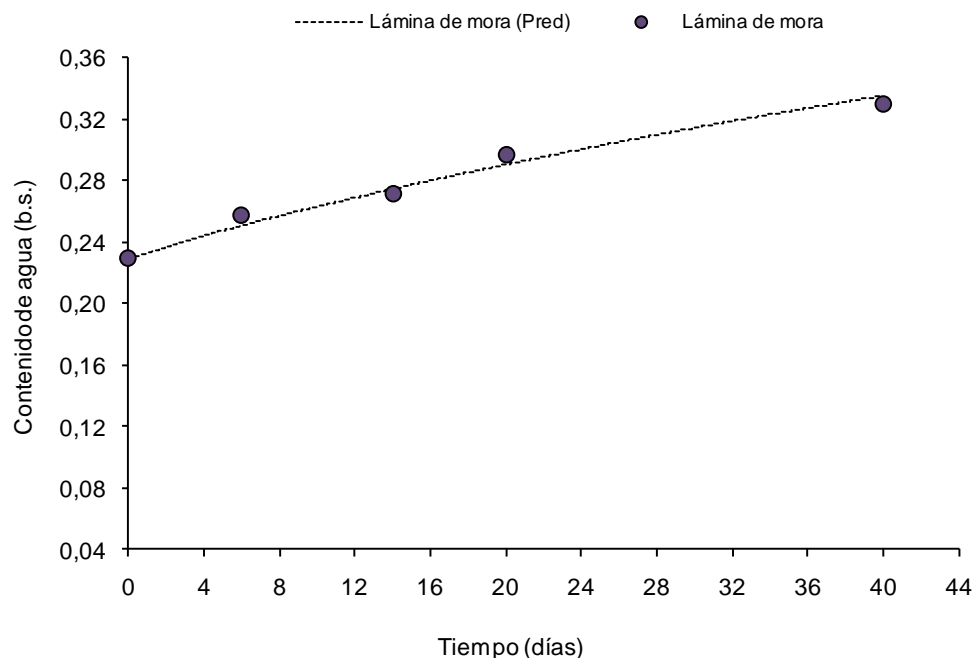


Figura 5.12. Contenido de agua experimental (símbolos) y predicho por el modelo (líneas punteadas) de lámina de mora fortificada y deshidratada con aire en función del tiempo de almacenamiento

Se observa en la Figura 5.12 un leve aumento en la ganancia de agua dado por una constante de difusión de $1,3 \cdot 10^{-13} \text{ m}^2/\text{s}$, del mismo orden de magnitud que los valores reportados en ananá.

El modelo empleado presentó un buen ajuste a los datos experimentales, con un error promedio porcentual de dicha estimación de 1,51%.

Irwandi y col. (1998) estudiaron la estabilidad durante el almacenamiento de láminas de fruta durian a temperatura ambiente utilizando cuatro tipos de materiales de embalaje: papel de aluminio laminado (LAF), polietileno de alta densidad (HDPE), polietileno de baja densidad (LDPE) y polipropileno (PP) durante 12 semanas. Las muestras envasadas en LDPE tuvieron los mayores cambios en la humedad, disminución en la calidad del color y un aumento en el recuento microbiano.

Azeredo y col. (2006) estudiaron el efecto del secado y tiempo de almacenamiento sobre las propiedades fisicoquímicas de láminas de mango, encontrando también que la actividad del agua aumentó significativamente durante el período de almacenamiento a 25°C envasadas en recipientes de polipropileno.

Según Rao y Roy (1980), los principales problemas de almacenamiento de las láminas de fruta son la adsorción de humedad y el pardeamiento no enzimático.

5.5.3 Contenido de ácido ascórbico: valores experimentales y modelado matemático

Se evaluó el contenido de ácido ascórbico de las láminas fortificadas durante su almacenamiento, en condiciones de temperatura constante de 25, 35 y 45 °C en los tiempos preestablecidos de 6, 14, 20 y 40 días. Esta variación del contenido de AA durante el almacenamiento de las láminas de mora fue expresada como C/C_0 (Figura 5.13).

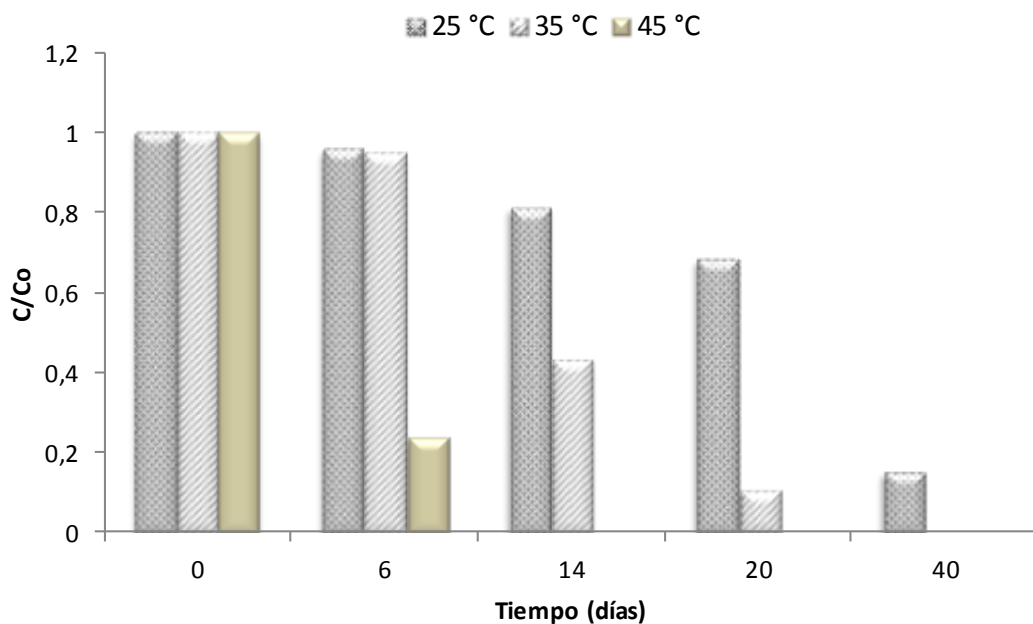


Figura 5.13. Variación del contenido de ácido ascórbico en láminas de moras fortificadas durante su almacenamiento a 25, 35 y 45 °C

De igual manera que los productos de ananá, los datos experimentales del contenido de ácido ascórbico (mg/g producto) durante el almacenamiento a 25°C fueron ajustados a una cinética de primer orden (Ec. 3.39) con coeficiente variable con la actividad acuosa.

La ecuación que relaciona la constante de velocidad de degradación de AA con la a_w durante el almacenamiento de lámina de mora, quedó descrita por la Ecuación 5.1.

$$k_{AA} = -0,0036. a_w^2 - 0,0052. a_w + 0,00477 \quad (5.1.)$$

Los datos experimentales de la cinética de degradación del AA de láminas de mora y los calculados por el modelo se presentan en la Figura 5.14.

Los valores calculados de la concentración de AA se compararon con los resultados experimentales del contenido medio de AA a los tiempos 6, 14, 20 y 40 días. Obteniendo un error promedio porcentual de la estimación (E_{pp}) baja de 5,34%.

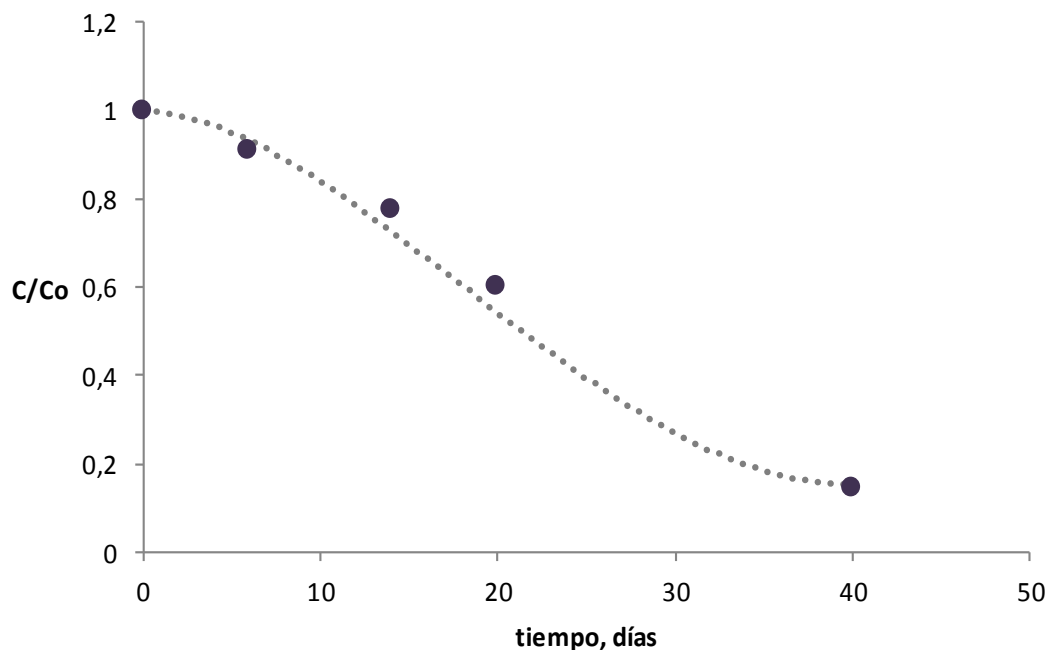


Figura 5.14. Variación del contenido de ácido ascórbico en lámina de mora fortificada y deshidratada a 60°C durante el almacenamiento a 75%HR y 25°C

Se observa una disminución continua del contenido de AA durante almacenamiento de láminas de moras fortificadas, perdiéndose un 40% del contenido de AA a los 20 días.

Estimación de la vida útil basada en el contenido de ácido ascórbico

Considerando que un producto fortificado en vitamina debe contener entre un 20% a 100% de la ingesta diaria recomendada por porción, estimamos el tiempo de vida útil de la lámina de mora.

En la Figura 5.15 se presenta el contenido de ácido ascórbico en una porción de 50 g de lámina de mora en función del tiempo de almacenamiento a 25 °C. Si consideramos los requerimientos de una persona adulta (82,5 mg/día), en 40 días de almacenamiento aún se cubriría el 100% de la IDR con una porción de 50 g de lámina de mora.

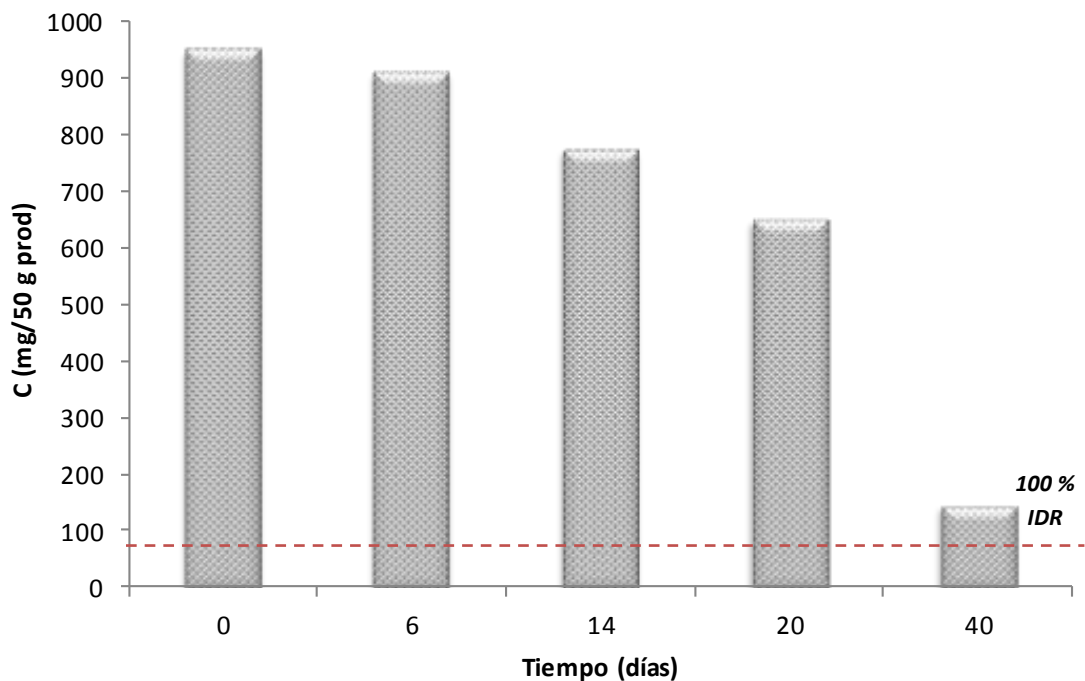


Figura 5.15. Variación del contenido de ácido ascórbico por porción de lámina de mora fortificada y deshidratada con aire caliente (SAC) durante su almacenamiento a 25°C y 75%HR

5.5.4 Contenido de antocianinas

Se evaluó el efecto de la temperatura de almacenamiento sobre la estabilidad de las antocianinas presentes en las láminas de mora, almacenadas en bolsas Ziploc®. Se presentan en la Figura 5.16 los resultados experimentales del contenido de antocianinas expresados como mg de Antocianinas Monoméricas Totales/100 g producto, empleando el Método de pH Diferencial.

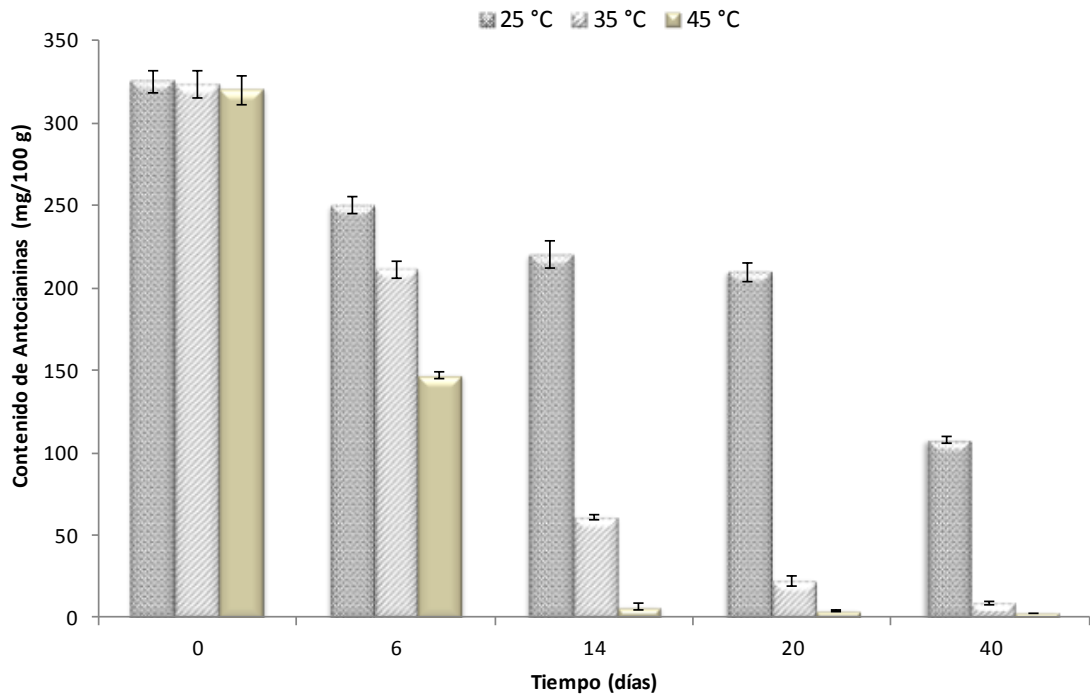


Figura 5.16. Variación del contenido de antocianinas en lámina de mora fortificada durante el almacenamiento a 25, 35 y 45°C

Se observó diferencias significativas entre las concentraciones de antocianinas a diferentes temperaturas. En las muestras almacenadas a 45°C se observa una pérdida del 98% a los 14 días. Sin embargo a 25°C, se observa una disminución del 32% a los 14 días manteniéndose casi constante hasta los 20 días de almacenamiento.

Laleh y col. (2006), estudiaron la estabilidad de estos pigmentos de cuatro especies de berberis almacenados a 5 y 25°C durante un período de 84 días. Al igual que los resultados obtenidos en el presente estudio, observaron que al aumentar la temperatura de almacenamiento se incrementó la degradación de las antocianinas. A 5°C tuvieron una destrucción del pigmento entre 10,22 y 57,81%, dependiendo de la especie; mientras que a 25°C la degradación estuvo comprendida entre 62,33 y 77,87%.

Adicionalmente y para corroborar los resultados presentados en los párrafos anteriores, se observaron los extractos etanólicos de lámina de mora a pH=1. En estas condiciones, las antocianinas se encuentran en su forma química como catión flavilo de color rojo. La coloración rojiza permite la apreciación visual y cualitativa de la

degradación de las antocianinas en las láminas de moras a medida que transcurre el tiempo de almacenamiento, siendo a 45 °C el cambio más notorio (Figura 5.17).

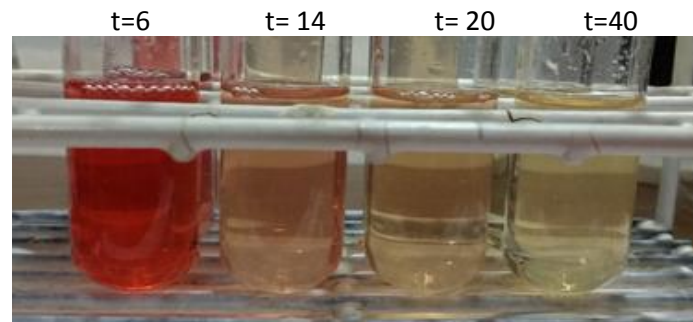


Figura 5.17. Coloración del extracto de antocianinas a pH=1 de láminas de mora expuestas a 45°C durante los días 6, 14, 20 y 40

Wang y Xu (2007) evaluaron la estabilidad de antocianinas en jugo (8,90°Brix) y en concentrado (65°Brix) de moras del género *Rubus* durante el almacenamiento de 60 a 90 °C y de 5 a 37°C, encontrando que las antocianinas se degradan al aumentar la temperatura y el tiempo, siendo mayor la degradación cuando el jugo fue concentrado, debido a que las moléculas que reaccionan (como el oxígeno) se vuelven más cercanas, por lo que la velocidad de las reacciones químicas se acelera.

Para describir la degradación de antocianinas en función de la temperatura de almacenamiento se empleó un modelo cinético de primer orden. Las constantes de degradación fueron 0,0275; 0,1 y 0,229 para 25, 35 y 45 °C respectivamente. Se representaron los logaritmos naturales de las constantes de degradación como una función del recíproco de la temperatura absoluta (Figura 5.18) obteniendo una línea que representa la predicción del modelo de Arrhenius.

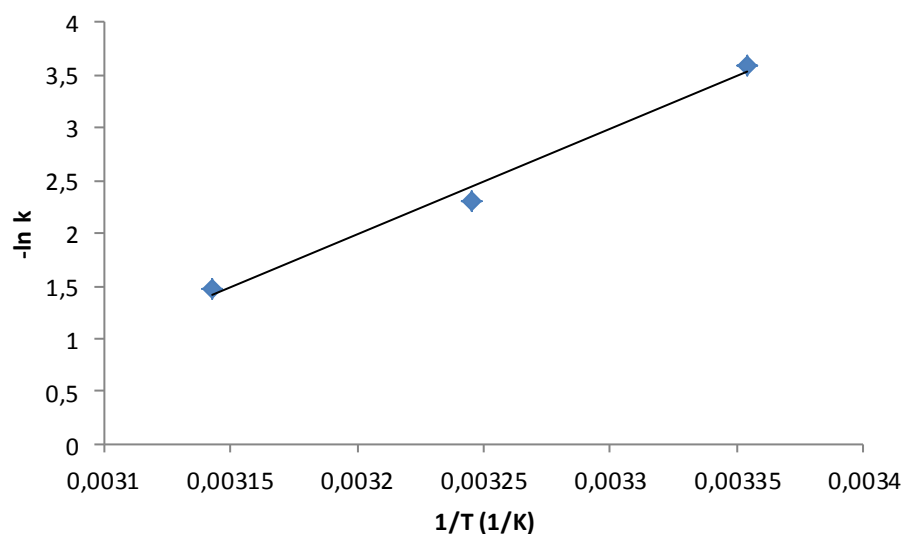


Figura 5.18. Gráfica de Arrhenius para la degradación de antocianinas en láminas de moras durante el almacenamiento

En la misma se observa una gran dependencia de la constante de velocidad de degradación de antocianinas con la temperatura, presentando un coeficiente de regresión lineal de 0,9887. La energía de activación (E_a) correspondiente a la pérdida de antocianinas en láminas de mora durante el almacenamiento fue de 83,75 kJ/ mol, justificando esta dependencia. Wang y Xu (2007) obtuvieron una energía de activación de 75,5 kJ/mol al estudiar la degradación de antocianinas durante el almacenamiento de jugo de mora (8,09°Brix) y de 65,06 kJ/mol para el concentrado de moras a 65°Brix. Por su parte, Kara y Erçelebi (2013) estudiaron la cinética de degradación térmica de antocianinas y el color de concentrado de mora negra a 45,2°Brix, encontrando una correlación positiva y alta entre ambos parámetros. Además reportan un valor de E_a de 46,32 kJ/ mol.

CAPÍTULO 6:
CONCLUSIONES GENERALES

Conclusiones Generales

Los resultados del presente trabajo de tesis permitieron desarrollar nuevos conocimientos sobre la obtención de productos de ananá y mora con alto valor nutricional a través de la incorporación de ácido ascórbico (vitamina C) y calcio, y la aplicación de diferentes metodologías simples de preservación mediante la reducción del contenido de agua.

Preservación de Ananá y fortificación

En fruta de ananá se evaluó la factibilidad de la impregnación de la matriz vegetal con ácido ascórbico (AA) y calcio (Ca) empleando dos medios: isotónico e hipertónico, a temperatura (40°C) y agitación constantes. Concluyendo que el proceso de impregnación es factible de ser aplicado en ambos medios; sin efecto significativo de la presencia de Ca y AA sobre la pérdida de agua y la ganancia de sacarosa en la deshidratación osmótica de ananá (medio hipertónico). Pero, en cuanto a la incorporación de los dos nutrientes resultó más eficaz realizarlo en solución isotónica.

El fenómeno de incorporación de calcio y ácido ascórbico en la matriz vegetal se describió aplicando el modelo difusional de Fick, y se analizó por medio de medidas instrumentales su efecto sobre las características de la fruta impregnada como ser el incremento en el contenido de los nutrientes, su microestructura, parámetros mecánicos y color.

La incorporación del ácido ascórbico fue función del tiempo de inmersión en las dos condiciones ensayadas, logrando el objetivo de fortificación en ambos medios a las 3 h de tratamiento. Por otra parte, la incorporación de calcio en la matriz vegetal fue mayor en medio isotónico. El contenido de calcio en la fruta aumentó continuamente durante el proceso isotónico; por el contrario, estos valores se mantuvieron prácticamente sin cambios después de la primera hora de tratamiento en solución hipertónica. Este comportamiento podría deberse a la formación de una corteza con alto contenido de sacarosa en la superficie de las muestras de fruta debido al proceso osmótico.

De las microfotografías y de las propiedades mecánicas se observó que ocurren cambios en la estructura de las muestras por efecto de los diferentes tratamientos. El microanálisis por energía de dispersión de rayos X (EDS), acoplado a la observación microscópica, permitió detectar la presencia de calcio en las superficies de las muestras, pero no en el interior. En cuanto al incremento de la firmeza del tejido vegetal, este efecto no se correlaciona con la incorporación de calcio sino al proceso de deshidratación osmótica. El incremento del contenido de calcio en la fruta con 24 h de impregnación en medio isotónico fue 9 veces mayor que en la fruta fresca, pero este resultado no se vio reflejado en la firmeza del tejido. Hubo poca variación de color luego de los tratamientos de impregnación en comparación con la fruta fresca, siendo un resultado parcial favorable.

En esta etapa se obtuvieron dos productos fortificados con ácido ascórbico y calcio: uno con características de textura, contenido de agua y sacarosa similares a la fruta fresca, resultado del tratamiento isotónico; el otro, resultante del tratamiento osmótico, registró una mayor firmeza, menor contenido de agua y mayor contenido de carbohidratos que la fruta fresca.

Estos dos productos fortificados fueron deshidratados por los métodos previamente seleccionados: secado convectivo (SAC) a 60 °C y velocidad de 1 m/s, y por secado convectivo con asistencia de pulsos de microondas con frecuencia de aplicación de 1/60 min⁻¹ y con una amplitud de pulso de 20 segundos (SAC60/MW20).

Se concluyó que, independientemente del tratamiento de impregnación, la aplicación de pulsos de microondas en forma intermitente favorece a la velocidad de pérdida de agua, reduciendo el tiempo del proceso de secado. Con respecto al efecto de la incorporación de nutrientes sobre la velocidad de secado de ananá, se observó un leve incremento en la velocidad de pérdida de agua en las muestras de fruta fortificada en comparación al secado de frutas no impregnadas.

Con respecto a los cambios de color de las muestras deshidratadas, se observó que las muestras impregnadas en medio hipertónico presentaron valores más altos de luminosidad (L*) que aquellas impregnadas en medio isotónico, esto puede deberse al efecto protector de la sacarosa. Los valores de a*, coordenadas del color rojo, se encuentran entre 4 a 7, presentando los menores valores las muestras tratadas en medio hipertónico, sin diferencias entre los métodos de secado. Con respecto a los valores de b*, indicativos del color amarillo, observamos un rango de 34 a 41. Se observó un aumento de nitidez del color amarillo, reflejado en los valores de Croma. Por su parte, el ángulo Hue indicó que las muestras con tratamiento hipertónico registraron valores más altos respecto a las muestras con tratamiento isotónico, más cercanas a 90° (color amarillo puro).

En las microfotografías de muestras secadas con aire caliente se observa un tejido uniforme y liso, sin definición de células enteras. Mientras que la principal característica observada en muestras tratadas con pulsos de microondas fue la aparición de perforaciones/orificios, esto puede deberse al aumento de la presión de vapor interna de la fruta que al calentarse tiende a salir rápidamente hacia la superficie, produciendo así una estructura con poros.

Las muestras impregnadas en medio isotónico y deshidratadas fueron las que presentaron el mayor contenido de calcio y ácido ascórbico, y en consecuencia, mayor aporte nutricional que las muestras impregnadas en medio hipertónico. Por lo tanto, 50 g de productos obtenidos por impregnación en medio isotónico y 100 g de productos obtenidos por impregnación en medio hipertónico podrían ser rotulados como alimentos fortificados en ambos nutrientes.

Preservación de Mora y fortificación

En una primera instancia se evaluó la factibilidad de aplicar los métodos de deshidratación usados con la fruta de ananá, pero los resultados hallados no resultaron satisfactorios en cuanto a la reducción de agua y principalmente a las características organolépticas (carbonización, pérdida de color, disgregación de la fruta, etc.). Cabe aclarar que el secado convectivo es factible de aplicación en moras en un rango de temperatura inferior a 60°C. Sin embargo el producto obtenido no cubre las expectativas sensoriales buscadas, y al no ser efectiva la incorporación de nutrientes por medio de impregnación se optó por otra metodología de preservación: la elaboración de lámina de fruta.

Para ello se realizaron ensayos preliminares de diferentes formulaciones para la elaboración de láminas de moras con distintos edulcorantes (sacarosa, glucosa y xilitol), maltodextrina y pectina. La formulación final seleccionada por sus características organolépticas fue puré de frutas de moras (75,23%), sacarosa (11,28%), glucosa (9,31%), pectina (0,75%), lactato de calcio (2,26%) y ácido ascórbico (0,08%), además se incorporó solución de ácido cítrico con concentración similar a un jugo de limón (0,302 M) hasta disminuir el pH de la formulación a valores de $\text{pH} = 3,5 \pm 0,1$. Las formulaciones fueron deshidratadas por secado convectivo durante 8 h a 60°C y velocidad de aire de 1 m/s. Se evaluó la cinética de pérdida de agua de las láminas de moras por medio de los modelos matemáticos de Page y de Fick, logrando un buen ajuste con ambos.

Se obtuvo una lámina fina y flexible con color característico a mora con alto contenido de ácido ascórbico y calcio, cubriendo un 100% y 40% de la IDR respectivamente. La humedad final promedio fue de $23,20 \pm 3,50$ g agua/100 g prod. seco. Se halló un contenido de antocianinas en fruta fresca de $271,03 \pm 52,08$ mg/100 g, que luego del secado se redujo un 60%.

Almacenamiento de los productos fortificados en ácido ascórbico y calcio y deshidratados

La estabilidad de los productos fortificados durante el almacenamiento son claves para el desarrollo de nuevos productos, por tal motivo se evaluó la evolución del contenido de ácido ascórbico como principal variable indicadora de la pérdida de calidad en función del tiempo de almacenamiento y condiciones controladas.

Durante el almacenamiento de los productos fortificados y deshidratados envasados en bolsas de polietileno de baja densidad con doble cierre (Bolsas Ziploc®) se evidenció ganancia de agua, por lo que se estudió dicho fenómeno a través del modelo de transferencia de masa en alimentos envasados propuesto por Ramallo y Albani (2007) que considera un proceso global controlado mediante mecanismos combinados de permeabilidad del envase, balances de sorción del producto y difusión interna en el alimento. Dicho modelo presentó un buen ajuste a los datos experimentales, con un error promedio porcentual de dicha estimación $<5\%$ en todos los casos.

En el almacenamiento de los 4 productos de ananá, se concluyó que las curvas de la ganancia de agua de las muestras impregnadas en medio isotónico son más pronunciadas que las curvas de la ganancia de agua de las muestras impregnadas en medio hipertónico. Estos valores menores de ganancia de humedad en las muestras pre-osmodeshidratadas puede deberse a la reducción de la permeabilidad de los tejidos de la capa superficial de la fruta. Con respecto al tipo de secado, las muestras secadas en corriente de aire obtuvieron, durante el almacenamiento, valores mayores del coeficiente de difusión del agua en comparación con las secadas con pulsos de microondas.

En el caso de láminas de mora se observó un leve aumento en la velocidad de ganancia de agua dado por un coeficiente de difusión de $1,3 \cdot 10^{-13}$ $\text{m}^2/\text{día}$, del mismo orden de magnitud que los valores reportados en ananá.

En cuanto a los datos experimentales de variación del contenido de ácido ascórbico (mg/g producto) durante el almacenamiento de la fruta fortificada, los

mismos fueron ajustados a una cinética de primer orden con coeficiente variable con la actividad acuosa. A tal fin se ajustó una ecuación empírica que relaciona la constante de velocidad de degradación (k_{AA}) con la actividad acuosa, que a su vez se vincula con el contenido de agua de las muestras mediante las isothermas de sorción, dado que se evidenció ganancia de humedad en los productos durante el almacenamiento. Se obtuvo un buen ajuste a los datos experimentales, con valores del error promedio porcentual de la estimación $< 6\%$ en todos los casos.

Se observó que tanto las muestras impregnadas en medio isotónico como hipertónico que fueron tratadas con secado convectivo presentaron una mayor degradación de vitamina C a los 30 días respecto de aquellas tratadas con pulsos de microondas, representando una pérdida de aproximadamente el 50% en muestras secadas por SAC, mientras que por SAC60/MW20 la pérdida fue de alrededor de 33%. Es decir, que el método de impregnación no influyó significativamente en la velocidad de degradación del contenido de AA de las muestras a los 30 días, pero sí el método de secado. Sin embargo, a los 60 días se evidenció una degradación notoria del contenido de AA en todas las muestras que se corresponde con los mayores valores de humedad.

Con respecto al color, podemos concluir que las muestras TI+SAC60/MW20 presentaron las menores variaciones de color durante el almacenamiento. Seguida de las muestras de TH+SAC60/MW20. Con ello se infiere que la deshidratación por secado con aire caliente y pulsos de microondas presentó mejores resultados que el secado con aire caliente respecto a la calidad del color.

En láminas de mora se observó una disminución continua del contenido de AA durante su almacenamiento, perdiéndose un 40% del contenido de AA a los 20 días. Adicionalmente y considerando su importancia nutricional, se analizó el contenido de antocianinas observándose que la temperatura es un factor importante sobre la estabilidad de las mismas. En las muestras almacenadas a 45°C se observa una pérdida del 98% a los 14 días, sin embargo a 25°C, en el mismo período se observa una disminución del 32%.

Finalmente, de este trabajo de tesis se concluye que es viable la obtención de frutas de ananá deshidratadas y láminas de mora incrementando el valor nutricional de las frutas por medio de la incorporación de ácido ascórbico y calcio, representando una alternativa en el desarrollo de nuevos productos procesados con aceptables características organolépticas y funcionales, mediante la aplicación de tecnologías sencillas. Siendo recomendado el método combinado de secado con aire caliente con pulsos de microondas sobre el secado tradicional debido a la reducción del tiempo de secado, mejor color, y menor degradación del ácido ascórbico. El proceso de impregnación más eficaz fue el realizado en medio isotónico. Sin embargo durante el almacenamiento de los productos deshidratados mostraron mayor ganancia de humedad y mayor deterioro de ácido ascórbico a los 60 días.

Considerando los valores recomendados de ingesta diaria de vitamina C para una persona adulta y una porción de 50 g de los 4 productos fortificados y deshidratados de ananá se logra cubrir el 100% de la IDR aún a los 60 días de almacenamiento en bolsas Ziploc® a 25°C. En cuanto a la lámina de mora almacenada en similares condiciones se mantiene a los 40 días el 100% de la IDR.

CAPÍTULO 7:
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aghilinategh, N., Rafiee, S., Hosseinpour, S., Omid, M., Mohtasebi, S. S. (2015). Optimization of intermittent microwave-convective drying using response surface methodology. *Food science & nutrition*, 3(4), 331-341.

Ahmed, I., Qazi, I. M., & Jamal, S. (2016). Developments in osmotic dehydration technique for the preservation of fruits and vegetables. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 34, 29-43.

Akbulut, A., & Durmuş, A. (2009). Thin layer solar drying and mathematical modeling of mulberry. *International journal of energy research*, 33(7), 687-695.

Akpinar, E. K. (2006). Determination of suitable thin layer drying curve model for some vegetables and fruits. *Journal of food engineering*, 73(1), 75-84.

Akpinar, E. K. (2008). Mathematical modelling and experimental investigation on sun and solar drying of white mulberry. *Journal of mechanical science and technology*, 22(8), 1544-1553.

Al-Harashseh, M., Ala'a, H., & Magee, T. R. A. (2009). Microwave drying kinetics of tomato pomace: Effect of osmotic dehydration. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 48(1), 524-531.

Alibas, I. (2007). Microwave, air and combined microwave-air-drying parameters of pumpkin slices. *LWT-Food Science and Technology*, 40(8), 1445-1451.

Alzamora, S. M., Salvatori, D., Tapia, M. S., López-Malo, A., Welti-Chanes, J., Fito, P. (2005). Novel functional foods from vegetable matrices impregnated with biologically active compounds. *Journal of Food Engineering*, 67(1), 205-214.

Anino, S. V., Salvatori, D. M., & Alzamora, S. M. (2006). Changes in calcium level and mechanical properties of apple tissue due to impregnation with calcium salts. *Food Research International*, 39(2), 154-164.

Aramwit, P., Bang, N., & Srichana, T. (2010). The properties and stability of anthocyanins in mulberry fruits. *Food Research International*, 43(4), 1093-1097.

ARGENFOOD. (2017). Datos Composición de Frutas y derivados. Recuperado de: www.unlu.edu.ar/~argenfood

Azeredo, H., Brito, E. S., Moreira, G. E., Farias, V. L., & Bruno, L. M. (2006). Effect of drying and storage time on the physico-chemical properties of mango leathers. *International journal of food science & technology*, 41(6), 635-638.

Azoubel, P. M., & Murr, F. E. X. (2004). Mass transfer kinetics of osmotic dehydration of cherry tomato. *Journal of Food Engineering*, 61(3), 291-295.

Azoubel, P. M., El-Aouar, Â. A., Tonon, R. V., Kurozawa, L. E., Antonio, G. C., Murr, F. E. X., & Park, K. J. (2009). Effect of osmotic dehydration on the drying kinetics and quality of cashew apple. *International journal of food science & technology*, 44(5), 980-986.

Bains, M. S., Ramaswamy, H. S., & Lo, K. V. (1989). Tray drying of apple puree. *Journal of food engineering*, 9(3), 195-201.

Baker, R. A. (1993). Firmness of canned grapefruit sections improved with calcium lactate. *Journal of Food Science*, 58(5), 1107-1110

Barberis, A., Fadda, A., Schirra, M., Bazzu, G., & Serra, P. A. (2012). Detection of postharvest changes of ascorbic acid in fresh-cut melon, kiwi, and pineapple, by using a low cost telemetric system. *Food Chemistry*, 135(3), 1555-1562.

Barbosa-Cánovas, G., & Vega-Mercado, H. (2000). Deshidratación de Alimentos. Zaragoza- España: Editorial Acribia S.A.

Barboza, H.; Marmelicz, L. (2011). Guía Práctica para la Producción de mudas de ananá en Misiones. Publicación Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. EEA Montecarlo.

Barrera, C., Betoret, N., & Fito, P. (2004). Ca 2+ and Fe 2+ influence on the osmotic dehydration kinetics of apple slices (var. Granny Smith). *Journal of Food Engineering*, 65(1), 9-14.

Barrera, C., Betoret, N., Corell, P., & Fito, P. (2009). Effect of osmotic dehydration on the stabilization of calcium-fortified apple slices (var. Granny Smith): Influence of operating variables on process kinetics and compositional changes. *Journal of food engineering*, 92(4), 416-424.

Beaudry, C., Raghavan, G. S. V., Ratti, C., & Rennie, T. J. (2004). Effect of four drying methods on the quality of osmotically dehydrated cranberries. *Drying Technology*, 22(3), 521-539.

Bell, L., Labuza, T. 2000. Moisture Sorption. Practical aspects of isotherm measurement and use. 2nd Edition. Ed. AACC. 62.

Berbert, P. A., de Oliveira, M. T. R., & Martinazzo, A. P. (2016). Drying of pineapple slices in natura and pre-osmodehydrated in inverted sugar. *Bioscience Journal*, 32(3), 597-610.

Beristain, C. I., Azuara, E., Cortes, R., & Garcia, H. S. (1990). Mass transfer during osmotic dehydration of pineapple rings. *International Journal of Food Science & Technology*, 25(5), 576-582.

Bilbao-Sáinz, C., Andrés, A., & Fito, P. (2005). Hydration kinetics of dried apple as affected by drying conditions. *Journal of food Engineering*, 68(3), 369-376.

Bonazzi, C., & Dumoulin, E. (2011). Quality changes in food materials as influenced by drying processes. *Modern Drying Technology*, Volume 3: Product Quality and Formulation, 1-20.

Bosch, V., Cilla, A., García-Llatas, G., Gilabert, V., Boix, R., & Alegría, A. (2013). Kinetics of ascorbic acid degradation in fruit-based infant foods during storage. *Journal of Food Engineering*, 116(2), 298-303.

Botha, G. E., Oliveira, J. C., & Ahrné, L. (2012a). Quality optimisation of combined osmotic dehydration and microwave assisted air drying of pineapple using constant power emission. *Food and Bioproducts Processing*, 90(2), 171-179.

Botha, G. E., Oliveira, J. C., & Ahrné, L. (2012b). Microwave assisted air drying of osmotically treated pineapple with variable power programmes. *Journal of food engineering*, 108(2), 304-311

Burin, B., Falcao, L., & Valdemoro, L. (2010). Color, contenido fenólico y actividad antioxidante del jugo de uva. *Ciênc. Tecnol. Aliment*, 30(4), 1-6.

Cabrita, L., Fossen, T., & Andersen, O. M. (2000). Colour and stability of the six common anthocyanidin 3-glucosides in aqueous solutions. *Food Chemistry*, 68(1), 101-107.

Castro, D., Fito, P., Treto, O., Boys, T., & Nuñez de Villavicencio, M. (1998). Influencia de la presión y otras variables de proceso en la transferencia de masa de piña deshidratada osmóticamente. Evaluación energética y estimación de costos. II Parte. *La Alimentación Latinoamericana*, 225, 33.

Ceylan, İ., Aktaş, M., & Doğan, H. (2007). Mathematical modeling of drying characteristics of tropical fruits. *Applied Thermal Engineering*, 27(11), 1931-1936.

Chandrasekaran, S., Ramanathan, S., & Basak, T. (2013). Microwave food processing—A review. *Food Research International*, 52(1), 243-261.

Chebrolu, K. K., Jayaprakasha, G. K., Jifon, J., & Patil, B. S. (2012). Production system and storage temperature influence grapefruit vitamin C, limonoids, and carotenoids. *Journal of agricultural and food chemistry*, 60(29), 7096-7103.

Chinachoti, P., & Steinberg, M. P. (1984). Interaction of sucrose with starch during dehydration as shown by water sorption. *Journal of Food Science*, 49(6), 1604-1608.

Chiralt, A., Martínez-Navarrete, N., Martínez-Monzó, J., Talens, P., Moraga, G., Ayala, A., Fito, P. (2001). Changes in mechanical properties throughout osmotic processes Cryoprotectant effect. *Journal of Food Engineering*, 42, 129-135.

Chottamom, P., Kongmanee, R., Manklang, C., & Soponronnarit, S. (2012). Effect of osmotic treatment on drying kinetics and antioxidant properties of dried mulberry. *Drying technology*, 30(1), 80-87.

Ciurzyńska, A., Kowalska, H., Czajkowska, K., & Lenart, A. (2016). Osmotic dehydration in production of sustainable and healthy food. *Trends in Food Science & Technology*, 50, 186-192.

Cobo, M., D., A. (2013). *Desarrollo de un producto alimenticio: láminas de fruta deshidratada, utilizando pulpa de mora y manzana para Frozen Tropic Cía. Ltda* (Tesis). Escuela Superior Politécnica De Chimborazo. Ecuador.

Conway, J., Castaigne, F., Picard, G. y Vovan, X. (1983). Mass transfer considerations in the osmotic dehydration of apples. *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal*, 16, 25-29

Cortellino, G., Pani, P., & Torreggiani, D. (2011). Crispy air-dried pineapple rings: optimization of processing parameters. *Procedia Food Science*, 1, 1324-1330.

Cortés Rodríguez, M. I., Guardiola, L. F., & Pacheco, R. (2007). Aplicación de la ingeniería de matrices en la fortificación de mango (var. Tommy Atkins) con calcio. *Dyna*, 74(153), 19-26.

Cortés, M., García, A., & Suárez, H. (2007). Fortification of edible mushrooms (*Pleurotus ostreatus*) with calcium, selenium and vitamin C. *Vitae*, 14(1), 16-24.

Crank, J. (1975). The mathematics of diffusion. 2a Ed. Londres. Oxford University Press. ISBN 0198533446

Da Silva, L. B., Queiroz, M. B., Fadini, A. L., da Fonseca, R. C., Germer, S. P., & Efraim, P. (2016). Chewy candy as a model system to study the influence of polyols and fruit pulp (açai) on texture and sensorial properties. *LWT-Food Science and Technology*, 65, 268-274.

Datta, A.K. (2001). Handbook of Microwave Technology for Food Applications. CRC Press, New York, USA. p. 115–118.

De Lima, M. M., Tribuzi, G., de Souza, J. A. R., de Souza, I. G., Laurindo, J. B., & Carciofi, B. A. M. (2016). Vacuum impregnation and drying of calcium-fortified pineapple snacks. *LWT-Food Science and Technology*, 72, 501-509.

Demarchi, S. M., Ruiz, N. A. Q., De Michelis, A., & Giner, S. A. (2013). Sorption characteristics of rosehip, apple and tomato pulp formulations as determined by gravimetric and hygrometric methods. *LWT-Food Science and Technology*, 52(1), 21-26.

Derossi, A., De Pilli, T., Severini, C., & McCarthy, M. J. (2008). Mass transfer during osmotic dehydration of apples. *Journal of Food Engineering*, 86(4), 519-528.

Diaz, G. R., Martinez-Monzo, J., Fito, P., & Chiralt, A. (2003). Modelling of dehydration-rehydration of orange slices in combined microwave/air drying. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 4(2), 203-209.

Doymaz, I. (2004 a). Drying kinetics of white mulberry. *Journal of Food Engineering*, 61(3), 341-346.

Doymaz, İ. (2004 b). Pretreatment effect on sun drying of mulberry fruits (*Morus alba* L.). *Journal of food engineering*, 65(2), 205-209.

Doymaz, I. (2006). Drying kinetics of black grapes treated with different solutions. *Journal of Food Engineering*, 76(2), 212-217.

Doymaz, I. (2007). Air-drying characteristics of tomatoes. *Journal of Food Engineering*, 78(4), 1291-1297.

Doymaz, İ., & Pala, M. (2003). Effect of ethyl oleate on drying characteristics of mulberries. *Molecular Nutrition & Food Research*, 47(5), 304-308.

Duque, C., Alba, L., Villamizar, V., Rafael, H., Giraldo, P., & German, A. (2011). Evaluación de las técnicas de secado de uchuva (*Physalis peruviana* L.) y mora (*Rubus glaucus*) con aire caliente y aire caliente-microondas. *Revista Tumbaga*, 6: 17-28.

El-Aouar, Â. A., Azoubel, P. M., & Murr, F. E. X. (2003). Drying kinetics of fresh and osmotically pre-treated papaya (*Carica papaya* L.). *Journal of Food Engineering*, 59(1), 85-91.

Ercişli, S., & Orhan, E. (2007). Chemical composition of white (*Morus alba*), red (*Morus rubra*) and black (*Morus nigra*) mulberry fruits. *Food Chemistry*, 103(4), 1380-1384.

Ercişli, S., & Orhan, E. (2008). Some physico-chemical characteristics of black mulberry (*Morus nigra* L.) genotypes from Northeast Anatolia region of Turkey. *Scientia Horticulturae*, 116(1), 41-46.

Erle, U., & Schubert, H. (2001). Combined osmotic and microwave-vacuum dehydration of apples and strawberries. *Journal of Food Engineering*, 49(2), 193-199.

- Ertekin F, Cakaloz T. 1996. Osmotic dehydration of peas: Influence of process variables on mass transfer. *Journal of FoodProc.Preserv*, 20: 87-104.
- Espada-Bellido, E., Ferreiro-González, M., Carrera, C., Palma, M., Barroso, C. G., & Barbero, G. F. (2017). Optimization of the ultrasound-assisted extraction of anthocyanins and total phenolic compounds in mulberry (*Morus nigra*) pulp. *Food chemistry*, 219, 23-32.
- Evin, D. (2011). Microwave drying and moisture diffusivity of white mulberry: experimental and mathematical modeling. *Journal of mechanical science and technology*, 25(10), 2711-2718.
- Fazaeli, M., Emam-Djomeh, Z., Ashtari, A. K., & Omid, M. (2012). Effect of spray drying conditions and feed composition on the physical properties of black mulberry juice powder. *Food and bioproducts processing*, 90(4), 667-675.
- Fennema, O.R. 1993. Química de los Alimentos. Zaragoza, España: Editorial Acribia.
- Fernandes, F. A., Gallão, M. I., & Rodrigues, S. (2009). Effect of osmosis and ultrasound on pineapple cell tissue structure during dehydration. *Journal of Food Engineering*, 90(2), 186-190.
- Fernández, P., Lovera, N., Romero, A., Borsini, A., Ramallo, L. (2017). Deshidratación osmótica de ananá con reutilización del jarabe de sacarosa. *Revista de Ciencia y Tecnología*, 28, 21–27.
- Ferrari, C. C., Carmello-Guerreiro, S. M., Bolini, H. M. A., & Hubinger, M. D. (2010). Structural changes, mechanical properties and sensory preference of osmodehydrated melon pieces with sucrose and calcium lactate solutions. *International Journal of Food Properties*, 13(1), 112-130.
- Fito, P., Chiralt, A., Betoret, N., Gras, M., Cháfer, M., Martínez-Monzó, J., Vidal, D. (2001). Vacuum impregnation and osmotic dehydration in matrix engineering: Application in functional fresh food development. *Journal of Food Engineering*, 49(2), 175-183.
- Frías, J., Peñas, E., Ullate, M., & Vidal-Valverde, C. (2010). Influence of drying by convective air dryer or power ultrasound on the vitamin C and β -carotene content of carrots. *Journal of agricultural and food chemistry*, 58(19), 10539-10544.
- Fumagalli, F., & Silveira, A. M. (2005). Quality evaluation of microwave-dried Packham's triumph pear. *Drying technology*, 23(9-11), 2215-2226.
- Funebo, T., & Ohlsson, T. (1998). Microwave-assisted air dehydration of apple and mushroom. *Journal of Food Engineering*, 38(3), 353-367.
- García, C. C., Mauro, M. A., & Kimura, M. (2007). Kinetics of osmotic dehydration and air-drying of pumpkins (*Cucurbita moschata*). *Journal of Food Engineering*, 82(3), 284-291.
- Giampieri, F., Tulipani, S., Alvarez-Suarez, J. M., Quiles, J. L., Mezzetti, B., & Battino, M. (2012). The strawberry: composition, nutritional quality, and impact on human health. *Nutrition*, 28(1), 9-19.

- Giraldo Bedoya, D. P., Arango Vélez, L. M., & Márquez Cardozo, C. J. (2004). Osmodeshidratación de mora de castilla (*Rubus glaucus Benth*) con tres agentes edulcorantes. *Revista Facultad Nacional de Agronomía-Medellín*, 57(1), 2257-2274.
- Giraldo, G. A., Duque, A. L., & Mejía, C. M. (2005). La deshidratación osmótica como pretratamiento en la conservación de mora (*Rubus glaucus*) y uchuva (*Physalis peruviana L.*). *Vitae*, 12(1), 15-22.
- Giraldo, G., Talens, P., Fito, P., & Chiralt, A. (2003). Influence of sucrose solution concentration on kinetics and yield during osmotic dehydration of mango. *Journal of Food Engineering*, 58(1), 33-43.
- Giusti, M. M., & Wrolstad, R. E. (1996). Characterization of red radish anthocyanins. *Journal of Food Sciences*, 61(2), 322–326.
- Gómez-Salazar, J.A., Clemente-Polo, G.; Sanjuán-Pelliccer, N. (2015). Review of mathematical models to describe the food salting process. *DYNA*, 82: 23-30.
- Goula, A. M., Karapantsios, T. D., Achilias, D. S., & Adamopoulos, K. G. (2008). Water sorption isotherms and glass transition temperature of spray dried tomato pulp. *Journal of Food Engineering*, 85(1), 73-83.
- Grant, G. T., Morris, E. R., Rees, D. A., Smith, P. J., & Thom, D. (1973). Biological interactions between polysaccharides and divalent cations: the egg-box model. *FEBS letters*, 32(1), 195-198.
- Gras, M. L., Vidal, D., Betoret, N., Chiralt, A., & Fito, P. (2003). Calcium fortification of vegetables by vacuum impregnation: interactions with cellular matrix. *Journal of food engineering*, 56(2), 279-284.
- Gundogdu, M., Muradoglu, F., Sensoy, R. G., & Yilmaz, H. (2011). Determination of fruit chemical properties of *Morus nigra L.*, *Morus alba L.* and *Morus rubra L.* by HPLC. *Scientia Horticulturae*, 132, 37-41.
- Gutiérrez, J. A., Pinzón, M. I., & Londoño, A. (2010). Residuos de plaguicidas organoclorados, organofosforados y análisis fisicoquímico en piña (*Ananas comosus L.*). *Agro sur*, 38(3), 199-211.
- Hassimotto, N. M. A., Genovese, M. I., & Lajolo, F. M. (2007). Identification and characterisation of anthocyanins from wild mulberry (*Morus nigra L.*) growing in Brazil. *Food Science and Technology International*, 13(1), 17-25.
- Henríquez Arias, L. E., Patiño Gómez, J. H., & Salazar, J. A. (2012). Application of the matrixes engineering on the development of minimally processed Hass avocado (*Persea americana Mill*) with additions of vitamin C and calcium. *Revista Lasallista de Investigación*, 9(2), 44-54.
- Hernández, Y., Lobo, M. G., & González, M. (2006). Determination of vitamin C in tropical fruits: A comparative evaluation of methods. *Food Chemistry*, 96(4), 654-664.
- Hironaka, K., Kikuchi, M., Koaze, H., Sato, T., Kojima, M., Yamamoto, K., ... & Tsuda, S. (2011). Ascorbic acid enrichment of whole potato tuber by vacuum-impregnation. *Food Chemistry*, 127(3), 1114-1118.

Huang, X., & Hsieh, F. H. (2005). Physical properties, sensory attributes, and consumer preference of pear fruit leather. *Journal of Food Science*, 70(3), 177-186.

Hubinger, M., Menegalli, F. C., Aguerre, R. J., & Suarez, C. (1992). Water vapor adsorption isotherms of guava, mango and pineapple. *Journal of Food Science*, 57(6), 1405-1407.

Ibarz, A., & Barbosa-Cánovas, G. V. 2003. *Unit Operations in Food Engineering*. (Contemporary Food Engineering Series)-CRC Press.

IFT (Institute of Food Technologists). (1981) Sensory Evaluation Division. Sensory evaluation guide for testing food and beverage products. *Food Technology*, 35(11), 50-59.

IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). (2003). Fortalezas y debilidades del sector Agroalimentario-Frutas finas. Ministerio de Economía de la Nación. Argentina.

IOM (Institute of Medicine - Food and Nutrition Borad). (2000). Dietary Reference intakes for Vitamin C, Vitamin E, Selenium and Carotenoids. Washington, D.C. National Academy Press.

IOM (Institute of Medicine - Food and Nutrition Borad). (2011). Dietary Reference Intakes for Calcium and Vitamin D. Washington, DC: National Academy Press.

Irwandi, J., Man, Y. B., Yusof, S., Jinap, S., & Sugisawa, H. (1998). Effects of type of packaging materials on physicochemical, microbiological and sensory characteristics of durian fruit leather during storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 76(3), 427-434.

Islam, M. R., Ho, J. C., & Mujumdar, A. S. (2003). Convective drying with time-varying heat input: Simulation results. *Drying technology*, 21(7), 1333-1356.

Jackman, R. L., & Stanley, D. W. (1995). Perspectives in the textural evaluation of plant foods. *Trends in Food Science & Technology*, 6(6), 187-194.

Jumah, R., Al-Kteimat, E., Al-Hamad, A., & Telfah, E. (2007). Constant and intermittent drying characteristics of olive cake. *Drying Technology*, 25(9), 1421-1426.

Junlakan, W., Tirawanichakul, S., & Yamsaengsung, R. (2017). Effects of vacuum drying on structural changes of bananas, pineapples, and apples. *Journal of Food Processing and Preservation*.

Kara, Ş., & Erçelebi, E. A. (2013). Thermal degradation kinetics of anthocyanins and visual colour of Urmu mulberry (*Morus nigra* L.). *Journal of Food Engineering*, 116(2), 541-547.

Karathanos, V. T., Kostaropoulos, A. E., & Saravacos, G. D. (1995). Air-drying kinetics of osmotically dehydrated fruits. *Drying Technology*, 13(5-7), 1503-1521.

Kassem, A. S., Shokr, A. Z., El-Mahdy, A. R., Aboukarima, A. M., & Hamed, E. Y. (2011). Comparison of drying characteristics of Thompson seedless grapes using combined microwave oven and hot air drying. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 10(1), 33-40.

- Kaya, S., & Maskan, A. (2003). Water vapor permeability of pestil (a fruit leather) made from boiled grape juice with starch. *Journal of Food Engineering*, 57(3), 295-299.
- Kaymak-Ertekin, F. (2002). Drying and rehydrating kinetics of green and red peppers. *Journal of Food Science*, 67(1), 168-175.
- Kaymak-Ertekin, F., & Sultanoğlu, M. (2001). Moisture sorption isotherm characteristics of peppers. *Journal of Food Engineering*, 47(3), 225-231.
- Kesbi, O. M., Sadeghi, M., & Mireei, S. A. (2016). Quality assessment and modeling of microwave-convective drying of lemon slices. *Engineering in Agriculture, Environment and Food*, 9(3), 216-223
- Khan, M. R. (2012). Osmotic dehydration technique for fruits preservation-A review. *Pakistan Journal of Food Sciences*, 22(2), 71-85.
- Khraisheh, M. A. M., McMinn, W. A. M., & Magee, T. R. A. (2004). Quality and structural changes in starchy foods during microwave and convective drying. *Food research international*, 37(5), 497-503.
- Konopacka, D., Plochanski, W., & Beveridge, T. (2002). Water Sorption and Crispness of Fat-Free Apple Chips. *Journal of food science*, 67(1), 87-92.
- Kowalska, H., Czajkowska, K., Cichowska, J., & Lenart, A. (2017). What's new in biopotential of fruit and vegetable by-products applied in the food processing industry. *Trends in Food Science & Technology*, 67, 150-159.
- Koyuncu, F. (2004). Organic acid composition of native black mulberry fruit. *Chemistry of natural compounds*, 40(4), 367-369.
- Külen, O., Stushnoff, C., & Holm, D. G. (2013). Effect of cold storage on total phenolics content, antioxidant activity and vitamin C level of selected potato clones. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(10), 2437-2444.
- Laleh, G. H., Frydoonfar, H., Heidary, R., Jameei, R., & Zare, S. (2006). The effect of light, temperature, pH and species on stability of anthocyanin pigments in four Berberis species. *Pakistan Journal of Nutrition*, 5(1), 90-92.
- Lenart, A. (1991). Sorption properties of apples and carrot preserved by the osmo-convection method. *Food Technology and Nutrition*, 19.
- Lenart, A., & Flink, J. M. (1984). Osmotic concentration of potato: I. Criteria for end point of the osmotic process. *Journal of Food Technology*, 19, 45-63.
- Lewicki, P. P. (2006). Design of hot air drying for better foods. *Trends in Food Science & Technology*, 17(4), 153-163.
- Lomauro, C. J., Bakshi, A. S., & Labuza, T. P. (1985). Evaluation of food moisture sorption isotherm equations. Part I: Fruit, vegetable and meat products. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*, 18(2), 111-117.
- Lombard, G. E., Oliveira, J. C., Fito, P., & Andrés, A. (2008). Osmotic dehydration of pineapple as a pre-treatment for further drying. *Journal of food engineering*, 85(2), 277-284.

Lombraña, J. I., Rodríguez, R., & Ruiz, U. (2010). Microwave-drying of sliced mushroom. Analysis of temperature control and pressure. *Innovative food science & emerging technologies*, 11(4), 652-660.

Lovera, N., Ramallo, L., & Salvadori, V. (2014). Effect of processing conditions on calcium content, firmness, and color of papaya in syrup. *Journal of Food Processing*, 2014. doi:10.1155/2014/603639

Man, Y. B. C., & Sin, K. K. (1997). Processing and consumer acceptance of fruit leather from the unfertilised floral parts of jackfruit. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 75(1), 102-108.

Man, Y. C. (1995). Development and stability of jack fruit leather. *Tropical Science*, 35 (3): 245-250.

Manresa, A., & Vicente, I. (2007). El color en la industria de los alimentos. *Libro de texto electrónico. Disponible en intranet del Instituto de Farmacia y Alimentos de la Universidad de la Habana.*

Márquez, C. J., Ciro, H. J., & Rojano, B. A. (2003). Efecto de un proceso de deshidratación con aire forzado en la composición química y nutricional de la mora de castilla (*Rubus glaucus*). *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 56(1), 1865-1876.

Mascheroni, R.H. (2002). Estudios y desarrollos en deshidratación por métodos combinados. IX Congreso Argentino de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Buenos Aires. Simposio "Avances Tecnológicos en los medios tradicionales de conservación".

Maskan, A., Kaya, S., & Maskan, M. (2002). Hot air and sun drying of grape leather (pestil). *Journal of Food Engineering*, 54(1), 81-88.

Maskan, M. (2000 a). Kinetics of colour change of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering*, 48 (2), 169-175.

Maskan, M. (2000 b). Microwave/air and microwave finish drying of banana. *Journal of Food Engineering*, 44(2), 71-78.

Maskan, M. (2001). Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of food engineering*, 48(2), 177-182.

Maskan, M., & Göğüş, F. (1998). Sorption isotherms and drying characteristics of mulberry (*Morus alba*). *Journal of Food Engineering*, 37(4), 437-449.

Mauro, M. A., Dellarosa, N., Tylewicz, U., Tappi, S., Laghi, L., Rocculi, P., & Dalla Rosa, M. (2016). Calcium and ascorbic acid affect cellular structure and water mobility in apple tissue during osmotic dehydration in sucrose solutions. *Food Chemistry*, 195, 19-28.

Mavroudis, N. E., Gidley, M. J., & Sjöholm, I. (2012). Osmotic processing: effects of osmotic medium composition on the kinetics and texture of apple tissue. *Food Research International*, 48(2), 839-847.

Mercali, G. D., Jaeschke, D. P., Tessaro, I. C., & Marczak, L. D. F. (2012). Study of vitamin C degradation in acerola pulp during ohmic and conventional heat treatment. *LWT-Food Science and Technology*, 47(1), 91-95.

Metivier, R. P., Francis, F. J., & Clydesdale, F. M. (1980). Solvent extraction of anthocyanins from wine pomace. *Journal of Food Science*, 45(4), 1099-1100.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2000). Manual del Exportador de Frutas, Hortalizas y Tubérculos en Colombia. Recuperado de: <http://interletras.com/manualcci/Frutas/Mora/mora03.htm>

Ministerio de Agroindustria. (2016). Guía de rotulado para alimentos envasados. Argentina, Buenos Aires.

Ministerio de Salud. (2007). Encuesta Nacional de Nutrición y Salud (ENNyS 2007). Documento de resultados. Argentina, Buenos Aires.

Ministerio de Salud. (2016). Guías Alimentarias para la Población Argentina, Buenos Aires.

Molina, N. A. (2016 a). La producción de frutas tropicales: panorama mundial y en Argentina. Publicación Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria EEA Bella Vista – Hoja de Div. N°42.

Molina, N. A., Acuña, L., Marmelicz, L. (2016 b). Análisis técnico y económico para la producción de ananá y mamón en la provincia de Misiones. Publicación Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria EEA Bella Vista – Serie Técnica N° 55.

Monteiro, R. L., Carciofi, B. A., & Laurindo, J. B. (2016). A microwave multi-flash drying process for producing crispy bananas. *Journal of Food Engineering*, 178, 1-11.

Moraga, M. J., Moraga, G., Fito, P. J., & Martínez-Navarrete, N. (2009). Effect of vacuum impregnation with calcium lactate on the osmotic dehydration kinetics and quality of osmodehydrated grapefruit. *Journal of Food Engineering*, 90(3), 372-379.

Morris, J. R., Sistrunk, W. A., Sims, C. A., Main, G. L. & Wehunt, E. J. (1985). Effects of cultivar, postharvest storage, preprocessing dip treatments and style of pack on the processing quality of strawberries. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 110, 172- 177.

Mousa, N., & Farid, M. (2002). Microwave vacuum drying of banana slices. *Drying Technology*, 20(10), 2055-2066.

Moyls A. L. 1981. Drying of Apple Purees. *Journal of Food Science*, 46(3), 939-942.

Nagai, L. Y., Santos, A. B., Faria, F. A., Boscolo, M., & Mauro, M. A. (2015). Osmotic dehydration of mango with ascorbic acid impregnation: influence of process variables. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(4), 384-393.

Nahimana, H., Zhang, M., Mujumdar, A. S., & Ding, Z. (2011). Mass transfer modeling and shrinkage consideration during osmotic dehydration of fruits and vegetables. *Food reviews international*, 27(4), 331-356.

Nicoletti, J. F., Telis-Romero, J., & Telis, V. R. N. (2001). Air-drying of fresh and osmotically pre-treated pineapple slices: fixed air temperature versus fixed slice temperature drying kinetics. *Drying Technology*, 19(9), 2175-2191.

Nieto, A., Salvatori, D., Castro, M. A., & Alzamora, S. M. (1998). Air drying behaviour of apples as affected by blanching and glucose impregnation. *Journal of Food Engineering*, 36, 63-79.

Oancea, S., Grosu, C., Ketney, O., & Stoia, M. (2013). Conventional and ultrasound-assisted extraction of anthocyanins from blackberry and sweet cherry cultivars. *Acta Chimica Slovenica*, 60(2), 383-389.

Okos M.R, Narsimhan G., Singh R.K., Witnauer A.C. (1992). Food dehydration, En: Heldman, D. R., Lund, D. B., (Eds.). *Handbook of food engineering*. CRC press.

Ostos, S. L., Díaz, A. C., & Suarez, H. (2012). Evaluación de diferentes condiciones de proceso en la fortificación de mango (Tommy Atkins) con calcio mediante impregnación a vacío. *Revista chilena de nutrición*, 39(2), 181-190.

Özgen, M., Serçe, S., & Kaya, C. (2009). Phytochemical and antioxidant properties of anthocyanin-rich *Morus nigra* and *Morus rubra* fruits. *Scientia Horticulturae*, 119(3), 275-279.

Page, G.E. (1949). Factors influencing the maximum rates of air drying shelled corn in thin layers. (Tesis de Master). Purdue University. Lafayette, IN, USA

Park, S. W., Jung, Y. S., & Ko, K. C. 1997. Quantitative analysis of anthocyanins among mulberry cultivars and their pharmacological screening. *Journal of the Korean Society for Horticultural Science*, 38, 722-724.

Peñas, E., Sidro, B., Ullate, M., Vidal-Valverde, C., & Frias, J. (2013). Impact of storage under ambient conditions on the vitamin content of dehydrated vegetables. *Food Science and Technology International*, 19(2), 133-141.

Pere, C., Rodier, E., Schwartzentruber, J., 1998. Effects of the structure of a porous material on drying kinetics in a microwave vacuum laboratory scale dryer. En: *Advances in Food Dehydration (Contemporary Food Engineering Series)*-CRC Press.

Pereda, O. (1998). Tecnología de los alimentos: componentes de los alimentos y procesos. Madrid, España. 365.

Pereira, L. M., Ferrari, C.C., Mastrantonio, S.D.S., Rodrigues, A.C.C., Hubinger, M.D., (2006). Kinetic aspects, texture, and color evaluation of some tropical fruits during osmotic dehydration. *Drying Technology*, 24 (4), 475-484.

Pereira, N. R., Marsaioli, A., & Ahrné, L. M. (2007). Effect of microwave power, air velocity and temperature on the final drying of osmotically dehydrated bananas. *Journal of Food Engineering*, 81(1), 79-87.

Phisut, N. (2012). Factors affecting mass transfer during osmotic dehydration of fruits. *International Food Research Journal*, 19(1), 7-18.

Prothon, F., Ahrné, L. M., Funebo, T., Kidman, S., Langton, M., & Sjöholm, I. (2001). Effects of combined osmotic and microwave dehydration of apple on texture, microstructure and rehydration characteristics. *LWT-Food Science and Technology*, 34(2), 95-101.

Quesada Gómez, J.M., Sosa Henríquez, M. (2011). Nutrición y osteoporosis. Calcio y vitamina D. *Revista de Osteoporosis y Metabolismo Mineral*, 3 (4), 165-182.

- Raab, C., & Oehler, N. (1976). Making dried fruit leather (Technical Report). Oregon State University Extension Service.
- Rahman, M.S., 1995. Food Properties Handbook. CRC Press, Boca Raton FL.
- Rahman, S., & Lamb, J. (1991). Air drying behavior of fresh and osmotically dehydrated pineapple. *Journal of Food Process Engineering*, 14(3), 163-171.
- Ramallo, L. A. y Mascheroni, R.H. (2009). Retención del ácido ascórbico en ananá durante la deshidratación osmótica y el secado. Publicado en Actas del Congreso Latinoamericano de Ingeniería y Ciencias Aplicadas (CLICAP), San Rafael, Mendoza.
- Ramallo, L. A., & Albani, O. A. (2007). Water diffusion coefficient and modeling of water uptake in packaged yerba mate. *Journal of food processing and preservation*, 31(4), 406-419.
- Ramallo, L. A., & Mascheroni, R. H. (2004). Prediction and determination of ascorbic acid content during pineapple drying. En: *Proceedings of the 14th International Drying Symposium (IDS)*, 22-25.
- Ramallo, L. A., & Mascheroni, R. H. (2005). Rate of water loss and sugar uptake during the osmotic dehydration of pineapple. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 48(5), 761-770.
- Ramallo, L. A., & Mascheroni, R. H. (2010). Dehydrofreezing of pineapple. *Journal of Food Engineering*, 99(3), 269-275.
- Ramallo, L. A., & Mascheroni, R. H. (2012). Quality evaluation of pineapple fruit during drying process. *Food and bioproducts processing*, 90(2), 275-283.
- Ramallo, L. A., & Mascheroni, R. H. (2013). Effect of shrinkage on prediction accuracy of the water diffusion model for pineapple drying. *Journal of Food Process Engineering*, 36(1), 66-76.
- Ramallo, L. A., Hubinger, M. D., & Mascheroni, R. H. (2013). Effect of pulsed vacuum treatment on mass transfer and mechanical properties during osmotic dehydration of pineapple slices. *International Journal of Food Engineering*, 9(4), 403-412.
- Rao, M. A., Rizvi, S. S., & Datta, A. K. (Eds.). (1994). *Engineering properties of food* (Vol. 63). CRC Press.
- Rao, V. S., & Roy, S. K. (1980). Studies on dehydration of mango pulp. II: storage studies of the mango sheet/leather. *Indian Food Packer*, 34(3), 72-79.
- Rastogi, N. K., & Niranjana, K. (1998). Enhanced mass transfer during osmotic dehydration of high pressure treated pineapple. *Journal of Food Science*, 63(3), 508-511.
- Rastogi, N. K., & Raghavarao, K. S. M. S. (2004). Mass transfer during osmotic dehydration of pineapple: considering Fickian diffusion in cubical configuration. *LWT-Food Science and Technology*, 37(1), 43-47.
- Ruiz, N. A. Q., Demarchi, S. M., & August, S. A. G. A. (2014). Research on Dehydrated Fruit Leathers: A Review. *ICEF11 Proceedings, (FPE398) p. 2041.*

Ruiz, N. A. Q., Demarchi, S. M., & Giner, S. A. (2014). Effect of hot air, vacuum and infrared drying methods on quality of rose hip (*Rosa rubiginosa*) leathers. *International journal of food science & technology*, 49(8), 1799-1804.

Ruiz, N. A. Q., Demarchi, S. M., Massolo, J. F., Rodoni, L. M., & Giner, S. A. (2012). Evaluation of quality during storage of apple leather. *LWT-Food Science and Technology*, 47(2), 485-492.

Ruiz-López, I. I., Castillo-Zamudio, R. I., Salgado-Cervantes, M. A., Rodríguez-Jimenes, G. C., & García-Alvarado, M. A. (2010). Mass transfer modeling during osmotic dehydration of hexahedral pineapple slices in limited volume solutions. *Food and Bioprocess Technology*, 3(3), 427-433.

Sagar, V. R., & Kumar, P. S. (2010). Recent advances in drying and dehydration of fruits and vegetables: a review. *Journal of food science and technology*, 47(1), 15-26.

Salvatori, D., Andrés, A., Chiralt, A., & Fito, P. (1999). Osmotic dehydration progression in apple tissue I: spatial distribution of solutes and moisture content. *Journal of food Engineering*, 42(3), 125-132.

Sánchez-Salcedo, E. M., Hernández, F., Martínez, J.J. (2013). Caracterización preliminar de los frutos de ocho clones de *Morus* sp. VII Congreso Ibérico de Agroingeniería y Ciencias Hortícolas, Madrid. Libro de actas. ISBN- 84-695-9055-3.

Sánchez-Salcedo, E. M., Mena, P., García-Viguera, C., Martínez, J. J., & Hernández, F. (2015). Phytochemical evaluation of white (*Morus alba* L.) and black (*Morus nigra* L.) mulberry fruits, a starting point for the assessment of their beneficial properties. *Journal of Functional Foods*, 12, 399-408.

Saputra, D. (2001). Osmotic dehydration of pineapple. *Drying technology*, 19(2), 415-425.

Saravacos, G. D., Tsiourvas, D. A., & Tsami, E. (1986). Effect of temperature on the water adsorption isotherms of sultana raisins. *Journal of food science*, 51(2), 381-383.

Saurel, R., Raoult-Wack, A. L., Rios, G., & Guilbert, S. (1994). Mass transfer phenomena during osmotic dehydration of apple I. Fresh plant tissue. *International journal of food science & technology*, 29(5), 531-542.

Schiffmann, R. F. (1995). Microwave and dielectric drying. *Handbook of industrial drying*, 1, 345-372.

Sereno, A. M., Moreira, R., & Martinez, E. (2001). Mass transfer coefficients during osmotic dehydration of apple in single and combined aqueous solutions of sugar and salt. *Journal of food Engineering*, 47(1), 43-49.

Serra, H. M., & Cafaro, T. A. (2007). Ácido ascórbico: desde la química hasta su crucial función protectora en ojo. *Acta bioquímica clínica latinoamericana*, 41(4), 525-532.

Sharma, G. P., & Prasad, S. (2001). Drying of garlic (*Allium sativum*) cloves by microwave-hot air combination. *Journal of food engineering*, 50(2), 99-105.

Shi, J., Xue, S. 2008. Application and Development of Osmotic Dehydration Technology in Food Processing. En: Advances in Food Dehydration (Contemporary Food Engineering Series)-CRC Press. Cap. 7

Silva, K. S., Fernandes, M. A., & Mauro, M. A. (2014 a). Effect of calcium on the osmotic dehydration kinetics and quality of pineapple. *Journal of Food Engineering*, 134, 37-44.

Silva, K. S., Fernandes, M. A., & Mauro, M. A. (2014 b). Osmotic dehydration of pineapple with impregnation of sucrose, calcium, and ascorbic acid. *Food and Bioprocess Technology*, 7(2), 385-397.

Silva, M. A., Corrêa, J. L., & Da Silva, Z. E. (2010). Application of inverse methods in the osmotic dehydration of acerola. *International Journal of Food Science & Technology*, 45(12), 2477-2484.

Simal, S., Deya, E., Frau, M., & Rossello, C. (1997). Simple modelling of air drying curves of fresh and osmotically pre-dehydrated apple cubes. *Journal of Food Engineering*, 33(1-2), 139-150.

Simal, S., Femenia, A., Castell-Palou, Á., & Rosselló, C. (2007). Water desorption thermodynamic properties of pineapple. *Journal of Food Engineering*, 80(4), 1293-1301.

Simal, S., Femenia, A., Garau, M. C., & Rosselló, C. (2005). Use of exponential, Page's and diffusional models to simulate the drying kinetics of kiwi fruit. *Journal of Food Engineering*, 66(3), 323-328.

Smith, B. G., & Harris, P. J. (1995). Polysaccharide composition of unignified cell walls of pineapple [*Ananas comosus* (L.) Merr.] fruit. *Plant Physiology*, 107(4), 1399-1409.

Smith, M. A. L., Marley, K. A., Seigler, D., Singletary, K. W., & Meline, B. (2000). Bioactive properties of wild blueberry fruits. *Journal of Food Science*, 65(2), 352-356.

Sobukola, O. P., Dairo, O. U., & Odunewu, A. V. (2008). Convective hot air drying of blanched yam slices. *International journal of food science & technology*, 43(7), 1233-1238.

Souraki, B. A., Ghaffari, A., & Bayat, Y. (2012). Mathematical modeling of moisture and solute diffusion in the cylindrical green bean during osmotic dehydration in salt solution. *Food and bioproducts processing*, 90(1), 64-71.

Statgraphics Centurion XVI. (2010). StatPoint Technologies, Inc.

Stojanovic, J., & Silva, J. L. (2007). Influence of osmotic concentration, continuous high frequency ultrasound and dehydration on antioxidants, colour and chemical properties of rabbiteye blueberries. *Food Chemistry*, 101(3), 898-906.

Stone H., Sidel J.L., Oliver S., Woolsey A., Singleton R.C. (1974). Sensory evaluation by quantitative descriptive analysis. *Food Technology*, 28: 24-34.

Suresh Kumar, P., & Devi, P. (2011). Optimization of some process variables in mass transfer kinetics of osmotic dehydration of pineapple slices. *International Food Research Journal*, 18(1), 221-238.

Suzuki, M., Watanabe, T., Miura, A., Harashima, E., Nakagawa, Y., & Tsuji, K. (2002). An extraction solvent optimum for analyzing polyphenol contents by Folin-Denis assay. *Journal of the Japanese Society for Food Science and Technology*, 49, 507-511.

Sývacý, A., & Sökmen, M. (2004). Seasonal changes in antioxidant activity, total phenolic and anthocyanin constituent of the stems of two *Morus* species (*Morus alba* L. and *Morus nigra* L.). *Plant Growth Regulation*, 44(3), 251-256.

Szadzińska, J., Kowalski, S. J., & Stasiak, M. (2016). Microwave and ultrasound enhancement of convective drying of strawberries: Experimental and modeling efficiency. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 103, 1065-1074.

Teles, U. M., Fernandes, F. A., Rodrigues, S., Lima, A. S., Maia, G. A., & Figueiredo, R. W. (2006). Optimization of osmotic dehydration of melons followed by air-drying. *International Journal of Food Science & Technology*, 41(6), 674-680.

Tomasicchio, M., Andreotti, R., & De Giorgi, A. (1986). Disidratazione parziale della frutta per osmosi II. ananas, fragole e susine. *Ind. Conserve*, 61, 108-114.

Torreggiani, D. (1993). Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing. *Food Research International*, 26(1), 59-68.

Torreggiani, D., & Bertolo, G. (2002). The role of an osmotic step: Combined processes to improve quality and control functional properties in fruit and vegetables. En: Chanes, J.W., Barbosa-Cánovas, G.V., Aguilera, J.M. Engineering and Food for the 21st Century, 651-670.

Torres, C. A., Romero, L. A., & Diaz, R. I. (2015). Quality and sensory attributes of apple and quince leathers made without preservatives and with enhanced antioxidant activity. *LWT-Food Science and Technology*, 62(2), 996-1003.

Torres, J. D., Talens, P., Escriche, I., & Chiralt, A. (2006). Influence of process conditions on mechanical properties of osmotically dehydrated mango. *Journal of Food Engineering*, 74(2), 240-246.

Tortoe, C. (2010). A review of osmodehydration for the food industry. *African Journal of Food Science*, 4(6), 303-324.

Uddin, M. S., Hawlader, M. N. A., Ding, L., & Mujumdar, A. S. (2002). Degradation of ascorbic acid in dried guava during storage. *Journal of Food Engineering*, 51(1), 21-26.

USDA (United States Department of Agriculture). (2016). Food Composition Databases. [Acceso: 19-10-2016]. Recuperado de: <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/search/list?qlookup=09266&format=Full>

Valenzuela, C., & Aguilera, J. M. (2015 a). Effects of maltodextrin on hygroscopicity and crispness of apple leathers. *Journal of Food Engineering*, 144, 1-9.

Valenzuela, C., & Aguilera, J. M. (2015 b). Effects of different factors on stickiness of apple leathers. *Journal of Food Engineering*, 149, 51-60.

Vatthanakul, S., Jangchud, A., Jangchud, K., Therdthai, N., & Wilkinson, B. (2010). Gold kiwifruit leather product development using quality function deployment approach. *Food Quality and preference*, 21(3), 339-345.

Vega, A. (2003). *Estudio de la deshidratación y rehidratación del pimiento rojo (Capsicum Annuum L.) var. Lamuyo* (Tesis Doctoral). Departamento de Tecnología de Alimentos, Universidad Politécnica de Valencia, España.

Vega, A., Fito, P., Andrés, A. & Lemus R. (2007). Mathematical modeling of hot-air drying kinetics of red bell pepper (var. *Lamuyo*). *Journal of Food Engineering*, 9, 1460-1466.

Vega-Mercado, H., Góngora-Nieto, M. M., & Barbosa-Cánovas, G. V. (2001). Advances in dehydration of foods. *Journal of Food Engineering*, 49(4), 271-289.

Velarde-Parra, L. E., Nafarrate-Miranda, E., Costich-Costich, G., Luna-Valdez, J. G., & Noriega-Muñoz, F. J. (2008). Evaluación de la Calidad de Rebanadas de Melón Deshidratadas Osmóticamente y al Vacío. Publicado en Actas del X Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos, México.

Venkatachalapathy, K., & Raghavan, G. S. V. (1998). Microwave drying of osmotically dehydrated blueberries. *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy*, 33(2), 95-102.

Vijayan, K., Chauhan, S., Das, N. K., Chakraborti, S. P., & Roy, B. N. (1997). Leaf yield component combining abilities in mulberry (*Morus* spp.). *Euphytica*, 98(1-2), 47-52.

Vijayanand, P., Yadav, A. R., Balasubramanyam, N., & Narasimham, P. (2000). Storage stability of guava fruit bar prepared using a new process. *LWT-Food Science and Technology*, 33(2), 132-137.

Villaño, D., Gironés-Vilapana, A., García-Viguera, C., Moreno, D. (2016). Development of functional foods. En: *Innovation Strategies in the Food Industry*, Cap.: 10, (1a Ed). Ed. Academic Press.

Vinci, G., Botrè, F., Mele, G., & Ruggieri, G. (1995). Ascorbic acid in exotic fruits: a liquid chromatographic investigation. *Food Chemistry*, 53(2), 211-214.

Waliszewski, K. N., Delgado, J. L., & Garcia, M. A. (2002). Equilibrium concentration and water and sucrose diffusivity in osmotic dehydration of pineapple slabs. *Drying Technology*, 20(2), 527-538.

Wang, J., & Sheng, K. (2006). Far-infrared and microwave drying of peach. *LWT-Food Science and Technology*, 39(3), 247-255.

Wang, W. D., & Xu, S. Y. (2007). Degradation kinetics of anthocyanins in blackberry juice and concentrate. *Journal of Food Engineering*, 82(3), 271-275.

Wojdyło, A., Figiel, A., & Oszmiański, J. (2009). Effect of drying methods with the application of vacuum microwaves on the bioactive compounds, color, and antioxidant activity of strawberry fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(4), 1337-1343.

Yapo, B. M. (2009). Pineapple and banana pectins comprise fewer homogalacturonan building blocks with a smaller degree of polymerization as compared with yellow passion fruit and lemon pectins: Implication for gelling properties. *Biomacromolecules*, 10(4), 717-721.

Yılmaz, F. M., Yüksekaya, S., Vardin, H., & Karaaslan, M. (2015). The effects of drying conditions on moisture transfer and quality of pomegranate fruit leather (pestil). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. Article in press.

Yuan, J. P., & Chen, F. (1998). Degradation of ascorbic acid in aqueous solution. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46(12), 5078-5082.

Zahoor, I., & Khan, M. A. (2017). Mass Transfer Kinetics of Osmotic Dehydration of Pineapple. *Journal of Food Processing & Technology* 8, 653.

Zanoni, B., Peri, C., Nani, R., & Lavelli, V. (1998). Oxidative heat damage of tomato halves as affected by drying. *Food Research International*, 31(5), 395-401.

Zarein, M., Samadi, S. H., & Ghobadian, B. (2015). Investigation of microwave dryer effect on energy efficiency during drying of apple slices. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 14(1), 41-47.

Zhang, M., Jiang, H., & Lim, R. X. (2010). Recent developments in microwave-assisted drying of vegetables, fruits, and aquatic products—Drying kinetics and quality considerations. *Drying Technology*, 28(11), 1307-1316.

Zhang, M., Tang, J., Mujumdar, A. S., & Wang, S. (2006). Trends in microwave-related drying of fruits and vegetables. *Trends in Food Science & Technology*, 17(10), 524-534.

Zhao, Y., & Xie, J. (2004). Practical applications of vacuum impregnation in fruit and vegetable processing. *Trends in Food Science & Technology*, 15(9), 434-451.

Zhumatov, U. (1996). Elementary compositions of the fruits of *Morus nigra* and *Zizyphus jujuba* and the birbiological activities. *Chemistry of Natural Compounds*, 32 (1) 100-101.

ANEXOS

Anexo I. Búsqueda de descriptores
EVALUACIÓN SENSORIAL DE ALIMENTOS

ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE ANANÁ DESHIDRATADO

BÚSQUEDA DE DESCRIPTORES

Nombre: **Fecha:**.....

Observe y pruebe las muestras. Describa con palabras las sensaciones que usted percibe.

| Muestras | Se parecen en | Se diferencian en |
|-------------------|----------------------|--------------------------|
| 851 vs 753 | | |
| 851 vs 914 | | |
| 753 vs 914 | | |

Anexo II. Planilla del Análisis Descriptivo Cuantitativo EVALUACION SENSORIAL DE ALIMENTOS

ANALISIS DESCRIPTIVO DE ANANA DESHIDRATADO

Nombre: Fecha:.....

MUESTRA N°:.....

Evalúe las muestras y marque sobre la escala en el punto que mejor describa el atributo analizado.

COLOR:

Amarillo |-----|
Claro |-----| *Oscuro*

Pardo
|-----|
Nada |-----| *Mucho*

AROMA: |-----|
Nada |-----| *Mucho*

SABOR:
Gusto Dulce |-----|
Poco |-----| *Mucho*

Sabor a Ananá fresco:
|-----|
Poco |-----| *Mucho*

TEXTURA BUCAL:

Cohesividad:
|-----|
Poca |-----| *Mucha*

Dureza: |-----|
Blanda |-----| *Dura*

Anexo III. Planilla de definición de Descriptores y técnica de evaluación

| Producto: Ananá deshidratado | | |
|--|--|---|
| Descriptores | Definición | Técnica |
| Color: Amarillo Pardo | Percepción visual que se genera al interpretar las señales nerviosas que envían los fotorreceptores en la retina del ojo, que a su vez interpretan y distinguen las distintas longitudes de onda que captan de la parte visible del espectro electromagnético. | Observe las referencias y luego evalúe los dos descriptores indicados a continuación. |
| | | Para evaluar coloración amarilla considere el ananá fresco como punto medio de la escala, el mínimo el arroz y el máximo la yema de huevo. |
| | | Para evaluar coloración parda, considere como mínimo a la fruta fresca (sin coloraciones pardas) y como máximo semillas de alfalfa. |
| Aroma | Olor del alimento que permite la estimulación del sentido del olfato. | Tome el tubito sellado con la referencia (jugo de ananá fresco embebido en papel secante). Abra la tapa e inmediatamente retire el papel y huela la muestra en el mismo. Finalizado esto, coloque nuevamente el papel y cierre el tubo. Considere ese aroma como el punto medio de la escala. |
| Sabor dulce | Describe el gusto básico provocado por soluciones acuosas de sustancias naturales o artificiales, tales como la sacarosa, sacarina, etc. | Pruebe la solución N°1 (mínimo en la escala), enjuague con agua y luego pruebe la solución N°2 (máximo en la escala). Evalúe la intensidad del sabor dulce en las muestras de ananás deshidratados. |
| Sabor típico de ananá | Es la sensación que causa un alimento en la boca al ser percibido por los sentidos. Relacionado con el sabor característico de esta fruta que combina un sabor dulce con un cierto nivel de acidez. | Pruebe la muestra de ananá N°1 (mínimo en la escala), enjuague con agua y luego pruebe la muestra de ananá N°2 (máximo en la escala). Evalúe la intensidad del sabor en las muestras de ananás deshidratados. (Poniendo énfasis en la acidez) |
| Textura Bucal | | |
| Cohesividad | Atributo relacionado con la fuerza necesaria para que la muestra se deforme antes de romperse cuando se muerde con los molares. | Mastique la muestra 5 veces con los molares y evalúe la cohesividad. Considere como punto mínimo de cohesividad a la vainilla, y como punto máximo a un chicle. |
| Dureza (1°masticada) | Fuerza requerida para comprimir una sustancia entre los molares. | Colocar la muestra entre los molares y morder. Evaluar la fuerza requerida para comprimir la muestra. (A mayor fuerza, mayor dureza). Considere como punto mínimo de dureza al queso cremoso, y como punto máximo al caramelo masticable. |

Proyectos Científico-Tecnológicos

Se presenta a continuación un listado de los Proyectos Científico-Tecnológicos dentro de los cuales se desarrolló esta Tesis Doctoral:

(indicando el título del proyecto, el nombre del investigador responsable, la entidad financiadora, el monto del subsidio, las fechas de vigencia (inicio y finalización del proyecto).

Nombre del Proyecto: Procesos sostenibles de deshidratación aplicados a la preservación de frutas tropicales (Cod.: 16Q485)

Directora: Dra. Ramallo Laura

Entidad: FCEQyN-UNaM. Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico (C.I.D.E.T.)

Monto:

Fecha Inicio: 1/01/2012

Fecha Finalización: 31/12/2013

Fecha de Finalización (prórroga): 31/12/2014

Nombre del Proyecto: Deshidratación osmótica de frutas en ciclos sucesivos: diseño y análisis del proceso y calidad del producto (16Q573)

Directora: Dra. Ramallo Laura

Entidad: FCEQyN-UNaM. Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico (C.I.D.E.T.)

Monto:

Fecha Inicio: 1/01/2015

Fecha Finalización: 31/12/2017