

**Universidad Nacional de Misiones. Facultad de Ciencias Exactas,
Químicas y Naturales. Secretaría de Investigación y Postgrado.
Doctorado en Ciencias Aplicadas**

Doctorando
Ing. Ariel Alejandro Borsini

Procesamientos de deshidratación y almacenamiento de fruta de Dyospiros Kaki

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

“Este documento es resultado del financiamiento otorgado por el Estado Nacional, por lo tanto queda sujeto al cumplimiento de la Ley N° 26.899”.

Directora
Dra. Laura Ana Ramallo
Co-Director
Dr. Oscar Alfredo Albani

Posadas, Misiones 2021



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



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



**PROCESAMIENTOS DE DESHIDRATACION Y ALMACENAMIENTO DE
FRUTA DE *DYOSPIROS KAKI***

Por Ing. Ariel Alejandro BORSINI

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

DOCTOR EN CIENCIAS APLICADAS

Posadas, República Argentina

2021

Director

Dra. Laura Ana Ramallo

Co-director

Dr. Oscar Alfredo Albani

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

Dr. Alejandro LESPINARD Universidad Nacional de Villa María

Dr. Miguel E. SCHMALKO Universidad Nacional de Misiones

Dra. Laura VILLALBA Universidad Nacional de Misiones

DEFENSA ORAL Y PÚBLICA (Disposición N°1341/21)

Posadas, 15 de Octubre de 2021

**PROCESAMIENTOS DE DESHIDRATACION Y ALMACENAMIENTO DE FRUTA DE
*DYOSPIROS KAKI***

Ariel Alejandro BORSINI

Lugar de desarrollo del trabajo de tesis

Laboratorio de Preservación y Envases (FCEQyN-IMAM)

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

Dr. Miguel E. SCHMALKO Universidad Nacional de Misiones

Dr. Fernando FELISSIA Universidad Nacional de Misiones

Dra. Laura A. CAMPAÑONE Universidad Nacional de La Plata

CARRERA DE DOCTORADO EN CIENCIAS APLICADAS

Proyecto de Carrera N°10933/11

Con reconocimiento de la Comisión Nacional de Evaluación y Acreditación

Universitaria (CONEAU) N° 344/11

Agradecimientos

A Dios por estar siempre a mi lado.

A mis padres y hermana, por su incansable apoyo.

A Cintia Benitez, mi compañera de vida por estar en las buenas y en las malas.

A ella por su amor incondicional.

A mis directores, Laura Ramallo y Oscar Albani por sus enseñanzas, consejos y apoyo.

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.

A mis amigos de siempre.

A mis compañeros de laboratorio, Vale, Pame, Pauli y Nancy.

Al Ing. Tomas Haberle del INTA Montecarlo por su tiempo y predisposición continua.

Índice

AGRADECIMIENTOS	4
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	8
1.1 RESUMEN	9
1.2 OBJETIVO	9
1.2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
1.3 PALABRAS CLAVE	10
1.4 ABSTRACT	10
1.5 OBJETIVE	10
1.5.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
1.6 KEYWORDS	11
CAPÍTULO 2: ANTECEDENTES	12
2.1 <i>DYOSPIROS KAKI</i> : ORIGEN Y CARACTERIZACIÓN	13
2.2 VARIEDADES	14
2.3 COMPOSICIÓN APROXIMADA Y VALOR NUTRICIONAL	17
2.4 PRODUCCIÓN MUNDIAL Y NACIONAL	18
2.5 PROCESAMIENTO DE FRUTAS DE KAKI	19
2.6 DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA	20
2.6.1 FUNDAMENTOS	20
2.6.2 VARIABLES DEL PROCESO	21
2.6.3 ALCANCE DEL PROCESO DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA	26
2.6.4 EFECTO DEL CALCIO EN LAS FRUTAS	27
2.7 SECADO CONTINUO	29
2.7.1 FUNDAMENTOS	29
2.7.2 ETAPAS DEL PROCESO DE SECADO	31
2.7.3 PROCESO COMBINADO DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA Y SECADO	32
2.7.4 MODELIZACIÓN DE LAS CINÉTICAS DE SECADO	32
2.8 SECADO INTERMITENTE	34
2.8.1 FUNDAMENTOS	34
2.8.2 ASPECTOS DE CALIDAD RELACIONADOS AL SECADO INTERMITENTE	35
2.9 ISOTERMAS DE SORCIÓN	37
2.10 CONTENIDO DE CAROTENOS	39
2.11 ANÁLISIS SENSORIAL	41
2.12 ALMACENAMIENTO	42
2.13 ANTECEDENTES DE DESHIDRATACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE <i>DYOSPIROS KAKI</i>	43
CAPÍTULO 3: MATERIALES Y MÉTODOS	46
3.1 <i>MATERIA PRIMA</i>	47
3.2 <i>PREPARACIÓN DE LA MUESTRA</i>	47

3.3 SELECCIÓN DE LA VARIEDAD	47
3.4 <i>DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA</i>	49
3.5 <i>SECADO CONTINUO</i>	51
3.6 <i>SECADO INTERMITENTE</i>	51
3.7 <i>DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA - SECADO</i>	52
3.8 <i>REHIDRATACIÓN</i>	52
3.9 <i>MODELADO MATEMÁTICO</i>	53
3.10 <i>ISOTERMAS DE SORCIÓN</i>	54
3.10.1 <i>MODELADO MATEMÁTICO</i>	56
3.11 <i>ALMACENAMIENTO</i>	56
3.11.1 <i>MODELADO MATEMÁTICO</i>	57
3.12 <i>TÉCNICAS FÍSICOQUÍMICAS</i>	57
3.12.1 <i>Contenido de agua o humedad</i>	57
3.12.2 <i>Contenido de sólidos solubles (°Brix)</i>	57
3.12.3 <i>Propiedades mecánicas</i>	57
3.12.4 <i>Color</i>	59
3.12.5 <i>Carotenos totales</i>	59
3.13 <i>ANÁLISIS SENSORIAL</i>	60
3.13.1 <i>ANÁLISIS DE ACEPTACIÓN / RECHAZO</i>	60
3.13.2 <i>TEST DE TRIÁNGULO</i>	61
3.13.3 <i>ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE DYOSPIROS KAKI FRESCO E IMPREGNADO</i>	61
3.13.4 <i>ANÁLISIS DE ACEPTABILIDAD</i>	64
3.14 <i>ANÁLISIS ESTADÍSTICO</i>	64
CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	65
<i>SECCIÓN I: SELECCIÓN DE LA VARIEDAD DE DYOSPIROS KAKI</i>	66
4.1.1 <i>CARACTERÍSTICAS DE LAS FRUTAS DE KAKI</i>	67
4.1.2 <i>DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA (DO) - ENSAYOS PRELIMINARES</i>	68
4.1.2.1 <i>Color</i>	70
4.1.2.2 <i>Impregnación con calcio</i>	71
4.1.3 <i>ANÁLISIS DE ACEPTACIÓN/RECHAZO</i>	76
4.1.4 <i>SELECCIÓN DE LA VARIEDAD</i>	77
<i>SECCIÓN II: DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE DYOSPIROS KAKI VAR FUYU</i>	79
4.2.1 <i>AGENTE DESHIDRATANTE: SACAROSA</i>	80
4.2.1.1 <i>Pérdida de agua (ΔM_w)</i>	80
4.2.1.2 <i>Ganancia de soluto (ΔM_s)</i>	83
4.2.1.3 <i>Color</i>	86
4.2.1.4 <i>Propiedades mecánicas</i>	87
4.2.1.5 <i>Carotenos Totales</i>	88

4.2.1.6 <i>Análisis Sensorial de kaki deshidratado con solución de Sacarosa</i>	89
4.2.2 AGENTE DESHIDRATANTE: XILITOL	93
4.2.2.1 <i>Pérdida de agua</i>	93
4.2.2.2 <i>Ganancia de soluto</i>	96
4.2.2.3 <i>Color</i>	98
4.2.2.4 <i>Propiedades mecánicas</i>	100
4.2.2.5 <i>Carotenos Totales</i>	101
4.2.2.6 <i>Cinética de deshidratación osmótica: Sacarosa y Xilitol</i>	102
SECCIÓN III: SECADO DE DYOSPIROS KAKI VAR FUYU	105
4.3.1 CINÉTICA DE PÉRDIDA DE AGUA	106
4.3.1.1 <i>Secado Continuo</i>	106
4.3.1.2 <i>Secado Intermitente</i>	108
4.3.1.3 <i>Proceso Combinado de Deshidratación Osmótica y Secado</i>	114
4.3.2 PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS	117
4.3.2.1 <i>Color</i>	117
4.3.2.2 <i>Carotenos totales</i>	118
4.3.2.3 <i>Propiedades Mecánicas</i>	120
4.3.2.4 <i>Rehidratación</i>	121
4.3.3 ISOTERMAS DE SORCIÓN	125
SECCIÓN IV: ALMACENAMIENTO DE FRUTAS DE DYOSPIROS KAKI VAR. FUYU	132
4.4.1 INFLUENCIA DEL TIEMPO DE ALMACENAMIENTO EN LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS	133
4.4.1.1 <i>Contenido de agua</i>	133
4.4.1.2 <i>Color</i>	135
4.4.1.3 <i>Carotenos totales</i>	139
4.4.1.4 <i>Propiedades mecánicas</i>	142
CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES GENERALES	145
CAPITULO 5: CONCLUSIONES GENERALES	146
<i>Selección de la Variedad</i>	146
<i>Deshidratación Osmótica</i>	146
<i>Secado</i>	148
<i>Almacenamiento</i>	149
CAPÍTULO 6: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	152
ANEXOS	173
ANEXO I. PLANILLAS DE ACEPTACIÓN / RECHAZO	173
ANEXO II. PLANILLAS DE ACEPTACIÓN / RECHAZO	174
ANEXO III. PLANILLA DE TEST DE TRIÁNGULO	175
ANEXO IV. PLANILLAS DE GENERACIÓN DE DESCRIPTORES	176
ANEXO V. PLANILLAS DE ANÁLISIS SENSORIAL DESCRIPTIVO (PLANILLA DE ENTRENAMIENTO)	177

Capítulo 1: Introducción y Objetivos

1.1 Resumen

Una desventaja del productor agrícola de la provincia de Misiones es la baja rentabilidad que obtiene por sus productos debido a los bajos precios en el mercado local (alta competitividad con otros productores locales) y las distancias a los grandes centros urbanos. Entre las frutas tropicales cultivadas en la provincia de Misiones tenemos el *Dyospiros kaki*, destacándose tres variedades: Fuyu, Rama Forte y Giombo. De las tres variedades únicamente las variedades Fuyu y Giombo se pueden ingerir en cualquier estado de madurez, las frutas de la variedad Rama Forte posee gran astringencia antes de su completa madurez, tornándola difícil de consumir. La principal dificultad que presenta esta fruta es el breve tiempo que se cuenta para su cosecha y comercialización, por ende es necesario el diseño de métodos de conservación de la fruta para su posterior consumo, mejorando de esta manera las posibilidades de comercialización.

A tal fin, en el presente Trabajo de Tesis se evalúa la aplicación de procesos sencillos, viables de ser implementados en la región, para extender la vida útil de frutas de *Dyospiros kaki*: deshidratación osmótica, secado y combinación de los mismos. La evaluación de estos procesos se realizó sobre la base de la calidad nutricional y sensorial de los productos finales, junto al análisis de la eficiencia de los mismos, Asimismo y de manera complementaria, se estudió la dinámica en la retención de nutrientes durante el almacenamiento de frutas de *Dyospiros kaki* var Fuyu, a temperatura ambiente (25 °C) y en condiciones de refrigeración (4 °C).

1.2 Objetivo

El objetivo de la tesis es establecer condiciones de deshidratación de frutas de *Dyospiros kaki* que extiendan su vida útil preservando las características sensoriales y nutricionales, y cuantificar los cambios en la calidad de la fruta deshidratada durante el almacenamiento en diferentes condiciones.

1.2.1 Objetivos específicos

1. Seleccionar la variedad de *Dyospiros kaki* más idónea para los tratamientos de preservación
2. Establecer condiciones de los procesos de deshidratación osmótica y secado, y combinación de los mismos, que permitan seleccionar, en base a la cinética de deshidratación y las características fisicoquímicas, dos productos: fruta parcialmente deshidratada y fruta deshidratada estable a temperatura ambiente.

3. Obtener productos de diferente aporte calórico, a través de la aplicación de distintas sustancias osmoactivas en el proceso de deshidratación osmótica.
4. Evaluar la calidad de los productos obtenidos, para lo cual, mediante técnicas instrumentales y evaluación sensorial se evaluarán los cambios en color superficial, textura, contenido de carotenos y aceptabilidad del producto.
5. Evaluar la pérdida de calidad de la fruta deshidratada durante el almacenamiento en condiciones de temperatura y humedad fijas, en función del tiempo.

1.3 Palabras Clave

Dyospiros kaki – Deshidratación Osmótica – Secado – Vida Útil – Calidad Nutricional – Almacenamiento

1.4 Abstract

A disadvantage of the agricultural producer in the province of Misiones is the low profitability obtained for its products due to the low prices in the local market (high competitiveness with other local producers) and the distances to large urban centers. Among the tropical fruits grown in the province of Misiones we have the *Dyospiros kaki*, standing out three varieties: Fuyu, Rama Forte and Giombo. Of the three varieties, only the Fuyu and Giombo varieties can be eaten at any stage of maturity, the fruits of the Rama Forte variety have great astringency before full maturity, making it difficult to consume. The main difficulty that this fruit presents is the short time that is counted for its harvest and commercialization, therefore it is necessary to design methods of preserving the fruit for its later consumption, thus improving the possibilities of commercialization. To this end, this Thesis Work evaluates the application of simple processes, feasible to be implemented in the region, to extend the useful life of *Dyospiros kaki* fruits: osmotic dehydration, drying and their combination. The evaluation of these processes was carried out on the basis of the nutritional and sensory quality of the final products, together with the analysis of their efficiency. Likewise and in a complementary way, the dynamics in the retention of nutrients during the storage of fruits of *Dyospiros kaki* var Fuyu, at room temperature (25 ° C) and under refrigeration conditions (4 ° C).

1.5 Objective

The objective of the thesis is to establish dehydration conditions of Diospyros kaki fruits that extend their shelf life while preserving the sensory and nutritional characteristics, and to quantify the changes in the quality of the dehydrated fruit during storage under different conditions.

1.5.1 Objetivos específicos

1. Select the most suitable variety of Diospyros kaki for preservation treatments
2. Establish conditions for the osmotic dehydration and drying processes, and their combination, that allow selecting, based on dehydration kinetics and physicochemical characteristics, two products: partially dehydrated fruit and dehydrated fruit stable at room temperature.
3. Obtain products with different caloric intake, through the application of different osmoactive substances in the osmotic dehydration process.
4. Evaluate the quality of the products obtained, for which, by means of instrumental techniques and sensory evaluation, the changes in surface color, texture, carotene content and acceptability of the product will be evaluated.
5. Evaluate the quality loss of dehydrated fruit during storage under fixed temperature and humidity conditions, as a function of time.

1.6 Keywords

Diospyros kaki - Osmotic Dehydration - Drying - Shelf Life - Nutritional Quality - Storage

Capítulo 2:

Antecedentes

2.1 *Dyospiros kaki*: Origen y Caracterización

El kaki o caqui es una especie arbórea de la familia de las Ebenáceas, pertenece al género *Diospyros* L. El nombre científico para el caqui es *Diospyros kaki*, es originario de China, aunque actualmente se cultiva en diversas regiones cálidas del mundo (Ashtiani et al., 2016).

Es un árbol que llega a alcanzar hasta doce o más metros de altura, posee tronco corto y copa extendida. Según el sistema integrado de información taxonómica (ITIS), la especie presenta las características detalladas en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1: Clasificación y detalles de la especie.

Reino	<i>Plantae</i>
Subreino	<i>Viridiplantae</i>
División	<i>Tracheophyta</i>
Clase	<i>Magnoliopsida</i>
Orden	<i>Ericales</i>
Familia	<i>Ebenaceae</i>
Género	<i>Diospyros</i> L.
Especie	<i>Diospyros kaki</i>
	<i>Thunb</i>
Hábito	<i>Arbolito</i>
	<i>(-Perenne-)</i>

El fruto es una baya redondeada similar a un tomate, su tamaño puede variar de 40 a 60 mm de diámetro longitudinal, 60 a 100 mm de diámetro transversal y su peso varía de 80 a 200 g. La fruta es tradicionalmente usada con fines medicinales (Ferrini & Pennati, 2008; Giordani et al., 2011). Existen diversas variedades del fruto de kaki, y cada variedad tiene su forma característica.

El fruto está formado por 3 partes:

- El epicarpio o cáscara.
- El mesocarpio o pulpa.
- El endocarpio que contiene las semillas y mucílago (en algunas variedades).

La coloración del fruto varía de naranja a rojo oscuro dependiendo de la especie y del estado de madurez. El grado de maduración de los frutos de kaki se relaciona con la coloración de la cáscara. Kader (1999) propone una escala de maduración para frutas de *Dyospiros kaki* de acuerdo a la coloración de la cáscara: de amarillo claro o verde

claro (frutas no maduras) a naranja-rojo (frutas en estado de madurez óptimo). En su estado no maduro la fruta tiene la piel verde y una textura firme, además presenta gran cantidad de taninos que hace imposible ingerirla (en ciertas variedades). Según la variedad también presentan o no semillas.

En general, la firmeza es una de las mayores características texturales que es utilizada para definir la maduración de la fruta, la reducción de la firmeza durante la maduración de *Dyospiros kaki* var. Fuyu es del 82 % (Luo, 2006).

2.2 Variedades

Todos los frutos de kaki pueden ser consumidos en su estado completo de madurez (es decir, cuando su pulpa es blanda), pero algunas variedades pueden no ser aptas para el consumo al momento de la cosecha (cuando las frutas son firmes). Por lo tanto, pueden clasificarse en astringentes y no astringentes dependiendo si pierden o no la astringencia en el árbol durante su madurez (Yamada et al., 2012, Yanemori et al., 2000). Los frutos maduros de las variedades no astringentes pueden ser ingeridos cuando aún presentan firmeza. Las variedades astringentes deben ser tratadas con dióxido de carbono o vapor de etanol para eliminar la astringencia antes de ser consumidos; de no ser así, se pueden consumir una vez que alcanzan un elevado grado de madurez, presentando una textura muy blanda.

Estos grupos se subdividen según su respuesta a la polinización en variedades de “polinización constante” y “polinización variable”; los primeros poseen la característica de no variar el color de la pulpa bajo la influencia de la polinización, mientras que los de polinización variable el color de la pulpa se oscurece como consecuencia de la polinización (Yamada et al., 2012). A su vez las variedades pueden ser clasificadas en cuatro grupos:

- ✓ Polinización constante no astringente (PCNA): No astringentes al momento de la recolección, la pulpa es clara aunque normalmente presenta manchas oscuras (Sugiura, 1983; Naval et al., 2012).
- ✓ Polinización variable no astringente (PVNA): Los frutos no presentan astringencia al momento de la recolección comercial si están fecundados (frutos con semillas), pero pueden ser astringentes si no están fecundados (frutos sin semillas) (Mori, 1958). Si los frutos están fecundados, la pulpa es oscura y presenta manchas marrones alrededor de las semillas (Naval et al., 2012). En cambio, si los frutos no están fecundados (partenocárpicos), la pulpa es clara en el momento de la recolección (Naval et al., 2012).

✓ Polinización constante astringente (PCA): Presenta frutos astringentes al momento de la recolección (Sugiura, 1983; Naval et al., 2012). Estos frutos presentan pulpa de color claro sin manchas marrones.

✓ Polinización variable astringente (PVA): Presentan una pulpa no astringente alrededor de las semillas donde se forma una zona marrón (Naval et al., 2012).

La Tabla 2.2 muestra las variedades más importantes y al grupo al que pertenecen.

Tabla 2.2: Lista de algunas variedades de kaki y su correspondiente grupo

Variedad	Grupo
<i>Fuyu</i>	PCNA
<i>Jiro</i>	PCNA
<i>Hana Fuyu</i>	PCNA
<i>Izu</i>	PCNA
<i>Koda Gosho</i>	PCNA
<i>Kaki Tipo</i>	PVNA
<i>Nishimura Wase</i>	PVNA
<i>Shogats</i>	PVNA
<i>Akagaki</i>	PVNA
<i>Giboshi</i>	PVNA
<i>Hachiya</i>	PCA
<i>Rama Forte</i>	PCA
<i>Yokono</i>	PCA
<i>Triumph</i>	PCA
<i>Saijyo</i>	PCA
<i>Aizumishirazu</i>	PVA
<i>Giombo</i>	PVA
<i>Rojo Brillante</i>	PVA
<i>Sugitawase</i>	PVA

Fuente: Naval et al. (2010); Giordani et al. (2011)

Las variedades astringentes desarrollan astringencia debido a la presencia de taninos solubles en agua (proantocianidinas), distribuidas por toda la pulpa del fruto. Los taninos son compuestos de polifenoles con un alto peso molecular. A medida que la fruta madura, los taninos solubles se convierten gradualmente en taninos insolubles, lo que hace que la fruta sea menos astringente (Noypitak et al., 2015). En la boca los taninos precipitan las proteínas presentes en la saliva, principalmente la amilasa, los cuales una vez unidos a los receptores de sabor causan una sensación de sequedad en la boca, típico de alimentos astringentes (Taira, 1994). Existen diversos

tratamientos para la eliminación de la astringencia; el tratamiento con dióxido de carbono y vapor de etanol cambian los taninos solubles a insolubles, así la fruta pierde la astringencia. Si el tratamiento es demasiado corto, puede dar como resultado frutos con astringencia residual (Besada et al., 2010), mientras que si es demasiado largo, puede conducir a la pérdida de calidad de la fruta (Novillo et al., 2014). En las variedades de polinización variable (PV), las semillas exudan acetaldehído y etanol, el primero hace que los taninos solubles se condensan o coagulen volviéndose insolubles y oxidados, como resultado se forman manchas marrones. Las variedades con grandes cantidades de semillas que producen una cantidad considerable de acetaldehído no son astringentes y se clasifican como PVNA, mientras que las variedades cuyas semillas producen poco acetaldehído mantienen la astringencia y se clasifican como PVA. En las variedades PCA, las semillas producen muy poco acetaldehído y etanol, y como resultado, el color de la fruta no cambia por la formación de semillas. Los frutos en los cultivares PCNA dejan de acumular taninos en la fase temprana del crecimiento de los frutos, mientras que otros tipos (PVNA, PVA y PCA) acumulan taninos hasta la fase tardía del desarrollo del fruto (Yonemori y Matsushima, 1985). En Misiones se encuentran predominantemente tres variedades con cultivos introductorios y con amplia expansión, estas variedades son la variedad Fuyu (se lo conoce también como “kaki dulce”); la variedad Rama Forte y la variedad Giombo (también conocido como “Kaki chocolate”).

En la Figura 2.1 y 2.2 se observan los tres cultivares de kaki cultivados en la Provincia de Misiones y la Morfología del *Dyospiros kaki* en sus distintas variedades.



Figura 2.1: *Dyospiros kaki* variedades Fuyu, Rama forte y Giombo, fuente: <http://www.mundoboforma.com.br/calorias-do-caqui-tipos-porcoes-e-dicas/>

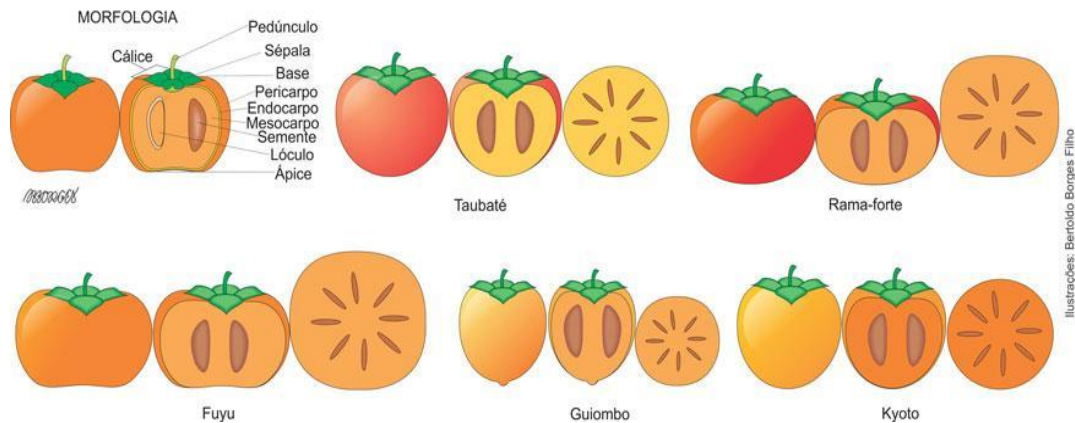


Figura 2.2 Morfología del *Dyospiros kaki* en sus distintas variedades, fuente: <http://cariocasdamontanha.blogspot.com.ar/2016/04/a-fruta-do-mes-caqui.html>

2.3 Composición aproximada y valor nutricional

El *Dyospiros kaki* tiene un bajo contenido de proteínas y grasas, y alrededor del 16 % de carbohidratos, principalmente azúcares. Estos azúcares son principalmente fructosa, glucosa y sacarosa. La relación entre el contenido de azúcares individuales y ácidos orgánicos se correlacionan directamente con el dulzor y el sabor característico de la fruta (Veberic et al., 2010). En frutas climatéricas, como el *Dyospiros kaki*, el contenido de azúcares (principalmente la sacarosa) y de carotenos totales aumentan en las etapas finales de madurez y firmeza, disminuyendo los niveles de taninos solubles y la acidez titulable (Candir et al., 2009). Además, el *Dyospiros kaki* tiene pectina y mucílagos como parte de la fibra soluble y una gran cantidad de fibra insoluble (Pérez-Burillo et al., 2018). Esta fruta es rica en compuestos bioactivos, como taninos condensados (Gu et al., 2008), carotenoides (Rao & Rao, 2007) y fibra (Butt et al., 2015). De hecho, el *Dyospiros kaki* tiene 160 – 250 mg de polifenoles / 100 g de peso fresco y 2 - 4 mg de carotenoides / 100 g de peso fresco (Butt et al., 2015).

Con respecto a los micronutrientes, el *Dyospiros kaki* es una fuente excepcional de provitamina A como β -caroteno (con 160 μ g / 100 g de peso fresco). Tiene cantidades importantes de potasio, pero cantidades bastante bajas de otros minerales como el magnesio y el fósforo (Pérez-Burillo et al., 2018).

A pesar de que existen evidencias de que el *Dyospiros kaki* es una buena fuente de Vitamina C (Del Bubba et al., 2009; Giordani et al., 2011), otros estudios no evidenciaron presencia de ácido ascórbico en pulpa de frutas de *Dyospiros Kaki* (Romero Rodríguez et al., 1992). La cáscara de la fruta en particular presenta un elevado contenido de polifenoles y carotenos (George & Redpath, 2008), lo cual contribuye al color naranja de las frutas maduras. Altas concentraciones de carotenos

en *Dyospiros Kaki* no solamente presenta una importante propiedad biológica, sino que también es favorable desde el punto de vista de la comercialización.

En la Tabla 2.3 se muestra la composición aproximada promedio del *Dyospiros Kaki*:

Tabla 2.3: Composición nutricional del *Dyospiros Kaki* (USDA, 2019)

Nutriente	Unidad	Valor cada 100 g
Energía	kcal	70
Proteínas	g	0,58
Lípidos totales	g	0,19
Carbohidratos	g	18,59
Fibra Dietaria	g	3,6
Azúcares totales	g	12,53
Minerales		
Calcio	mg	8
Hierro	mg	0,15
Magnesio	mg	9
Fosforo	mg	17
Potasio	mg	161
Sodio	mg	1
Vitaminas		
Vitamina C	mg	7,5
Tiamina	mg	0,03
Riboflavina	mg	0,02
Niacina	mg	0,1
Folatos	µg	8
Vitamina A	µg	81
Vitamina E	mg	0,73
Vitamina K	µg	2,6

2.4 Producción Mundial y Nacional

La producción mundial de fruta tropical según la FAO alcanzó los 92,2 millones de toneladas en 2017 (FAOSTAT, 2017), esta cifra representa un incremento interanual del 1,9 % respecto al 2016, frente a una tasa media anual de crecimiento del 3,6 % de los diez años anteriores.

El consumo de fruta fresca aumenta cada año en todo el mundo, producto de una serie de factores que involucran al cambio de hábito alimentario de los consumidores, como por ejemplo el mayor interés en la salud y aspectos nutritivos de los alimentos.

La producción mundial de *Dyospiros Kaki* fue de 5.750.368 toneladas en el año 2017 (FAOSTAT, 2017). La mayor parte de la producción de caqui se encuentra en Asia, con el 91% de la producción mundial, seguida de Europa. Los principales productores fueron China, Corea, España, Japón y Brasil con el 72; 7,5; 5,7; 4,3 y 3 % del total de la producción mundial, respectivamente. En Brasil el cultivo fue introducido por

inmigrantes japoneses en el inicio del siglo XX, con una mayor expansión después de 1970 (Ferri et al., 2002). Para el año 2017, la producción en Brasil fue de 182.000 toneladas (FAOSTAT, 2017).

En Argentina es muy escaso su cultivo concentrándose en la localidad de San Pedro, provincia de Buenos Aires, que junto a otros frutales de menor importancia, llegan a concentrar 190 hectáreas. Asimismo, existen producciones comerciales de menor superficie en provincias como Tucumán, Formosa y Misiones.

La provincia de Misiones presenta pequeñas plantaciones particulares de esta fruta. Se encuentran predominantemente tres variedades introducidas desde el Brasil: la variedad Fuyu, la variedad Rama Forte y la variedad Giombo. El Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) de la ciudad de Montecarlo, Misiones posee cultivos introductorios de estas variedades en su campo de INTA Larrague.

2.5 Procesamiento de frutas de kaki

El desarrollo y el uso de tecnologías apropiadas para una mejor conservación de las frutas son muy importantes ya que extiende el período de comercialización, facilita el almacenamiento y el transporte. La demanda de frutas procesadas de buena calidad tanto organoléptica como nutricional aumenta continuamente, no sólo como productos terminados, sino también como ingredientes que se incluyan en alimentos complejos tales como helados, derivados de cereales, productos de confitería, productos de panadería o productos lácteos. En las últimas décadas, se ha promovido, la investigación sobre nuevas tecnologías para obtener frutos semielaborados, con el objetivo de reducir los costos industriales, reducir las pérdidas y satisfacer la demanda de los consumidores de frutas procesadas con características sensoriales similares al producto fresco (Cárcel et al., 2007; Li et al., 2012; Cano et al., 2019).

El *Dyospiros kaki* en su mayor parte es consumido fresco, pudiendo ser almacenado hasta 6 meses en atmósferas modificadas o controladas. Además, se comercializa en forma congelada, seca o en dulces y conservas. Entre las frutas procesadas, caquis deshidratados pueden ser una materia prima alternativa para diversas preparaciones alimenticias, como snacks o cereales para el desayuno. Es deseable que el color y el sabor de las frutas se mantengan lo más cerca posible a la original, preferentemente sin el uso de aditivos y preservando sus propiedades nutricionales (Cárcel et al., 2007). Así, Cano et al. (2019) estudiaron el efecto de la aplicación de altas presiones y de tratamientos térmicos en la biodisponibilidad de carotenos durante la digestión de *Dyospiros kaki* var. Rojo Brillante.

El secado es probablemente el método más antiguo e importante de preservación de alimentos. La deshidratación osmótica es un proceso que conduce a productos de humedad "intermedia". La deshidratación osmótica, seguido de secado por convección, está ganando interés, ya que permite controlar algunas características sensoriales y el color de los frutos.

Bozkir et al. (2019) utilizaron los ultrasonidos y la deshidratación osmótica como pretratamiento del secado de *Dyospiros kaki*. Sampaio et al. (2016) evaluaron el secado de muestras de *Dyospiros kaki* var Fuyu osmodeshidratadas determinando el coeficiente de difusividad. Así, Martínez et al. (2014) estudiaron el efecto del secado con aire caliente y el secado por congelación en los parámetros de calidad (propiedades fisicoquímicas, antioxidantes, emulsificantes y de rehidratación) de muestras de *Dyospiros kaki* var. Rojo Brillante.

2.6 Deshidratación Osmótica

2.6.1 Fundamentos

La deshidratación osmótica es una técnica usada principalmente en frutas y vegetales, que produce una reducción del contenido de agua y, por lo tanto, permite almacenar los alimentos por mayores periodos de tiempo. Esta técnica, también conocida como deshidratación - Impregnación por inmersión, es un proceso en el cual frutas enteras o cortadas son sumergidas en soluciones acuosas de azúcares y/o sales de alta presión osmótica (solución hipertónica) por un tiempo determinado de manera que ocurran procesos simultáneos de transferencia de agua y soluto a través de las membranas de las células (Shi & Xue, 2009; Tortoe, 2010).

La célula vegetal típica se compone de una pared celular que rodea al protoplasma, que a su vez se delimita por la membrana plasmática, la cual es una doble capa fosfolipídica donde se alojan proteínas que son responsables del control del transporte de agua y solutos entre la célula y el ambiente exterior, permitiendo el paso de moléculas pequeñas (como el agua) y restringiendo el paso de moléculas más grandes (como la sacarosa). La pared celular, que rodea todas las células vegetales, está compuesta principalmente por una red organizada de sustancias pécticas, hemicelulosas, celulosas y proteínas; la misma otorga tanto rigidez como protección a la célula, como fue descrito por Chiralt & Fito (2003) durante la deshidratación osmótica de manzana.

Dada la semi-permeabilidad de la membrana de las células, durante el proceso de deshidratación osmótica tienen lugar dos flujos principales simultáneos y en contracorriente (agua y solución hipertónica) debido al gradiente de potencial químico existente a un lado y otro de las membranas que integran el tejido parequimático del alimento. Sin embargo, existen flujos de solutos desde el alimento hacia la solución hipertónica (como ser colorantes, ácidos orgánicos, minerales, etc) pero son cuantitativamente insignificantes (Phisut, 2012).

Cuando un material sólido celular se sumerge en una solución hipertónica, las células de la primera capa del material entran en contacto con la solución y empiezan a perder agua por mecanismos como difusión molecular, difusión líquida, difusión de vapor, flujo hidrodinámico, transporte capilar, difusión superficial y más frecuentemente una combinación entre éstos (Chiralt & Talens, 2005; Shi & Xue, 2009). Esta pérdida se da debido al gradiente de concentración y el material comienza a encogerse. Luego de que estas células pierden agua, se establece una "diferencia de potencial químico de agua" entre la primera y la segunda capa de células. Posteriormente, las células de la segunda capa comienzan a transferir agua a las células de la primera, y luego se contraen. Esta operación de transferencia de masa y encogimiento se realiza desde la superficie hasta el centro del material dependiendo del tiempo de operación, hasta llegar a un equilibrio (Shi & Xue, 2009).

En la Figura 2.3 se muestran los flujos en contracorriente durante la deshidratación osmótica:

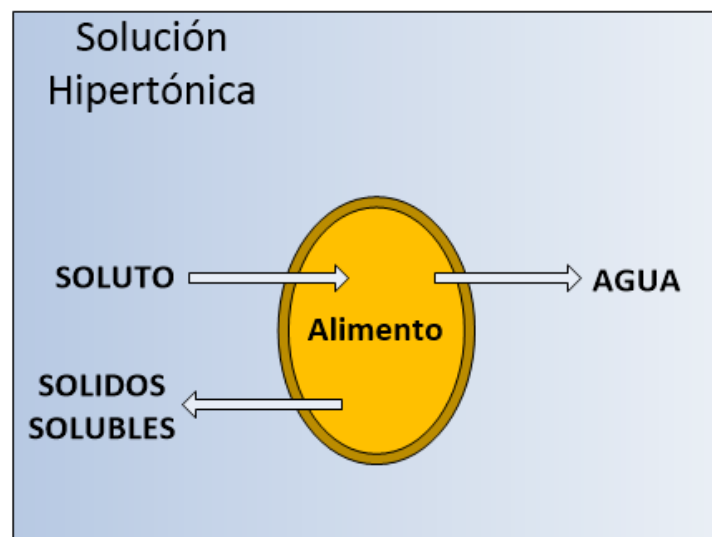


Figura 2.3 Flujos de masa involucrados en el proceso de deshidratación osmótica

Hay muchos beneficios del proceso de deshidratación osmótica en la industria alimentaria (Bekele & Ramaswamy, 2010). Entre los efectos de la deshidratación osmótica en frutas y vegetales se encuentran:

- Es un proceso de remoción de agua que implica bajas temperaturas de operación, minimizando las pérdidas nutricionales, así como el color y flavor.
- Poco encogimiento.
- Control de las características del flavor al utilizarse azúcares o jarabes como agentes osmóticos.
- Reducción de costos de envasado y distribución
- Reducción de la acidez de algunas frutas dando un sabor más dulce, dada la ganancia de soluto durante el proceso.
- Consumo de energía menor ya que no hay cambio de fase involucrado.
- Aumento de la densidad del producto debido a la ganancia de solutos.
- Se requieren equipos sencillos para el proceso.

2.6.2 Variables del proceso

La transferencia de masa depende de factores como el tiempo de inmersión, la temperatura, la naturaleza del material vegetal, el tipo y la concentración de la solución osmodeshidratante, la relación jarabe/fruta, el grado de agitación del medio, la humedad inicial de la fruta, entre otros (Reyes et al., 2008; Fernandes et al., 2008).

Tiempo de inmersión

La pérdida de agua durante el proceso de deshidratación osmótica se produce a un ritmo mayor en las primeras horas de deshidratación-impregnación. Según Phisut (2012) la velocidad de pérdida de agua durante el proceso es alta en las primeras dos horas, disminuyendo lentamente en las horas sucesivas hasta alcanzar el equilibrio. Sin embargo, la ganancia de soluto se mantiene a una velocidad constante durante el proceso.

Nieto et al. (2004) estudiaron la deshidratación osmótica de manzanas utilizando glucosa y sacarosa como agentes osmóticos, la pérdida de agua fue significativa durante las primeras dos horas, disminuyendo gradualmente en las sucesivas horas. La ganancia de solutos presentó un comportamiento inverso, aumentando conforme transcurren las horas. Comportamiento similar encontraron Lazarides & Mavroudis, (1996) durante la deshidratación osmótica de papas utilizando jarabe de maíz como agente osmótico.

Temperatura

La temperatura ejerce un efecto importante sobre la cinética de deshidratación osmótica, ya que con el aumento de la misma disminuye la viscosidad de la solución hipertónica aumentando, por lo tanto, la velocidad de deshidratación. Dermesonlouoglou et al. (2008) encontraron que tanto la velocidad de pérdida de agua como la de ganancia de soluto aumentan con el aumento de la temperatura de la solución hipertónica. A temperaturas superiores a 50 °C se evidencian los efectos de pardeamiento no enzimático y de ablandamiento de los tejidos, por ende limitan el proceso para tejidos vegetales (Kowalska et al., 2008; Castello et al., 2009). Sin embargo, la temperatura máxima de procesamiento es una particularidad de cada proceso ya que depende de la naturaleza del producto a deshidratar. Según Silva et al. (2000) para pera, cereza o banana son recomendables temperaturas entre 40 y 60 °C. Lombard et al. (2008) estudiaron el efecto de la deshidratación osmótica en los diferentes flujos másicos (pérdida de agua, ganancia de soluto y reducción de peso) en *Anana Comusus* var. Cayena Lisa a diferentes concentraciones del agente osmótico (45, 55 y 65 °Brix) y a diferentes temperaturas (30, 40 y 50 °C); encontrando que la temperatura afecta principalmente a la pérdida de agua y la concentración del agente osmótico a la ganancia de soluto, aumentándolos en ambos casos.

El efecto favorable de la temperatura también fue encontrado por Tonon et al. (2007) en tomates deshidratados osmóticamente a varias temperaturas (20 - 40 °C), distintas concentraciones del agente osmótico (0 % de sal / 65 % de sacarosa – 10 % de sal / 55 % de sacarosa) y distintas velocidades de agitación (0 - 1000 rpm), evidenciando el aumento tanto en la pérdida de agua como en la ganancia de soluto a causa del aumento de temperatura (la cual reduce la viscosidad de la solución facilitando el transporte de agua y soluto a través de la membrana).

Ramallo & Mascheroni (2005) estudiaron la pérdida de agua, la ganancia de soluto y la variación en la concentración de otros azúcares naturales (glucosa y fructosa) de ananá deshidratado a 60 °Brix y tres temperaturas (30, 40 y 50 °C), encontrando un incremento de la pérdida de agua y la ganancia de soluto con el aumento de la temperatura.

Propiedades y geometría del material vegetal

Las propiedades del material a deshidratar influyen tanto en la pérdida de agua como en la ganancia de soluto. El congelamiento, maduración, tamaño de los espacios intercelulares y acción de enzimas son factores que afectan a las características del

material. Diferencias en la composición química (proteínas, grasas, carbohidratos, minerales, etc) y en las propiedades físicas (orientación de las fibras, cáscara y porosidad), además de la variación entre especies y distintos niveles de maduración influyen en la cinética de transferencia de masa durante la deshidratación osmótica (Rahman, 2007).

Mauro & Menegalli (2003) propusieron un modelo para determinar el perfil de concentraciones de agua y sacarosa en función de la posición para papas deshidratadas osmóticamente a 27 °C en solución de sacarosa a 50 °Brix. Encontraron que, además de los factores estructurales del tejido vegetal (como permeabilidad de la membrana, porosidad, etc), la contracción elástica del material influyó en la transferencia de masa.

Lerici et al. (1985) estudiaron el efecto de la geometría (bastones, rodajas, cubos y anillos) del material en la ganancia de soluto y pérdida de agua de manzanas deshidratadas osmóticamente, reportando mayores pérdidas de agua para frutas cortadas en anillos y mayor ganancia de soluto para aquellas cortadas en cubos.

Tipo de agente osmótico

Se utilizan diversos agentes osmóticos de acuerdo a las características del producto final, el proceso de deshidratación osmótica es afectado por las propiedades fisicoquímicas, la solubilidad, el estado iónico y el peso molecular de los solutos empleados y la compatibilidad de los mismos con el alimento a deshidratar debe ser un criterio importante. La solución osmótica debe tener una baja actividad del agua y el soluto empleado debe presentar un sabor agradable y no ser tóxico. Los agentes osmóticos de bajo peso molecular pueden penetrar fácilmente dentro de las células de frutas y vegetales en comparación con los de alto peso molecular (Phisut, 2012). Catelló et al. (2009) estudiaron la deshidratación osmótica de manzanas en jarabe de sacarosa y fructosa, las frutas tratadas con fructosa absorbieron un 70 % más de sólidos que aquellas deshidratadas con sacarosa.

Entre los solutos más utilizados como agentes osmóticos se encuentran la sacarosa, glucosa, sorbitol, glicerol, jarabe de glucosa, jarabe de maíz y fructo-oligosacaridos. En el caso de frutas, el agente osmótico más utilizado son los azúcares (más precisamente la sacarosa), dada su eficacia y compatibilidad con esta materia prima (Souza et al., 2007; Lombard et al., 2008; Atarés et al., 2009; Tortoe et al., 2010).

Ispir & Trogul (2009) evaluaron la influencia de varios agentes osmóticos (sacarosa, glucosa, fructosa, sorbitol y maltodextrina) sobre la velocidad de transferencia de masa

durante la deshidratación osmótica de damasco, obteniendo la mayor y menor pérdida de agua con las soluciones de sacarosa y sorbitol, respectivamente. Por otro lado, las ganancias de soluto más altas y más bajas fueron obtenidas por soluciones de maltodextrina y fructosa, respectivamente. El sorbitol se obtiene por reducción de la glucosa y posee un peso molecular menor que la sacarosa. A su vez, la maltodextrina tiene un peso molecular considerablemente más alto en comparación con los otros agentes osmóticos usados, la mayor ganancia de solutos en este caso se atribuye con su característica de absorción más alta. Además de suministrar una baja ganancia de solutos, la fructosa proporciona una alta presión osmótica. Por lo tanto, las soluciones de sacarosa y fructosa son las mejores en la deshidratación osmótica de los damascos debido a la alta pérdida de agua y la baja ganancia de solutos.

Mendonça et al. (2015) estudiaron la optimización de la deshidratación osmótica asistida por ultrasonido en rodajas de Yacon utilizando xilitol y sorbitol como agentes osmóticos. Encontraron relaciones lineales tanto en la pérdida de agua como en la ganancia de soluto para ambos agentes osmóticos.

Concentración del agente osmótico

Durante la deshidratación osmótica un aumento en la concentración de agente osmótico resulta un aumento tanto en la pérdida de agua como en la ganancia de soluto. Estos resultados concuerdan con los estudios de Falade et al. (2007), los cuales monitorearon la deshidratación osmótica de sandía utilizando sacarosa como agente osmótico a tres concentraciones (40, 50 y 60 °Brix). Se reportó un incremento tanto en la pérdida de agua como en la ganancia de soluto con el aumento de la concentración, las muestras sumergidas en la solución de 60 °Brix presentaron mayores valores de pérdida de agua y ganancia de soluto en comparación a las otras concentraciones. Resultados similares encontraron Mundada et al. (2011) en aros de granada deshidratadas osmóticamente a tres concentraciones (40, 50 y 60 °Brix).

Sin embargo, algunos autores reportaron que la alta concentración de agente osmótico puede no mejorar la ganancia de soluto. Giraldo et al. (2003) estudiaron la deshidratación osmótica de mango a 30 °C usando soluciones de sacarosa a 35, 45, 55 y 65 °Brix. Informaron que la tasa de transferencia de agua se incrementó cuando la concentración de sacarosa aumentó hasta 45 °Brix, mientras que este efecto no apareció entre 55 y 65 °Brix. Un efecto de endurecimiento podría ser el responsable de la reducción de la transferencia de masa a la concentración más alta de sacarosa.

Cuando la solución externa está más concentrada, la penetración del líquido es más limitada dada la viscosidad.

Relación jarabe/fruta

La relación de masa entre la muestra y la solución es de gran importancia en el tratamiento osmótico de frutas y vegetales. Se utiliza normalmente una proporción alta (1:10 a 1:60) para evitar la dilución del medio que puede ocurrir debido a la ganancia de agua y a la pérdida de soluto por parte del mismo (Tiwari, 2005).

Silva et al. (2012) evaluaron la pérdida de agua, ganancia de soluto y pérdida de masa durante la deshidratación osmótica de cerezas, utilizando distintas relaciones de masa de muestra/solución osmótica (1:4, 1:10 y 1:15). La pérdida de agua entre 2 y 9 h de proceso osmótico fue mayor para la relación 1:10 que para la relación 1:15, probablemente debido a la concentración de sacarosa en la capa externa de la fruta, que actúa como una resistencia adicional a transferencia de agua entre la muestra y solución. Resultados similares obtuvieron Teles et al. (2006) en la deshidratación osmótica de melones en solución de sacarosa a 45, 55 y 65 °Brix y utilizando relaciones de 2:1 y 4:1, la transferencia de masa de agua entre la fruta y la solución osmótica fue mayor para las condiciones en que la relación fue de 4:1. Sin embargo, dadas las bajas relaciones de masa de muestra/solución osmótica, la pérdida de agua se produjo lentamente debido a la dilución de la solución osmótica.

Agitación

Como se mencionó anteriormente, el aumento en la concentración de agente osmótico tiene efecto positivo sobre la pérdida de agua en las células. Sin embargo, este aumento de concentración acarrea un aumento en la viscosidad de la solución generando problemas tales como la flotación del material alimenticio dificultando el contacto entre el material y la solución osmótica. Por lo tanto, para mejorar la transferencia de masa, la agitación puede ser aplicada durante la deshidratación osmótica (Moreira et al., 2007). El proceso de agitación promueve la turbulencia, lo que conduce a una mayor tasa de difusión durante el proceso. Mavroudis et al. (1998) estudiaron el efecto de la agitación en la deshidratación osmótica de manzanas. Las muestras tratadas con agitación presentaron mayores pérdidas de peso que aquellas tratadas sin agitación. Resultados similares obtuvieron Moreira et al. (2007) en

castañas, donde las muestras con agitación mostraron una mayor pérdida de peso que las muestras sin agitación.

2.6.3 Alcance del proceso de deshidratación osmótica

Dada la característica del proceso, la deshidratación osmótica ha sido propuesta por diversos autores como un pre tratamiento eficaz en diversas técnicas de preservación (Nieto et al., 1998), ya sea antes del secado, pasteurización, liofilización o congelación. Esta técnica se realiza con un tratamiento térmico suave (30 – 50 °C); por lo que no se produce daño térmico en las membranas de los alimentos. El uso de una solución de azúcar altamente concentrada previene el pardeamiento enzimático de las frutas y verduras, reteniendo así el color del producto final, esto puede deberse a un efecto crioprotector sobre la textura y el color. Además, la deshidratación osmótica previene el daño estructural durante el proceso de secado posterior (Maestrelli et al., 2001). Osorio et al. (2007) estudiaron el cambio de color y sabor durante la deshidratación osmótica de moras y tomates de árbol con tres agentes osmóticos diferentes: sacarosa (70 °Brix), sacarosa (70 °Brix) - glicerol (65 °Brix) 1:1 y etanol, este proceso conduce a la transferencia del pigmento de antocianina y de los constituyentes aromatizantes a la solución osmótica.

Heredia et al. (2009) evaluaron el efecto de las condiciones de proceso de deshidratación osmótica en soluciones de sacarosa, lactato de calcio y sal previo al secado con aire caliente asistido con microondas, en los cambios de color, retención de carotenos y alteración en el tejido celular de tomates cherris. Las muestras tratadas con soluciones osmóticas de 27,5 % de sacarosa, 10 % de sal, 2 % de lactato de calcio previo al secado con aire asistido por microondas presentaron mejores atributos de calidad y mayor vida útil que las muestras no tratadas.

Los productos deshidratados osmóticamente son de humedad intermedia y están listos para consumir o ser utilizados en procesos subsiguientes. Así, la deshidratación osmótica no produce un producto de baja humedad que tenga una vida útil prolongada y, por lo tanto, se complementa con otras técnicas de secado tales como secado por congelación, convección, vacío o microondas (Bekele & Ramaswamy, 2010). El secado con aire después del tratamiento osmótico se usa frecuentemente en países tropicales para el desarrollo de frutos secos semi-confitados. El proceso de deshidratación osmótica no requiere ningún tratamiento químico para inhibir el pardeamiento enzimático ya que el azúcar juega un papel importante en la inhibición efectiva de la polifenoloxidasa. Además, evita la pérdida de compuestos volátiles

durante el secado con aire. Debido a la inmersión continua del producto en la solución osmótica, el tejido animal o vegetal no está expuesto al oxígeno; por lo tanto, no se requiere el uso de antioxidantes (Bekele & Ramaswamy, 2010).

Fernandes et al. (2008) encontraron que la deshidratación osmótica de melón utilizando solución de sacarosa a 70 °Brix indujo cambios significativos en la estructura celular del melón. A partir de 2 horas de tratamiento osmótico se observó una ruptura de la pared celular debido a la solubilización de la pectina, combinada con una alta presión osmótica y el flujo de moléculas de azúcar en la fruta.

2.6.4 Efecto del calcio en las frutas

Diversos autores estudiaron el efecto del agregado de sustancias a la solución osmótica, o la aplicación de pretratamientos a las muestras con el fin de resaltar, y/o preservar alguna característica del fruto (ya sea la firmeza, color, calidad nutricional, etc).

Fenómenos como la pérdida de agua o de solutos nativos, la penetración / difusión de solutos externos y alteración fisiológica de las células debido a la ocurrencia de reacciones químicas y bioquímicas, provocan cambios en las propiedades mecánicas, en un grado diferente dependiendo de las condiciones del proceso y las características del producto (Chiralt et al., 2001). Estos cambios están directamente relacionados con la firmeza del producto. Los principales cambios inducidos por el tratamiento osmótico que afectan el comportamiento mecánico de los tejidos vegetales son la pérdida de turgencia celular, la alteración de la lámina media, la alteración de la resistencia de la pared celular, el establecimiento de perfiles de concentración de agua y soluto, y cambios en el tamaño y la forma de la muestra (Chiralt et al., 2001).

Es bien sabido el efecto del calcio sobre las propiedades mecánicas de frutas, las enzimas pécticas (poligaracturonasa y metilesterasa) juegan un papel importante en este proceso. El calcio se relaciona con la firmeza del tejido vegetal debido a su capacidad de interactuar con las pectinas (los iones calcio forman puentes con los carboxilos libres de las cadenas de pectinas) (Brummell et al., 2004; Willats et al., 2006), por lo cual la adición de calcio a la matriz vegetal puede resultar en un aumento de la firmeza del tejido. Las sales de calcio, especialmente el lactato de calcio y el cloruro de calcio, se usan en combinación con inhibidores de pardeamiento como agentes de firmeza en una amplia variedad de frutas y verduras enteras, peladas y recién cortadas (Raybaudi-Massilia et al., 2007).

La incorporación de calcio en los tejidos vegetales puede realizarse mediante procesos de impregnación a presión atmosférica, impregnación a vacío o mediante una combinación de éstos. La impregnación con calcio es un proceso que consiste en sumergir el alimento en soluciones de sales de calcio, su finalidad es incorporar el calcio en la matriz vegetal para preservar las características de sus propiedades mecánicas frente al almacenamiento o procesos posteriores y/o lograr alimentos funcionales. La impregnación a presión atmosférica se realiza durante tiempos cortos del orden de minutos cuando el objetivo es la mantención de la firmeza de los tejidos, generalmente en frutas cortadas listas para consumir (Silveira et al., 2011, Aguayo et al., 2015). Mientras que cuando se busca obtener un tejido resistente a procesos posteriores o alimentos enriquecidos, el proceso se realiza por tiempos más prolongados o por medio de impregnación al vacío (Anino et al., 2006). En tratamientos térmicos a bajas temperaturas, también se produce la pérdida de permeabilidad selectiva de la membrana, dando lugar a la difusión de los iones calcio, en la pared celular. Con esto es factible que el tratamiento de impregnación en soluciones de calcio combinado con un tratamiento térmico a temperaturas moderadas (40 - 60 °C) constituyan una sinergia del efecto reafirmante del tejido de la fruta. Este efecto puede ser aprovechado para mantener la textura del alimento frente a procesos tecnológicos posteriores.

La influencia de la presencia de sales de calcio en las soluciones de deshidratación osmótica ha sido estudiada en varios productos. Torres et al. (2006) estudiaron la deshidratación osmótica de mango con soluciones que contenían cloruro de calcio encontrando que la presencia de calcio aumenta la resistencia al esfuerzo de corte de la fruta. Van Buggenhout et al. (2008) estudiaron el efecto de la pectinmetilesterasa (PME) y el calcio (Ca^{++}) (añadido a las soluciones osmóticas) en las propiedades estructurales de frutillas deshidratadas, encontraron que tanto la PME como el Ca^{++} afectaron positivamente la dureza de los frutos deshidratados.

El efecto del lactato de calcio en la estructura celular y las propiedades mecánicas de melón osmóticamente deshidratado con solución de sacarosa fue estudiado por Ferrari et al. (2010), resultando en una fuerte influencia en las propiedades mecánicas. Resultados similares encontraron Silva et al. (2014) en ananá osmodeshidratado con sacarosa y con la adición de lactato de calcio y ácido ascórbico a la solución osmótica. Barragán-Iglesias et al. (2018) observaron un aumento en la firmeza de papayas deshidratadas osmóticamente y pretratadas con hidróxido de calcio en comparación a aquellas sin pretratamiento. Castelló et al. (2009) lograron mejoras de las propiedades

mecánicas y enriquecimiento del mineral en rodajas de manzana deshidratadas osmóticamente a presión atmosférica y aplicando pulsos de vacío, con el agregado de lactato de calcio en la solución osmótica.

2.7 Secado continuo

2.7.1 Fundamentos

El secado de frutas es un proceso de conservación practicado desde la antigüedad, que disminuye considerablemente la actividad del agua del material, reduce la actividad microbológica y minimiza los cambios químicos y físicos durante el almacenamiento. En este proceso, la aplicación de energía es necesaria para lograr el cambio de estado del agua, sublimación o evaporación (Nemzer et al., 2018). El mayor objetivo del secado de productos agrícolas es la reducción del contenido de humedad a niveles en los cuales pueda almacenarse por tiempos más prolongados de manera segura. 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 (Sobukola et al., 2007, Riadh et al., 2014). Muchos métodos han sido aplicados para remover la humedad de diversos productos alimenticios, incluyendo a frutas y vegetales; siendo el secado solar es el método más antiguamente usado para preservar productos agrícolas. Sin embargo, este método presenta dificultades como el elevado tiempo de procesamiento (generalmente hasta 10 días), la exposición a contaminaciones ambientales, las condiciones inestables del clima, además que conlleva una degradación grave de la calidad como el deterioro del color y la calidad nutricional. Por otra parte, las muestras son susceptibles a la reabsorción de humedad durante la noche, lo que provoca el deterioro del producto, especialmente en la estación húmeda. (Sacilik et al., 2006; Kingsly et al., 2007; Adedeji et al., 2008).

El secado con aire caliente (SAC) es 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 (Váquiro - Herrera, 2009). El secado convectivo puede realizarse haciendo circular aire caliente sobre la superficie de un material húmedo. De este modo, el flujo de aire caliente es el medio empleado para suministrar la energía que evapora la humedad del material y para retirar dicha humedad del sólido.

El secado por aire caliente puede ser subdividido en dos subprocesos simultáneos: la transferencia de calor desde el aire circundante para evaporar la humedad superficial, la cual depende fundamentalmente de las condiciones externas de temperatura, humedad, velocidad y dirección del flujo de aire caliente, así como de la geometría del sólido; y la transferencia de humedad del interior hacia la superficie del sólido y su posterior evaporación (Fernandes et al., 2015). La transferencia de calor del medio hacia la superficie del sólido puede darse tanto por convección, conducción, radiación o una combinación de estos métodos, el calor luego se difunde dentro del sólido esencialmente por conducción.

Simultáneamente a la transferencia de masa desde la superficie del material, el transporte de humedad desde el interior de la matriz vegetal hacia la superficie del sólido se lleva a cabo principalmente por los siguientes métodos:

- *difusión líquida*: en caso que el sólido se encuentre a una temperatura por debajo del punto de ebullición del líquido.
- *difusión de vapor*: en caso que exista evaporación de líquido dentro del material.
- *diferencias de presión hidrostática*: Debido a la tensión interna causada por el encogimiento del material

Los mecanismos de transferencia de humedad interna pueden variar durante el secado ya que son función de la estructura física, temperatura y humedad del material (García - Pérez, 2007).

Dentro de los principales atributos de calidad físico-químicos, biológicos y nutricionales de los productos secos se encuentran el color, la retención de nutrientes, la apariencia visual, la textura, la capacidad de rehidratación, el aroma, la capacidad antioxidante, la actividad de agua, la carga microbiana y la presencia de agentes contaminantes (Perera, 2005, Zielinska & Markowski, 2016).

La tendencia actual del consumidor es obtener productos con alta calidad nutritiva y que presenten buenas características físicas y de aspecto. Es así como muchos productos deshidratados de origen hortofrutícola han cobrado notable interés por su contribución en cuanto a valor energético, minerales, vitaminas y compuestos funcionales. Diferentes estudios han sido realizados con el objetivo de reducir los efectos del secado en la retención o pérdida de la calidad nutricional. Marfil et al., (2008) estudiaron el efecto de las condiciones de secado en la degradación de ácido ascórbico en tomates enteros y pelados. Se observaron tasas de degradación más bajas en tomates enteros pretratados osmóticamente, mientras que se produjeron

tasas de degradación más altas en tomates pelados. El aumento de la temperatura de secado condujo a mayores tasas de degradación.

2.7.2 Etapas del proceso de secado

Durante el secado se pueden distinguir tres periodos característicos, los cuales están expresados mediante las curvas de secado (Sanjuán et al., 2004), en la Figura 2.4 se muestra la curva de secado característica:

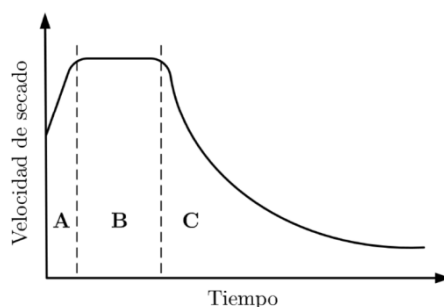


Figura 2.4 Curva de Velocidad de Secado

- A) **Periodo de inducción o de velocidad de secado creciente:** Durante este periodo el producto se calienta, aumentando la temperatura de la interfase y, por ende, puede haber un aumento en la velocidad de evaporación de agua de la superficie del producto.
- B) **Periodo de velocidad de secado constante:** Durante este periodo, el transporte de humedad desde el interior del material permite que la superficie permanezca saturada. La velocidad de secado estará controlada por la evaporación del agua y su transferencia desde la superficie saturada del material hasta el medio que lo rodea. El mecanismo de pérdida de agua es independiente de la naturaleza del producto y equivale a la evaporación del agua desde una superficie libre. El periodo de velocidad de secado constante se prolonga hasta que el contenido en humedad del sólido desciende por debajo de un valor denominado humedad crítica. En la mayoría de los alimentos, los valores de humedad crítica están muy próximos a los valores del contenido de humedad inicial, de manera que el periodo de velocidad de secado constante en alimentos es muy corto y en muchas ocasiones inexistente.
- C) **Periodo de velocidad de secado decreciente:** Cuando la superficie del sólido deja de estar saturada, la velocidad de secado irá disminuyendo con el tiempo hasta que el contenido de humedad del material se aproxime a su valor de equilibrio. En este

periodo la velocidad del proceso depende principalmente de la estructura interna del sólido y de los mecanismos de migración de humedad.

2.7.3 Proceso combinado de Deshidratación osmótica y Secado

Aunque el secado por aire produce productos deshidratados que pueden tener una vida útil prolongada, la calidad de un producto secado convencionalmente puede verse afectado en relación al alimento original. Varios pretratamientos se usan comúnmente para minimizar los cambios adversos que ocurren durante el secado. La deshidratación osmótica elimina el agua de la fruta hasta cierto nivel, que todavía es alto para la conservación de los alimentos, por lo que este proceso debe ir seguido de otro proceso para reducir aún más el contenido de agua de la fruta. El proceso osmótico ha recibido una atención considerable como pretratamiento al secado para reducir el consumo de energía y mejorar la calidad de los alimentos (Kowalska & Lenart, 2001). El secado posterior al tratamiento osmótico completaría el proceso ya que, de esta manera, se obtienen productos de baja humedad.

Dentro de las principales ventajas del proceso de deshidratación osmótica como pretratamiento se encuentran la inhibición del pardeamiento enzimático, la retención de color sin adición de sulfitos y la alta retención de compuestos volátiles.

Diversos autores han estudiado la deshidratación osmótica seguida por el secado con aire caliente en frutas y vegetales (Torreggiani, 1993; Nieto et al., 1998; Sereno et al., 2001; El-Aouar et al., 2003; Beaudry et al., 2004; Garcia et al., 2007). Sin embargo, en los últimos años, ha aumentado el interés en la investigación de las características fisicoquímicas de las frutas con pretratamiento osmótico seguido del secado (Mandala et al., 2005).

Elias et al. (2008) estudiaron la deshidratación osmótica seguida de secado por convección de frutas de *Dyospiros kaki* var. Fuyu. Los resultados mostraron un aumento en algunas variables fisicoquímicas (sólidos solubles, contenido de carbohidratos y fibra insoluble) para el kaki deshidratado en comparación con la fruta fresca.

2.7.4 Modelización de las cinéticas de secado

La modelización matemática y simulación de procesos de secado en productos agroalimentarios, constituye una herramienta básica en los nuevos sistemas de producción. Resulta útil principalmente en la predicción de propiedades y en el estudio del comportamiento en función de las condiciones de operación. La modelización de

procesos se hace especialmente compleja cuando se trabaja con productos biológicos, dado su carácter heterogéneo y complejo (Chou & Chua, 2001).

La modelización del proceso de secado puede realizarse a partir de modelos teóricos o empíricos. Los modelos teóricos son desarrollados a partir de los principios físicos, se establecen las ecuaciones de balance que representan las leyes naturales de conservación, usualmente escritas en términos de transferencia de masa y calor. Estos modelos están constituidos por: ecuaciones constitutivas, que expresan los flujos del sistema con las correspondientes fuerzas impulsoras (dentro de las más importantes se encuentran las leyes particulares de Fick y Fourier, para la definición de los mecanismos de transferencia de masa y energía respectivamente); por relaciones de equilibrio, necesarias en la descripción de los fenómenos interfaciales; y por propiedades físicas, inherentes al material que se seca o al aire de secado, las cuales se requieren para la solución del modelo y deben ser identificadas de forma experimental o estimadas mediante modelos predictivos (Váquiro - Herrera, 2009). El modelo de secado teórico más ampliamente investigado ha sido la segunda ley de difusión de Fick. El secado de muchos productos alimenticios como el arroz (Ece & Cihan, 1993) y avellana (Demirtas et al., 1998) se ha predicho con éxito utilizando la segunda ley de Fick. Los modelos semi-teóricos ofrecen un compromiso entre la teoría y la facilidad de uso (Fortes & Okos, 1981).

Por su parte, los modelos empíricos son obtenidos a través del análisis matemático o estadístico de los datos del proceso, razón por la cual carecen de significado físico. Las ecuaciones propuestas por estos modelos no consideran normalmente los fundamentos del proceso de secado y suelen incluir parámetros cuyo sentido físico no es fácil de establecer.

Los modelos empíricos constituyen una relación directa entre el contenido promedio de humedad y el tiempo de secado (Ertekin & Ziya - Firat, 2017). Para superar las deficiencias del modelo integrado de la segunda ley de Fick, el modelo de Page (ecuación 2.1) se aplica con una modificación empírica al término de tiempo mediante la introducción de un exponente "n" (Akpınar et al., 2003, Alexandre et al., 2013). Este modelo se ha utilizado para simular con precisión las curvas de secado de rodajas de papa (Akpınar et al., 2003), judías verdes, papa y guisante (Senadeera et al., 2003), zanahoria (Doymaz, 2004), entre otros. Sampaio et al. (2016) modelaron la cinética de secado a 50, 55 y 60 °C de frutas de *Dyospiros kaki* var. Fuyu previamente impregnadas en solución de sacarosa y cloruro de sodio, y determinaron el coeficiente de difusión de masa efectivo aplicándose 10 modelos semiempíricos. Los autores

encontraron que el modelo de Midilli fue el que mejor ajustó a los datos experimentales.

En la Tabla 2.4 se muestran algunos modelos de secado de frutas y verduras comúnmente utilizados.

Tabla 2.4 Modelos semi-teóricos y empíricos aplicados al secado de frutas y verduras

Nombre del Modelo	Modelo	Referencia
Newton	$MR = \exp(- kt)$	El-Beltagy et al., 2007
Page	$MR = \exp(- kt^n)$	Alexandre et al., 2013
Henderson y Pabis	$MR = a \exp(- kt^n)$	Doymaz, 2012
Logarítmico	$MR = (- kt) + c$	Doymaz, 2012
Weibull	$MR = \left(- k_0 t^n\right)$	Doymaz, 2012
Peleg	$MR = 1 - t/(a + bt)$	Planinic et al., 2005

2.8 Secado Intermitente

2.8.1 Fundamentos

El secado provoca cambios en las propiedades de los alimentos, incluida la decoloración, la pérdida de aroma, los cambios de textura, el valor nutritivo y la forma física. La condición del aire de secado tiene un efecto en los atributos de calidad del producto seco. Así, una alta temperatura de secado reduce el tiempo de secado, pero puede dar como resultado daños a la superficie y un mayor consumo de energía (Ho et al., 2002). Por otro lado, el uso de una temperatura de secado más baja puede mejorar la calidad del producto final, pero disminuye la velocidad de secado. El secado intermitente es una de las soluciones técnicas para esto porque reduce el tiempo efectivo de secado y mejora la calidad del producto final, respecto del secado continuo (Kowalski & Pawlowski, 2011).

El secado intermitente es un proceso en el cual el calor es aplicado de manera discontinua con periodos o ciclos de reposo (Islam et al., 2003, Jumah et al., 2007), y ha sido ampliamente estudiado en la preservación diversos productos como arroz, banana, guayaba, papa, soja y trigo (Chua et al., 2000, 2003, Cnossen et al., 2003; Nishiyama et al., 2006, Aquerreta et al., 2007, Thomkapanich et al., 2007, Tuyen et al., 2009). En los periodos de calentamiento, el producto es sometido a secado convencional, y se producen fenómenos de transferencia de calor y masa en la superficie del material. Durante el período de reposo el agua difunde desde el centro del sólido, de mayor humedad, a la superficie (de menor contenido de agua por efecto del período previo de aplicación de calor o secado) causando una redistribución del

agua, que favorece la evaporación superficial de la misma en el siguiente periodo de calentamiento, ya que existe mayor disponibilidad de agua cerca de la superficie. Este hecho incrementa la velocidad de secado cuando se reanuda el flujo de aire caliente, sin incrementar la temperatura del material (Bon & Kudra, 2007). Chua et al. (2003) propone una clasificación general de los diferentes tipos de intermitencia (Figura 2.5) así como una descripción de diferentes equipos que pueden operar de forma intermitente.

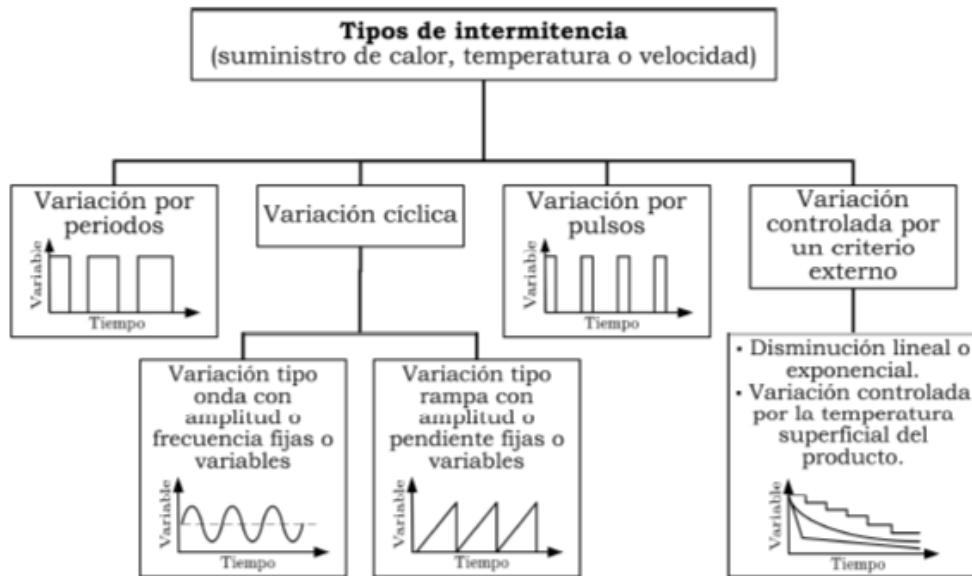


Figura 2.5 Tipos de intermitencia según Chua et al., 2003

Jumah (1995) estudió el ahorro de energía aplicando diferentes intermitencias en el secado de granos. El hallazgo más notable de este estudio fue que cuanto mayor es la intermitencia (mayor tiempo de reposo) mayor es el ahorro de energía. El ahorro de energía fue de 19, 23 y 30 % para los períodos de reposo 10, 20 y 40 min respectivamente. Un período de reposo muy largo puede causar rehidratación y degradación de la calidad, por lo tanto, el valor de la intermitencia debe seleccionarse cuidadosamente. Aquerreta et al. (2007) analizaron el efecto del secado intermitente en granos de arroz. Los resultados mostraron que el secado posterior al reposo a una temperatura de 60 °C redujo el tiempo de secado por encima del 38 %.

2.8.2 Aspectos de calidad relacionados al secado intermitente

Existen estudios que buscaron mejorar los diferentes atributos de calidad mediante la aplicación de secado intermitente. Los parámetros de calidad más estudiados fueron:

- *Ácido ascórbico y pardeamiento no enzimático:* Investigaciones han examinado los efectos del secado intermitente sobre la degradación del ácido ascórbico. Ho et al. (2002) encontraron una disminución en la degradación del ácido ascórbico (AA) y el cambio de color en muestras de papa secadas aplicando diferentes formas de intermitencia. Chua et al. (2000) han investigado el efecto de la variación de temperatura en el contenido de ácido ascórbico de guayaba y han encontrado que el 20% de mejora en la retención de ácido ascórbico se obtuvo con el secado intermitente en comparación con el secado continuo.

El pardeamiento no enzimático durante el secado intermitente fue estudiado por Ho et al. (2002) y Zhu et al. (2010) en papas y manzanas respectivamente, ambos trabajos encontraron una disminución del pardeamiento con la aplicación de la intermitencia.

- *β -caroteno:* Pan et al. (1998) analizaron el efecto de la intermitencia en la degradación de β -carotenos en láminas de calabaza empleando un modelo para describir la cinética de degradación. Los resultados obtenidos permitieron concluir que el secado intermitente redujo el tiempo de secado en un 40 % en comparación con el secado continuo. Además, en el secado intermitente se preservó el 87,2 % del β -caroteno de las muestras de calabacín, mientras que en el secado continuo se preservó únicamente el 61,5 %.
- *Contenido de azúcar y cafeína:* el contenido tanto de azúcares como de cafeína es importante para muchos productos. Ramallo et al. (2010) evaluaron el efecto del secado intermitente en el contenido de cafeína en yerba mate, la pérdida de contenido de cafeína fue del 10 % en el secado intermitente, mientras que en el secado continuo fue alrededor del 30 %.
- *Color:* Los cambios de color durante el secado intermitente fueron investigados para diferentes productos alimenticios tales como banana (Chua et al., 2000, 2001), papa (Chua et al., 2000) y guayaba (Chua et al., 2002). Se observaron cambios en los parámetros ΔL^* , Δa^* y Δb^* ; así como también en el cambio global de color (ΔE) para banana, guayaba y papa. Los cambios de los parámetros de color para los diversos productos no siguen un patrón particular. Así, el ΔL^* cambia significativamente durante el secado de papa y guayaba. Mientras que el Δb^* fue el principal contribuyente en el cambio de color durante el secado de banana.
- *Rehidratación:* La capacidad de Rehidratación de rodajas de calabaza secas obtenidas por secado intermitente fue mayor en comparación a aquellas obtenidas por secado

continuo (Pan et al., 1998). Los autores atribuyeron el mejoramiento en la calidad del producto a la redistribución de humedad lograda durante el reposo.

- *Fisura*: Aquerreta et al. (2007) analizaron el efecto del número de ciclos y la temperatura de reposo sobre la fisura de granos de arroz durante el secado. El porcentaje de granos con fisuras fue drásticamente reducido cuando el secado fue desarrollado con dos y tres ciclos en comparación con el realizado con un solo ciclo. Concluyeron además, que el número de ciclos y la temperatura de reposo afectan la calidad del arroz, una alta temperatura de reposo reduce el número de granos con fisuras y mejora el rendimiento de arroz, independientemente del número de ciclos.

2.9 Isotermas de sorción

El agua es el componente esencial en la mayoría de los alimentos, y varía de acuerdo al mismo. Se ha observado que diferentes tipos de alimentos con el mismo contenido de agua difieren significativamente en su estabilidad o vida útil. En consecuencia el contenido de agua por sí solo no es un indicador real de la estabilidad. Esta situación se atribuye, en parte, a diferencias en la intensidad con que el agua se asocia con los constituyentes no acuosos; a medida que aumenta la actividad de agua en un producto aumenta su grado de disponibilidad para reacciones químicas de deterioro o crecimiento de microorganismos.

El término «actividad del agua» (a_w) puede expresarse como la relación entre la presión de vapor en la superficie del sólido y la presión de vapor del agua pura a la temperatura del sólido (Ec. 2.2):

$$a_i = \frac{P_v}{P_v^0} \quad (2.1)$$

Cuando un alimento está en equilibrio con el ambiente que lo rodea, tanto su temperatura como la presión de vapor en su superficie coinciden respectivamente con las del ambiente. Así, en el equilibrio, la actividad de agua del alimento es igual a la humedad relativa de equilibrio del sistema alimento-aire.

La humedad de equilibrio se puede interpretar como el contenido de agua cuando la presión de vapor de agua en la superficie del sólido es igual a la presión de vapor de agua en el aire que rodea.

El valor de humedad de equilibrio es muy importante en el secado de alimentos ya que indica el valor límite para una condición dada de humedad relativa y temperatura.

Las isotermas de sorción se describen como la relación entre el contenido de agua de equilibrio y la actividad del agua (humedad relativa de equilibrio) del material a temperatura constante. En general, si la actividad de agua de la atmósfera circundante se mantiene constante, un incremento en la temperatura puede causar una disminución o un aumento en la cantidad de agua absorbida en función de los componentes que predominan en el alimento, dado el efecto de la temperatura sobre la movilidad de las moléculas de agua y sobre el equilibrio dinámico entre el aire y el alimento (Al-Muhtaseb et al., 2002).

La relación entre la humedad y la a_w (isotermas de sorción) en frutas frescas y procesadas es fundamental para poder realizar estudios de conservación, ya que estos valores se podrían utilizar para predecir la vida útil del producto, la transformación y la comercialización. Además, el conocimiento las isotermas de sorción es muy importantes para procesos tales como:

Secado: Los datos de sorción son útiles para el control de los procesos de secado. A partir de éstos, se puede conocer la humedad máxima que debe tener el producto seco para que sea estable en su almacenamiento. También se utiliza para determinar la humedad del producto en equilibrio con el aire de secado, que representa una información muy útil para la modelización del proceso.

Almacenamiento: A partir de las isotermas de sorción se pueden determinar las condiciones óptimas de almacenamiento (humedad relativa y temperatura) que aseguren la estabilidad del producto.

Según Labuza, (1975) las isotermas se dividen en dos grupos:

Isotermas de adsorción: se obtienen partir de la exposición de un material seco a condiciones de humedad relativa ambiental superior a su actividad de agua, de manera que ocurra una adsorción de agua, alcanzando el equilibrio una vez que no se produzcan variaciones de peso.

Isotermas de desorción: se obtienen partir de la exposición de un material húmedo a condiciones de humedad relativa ambiental inferior a su actividad de agua.

La forma de las isotermas de sorción depende de la composición y estructura del material alimenticio. Por esta razón, diversos autores (Prothon & Ahrné, 2004; Djendoubi Mrad et al., 2012; Kammoun Bejar et al., 2012) han estudiado las isotermas de sorción de muchos productos alimenticios, como manzanas, damascos, cáscaras y hojas de naranja, entre otros. Telis et al. (2000) estudiaron las isotermas de desorción

de la pulpa y cáscara de frutas de kaki var. Rama Forte a 30, 50 y 70 °C, encontrando un ajuste óptimo con la ecuación de Guggenheim, Anderson y de Boer (GAB). El comportamiento de las curvas mostró que el contenido de humedad de equilibrio aumentó con la disminución de la temperatura a una actividad constante del agua.

Modelado de las isotermas de Sorción

Se han propuesto diferentes modelos para representar las isotermas de sorción en alimentos (Kaymak-Ertekin & Gedik, 2004; Basu et al., 2006). Sin embargo, ninguna de las ecuaciones ofrece resultados precisos en todo el rango de actividades de agua y para todos los tipos de productos.

Los modelos disponibles en la literatura para describir las isotermas de sorción de humedad se pueden dividir en varias categorías: Modelos cinéticos basados en una mono-capa (BET), modelos cinéticos basados en una multicapa (GAB), modelos semi-empíricos (Ferro-Fontan, Henderson y Halsey) y modelos empíricos (Smith, Page y Oswin).

La ecuación de Guggenheim, Anderson y de Boer (GAB) ha sido considerada como un modelo fundamental para la caracterización de la sorción del agua en materiales alimentarios (Kaymak-Ertekin & Sultanoglu, 2001, Timmerman et al., 2001, Lin et al., 2005). La ecuación GAB es un modelo de sorción multicapa semi-teórico con significado físico para cada coeficiente (Timmermann et al., 2001). El modelo es aplicable a un amplio rango de a_w (0,1-0,9) pero se ha informado que el error aumenta bruscamente a medida que a_w aumenta por encima de 0,9. Este modelo está representado por la ecuación 2.3:

$$X_e = X_m \frac{C_g K_g a_w}{(1-K_g a_w)(1+(C_g-1)K_g a_w)} \quad (2.2)$$

Donde X_e es el contenido de humedad de equilibrio (Kg kg^{-1} b.s.), X_m es el contenido de humedad de equilibrio en la monocapa (Kg kg^{-1} b.s.) y C_g y K_g están relacionados con el calor de sorción de las moléculas de agua en la monocapa y en la multicapa.

La ecuación de GAB es una extensión del modelo de BET teniendo en cuenta la modificación de las propiedades de sorción en la región de la monocapa (Rahman, 1995). Un informe de 1985 de la Comisión sobre Química Coloidal y de Superficie (IUPAC, 1985, Timmermann, 2003) recomienda el modelo de BET para una evaluación estándar de valores de monocapa. Timmerman et al. (2003) encontraron diferencias entre los valores de X_m y c de los modelos de BET y GAB, los valores de X_m

encontrados con la ecuación de GAB fueron un 15 % mayor que los encontrados con la ecuación de BET.

2.10 Contenido de carotenos

Los carotenoides son un grupo de pigmentos naturales presentes en las frutas y verduras que pueden impartir colores de amarillo, naranja y rojo. Han atraído a muchos investigadores debido a sus propiedades comercialmente deseables, como su origen natural, toxicidad nula y alta versatilidad, proporcionando colorantes liposolubles e hidrosolubles. En la salud humana su importancia está relacionada por su función como provitamina A y antioxidante, que se relaciona con el aumento de la inmunidad, prevención de degeneración muscular relacionada con la edad, inhibición del cáncer, prevención de enfermedades cardiovasculares, disminución del riesgo de formación de cataratas, entre otras (Rao & Rao, 2007; Plaza et al., 2012; Demiray et al., 2013). Además, los carotenoides poseen propiedades físicas y químicas dentro de las cuales se puede mencionar:

- Se isomerizan y oxidan fácilmente, el calor, la luz y los ácidos promueven la isomerización de los carotenoides *trans* (su configuración habitual en la naturaleza) a la forma *cis*. La luz, calor, metales, enzimas y peróxidos estimulan la oxidación que es inhibida por los antioxidantes tales como tocoferoles (vitamina E) y Ácido ascórbico (vitamina C).
- Bloquean acciones mediadas por radicales libres.
- Se unen a superficies hidrofóbicas.

El color es la principal característica percibida por el consumidor, además se espera que el color de un producto procesado sea lo más similar posible al producto fresco. La degradación de los carotenoides afecta no sólo al color de los vegetales, sino también al valor nutritivo y al sabor (Cinar, 2004).

El β -caroteno es lipofílico, insoluble en agua y soluble en solventes orgánicos como éter de petróleo, hexano, etc. En primer lugar, la alternancia de enlaces simples y dobles provoca la deslocalización de los electrones π y hace posible la absorción de la luz dentro del rango del espectro visible. El β -caroteno absorbe a una longitud de onda máxima de 450 nm y por lo tanto tiene un fuerte color rojo-anaranjado (Britton, 1995).

La fruta de *Diospyros kaki* es una buena fuente de compuestos bioactivos como taninos condensados y carotenoides, que poseen efectos benéficos para la salud debido principalmente a sus propiedades antioxidantes (Rao & Rao, 2007). En cuanto a los carotenos, la fruta es rica en β -criptoxantina, luteína, β -caroteno, zeaxantina y

licopeno; siendo la β -criptoxantina y el β -caroteno compuestos provitamina A (Giordani et al., 2011). La composición de carotenoides está fuertemente afectada por varios factores como la variedad, la etapa de maduración, el método de remoción de la astringencia y el procesamiento.

El primer paso para la determinación de los carotenos es la extracción con solvente orgánico, el tetrahidrofurano es normalmente utilizado dada la excelente solubilidad de muchos carotenoides. Sin embargo, otros solventes como el hexano, acetona, diclorometano, cloroformo y metanol también son utilizados. Después de la extracción, es común la disolución en un disolvente orgánico diferente (acetato de etilo, éter de petróleo o cloruro de metileno). Para tejidos que contienen clorofilas y / o ésteres de carotenoides, puede ser necesaria la saponificación para eliminarlas de la matriz vegetal. Los carotenoides purificados pueden ser identificados usando varias técnicas analíticas, tales como espectroscopia UV-Vis, espectroscopia de masas (MS), resonancia magnética nuclear, espectroscopia de dicroísmo circular o cromatografía líquida de alta resolución (HPLC).

Demiray et al. (2013) encontraron que la degradación de β -carotenos en tomates secados a 60,70, 80,90 y 100 °C y 0,2 m/s siguieron una cinética de primer orden con valores de k entre 0,08 y 0,38 h⁻¹. Por su parte, Nhung et al. (2010) estudiaron el almacenamiento de aceite de Gac (*Momordica cochinchinensis*) a 5, 25, 45 y 60 °C. Los resultados indicaron que la degradación de los carotenoides a cada temperatura siguió un modelo cinético de primer orden con coeficientes de correlación entre 0.901 y 0.990.

2.11 Análisis Sensorial

El instituto de tecnólogos de alimentos de Estados Unidos (IFT), define la evaluación sensorial como *“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”*. La evaluación sensorial es un aspecto clave en el desarrollo de nuevos productos (Dubost et al., 2003). Sin embargo, el control rutinario de la calidad requiere la realización de medidas instrumentales que impliquen mayor comodidad, rapidez y reproducibilidad, pero que, a su vez, estén relacionadas con la percepción sensorial del producto. No obstante, puede ocurrir que los resultados procedentes de las determinaciones instrumentales no se correspondan con los obtenidos sensorialmente, en lo referente a la preferencia de los consumidores, porque en ello influyen diferentes parámetros

psicológicos que son difíciles de evaluar (Dubost et al., 2003). El análisis sensorial es el examen de un producto a través de la evaluación de los atributos perceptibles por los cinco órganos sensoriales (atributos organolépticos), como el color, el olor, el sabor, el tacto, la textura y el ruido. Para definir los atributos sensoriales que caracterizan cada producto es necesario implementar una serie de técnicas sensoriales. Se puede decir que el análisis sensorial clásico está basado en tres grandes pruebas: ensayos hedónicos, discriminantes y descriptivos.

Pruebas Hedónicas: están enfocados al comportamiento del consumidor frente al producto. Éste pone de manifiesto su grado de aceptación o preferencia por el producto, de manera que son pruebas muy útiles a la hora de modificar algún alimento para su mejora o desarrollar otros nuevos que cumplan las expectativas marcadas por el consumidor. Dada la naturaleza subjetiva de dichas pruebas, los ensayos suelen llevarse a cabo confrontando las percepciones del consumidor con jueces expertos. Dentro de los ensayos hedónicos, se distinguen dos grandes pruebas: Preferencia y Aceptación (Pérez-Elortondo, 2001). Las pruebas de preferencia consisten en la elección de un producto entre varios. Por su parte, las pruebas de aceptación se pueden llevar a cabo con varias muestras simultáneas o con un solo producto. A diferencia de las anteriores, no requieren una comparación entre productos. El objetivo es medir el grado de satisfacción del consumidor, es decir, cuánto gusta o disgusta determinado producto.

Pruebas Discriminantes: tratan de establecer si existe alguna diferencia entre dos o más productos, teniendo en cuenta alguna característica determinada de las muestras o su aspecto global. En estos ensayos se recurre habitualmente a jueces semi-entrenados, cuando se trata de establecer simplemente si existe alguna diferencia global entre los productos, o jueces entrenados, si lo que se pretende es averiguar diferencias entre una o varias características concretas de las muestras. Existen principalmente tres tipos de pruebas discriminantes: comparación pareada, prueba triangular y prueba dúo-trío. La prueba de triángulo se emplea cuando el objetivo es determinar si existen diferencias sensoriales entre dos productos, es particularmente útil en situaciones donde el efecto del tratamiento puede producir cambios en el producto, y que no puede ser caracterizado simplemente por uno o dos atributos.

Pruebas Descriptivas: pruebas que van encaminadas a definir lo que se conoce como "perfil sensorial". Dado que este proceso es complejo, se requiere de un panel sensorial bien entrenado. Dicho panel se encargará de elaborar una serie de términos

que describan los atributos sensoriales del producto. Estos términos reciben el nombre de descriptores, y deben ser precisos y discriminantes. El objetivo en este tipo de pruebas es describir con un número mínimo de palabras (descriptores) y máxima eficacia el producto que se va a evaluar (Torre, 2001).

2.12 Almacenamiento

Las frutas mínimamente procesadas sufren modificaciones importantes en su calidad, debido a que el proceso de corte acelera la respiración y la tasa de emisión de etileno, lo que reduce drásticamente su vida útil. Además, el corte causa la descomposición de los compartimentos celulares que liberan enzimas y sustratos que generan pardeamiento y reacciones no deseadas que degradan el color, la firmeza, el aroma, el sabor y el valor nutricional. Los productos finales de alto y medio contenido de humedad deben conservarse entre 0 y 5 °C para disminuir el metabolismo, inhibir la actividad de las enzimas, prevenir el crecimiento de microorganismos y mantener la seguridad. No obstante, productos de baja humedad se pueden almacenar a 25 °C. Gil et al. (2006) estudiaron la influencia del procesamiento y el almacenamiento en los índices de calidad y el contenido nutricional de piñas, mangos, melones, sandías, fresas y kiwis recién cortados en comparación con las frutas enteras almacenadas durante 9 días a 5 °C. Las pérdidas de vitamina C después de 6 días a 5 °C fueron menores al 5 % en trozos de mango, fresa y sandía, 10 % en trozos de piña, 12 % en rodajas de kiwi y 25 % en cubos de melón. No se encontraron pérdidas de carotenoides en rodajas de kiwi y cubos de sandía, mientras que las pérdidas en piñas fueron las más altas con 25% seguidas de 10 - 15% en piezas de melón, mango y fresa después de 6 días de almacenamiento a 5 °C. Ulloa et al. (2018) estudiaron la pérdida de calidad en peras cortadas y almacenadas por 8 días a 5 y 8 °C. El tipo de corte y la temperatura de almacenamiento tuvieron un efecto importante sobre los parámetros fisiológicos, el color, la firmeza, el contenido de ácido orgánico y azúcar. Sin embargo, el contenido de volátiles se redujo independientemente del tipo de corte y la temperatura de almacenamiento.

Michalczyk et al. (2008) estudiaron el contenido de polifenoles, antocianinas y el potencial antioxidante de frambuesa, fresa y arándanos secados con aire caliente a 40 °C y almacenados durante 10 meses. Los autores encontraron que durante el almacenamiento, el contenido polifenólico disminuyó drásticamente, con un mayor porcentaje de disminución para los arándanos. Las antocianinas presentaron pérdidas similares. Por su parte, Chavasit et al. (2002) estudiaron los cambios del contenido de

carotenos en mango y papaya osmodeshidratados y secados a 60 °C, y almacenados por 1-3 meses. Los autores encontraron pérdidas durante 1 mes de almacenamiento del 28 y 33 % en mango y papaya respectivamente.

2.13 Antecedentes de deshidratación y almacenamiento de *Dyospiros kaki*

Existen antecedentes en estudios de la retención de nutrientes, evaluación de los procesos, pérdida de calidad en frutas de *Dyospiros kaki* durante la deshidratación y almacenamiento. Wright & Kader, 1997 estudiaron la variación en el contenido de ácido ascórbico, color, pH y acidez de frutas de caqui var. Fuyu cortadas y enteras durante el almacenamiento en atmosfera controlada a 5 °C durante 8 días. Las diversas atmósferas tuvieron efectos significativamente diferentes sobre el color, el pH y la acidez titulable de las frutas. Las atmósferas controladas de 2% O₂, aire + 12 % CO₂ o 2 % O₂ + 12 % CO₂ no tuvieron un efecto significativo sobre los cambios en el contenido total de ácido ascórbico. Todos los tratamientos dieron como resultado valores del parámetro del color " L * " más bajos durante los primeros 3 días. Akyıldız et al. (2004) estudiaron la cinética de secado del fruto del caqui de variedad Turkey a 60, 75 y 90 °C, con y sin pretratamiento al 8 % de metabisulfito de sodio, evaluando además, los cambios de color y de contenido de compuestos fenólicos. La deshidratación a 60 ° C resultó en un menor contenido de compuestos fenólicos. Los valores de "Hue" disminuyeron tanto para las muestras pretratadas como para las que no tenían pretratamiento. Nicoletti et al. (2007) estudiaron la influencia de la temperatura (40 a 70 °C) y velocidad del aire de secado (0,8 a 2 m/s) en la degradación de ácido ascorbico de *Dyospiros kaki* var. Rama Forte; las tasas de degradación fueron más altas a temperaturas de secado más altas, independientemente del tiempo necesario para alcanzar el contenido de humedad deseado.

Doymaz, (2012) estudió el efecto del escaldado y la temperatura de secado en la cinética de secado y rehidratación de *Dyospiros kaki* var. Rojo Brillante. Tanto la temperatura de secado como el escaldado afectaron el tiempo de secado, los tiempos de secado más cortos y las relaciones de rehidratación más altas se obtuvieron de muestras escaldadas. Los modelos Page y Weibull mostraron un mejor ajuste a los datos experimentales de secado. Sampaio et al. (2016) modelaron la cinética de secado de frutas de *Dyospiros kaki* var. Fuyu previamente osmodeshidratadas: 10 modelos matemáticos semiempíricos diferentes se ajustaron a los datos

experimentales. Las temperaturas de secado fueron de 50, 55 y 60 °C. Los resultados obtenidos mostraron el modelo de Midilli fue la mejor opción para describir los datos experimentales a las temperaturas estudiadas.

Bozkir et al. (2019) evaluaron el efecto de pretratamientos con ultrasonido y la deshidratación osmótica (a 45 y 70 °Brix en solución de sacarosa) antes del secado por convección a 60 °C de fruta de caqui por medio de la cinética de secado y la pérdida de calidad de la fruta. Las muestras pretratadas osmóticamente asistidas por ultrasonido aumentaron la pérdida de agua y ganancia de soluto en relación a las muestras osmodeshidratadas sin aplicación de ultrasonido, además de una disminución significativa en el tiempo de secado. Así mismo, la deshidratación osmótica asistida por ultrasonido afectó significativamente la tasa de rehidratación y el contenido fenólico total y no hubo diferencias significativas en los parámetros de color (ΔE , Hue y Chroma).

Cárcel et al. (2010) estudiaron la influencia de pretratamientos con solución de metabisulfito de potasio (3 % p / p) y ácido cítrico (3% p / p); y la temperatura de almacenamiento en la evolución del color de frutas de Diospyros kaki var. Rojo Brillante. La temperatura afectó la evolución del color de muestras de caqui durante el almacenamiento; la evolución de las coordenadas de color fue bien descrita por el modelo cinético de primer orden y el cambio de color global de las muestras por el modelo de Peleg.

A partir de todos estos antecedentes, se puede observar que las condiciones de pretratamientos, deshidratación y almacenamiento pueden afectar de diferente manera tanto a los parámetros cinéticos como de calidad de la fruta de kaki.

Milczarek et al. (2020) evaluaron la humedad, calidad microbiana y textura en el almacenamiento a temperatura ambiente durante 1 año de chips de fruta de caqui "Hachiya". Los autores encontraron que luego del almacenamiento, los productos mantuvieron el color, la calidad microbiana, nutricional y la textura en relación al inicio del mismo.

Capítulo 3: Materiales y Métodos

3.1 Materia Prima

Se trabajó con Frutas de tres variedades de *Dyospiros kaki*: *Fuyu*, *Rama Forte* y *Giombo*, las cuales se obtuvieron de comercios de la ciudad de Posadas y del campo del INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria) de la ciudad de Montecarlo (Misiones). Las muestras fueron seleccionadas con un tamaño y grado de madurez uniforme. Las Frutas fueron almacenadas a 4 ± 1 °C hasta el momento de procesarlas. Para uniformizar los ensayos y asegurar tanto la reproducibilidad de los resultados como la homogeneidad de las muestras, las mismas fueron seleccionadas siguiendo los criterios expuestos en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1: Características de las frutas variedades de *Dyospiros kaki* utilizadas

Variedad	Peso Aproximado (g)	Diámetro longitudinal (mm)	Diámetro transversal (mm)	Coloración de la cáscara de la fruta madura
Fuyu	100 - 120	45 - 55	70 - 95	Naranja
Rama Forte	150 - 160	45 - 55	85 - 110	Roja
Giombo	80 - 90	58 - 68	55 - 70	Naranja Oscura

3.2 Preparación de la muestra

Las muestras fueron lavadas con agua clorada, escurridas y cortadas transversalmente a su eje (con cuchillo de acero inoxidable) en placas semicirculares de $6,0 \pm 0,5$ mm de espesor y 70 ± 4 mm de diámetro medido con calibre digital. Para ello se obtuvieron rodajas enteras para luego cortarlas por la mitad y obtener dos placas semicirculares; se seleccionó la pulpa interna de la fruta a 1 cm de distancias de los extremos. En la Figura 3.1 se muestra la geometría de las muestras que se usaron durante todos los ensayos.

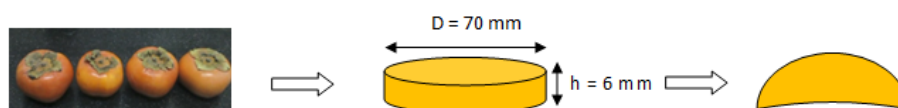


Figura 3.1 Preparación de las muestras

3.3 Selección de la variedad

Se trabajó con frutas de kaki (*Dyospiros kaki*) de las variedades *Giombo*, *Rama Forte* y *Fuyu* cultivadas en la provincia de Misiones (Figura 3.2)

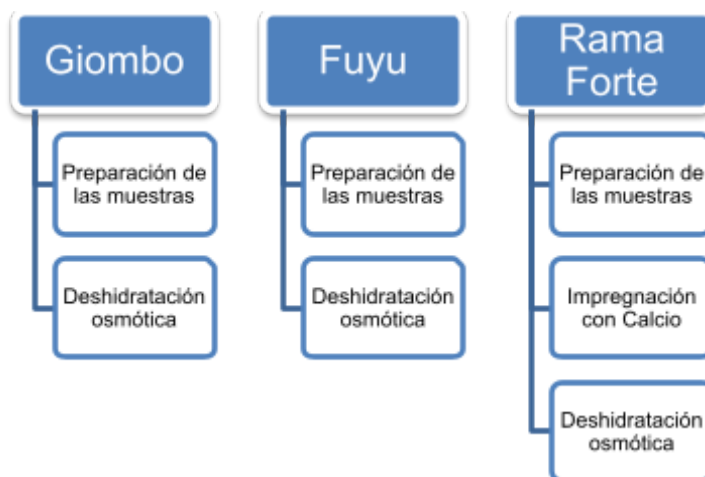


Figura 3.2 Tratamientos aplicados a las tres variedades de *Dyospiros kaki* para la selección de la variedad las apropiada

Las muestras de frutas maduras de variedades *Fuyu* y *Giombo* presentaron firmeza aceptable para su procesamiento, no así la variedad *Rama Forte* que antes de su maduración presenta una pulpa firme pero con sabor fuertemente astringente, al llegar al estado de maduración pierde astringencia pero el tejido se torna poco consistente, tornándose inviable su manipulación sin que el material se disgregara. Para salvar este inconveniente, se trataron las muestras de la variedad *Rama Forte* con sales de calcio en distintas condiciones para aumentar la firmeza del tejido y facilitar su procesamiento.

Impregnación con Calcio

La solución de impregnación con calcio para cada ensayo se preparó de modo tal que resultara isotónica con respecto al contenido de sólidos solubles de la fruta, (González-Féslery et al., 2008). Se trabajó con lactato de calcio e hidróxido de calcio (Parafarm, Argentina); las mismas fueron seleccionadas por su solubilidad a temperatura ambiente y debido a que no imparten sabor adicional a la fruta (Anino et al., 2006, Rico et al., 2007). En la Tabla 3.2 se muestran las soluciones de calcio empleadas. Para obtener las soluciones isotónicas se midió primeramente la concentración de sólidos solubles de la fruta por medio de un refractómetro Hanna

HI96801 (Hanna Instruments, Argentina), expresando los resultados en °Brix (gramos sólidos disueltos/ 100 gramos de líquido); con ello se agrega la cantidad necesaria de sacarosa a la solución de calcio de modo de igualar los °Brix de la fruta fresca. De los distintos azúcares posibles, se utilizó sacarosa para preparar las soluciones, debido a que es el carbohidrato más abundante en la fruta madura (De Oliveira & Vitória, 2011). La impregnación (Figura 3.3) se llevó a cabo colocando entre 8 - 10 medias rodajas de la variedad *Rama Forte* en vasos de precipitado con la solución isotónica de calcio, en una relación masa de solución de impregnación a masa de fruta de 4:1. Los vasos de precipitados se mantuvieron a temperatura (25 °C) y agitación (60 rpm) constantes en un baño termostático (modelo Dubnoff, Vicking, Argentina). El pH de la solución isotónica se ajustó utilizando Hidróxido de Sodio 0,1 N.

Tabla 3.2: Condiciones de impregnación con calcio

Tratamiento	Agente de calcio utilizado	Concentración (%)	Tiempo (h)
T ₁	Lactato de Calcio	3	12
T ₂	Hidróxido de Calcio	0,1	2
T ₃	Lactato de Calcio (pH = 11)	5	12
T ₄	Lactato de Calcio (pH= 6,5)	7	24
T ₅	Lactato de Calcio	7	12
T ₆	Lactato de Calcio	10	24



Figura 3.3 Muestras de *Dyospiros kaki* var. Rama Forte tratadas con solución isotónica al final del tratamiento T₃

3.4 Deshidratación Osmótica

Metodología Experimental

La deshidratación osmótica se llevó a cabo colocando las muestras de *Dyospiros kaki* en vasos de precipitado de 250 ml conteniendo la solución osmótica, la relación masa de sólido:masa solución hipertónica fue mayor de 1:10 (p/p) para garantizar constancia en la concentración del jarabe durante el tratamiento. Los ensayos de deshidratación osmótica fueron realizados en un baño termostático (modelo Dubnoff, Vicking, Argentina) con agitación lineal de 60 ciclos por minuto. Las muestras se retiraron de la

solución y se enjuagaron tres veces consecutivas con agua destilada para eliminar el exceso de azúcar presente en la superficie de la fruta, luego se secaron con papel absorbente para eliminar el excedente de agua superficial.

La deshidratación osmótica fue realizada por medio de dos agentes deshidratantes, sacarosa comercial (Alto Uruguay, San Javier, Misiones, Argentina) y xilitol (Gelflix, Buenos Aires, Argentina) durante 6 horas.

Los ensayos de deshidratación osmótica fueron realizados según los ensayos experimentales mostrados en la Tabla 3.3, donde los factores son: Concentración del agente osmótico y Temperatura.

Tabla 3.3: Diseño de las experiencias de deshidratación osmótica

Ensayo	Agente Osmótico	Concentración °Brix	Temperatura (°C)
1	Sacarosa	50	30
2		60	30
3		50	40
4		60	40
5	Xilitol	30	30
6		50	30
7		30	40
8		50	40

En la Figura 3.4 se observa el baño termostático utilizado para los ensayos de deshidratación osmótica:



Figura 3.4 Baño termostático (modelo Dubnoff, Vicking, Argentina)

Metodología de cálculo

Los valores de pérdida de agua, ganancia de soluto y pérdida de masa fueron calculados con las siguientes expresiones (Catilho - Garcia et al., 2007):

- Pérdida de masa (ΔM):

$$\Delta M(\%) = \frac{m_i - m_f}{m_i} * 100 \quad (3.1)$$

- Pérdida de agua (ΔW):

$$\Delta W(\%) = \frac{m_i X_i - m_f X_f}{m_i} * 100 \quad (3.2)$$

- Ganancia de soluto (ΔS):

$$\Delta S(\%) = \Delta W - \Delta M \quad (3.3)$$

Dónde:

m_i : masa inicial de la muestra (antes del proceso de deshidratación), g.

m_f : masa final de la muestra (después del proceso de deshidratación), g

X_i : Humedad de la Fruta Fresca, g agua / 100 g Fruta Fresca.

X_f : Humedad de la muestra al final del tratamiento, g agua / 100 g Fruta Fresca.

3.5 Secado

Metodología Experimental

El proceso de secado se realizó colocando las muestras de fruta, ubicadas sobre una bandeja perforada, en estufa con circulación forzada de aire (Dalvo, modelo Si343, Argentina), a velocidad constante de 1,1 m/s. Se realizaron ensayos de secado con aire caliente (SAC) continuo a tres temperaturas: 45, 60 y 75 °C durante 5 horas. En intervalos de tiempo preestablecidos, las muestras fueron retiradas y pesadas; todos los ensayos fueron realizados por triplicado. Se determinó el contenido de humedad de las muestras por el método gravimétrico.

Los valores de humedad de equilibrio (X_e) se obtuvieron secando las muestras por aproximadamente 48 hs a las temperaturas correspondientes (45, 60 y 75 °C).

3.6 Secado Intermitente

Metodología Experimental

El secado intermitente es un proceso en el cual el calor es aplicado de manera discontinua con periodos o ciclos de reposo (Islam et al., 2003, Jumah et al., 2007). Las muestras de *Dyospiros kaki* fresco y con tratamiento previo de deshidratación osmótica en las condiciones seleccionadas fueron secadas colocando las muestras de fruta, ubicadas sobre una bandeja perforada, en estufa con circulación forzada de aire en dirección paralela a las muestras (Dalvo, modelo Si343, Argentina), a velocidad (1,1 m/s) y temperaturas constantes (45, 60 y 75 °C), este proceso se efectuó alternando periodos de 45 min SAC (τ_{on}) / 45 min reposo (τ_{off}). Durante el periodo de reposo las muestras se conservaron en un recipiente cerrado, de poliestireno expandido de 5 cm de espesor de pared (Figura 3.5), para minimizar las variaciones de temperatura. Se registró la temperatura durante el periodo de reposo mediante cinco sensores de temperatura (PT 100) colocados cada uno entre dos muestras, registrandose los valores de temperatura cada 20 segundos.

Para comparar las curvas de secado continuo e intermitente se utilizó el tiempo efectivo de secado o tiempo de aplicación de calor, suprimiendo el tiempo de reposo. Se cuantificó la humedad de la fruta al inicio (fruta fresca) y al finalizar el proceso de secado por el método gravimétrico.



Figura 3.5 Recipiente de poliestireno expandido de 5 cm de espesor de pared

3.7 Deshidratación Osmótica - Secado

El proceso combinado de deshidratación osmótica seguido de secado continuo e intermitente de *Dyospiros kaki* se efectuó empleando soluciones de sacarosa (Alto Uruguay, San Javier, Misiones, Argentina) de 50 y 60 °Brix, y xilitol (Gelflix, Buenos

Aires, Argentina) de 50 °Brix a 40 °C, con agitación continua (60 ciclos/min) durante 6 h. Con el objetivo de estudiar el efecto del secado con aire caliente en muestras parcialmente deshidratadas/impregnadas, las mismas fueron secadas a 60 °C. Se seleccionó esta temperatura como un valor intermedio en el rango de temperaturas aplicadas en los ensayos de secado continuo e intermitente.

3.8 Rehidratación

Se evaluó la rehidratación de muestras de *Dyospiros kaki* deshidratadas en las condiciones antes mencionadas, para ello se sumergieron las muestras (rodajas de kaki) en agua con una relación 30:1 p/p en vasos de precipitado a temperatura (25 y 35 °C) constante por medio de un baño termostático con agitación constante (70 rpm) durante todo el proceso, las muestras fueron sacadas a intervalos de tiempos predeterminados, el agua superficial fue removida por medio de papel absorbente, se registró el peso y se volvió a sumergir las mismas.

Se propusieron diferentes índices para determinar las características de rehidratación de las muestras secas:

- La relación de rehidratación (RR), que es la relación de pesos entre la muestra rehidratada y la muestra seca (antes del proceso de rehidratación):

$$RR = \frac{M}{M_d} \quad (3.4)$$

Donde M es la masa (g) de la muestra rehidratada al tiempo t y M_d la masa (g) de la muestra seca (antes de la rehidratación).

- El coeficiente de rehidratación (CR), que indica el grado de recuperación de peso con respecto a la fruta fresca

$$CR = \frac{M(100-X_0)}{M_d(100-X_d)} \quad (3.5)$$

Donde M es la masa de la muestra rehidratada (g) al tiempo t, M_d la masa de la muestra seca (g) (antes de la rehidratación), X_0 la humedad (g de agua / 100 g de masa seca) de la fruta fresca y X_d la humedad (g de agua / 100 g de masa seca) de la fruta deshidratada (antes de la rehidratación)

3.9 Modelado Matemático

Se utilizó el modelo empírico de Page (Page, 1949), para explicar la pérdida de agua y ganancia de soluto durante la deshidratación osmótica, la cinética de secado continuo e intermitente, como así también para describir la cinética de rehidratación de la fruta. Para la deshidratación osmótica y el secado, la ecuación de Page toma la forma de la Ecuación 3.6:

$$MR = \frac{X-X_e}{X_0-X_e} = \exp(-kt^n) \quad (3.6)$$

Dónde:

X es el contenido de agua al tiempo t .

X_0 el contenido de agua al tiempo $t=0$.

X_e el contenido de agua de equilibrio.

Los valores de k y n fueron determinados por la técnica de regresión lineal, utilizando el paquete estadístico StatGraphics Centurión XVI Versión 16.0.07

La bondad de ajuste se evaluó mediante el coeficiente de determinación (R^2), y el error Promedio Porcentual (EPP, ecuación 3.7).

$$EPP = \frac{100}{N} \sum \left| \frac{X_{exp} - X_p}{X_{exp}} \right| \quad (3.7)$$

Dónde:

X_{exp} : valor experimental

X_p : valor predicho por el modelo

N : número de datos experimentales

Para la rehidratación, el modelo de Page se utilizó asumiendo que la humedad de equilibrio puede ser aproximada como la humedad al final del proceso (X_f). Esta modificación fue aplicada en el secado de arroz por Ramesh & Rao (1996) y por Ramallo & Macheroni (2012) durante la rehidratación de ananá secado con aire caliente:

$$MR = \frac{X-X_f}{X_d-X_f} = \exp(-kt^n) \quad (3.8)$$

Donde X es la humedad al tiempo t (g agua / 100 g ms), X_f es la humedad (g agua / 100 g ms) al final de proceso, X_d es la humedad (g agua / 100 g ms) de la muestra deshidratada previo al proceso de rehidratación, t es el tiempo de inmersión (minutos), k y n son los parámetros del modelo.

3.10 Isotermas de Sorción

Se determinaron las isotermas de sorción de muestras de fruta de *Dyospiros kaki* secadas a 60 °C por 24 horas, con y sin tratamiento previo de impregnación con sacarosa y xilitol, mediante el método estático gravimétrico. Las condiciones aplicadas fueron:

- Deshidratación osmótica en solución de sacarosa a 50 °Brix y 40 °C durante 6 h seguida de secado continuo a 60 °C por 24 horas (DO50B/SAC60°C)
- Deshidratación osmótica a 60 °Brix y 40 °C durante 6 h seguida de secado continuo a 60 °C hasta peso constante (DO60B/SAC60°C)
- Deshidratación osmótica en solución de xilitol a 50 °Brix y 40 °C durante 6 h seguida de secado continuo a 60 °C hasta peso constante (DO50BXIL/SAC60°C)
- Secado continuo a 60 °C por 24 horas (SAC60°C24h)

Esta técnica consiste en utilizar soluciones acuosas saturadas de sales para fijar la humedad relativa o actividad acuosa del ambiente en un valor constante durante el almacenamiento de las muestras y cuantificar el contenido de agua en las mismas cuando se alcanza el equilibrio termodinámico entre éstas y el ambiente que las rodea. Se consideró alcanzado el equilibrio cuando la variación de masa de las muestras en tres medidas consecutivas, en intervalos de 48 h, fuera menor a 0,05 %, lo cual ocurrió aproximadamente a los 22 días. Se emplearon ocho soluciones saturadas con valores de actividad de agua que variaron entre 0,123 y 0,928 (Tabla 3.4), de acuerdo a lo reportado por Greenspan (Greenspan, 1977). Muestras de fruta expuestas a a_w superiores a 0,6 fueron previamente rociadas con bisulfito de sodio al 0,1 % para evitar el desarrollo fúngico.

Tres muestras independientes de aproximadamente 2,5 g c/u fueron colocadas sobre placas de vidrio dentro de frascos dotados de cierre hermético, previamente esterilizados con luz UV, conteniendo las soluciones salinas. Estas celdas de a_w constante fueron almacenadas a temperatura constante de 8 ± 1 °C, 25 ± 1 °C y 35 ± 1 °C, utilizando a tal fin heladera de uso domiciliario y estufas de cultivo. Las muestras

fueron pesadas periódicamente en una balanza con precisión de $\pm 0,0001$ g. Las experiencias fueron realizadas por triplicado para cada temperatura y tratamiento.

Tabla 3.4: Valores de actividad de agua de las soluciones salinas saturadas a 8, 25 y 35°C (Greenspan, 1977)

Solución salina	Actividad acuosa (a_w)		
	8°C	25°C	35°C
LiCl	0,11	0,11	0,11
MgCl ₂	0,335	0,327	0,32
MgNO ₃	0,581	0,528	0,499
NaBr	0,632	0,575	0,545
CoCl ₂	0,72	0,649	0,586
Na ₂ NO ₃	0,779	0,742	0,72
NaCl	0,756	0,752	0,748
KCl	0,872	0,843	0,829

3.10.1 Modelado Matemático

Se seleccionaron cinco modelos matemáticos para describir la relación entre la actividad acuosa y los valores experimentales del contenido de agua de las muestras: GAB, BET, Henderson, Halsey y Oswin (Tabla 3.5).

El concepto físico del valor de humedad en la monocapa (X_m) es el mismo para los dos modelos (BET y GAB) pero BET es un modelo de 2 parámetros. Un informe de 1985 de la Comisión de Química Coloidal y de Superficie (IUPAC, 1985) recomienda el modelo BET para la evaluación estándar de los valores de monocapa en el intervalo de a_w entre 0,05 y 0,5. Por ende, se utilizó éste para estimar el valor de X_m y luego se aplicó el valor obtenido en el modelo de GAB convirtiéndolo en un esquema de cálculo de 2 parámetros (Timmermann, 2003).

Tabla 3.5 Modelos aplicados para el ajuste de las isotermas de sorción de agua en kaki

Nombre de la ecuación	Ecuación
GAB (Guggenheim–Anderson–de Boer) (Van den Berg, 1985)	$X = \frac{X_m C K a_w}{(1 - K a_w)(1 - K a_w + C K a_w)} \quad (3.9)$
BET (Brunauer <i>et al</i> , 1938)	$X = \frac{X_m C a_w}{[(1 - a_w) + (C - 1)(1 - a_w) a_w]} \quad (3.10)$
Halsey (Halsey, 1948)	$X = \left[\frac{(-a)}{\ln \ln a_w} \right]^{1/r} \quad (3.11)$
Henderson (Henderson, 1952)	$X = \left[\frac{(-\ln \ln (1 - a_w))}{A} \right]^{1/B} \quad (3.12)$

$$X = c1 \left(\frac{a_w}{1-a_w} \right)^{c2} \quad (3.13)$$

Los parámetros de los modelos fueron calculados utilizando regresión no lineal. El porcentaje de error medio porcentual (EPP) (ecuación 3.7) y el coeficiente de determinación (R^2) se emplearon como criterios para determinar el modelo de mejor ajuste de los valores experimentales.

3.11 Almacenamiento

Se almacenaron muestras de *Dyospiros kaki* var. Fuyu en condiciones de refrigeración (4 ± 1 °C) y humedad relativa ambiente constante (75 %) mediante el uso de recipientes herméticamente cerrados con un contenido suficiente de solución de Cloruro de Sodio saturado (para asegurar la humedad relativa al 75 %) durante 30 días en las siguientes condiciones:

- Frutas parcialmente deshidratadas, mediante deshidratación osmótica por 6 h a una concentración de 50 °Brix tanto con sacarosa como con xilitol como agentes osmóticos.
- Frutas sin tratamiento previo (fruta fresca)

Paralelamente, se almacenaron durante 60 días a temperatura ambiente promedio (25 ± 1 °C) y humedad relativa ambiente constante (75 %), mediante el uso de recipientes herméticamente cerrados con un contenido suficiente de solución de Cloruro de Sodio saturado, muestras de frutas de kaki fresco y secado con aire caliente a 60 °C con y sin pretratamiento osmótico a 50 °Brix hasta una humedad de $7,7 \pm 0,3$ g agua / 100 g (bh).

Las variables a analizar en la fruta durante el almacenamiento fueron: cambios en la humedad, cambios del color, contenido de carotenos totales y propiedades mecánicas.

3.11.1 Modelado Matemático

Para describir la cinética de degradación de carotenos durante el almacenamiento se utilizó un modelo de cinética de primer orden (Ecuación 3.12):

$$\ln \ln \frac{C}{C_0} = -kt \quad (3.12)$$

Donde k es una constante dependiente de la temperatura; C la concentración de carotenos al tiempo t y C_0 la concentración inicial de carotenos.

3.12 Técnicas Fisicoquímicas

3.12.1 Contenido de agua o humedad

El contenido de agua de la fruta fresca y de la fruta procesada con los distintos tratamientos se determinó gravimétricamente, mediante secado de una masa de aproximadamente 7 g en estufa a 75 ± 1 °C hasta pesada constante (48 h) (AOAC 1990). La determinación de humedad se realizó por triplicado.

3.12.2 Contenido de sólidos solubles (°Brix)

Para la determinación del contenido de sólidos solubles, 5 gramos de muestra de fruta fueron trituradas en un mortero, la pasta obtenida fue depositada en una tela filtrante, las gotas obtenidas del filtrado fueron leídas mediante un refractómetro Hanna HI96801 (Hanna Instruments, Argentina). La determinación de sólidos solubles se realizó por triplicado.

3.12.3 Propiedades mecánicas

La propiedades mecánicas fueron determinadas mediante un analizador de textura modelo TA.XT2i (SMS, Surrey, Inglaterra) equipado de una célula de carga 5 N (Figura 3.6). Se efectuaron ensayos de compresión uniaxial utilizando una sonda de acero inoxidable (P/75) de 75 mm de diámetro. La velocidad aplicada fue de 0,5 mm/s y la distancia recorrida fue del 70% del espesor de la muestra. Se cortaron cilindros de kaki de 1,2 cm de diámetro. Se realizaron 10 medidas por cada condición y mediante un Software propio del equipo se registraron los valores de Fuerza (F(t)) y distancia (d(t)). Estos datos se convirtieron en los parámetros de Hencky: tensión corregida (σ) y deformación (ϵ) (ecuaciones 3.13 y 3.14):

$$\sigma = \frac{F(t)H(t)}{H_0 A_0} = \quad (3.13)$$

$$\epsilon = - \ln \ln \left(\frac{H(t)}{H_0} \right) \quad (3.14)$$

Dónde:

H_0 y A_0 son la altura y el área inicial de la muestra (m).

$H(t)$ es la altura en el tiempo de deformación t (m).

La tensión y deformación se determinaron con el punto máximo de la curva tensión-deformación (σ_{\max} y ϵ_{\max}). La elasticidad o módulo de deformabilidad (E) fue

determinada como la pendiente de la región lineal inicial de la curva tensión-deformación, cuando la deformación no fue mayor al 6 % (Ribeiro et al., 2004; Renkema et al., 2001). La firmeza se determinó como la relación entre la tensión máxima y la deformación máxima ($\sigma_{\max}/\epsilon_{\max}$) (De Escalada Pla et al., 2009).

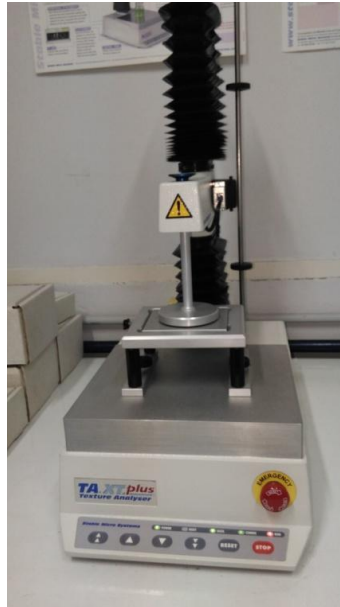


Figura 3.6 Analizador de textura modelo TA.XT2i

3.12.4 Color

El color superficial de las muestras se determinó con un colorímetro MiniScan EZ Hunterlab (Hunter Associates Laboratory, Inc (Figura 3.7), obteniéndose los parámetros de cromaticidad a^* (rojo/verde), b^* (amarillo/azul) y luminosidad L^* . Los valores presentados corresponden a la media de ocho mediciones, 4 en cada muestra. Con estos valores se calcularon los parámetros ángulo *Hue*, *Chroma* y ΔE a través de las ecuaciones (3.15) (3.16) y (3.17):

$$Hue = \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \quad (a^* > 0) \quad (3.15)$$

$$Chroma = (a^2 + b^2)^{1/2} \quad (3.16)$$

$$\Delta E = \left[(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 \right]^{1/2} \quad (3.17)$$

El parámetro *Hue* describe el color tal cual lo percibe una persona (es decir, verde, rojo, amarillo, etc.) y el *Chroma* representa la intensidad o la pureza del *Hue*. El ΔE describe el cambio del color total, los valores ΔL^* , Δa^* y Δb^* fueron calculados como la diferencia entre cada valor de las muestras tratadas y el valor promedio de la fruta fresca correspondiente.



Figura 3.7 Colorímetro MiniScan EZ Hunterlab

3.12.5 Carotenos totales

La extracción se realizó de acuerdo a la técnica descrita por de Carvalho et al. (2012), con adaptaciones para el *Dyospiros kaki* fresco y procesado. Así, 7,5 g de muestra fueron trituradas en mortero de vidrio, con la adición de 1,5 g de celite 454 (Anedra, Research AG, Argentina), durante 5 - 10 minutos. Luego se adicionó 12,5 ml de acetona (Sintorgan S.A, Argentina) hasta obtener una pasta que fue transferida a un embudo con papel de filtro acoplado a un kitasato de 250 ml y filtrada mediante vacío. Se repitió la adición de acetona (en alícuotas de 12,5 ml) sobre el residuo sólido hasta que las muestras de fruta se decoloraron completamente. El extracto líquido obtenido se transfirió a una ampolla de decantación que contenía 20 ml de éter de petróleo 60 - 80 °C (Biopack, Argentina). La acetona fue removida mediante el agregado de agua bidestilada (40 ml), la fase acuosa fue descartada. La fase orgánica fue transferida a un matraz aforado de 25 ml, que contenía 7,5 g de sulfato de sodio anhidro (Anedra, Argentina) y se llevó a volumen con éter de petróleo. La lectura de las soluciones obtenidas se realizó mediante un espectro de absorción en la región visible 350-500 nm en un espectrofotómetro (UV-2550, Shimadzu, Japón) (Figura 3.8). El contenido de carotenos totales se determinó a 450 nm utilizando la curva de calibración obtenida con diluciones de un patrón de β -carotenos (Sigma-Aldrich,

EEUU). Las determinaciones se realizaron por duplicado y los resultados se expresaron en $\mu\text{g} / 100 \text{ g}$ de Fruta Fresca.



Figura 3.8 Espectrofotómetro UV (UV-2550, Shimadzu, Japón)

3.13 Análisis Sensorial

3.13.1 Análisis de aceptación / rechazo

Con el objeto de seleccionar la variedad de estudio, se realizó un análisis de aceptación/rechazo de las tres variedades de fruta. Se trabajó con un grupo pequeño de 8 consumidores habituales de la fruta en sus tres variedades. Se evaluaron 6 muestras, las cuales se describen a continuación:

- Fruta fresca y osmodeshidratada por 3 horas en solución de sacarosa a 50 °Brix de la variedad “*Giombo*”.
- Fruta fresca y osmodeshidratada por 3 horas en solución de sacarosa a 50 °Brix de la variedad “*Fuyu*”.
- Fruta fresca y osmodeshidratada por 3 horas en solución de sacarosa a 50 °Brix de la variedad “*Rama Forte*”.

Las muestras se presentaron en orden aleatorio identificadas con un código de tres dígitos al azar. Los consumidores probaron las muestras presentadas de una en una, y manifestaron el grado de aceptación de su apariencia, color, sabor y aceptación general, en una escala hedónica de 9 puntos cuyos extremos son “me disgusta mucho” (extremo izquierdo correspondiente a 1) y “me gusta mucho” (extremo derecho correspondiente al 9) (Anexo I).

Por su parte, las muestras de variedad *Rama Forte* pretratadas con soluciones de calcio se presentaron a los evaluadores, los cuales evaluaron el grado de aceptación únicamente mediante su apariencia, color y aceptación general (Anexo II).

3.13.2 Test de Triángulo

Con la finalidad de evaluar el efecto de la concentración del agente osmótico sobre las características organolépticas y definir la misma para los posteriores ensayos, se realizó un test de triángulo para evidenciar la existencia de diferencias entre las muestras de fruta de *Dyospiros kaki* var. Fuyu deshidratada osmóticamente durante 6 horas con solución acuosa de sacarosa a 50 y 60 °Brix. Se trabajó con un panel de 24 catadores no entrenados (14 mujeres y 10 hombres) de 25 a 65 años, miembros de la Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales (Universidad Nacional de Misiones) y consumidores habituales de la fruta, presentando tres muestras de forma aleatoria a cada evaluador, de los cuales dos fueron deshidratadas a una concentración (muestras iguales) y la tercera a otra concentración (muestra diferente), junto con la ficha de evaluación (Anexo III).

3.13.3 Análisis descriptivo de *Dyospiros kaki* fresco e impregnado

Las muestras de *Dyospiros kaki* var. Fuyu fresco e impregnado en las distintas condiciones fueron evaluadas mediante un análisis sensorial descriptivo cuantitativo (Stone et al., 1974). Para ello se trabajó con 10 evaluadores (6 mujeres y 4 hombres) de 27 a 64 años, todos miembros de la Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales (Universidad Nacional de Misiones). Los evaluadores son consumidores habituales de *Dyospiros kaki* fresco, además fueron sometidos a etapas de entrenamiento con muestras de *Dyospiros kaki* var. Fuyu frescas y previamente impregnadas.

El análisis sensorial descriptivo cuantitativo (ADC) se llevó a cabo por medio de tres etapas bien definidas:

- **Desarrollo de Descriptores**

La etapa de generación de descriptores se llevó a cabo en mesa redonda, en dos sesiones de 45 minutos. Por medio de un *brainstorming* se obtuvieron los descriptores necesarios (Lawless & Heymann, 1998) que posteriormente fueron utilizados para la descripción de las muestras. Para ello en la primer sesión, se presentó el grupo y el líder del panel, luego se proporcionó las muestras a los evaluadores para que, según su criterio, elijan los descriptores. En la segunda sesión, se repitió el procedimiento y se llegó a un acuerdo común para seleccionar los descriptores a utilizarse en las siguientes etapas.

En cada una de las sesiones se proporcionaron a los evaluadores tres muestras de *Dyospiros kaki* var. Fuyu, una de ellas sin tratar y las otras habían recibido tratamiento previo de deshidratación osmótica a 50 y 60 °Brix con solución de sacarosa, cada una

identificadas con códigos numéricos de tres dígitos al azar y una planilla comparativa (Anexo IV). Luego de probar cada muestra (neutralizando el sabor al cambiar de muestra), se les pidió a los evaluadores que analizaran los atributos *apariencia*, *textura bucal* y *sabor* de las muestras y que escribieran los descriptores. Para neutralizar el sabor, los evaluadores contaron con agua y galletitas saladas. La apariencia se determinó por observación de las muestras, la textura bucal por compresión de las muestras con los molares y el sabor luego de la degustación las muestras en un intervalo de 1 minuto. El líder del panel escribió en un pizarrón los descriptores que surgieron agrupándolos por atributos (Tabla 3.6), se debatieron los mismos y se consensuó con los evaluadores el significado de cada uno de los descriptores y la forma de evaluarlos de modo que fuera posible cuantificar su nivel de intensidad en el producto (Albert et al., 2009; Escribano et al., 2010; Pagliarini et al., 2010), luego se seleccionaron los más relevantes.

- **Entrenamiento**

En una segunda etapa, se entrenó a los evaluadores durante 3 sesiones de 45 minutos cada una presentándoles las muestras codificadas junto a una planilla con el listado de descriptores generados y las técnicas de evaluación (Tabla 3.7) y otra con una escala hedónica de medición (Anexo V). Durante las sesiones de entrenamiento los evaluadores recibieron dos muestras codificadas y evaluaron los atributos en una escala de 10 cm utilizando referencias para el máximo y mínimo de la escala. Los evaluadores pudieron identificar las características más relevantes de cada muestra. En estas sesiones los evaluadores analizaron las muestras por medio de escala hedónica pudieron debatir los resultados hasta llegar a un consenso. Se presentaron referencias para cada descriptor para los extremos de cada escala (Tabla 3.8).

Tabla 3.6 Descriptores sugeridos por los evaluadores en la primera etapa

Atributo	Descriptor
Apariencia	Color (color naranja o rojizo), intensidad del color (oscuro o claro), brillo, tamaño, oscuro.
Textura	Dureza, resistencia a la presión, gomosidad, masticabilidad, firmeza, resistencia al corte.
Sabor	Sabor a kaki, astringencia, intensidad de sabor dulce, acidez, intensidad de sabor ácido.

Tabla 3.7 Descriptores seleccionados por consenso y posteriormente evaluados, con su respectivo protocolo de evaluación

Descriptor	Protocolo de evaluación
Apariencia	
Color Naranja	Luego de observar las referencias, evaluar el color Naranja de las muestras.
Textura Bucal	
Firmeza	Colocar la muestra entre los molares y morder la muestra evaluando la fuerza necesaria para comprimir la muestra.
Sabor	
Sabor dulce	Probar la muestra y evaluar el dulzor de la muestra según las referencias proporcionadas
Sabor Ácido	Probar la muestra y evaluar la acidez de la muestra según las referencias proporcionadas

Tabla 3.8 Referencias

Atributo	Referencias	Parámetro Asociado
Color Naranja	Mínimo: Yema de Huevo	Mínimo Hue: 77,3 (Philip et al., 1977)
	Máximo: Zanahoria	Máximo Hue: 49,6 (Baysal et al., 2003)
Firmeza	Mínimo: Queso cremoso marca comercial (Ilolay)	Mínimo $F_{max}: 0,28 \pm 0,03 \text{ N}$
	Máximo: Manzana Roja	Máximo $F_{max}: 2,1 \pm 0,1 \text{ N}$
Sabor Dulce	Mínimo: Solución acuosa de sacarosa de 5 °Brix	Mínimo. $5 \pm 0,7 \text{ °Brix}$
	Máximo: Solución acuosa de sacarosa de 30 °Brix	Máximo $30 \pm 1,2 \text{ °Brix}$
Sabor Ácido	Mínimo: Banana	Mínimo. pH: $6 \pm 0,3$
	Máximo: Manzana Verde	Máximo pH: $3 \pm 0,4$

- **Medición o evaluación de los descriptores**

Una vez finalizada la etapa de entrenamiento se realizó la medición final (Figura 3.9), llevándola a cabo en dos sesiones de 45 minutos, presentando las muestras (fruta fresca y pretratada osmóticamente a 50 y 60 °Brix) en bandejas enumeradas con

números de tres cifras distintos a los de la etapa de entrenamiento. Este ensayo se realizó en cabinas individuales donde se presentó las muestras en bandejas plásticas con la planilla de medición (Anexo VI). Los evaluadores realizaron la medida de los atributos (Tabla 3.7) en una escala de 10 cm sin utilizar referencias para el máximo y mínimo de la escala.



Figura 3.9 Etapa de medición

3.13.4 Análisis de aceptabilidad

Una vez concluido el análisis descriptivo de las muestras de kaki fresco y tratado osmóticamente en solución acuosa de sacarosa a 50 y 60 °Brix se realizó un análisis de aceptabilidad, aplicando un test de ordenamiento por preferencia, con 16 consumidores habituales de la fruta, utilizando un ordenamiento de 1 (Gusta más) - 3 (Gusta menos) (Anexo VII). Los panelistas recibieron las tres muestras codificadas y se les solicitó que las ordenaran según los atributos: *Sabor*, *textura* y *preferencia global*, asignando el primer orden a la que les gustaba más y el último orden a la que gustaba menos. Se utilizó agua mineral y galletitas como agentes neutralizantes.

3.14 Análisis Estadístico

El análisis estadístico y las regresiones lineales y no lineales se realizaron utilizando el software StatGraphics Centurión XVI Versión 16.0.07.

Se aplicaron análisis de varianza (ANOVA), y cuando los ANOVA mostraron diferencias estadísticas ($p < 0,05$), se llevaron a cabo comparaciones por pares de medias aplicando el test de múltiples rangos de Fisher (LSD).

Capítulo 4: Resultados y Discusión

***Sección I: Selección de
la variedad de
Dyospiros kaki***

Capítulo 4: Resultados y Discusión

SECCION I: SELECCIÓN DE LA VARIEDAD DE *DYOSPIROS KAKI*

En la provincia de Misiones se cultivan principalmente tres variedades de *Dyospiros kaki*: *Fuyu*, *Rama Forte* y *Giombo*. Con el objetivo de seleccionar la variedad más aceptada por el consumidor y apropiada para el procesamiento, se realizaron ensayos de caracterización de las variedades, deshidratación osmótica y análisis sensorial.

En esta sección se evaluó la cinética de deshidratación por medio del análisis de la pérdida de agua y de la ganancia de soluto y se analizó, por medio de medidas instrumentales, la influencia del procesamiento en distintos parámetros, con el fin de seleccionar la variedad más aceptada por el consumidor y la más propicia al procesamiento.

4.1.1 Características de las frutas de kaki

En la Tabla 4.1.1 se presentan las características principales de las frutas de tres variedades de *Dyospiros kaki*: *Fuyu*, *Rama Forte* y *Giombo*, los valores representan la media sobre 20 frutas:

Tabla 4.1.1 Caracterización de las tres variedades de estudio

	Fuyu	Rama Forte	Giombo	
Peso (g)	114 ± 8,8	156,8 ± 16	86,8 ± 7,6	
Humedad Promedio (g agua / 100 g fruta)	79,8 ± 1,6	79,4 ± 1,4	77,8 ± 2,1	
Color de la pulpa	L*	52 ± 3,9	39,5 ± 3,5	31,4 ± 1,9
	a*	30,6 ± 1,8	37,3 ± 1,7	19,1 ± 1,7
	b*	48,1 ± 3,1	45,9 ± 4,5	24,6 ± 1,5
Sólidos Solubles (°Brix)	18 ± 0,2	19,8 ± 1,1	15,4 ± 0,5	
Diámetro Longitudinal (mm)	46,6 ± 0,8	46,1 ± 1,2	58,6 ± 7,6	
Diámetro transversal (mm)	95,7 ± 0,6	102,4 ± 1,2	56,3 ± 1,4	

Las tres variedades presentan diferencias en sus características (forma, tamaño, color, textura, astringencia, etc). La variedad *Giombo* presenta frutas de menor tamaño en relación a las otras variedades (Figura 4.1.1), lo que se ve reflejado en los valores del peso y del diámetro transversal (Tabla 4.1.1). En cuanto a la humedad, no se

observaron diferencias significativas entre las tres variedades, sin embargo, la variedad *Giombo* presenta valores levemente menores. La mayor diferencia en los parámetros de color de la pulpa de las muestras en su completo estado de madurez, se presentó para la variedad *Giombo* en relación a las variedades *Fuyu* y *Rama Forte*, esto se debe a que la variedad *Giombo* presenta una pulpa oscura (Figura 4.1.1) lo que le da su nombre característico de “kaki chocolate”; en la Figura 4.1.1 se muestran las diferencias de color en las tres variedades estudiadas. La variedad *Fuyu*, por su parte, presenta pulpa de coloración naranja sin presencia de semillas; y la variedad *Rama Forte* una coloración roja también sin presencia de semillas.

La variedad *Giombo* presentó, además, menores valores de sólidos solubles (°Brix) en relación a las otras variedades.

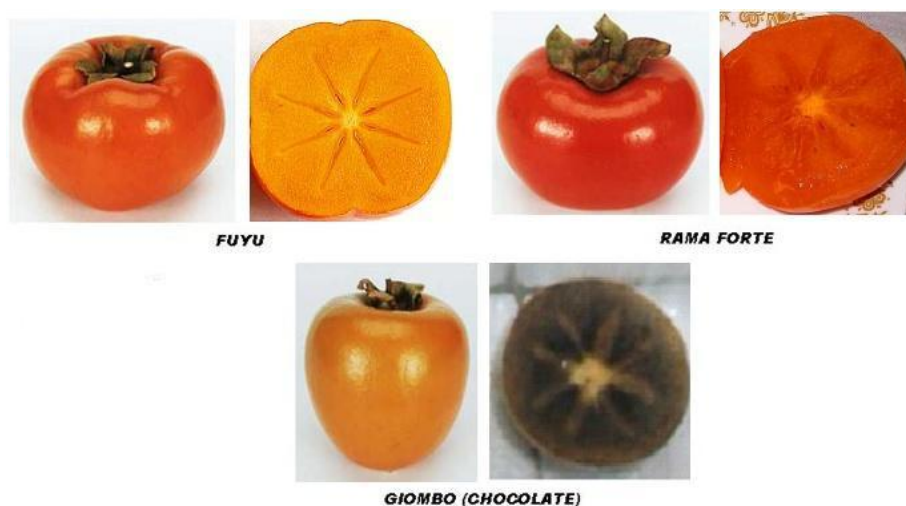


Figura 4.1.1 Variedades de *Dyospiros kaki*

4.1.2 Deshidratación osmótica (DO) - Ensayos preliminares

Se observó marcadas diferencias en la resistencia mecánica de la pulpa de las tres variedades de fruta de kaki. Por ende, con el objetivo de evaluar la viabilidad del proceso de deshidratación osmótica, se realizaron ensayos con las tres variedades. Para la variedad *Rama Forte*, se utilizaron frutas con pulpa aún firme, adecuada para el tratamiento de deshidratación osmótica. Cabe destacar que en estas condiciones la fruta presenta una consistencia firme, pero a su vez, presenta una elevada astringencia lo que hace que sea inviable para el consumo. Sestari et al. (2009) estudiaron la exposición de frutas de *Dysopiros kaki* var. Rama Forte (antes de llegar a su estado de madurez) a una atmósfera de CO₂ para lograr la polimerización de los taninos y consecuente reducción de la astringencia. Después de 15 días de

almacenamiento en frío, las frutas no presentaron astringencia. El tiempo de exposición al CO₂ afectó la firmeza de la fruta además del color de la piel y la pulpa. En las Figuras 4.1.2 y 4.1.3 se puede observar la evolución de pérdida de agua y ganancia de soluto para las tres variedades en estudio, utilizando solución acuosa de sacarosa como agente deshidratante, con una concentración de 50 °Brix durante 3 horas de procesamiento. La pérdida de agua fue mayor para la variedad *Giombo*, seguida de la *Fuyu* y luego por la *Rama Forte*. No obstante, no hay diferencias significativas ($p \geq 0,05$) entre los valores de pérdida de agua de las distintas variedades a tiempos de deshidratación osmótica superiores a 120 minutos.

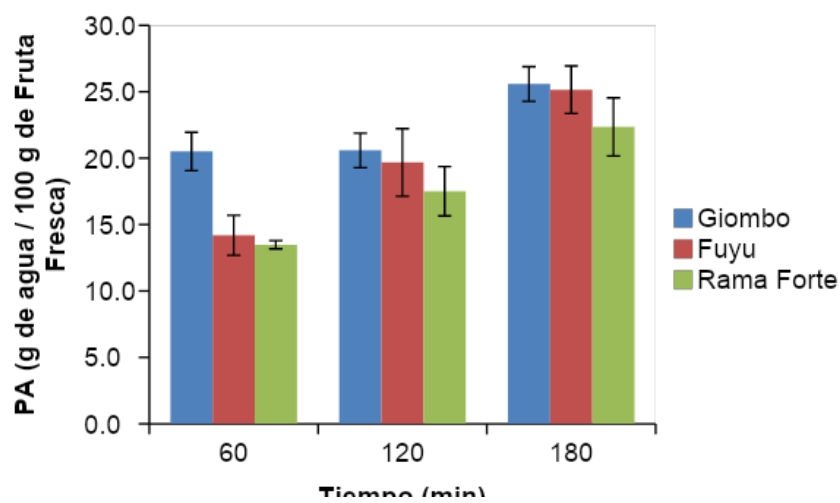


Figura 4.1.2 Pérdida de agua (PA) para tres variedades de *Dyospiros kaki* durante la deshidratación osmótica en solución de sacarosa de 50 °Brix y 40 °C

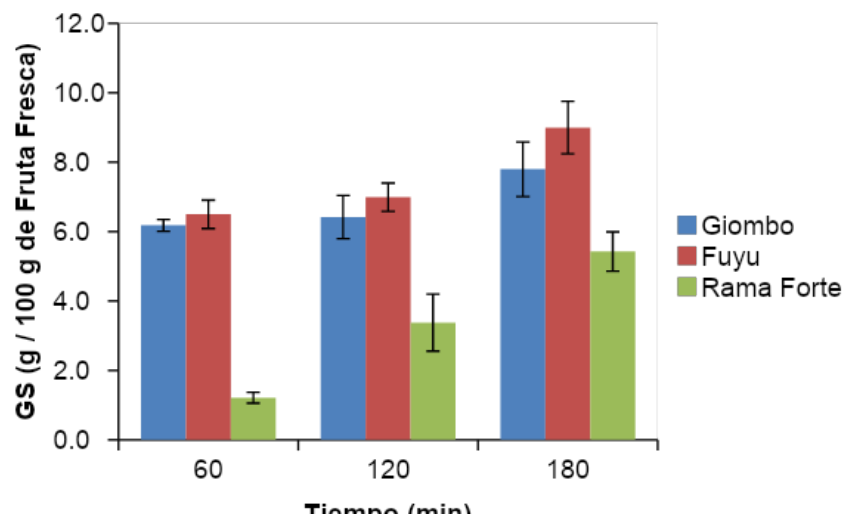


Figura 4.1.3 Ganancia de soluto (GS) para tres variedades de *Dyospiros kaki* durante la deshidratación osmótica en solución de sacarosa de 50 °Brix y 40 °C

Se observa la menor ganancia de soluto (GS) en la variedad *Rama Forte* en relación a las otras variedades. El valor máximo de GS alcanzado fue de 8,9 g / 100 g de fruta a

los 180 minutos de deshidratación para la variedad *Fuyu*. El análisis de los resultados indica, que hay no diferencia significativa entre los datos de ganancia de soluto a las 3 horas de procesamiento osmótico en solución acuosa de sacarosa para las variedades *Fuyu* y *Giombo*, sin embargo, si se evidencian diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre la variedad *Rama Forte* y las variedades *Fuyu* y *Giombo*, esto puede deberse a la diferente estructura de tejido entre las variedades.

4.1.2.1 Color

Las principales diferencias entre las tres variedades se pueden apreciar en la Figura 4.1.1, la variedad *Giombo* presenta una coloración oscura lo cual es característico en esta variedad, mientras que la variedad *Fuyu* en su estado de madurez presenta una coloración naranja y una consistencia firme, lo que hace ventajoso su procesamiento de deshidratación osmótica.

En la Tabla 4.1.2 se muestran los parámetros de color para las tres variedades estudiadas, estos son los valores medios con sus respectivos desvíos estándar. Comparando el color de la fruta fresca de las tres variedades de *Diospyros kaki* (Fig. 4.1.1), los valores de los parámetros a^* son diferentes ($p < 0,05$), la variedad *Rama Forte* presentó valores más altos de a^* (+rojo). Los valores de L^* y b^* presentaron menores valores para la variedad *Giombo*, lo que se ve reflejado en el color característico de la fruta (Figura 4.1.1). Por su parte, los valores de *Hue* no muestran diferencias apreciables de color durante el proceso osmótico para las variedades *Giombo* y *Fuyu*. Por su parte, en la variedad *Rama Forte*, la deshidratación osmótica produjo frutas más rojizas, posiblemente por efecto de deshidratación, lo que se vio reflejado en los valores del parámetro *Hue*, los cuales disminuyeron con el procesamiento. En cuanto a la pureza del color (*Chroma*), la variedad *Giombo* presentó menores valores en relación a las otras dos variedades. En la Figura 4.1.4 se se observa muestra de *Dyospiros Kaki* Var. *Giombo* luego de la DO por 3 horas.

Tabla 4.1.2 Parámetros de color de las tres variedades durante el tratamiento de deshidratación osmótica en solución de sacarosa a 50 °Brix y 40 °C

	Tiempo (min)	L^*	a^*	b^*	Hue	Chroma
Giombo	0	31,7 ± 2,2	19,0 ± 0,8	24,9 ± 2,6	52,0 ± 1,2a	31,6 ± 0,7a
	60	26,8 ± 0,2	19,1 ± 0,8	23,7 ± 0,5	51,2 ± 1,0a	30,4 ± 0,8a
	120	29,7 ± 1,5	20,1 ± 0,7	25,2 ± 1,5	51,3 ± 2,5a	32,2 ± 0,8a
	180	27,6 ± 0,3	20,4 ± 0,6	24,5 ± 1,3	50,2 ± 0,7a	31,9 ± 0,6a
Fuyu	0	53,7 ± 1,1	27,4 ± 4,4	53,1 ± 3,2	62,8 ± 2,3b	59,8 ± 4,8b
	60	52,2 ± 0,7	32,3 ± 2,4	50,8 ± 3,7	57,5 ± 3,8b	60,3 ± 1,8b
	120	51,7 ± 1,6	31,8 ± 4,9	47,8 ± 4,4	56,4 ± 1,6b	57,4 ± 6,4b
	180	50,9 ± 0,9	28,7 ± 2,8	49,9 ± 3,6	59,9 ± 4,2b	57,7 ± 1,7b

	0	41,2 ± 2,3	36,5 ± 1,5	46,4 ± 2,0	51,8 ± 1,0c	59,0 ± 1,8c
Rama	60	40,6 ± 1,5	45,8 ± 1,9	45,2 ± 3,4	45,4 ± 0,9d	58,8 ± 3,8c
Forte	120	39,1 ± 4,6	54,1 ± 1,2	46,7 ± 2,1	41,3 ± 2,1e	72,0 ± 2,4d
	180	33,7 ± 1,3	54,9 ± 1,5	41,4 ± 6,5	36,8 ± 3,3e	68,6 ± 5,9d

*Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

*Cada valor es promedio \pm desviación estándar de los resultados obtenidos



Figura 4.1.4 *Dyospiros Kaki* Var Giombo luego de la DO por 3 horas

4.1.2.2 Impregnación con calcio

Las frutas de la variedad *Rama Forte* en el estado de pre-madurez poseen una matriz vegetal con características físicas apropiadas para la aplicación del tratamiento de deshidratación osmótica, pero al mismo tiempo posee un sabor fuertemente astringente debido a la alta concentración de taninos presente en la pulpa del mismo (Akyıldız et al., 2004).

Con el avance del proceso de maduración, la fruta de *Dyospiros Kaki* variedad *Rama Forte* va perdiendo astringencia, pero simultáneamente su tejido pierde firmeza volviéndose impracticable su tratamiento osmótico debido al desmembramiento de las muestras dentro de la solución hipertónica. Esto puede deberse a que en la maduración, la enzima pectinesterasa actúa sobre las cadenas de las pectinas rompiéndolas y debilitando su estructura (Matsuo, 1998). Debido a este problema, se buscó una forma de pre tratamiento de las muestras que permita aumentar su firmeza. Para ello, se trataron las muestras de *Dyospiros Kaki* var. *Rama Forte* con diferentes soluciones de calcio (según lo indica la Tabla 3.2), siendo T_2 y T_3 los tratamientos que presentaron mejores resultados. Numerosos autores han estudiado la influencia de la impregnación de frutas con sales de calcio sobre la textura. Alandes et al. (2009) estudiaron el efecto de la impregnación en soluciones que contenían lactato de calcio sobre la estructura, la textura, la actividad de la pectinmetilesterasa y la actividad de la poligalacturonasa en peras cortadas y almacenadas durante 3 semanas a 4 °C, encontrando que éste pretratamiento reforzó la estructura de las paredes celulares y los contactos célula a célula, que en un nivel macroscópico se traduce en una mejora

de la textura de las peras. Aguayo et al. (2008) encontraron que la impregnación con lactato de calcio mantiene la firmeza de melones, almacenados refrigerados durante 8 días, en mayor medida que el carbonato de calcio; resultados que concuerdan con Silveira et al. (2011). La impregnación de manzanas por inmersión a tiempos largos (6 horas) en soluciones de lactato de calcio a diferentes concentraciones fue estudiada por Cybulska et al. (2011) encontrando un mejoramiento en la textura por el aumento de la firmeza.

4.1.2.2.1 Deshidratación osmótica

En las Figuras 4.1.5 y 4.1.6 se puede observar la evolución de pérdida de agua y ganancia de soluto de las muestras de *Dyospiros kaki* var. Rama Forte previamente impregnadas con calcio en solución isotónica (según las condiciones propuestas), utilizando sacarosa como agente deshidratante con una concentración de 50 °Brix durante 6 horas. La pérdida de agua no presentó diferencias significativas ($p \geq 0,05$) para los tratamientos empleados luego de las 6 horas de tratamiento.

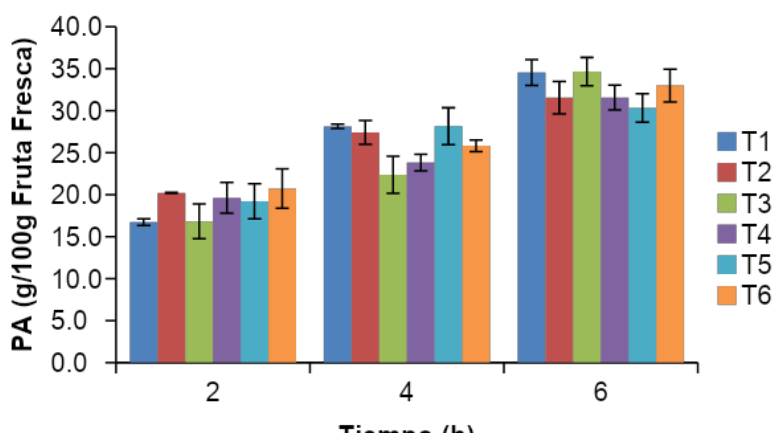


Figura 4.1.5 Pérdida de agua (PA) de muestras de *Dyospiros kaki* var Rama Forte previamente impregnadas con calcio durante la deshidratación osmótica en solución de sacarosa de 50 °Brix y 40 °C

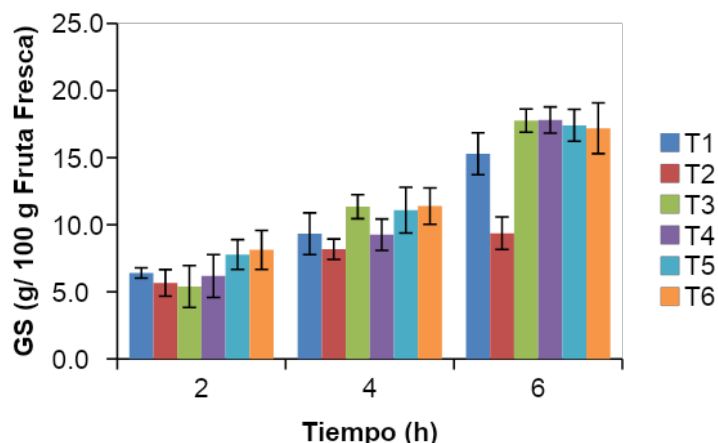


Figura 4.1.6 Ganancia de soluto (GS) de muestras de *Dyospiros kaki* var Rama Forte previamente impregnadas con calcio durante la deshidratación osmótica en solución de sacarosa de 50 °Brix y 40 °C

Se observa una menor ganancia de soluto para muestras tratadas con hidróxido de calcio al 0,1 % (T_2) en comparación con las muestras tratadas con lactato de calcio luego de 6 horas de procesamiento. A su vez, no se encontraron diferencias significativas ($p \geq 0,05$) en la ganancia de soluto de muestras tratadas con lactato de calcio en las condiciones propuestas. Resultados similares de pérdida de agua fueron encontrados por Silva et al. (2013) durante la deshidratación osmótica de ananá utilizando sacarosa (en concentraciones de 40 a 50 °Brix), lactato de calcio (en concentraciones de 2 a 4 %) y ácido ascórbico (en concentraciones de 1 a 2 %) como solución osmótica. Solo la concentración de sacarosa redujo significativamente la pérdida de agua de las muestras.

Por otra parte, en la Figura 4.1.7 se observa el cambio de color en la solución osmótica luego del procesamiento T_3 , lo cual se debe a la decoloración de las muestras de *Dyospiros kaki* var. Rama Forte pretratadas con soluciones de calcio luego del tratamiento osmótico por causa de la pérdida de pigmentos, se puede observar un cambio en el color de la solución. Sin embargo, a pesar del efecto de decoloración, no se observó disgregación de las muestras dentro de la solución osmótica; lo que evidencia el efecto protector del calcio sobre la firmeza del tejido. Osorio et al. (2007) encontraron resultados similares de pérdida de pigmentos durante la deshidratación osmótica de moras.



Figura 4.1.7 Solución osmótica posterior al procesamiento T_3 con decoloración de las muestras

4.1.2.2.2 Color

En la Tabla 4.1.3 se puede observar los parámetros de color para las muestras de *Dyospiros kaki* var Rama Forte pretratadas con soluciones isotónicas de calcio para su

impregnación, así como también la evolución de los mismos durante la deshidratación osmótica con sacarosa a 50 °Brix y 40°C.

Tabla 4.1.3 Parámetros de color de muestras de *Dyospiros kaki* var Rama Forte previamente impregnadas con calcio y luego de su posterior deshidratación osmótica a 50 °Brix y 40 °C

Tratamiento	tiempo (h)	L*	a*	b*	Hue	Chroma
T ₁	Fruta Fresca	41,94 ± 4,03b	34,25 ± 0,95a	45,47 ± 2,98a	53,01 ± 2,36a	56,92 ± 3,35a
	0	39,24 ± 3,75(a)(b)	33,62 ± 1,37a	47,71 ± 3,23a	54,83 ± 3,08(a)(b)	58,36 ± 3,45a
	2	34,72 ± 0,53a	34,26 ± 0,53a	43,98 ± 1,86a	52,08 ± 0,83a	55,75 ± 1,75a
	4	37,15 ± 1,63(a)(b)	33,16 ± 0,32a	52,48 ± 2,72a	57,71 ± 1,09b	62,08 ± 2,47a
	6	37,3 ± 2,76(a)(b)	33,02 ± 3,82a	47,48 ± 3,92a	55,18 ± 4,91(a)(b)	57,83 ± 3,61a
T ₂	Fruta Fresca	37,51 ± 2,55c	33,23 ± 0,42b	40,96 ± 3,82a	50,90 ± 3,26a	52,85 ± 1,27a
	0	30 ± 1,85b	32,69 ± 1,37b	42,24 ± 2,42(a)(b)	52,26 ± 1,36a	53,41 ± 1,91(a)(b)
	2	30,74 ± 0,81b	32,04 ± 1,19b	45,66 ± 0,58b	54,94 ± 1,49a	55,78 ± 0,37b
	4	28,15 ± 1,22b	33,46 ± 1,17b	45,14 ± 1,96(a)(b)	53,39 ± 1,61a	56,20 ± 1,41c
	6	16,25 ± 1,62a	31,34 ± 0,47a	45,15 ± 2,75(a)(b)	55,23 ± 1,77a	54,96 ± 2,23b
T ₃	Fruta Fresca	41,48 ± 3,34b	37,85 ± 1,07b	41,44 ± 3,66a	47,59 ± 2,85a	56,13 ± 2,56a
	0	35,97 ± 3,76a	37,27 ± 2,81(a)(b)	46,94 ± 4,53a	51,55 ± 3,58(a)(b)	59,94 ± 5,27a
	2	33,40 ± 2,28a	36,37 ± 0,67(a)(b)	48,77 ± 2,32a	53,29 ± 1,76b	60,84 ± 1,54a
	4	31,16 ± 1,50a	35,83 ± 1,33(a)(b)	45,18 ± 3,19a	51,58 ± 3(a)(b)	57,66 ± 1,68a
	6	31,44 ± 0,43a	34,43 ± 1,08a	41,46 ± 3,28a	50,29 ± 1,76(a)(b)	53,89 ± 3,04a
T ₄	Fruta Fresca	35,98 ± 1,73d	38,25 ± 0,61d	38,55 ± 1,05c	51,77 ± 0,76a	61,81 ± 0,90c
	0	32,50 ± 0,37c	20,47 ± 0,84a	26,40 ± 1,41a	51,21 ± 0,38a	35,41 ± 1,62a
	2	25,35 ± 0,34b	25,56 ± 1,09c	30,08 ± 1,55b	49,64 ± 2,61a	39,47 ± 0,59b
	4	24,55 ± 0,30b	23,02 ± 1,02b	27,93 ± 2,63(a)(b)	50,51 ± 1,66a	36,19 ± 2,62a
	6	21,34 ± 0,67a	23,63 ± 1,74(b)(c)	28,02 ± 1,05(a)(b)	49,86 ± 3,01a	36,65 ± 0,66a
T ₅	Fruta Fresca	35,98 ± 1,73c	38,25 ± 0,61b	38,55 ± 1,05b	51,77 ± 2,76c	61,81 ± 0,90c
	0	30,56 ± 4,49b	24,83 ± 4,52a	27,88 ± 6,33a	48,13 ± 1,72c	41,28 ± 2,14b
	2	25,63 ± 1,17b	26,39 ± 1,12a	26,14 ± 1,80a	44,74 ± 1,53b	37,15 ± 1,24a
	4	23,53 ± 0,36a	27,15 ± 0,78a	25,02 ± 0,61a	42,65 ± 1,51(a)(b)	36,92 ± 0,20a
	6	23,16 ± 0,56a	27,79 ± 0,74a	24,54 ± 0,53a	41,45 ± 0,40a	37,07 ± 0,87a
T ₆	Fruta Fresca	35,75 ± 2,03b	38,05 ± 0,80c	41,14 ± 3,44c	53,35 ± 1,24c	63,75 ± 3,25b
	0	29,95 ± 0,31a	24,25 ± 2,03a	29,20 ± 1,86a	50,89 ± 1,12b	38,68 ± 2,67a

2	29,51 ± 2,49a	30,21 ± 1,43b	28,27 ± 0,8a	43,50 ± 1,51a	41,64 ± 1,21a
4	28,51 ± 0,54a	32,66 ± 1,73b	30,09 ± 4,66a	42,55 ± 3,50a	44,48 ± 3,21a
6	31,69 ± 2,02a	32,56 ± 4,14b	31,67 ± 6,12a	44,43 ± 3,64a	45,22 ± 5,64a

Letras diferentes en la misma columna, de cada parámetro de color y cada tratamiento, indican diferencia significativa ($p < 0,05$).

Luego del análisis estadístico para los distintos tratamientos, se observa que los valores de *Hue* no muestran diferencias luego del tratamiento con sales de calcio, a excepción del tratamiento T_6 donde se evidencia una disminución en el parámetro *Hue*, esto indica que se evidencian diferencias de color luego de la impregnación de las muestras de *Dyospiros kaki* var. Rama Forte con lactato de calcio al 10 %. Sin embargo, el tratamiento con sales de calcio provoca una disminución en el parámetro L^* , lo que indica un oscurecimiento de las frutas luego del pretratamiento, esta reducción fue del 7, 20, 13, 10, 15 y 16 % para T_1 , T_2 , T_3 , T_4 , T_5 y T_6 respectivamente.

El tratamiento osmótico no provoca cambios significativos en los parámetros de color de las muestras tratadas con T_1 . Sin embargo, para los demás tratamientos se observa una disminución en los parámetros de color (principalmente en el parámetro L^*), lo que evidencia un oscurecimiento de las muestras. Este comportamiento fue notorio en las muestras con pretratamiento en soluciones de Hidroxido de calcio al 0,1 % (T_2) luego de 6 horas de procesamiento, donde el parámetro L^* disminuyó un 51 % en relación a las muestras al inicio del proceso de deshidratación osmótica. A diferencia de las muestras osmodeshidratadas sin pretratamiento (Tabla 4.1.2), el valor de a^* de las muestras pretratadas con soluciones de calcio no se incrementa con el proceso osmótico.

4.1.2.2.3 Propiedades Mecánicas

Es sabido que la unión de la pectina presente en la fruta con iones calcio proporciona una estructura más rígida en la lámina media de la pared celular (Bartolome & Hoff, 1972). La fuerza máxima ($F_{m\acute{a}x}$), tensión máxima ($\sigma_{m\acute{a}x}$), la deformación máxima ($\epsilon_{m\acute{a}x}$) y los cambios en la firmeza ($\sigma_{m\acute{a}x}/\epsilon_{m\acute{a}x}$) de las muestras de *Dyospiros kaki* después de los diferentes ensayos de impregnación se muestran en la Tabla 4.1.4, la variabilidad de esos valores se debió principalmente a la variabilidad entre frutas. Se observa que la impregnación con sales de calcio otorga valores de tensión máxima mayores que la fruta fresca. Además, la impregnación con calcio aumentó la firmeza de las frutas en un 6 a un 55 % para los tratamientos aplicados.

Tabla 4.1.4 Propiedades mecánicas de las frutas de *Dyospiros kaki* var Rama Forte frescas y con los distintos pretratamientos de impregnación con calcio

Tratamiento	$F_{m\acute{a}x}$	$\sigma_{m\acute{a}x}$ (Pa)	$\epsilon_{m\acute{a}x}$	Firmeza (Pa)
-------------	-------------------	-----------------------------	--------------------------	--------------

Fruta Fresca	0,81 ± 1,30	2731,88 ± 19,00	0,45 ± 0,04	6087,91 ± 4,20
T ₁	1,04 ± 0,18	3056,72 ± 20,40	0,47 ± 0,06	6503,66 ± 46,30
T ₂	1,54 ± 0,51	4641,90 ± 26,50	0,53 ± 0,07	8782,89 ± 13,20
T ₃	1,59 ± 0,11	4669,03 ± 32,40	0,49 ± 0,09	9484,01 ± 6,10
T ₄	1,49 ± 0,53	3594,71 ± 7,87	0,47 ± 0,04	7707,83 ± 33,50
T ₅	1,48 ± 0,77	3299,01 ± 32,90	0,49 ± 0,05	6732,68 ± 78,50
T ₆	1,32 ± 1,10	3574,56 ± 18,50	0,48 ± 0,06	7447,00 ± 30,30

La tensión máxima fue mayor para frutas pretratadas con lactato de calcio al 5 % (T₃) e hidróxido de calcio al 0,1 % (T₂). La mayor firmeza se obtuvo de las muestras tratadas con lactato de calcio al 5 % con un aumento del 55 % en relación a la firmeza inicial de la fruta fresca.

4.1.3 Análisis de aceptación/rechazo

La aceptación de un producto por parte de un potencial consumidor es un factor de decisión muy importante. En este sentido el análisis sensorial permite valorar la percepción, por parte del consumidor, de un producto como un todo o de un aspecto específico del mismo. La puntuación media del grado de aceptación de las muestras para los diferentes atributos sensoriales evaluados se presenta en las Tablas 4.1.5 y 4.1.6.

Tabla 4.1.5 Grado de aceptación de las tres variedades de fruta de *Dyospiros kaki* fresco y osmodeshidratado por 3 hs en solución de sacarosa a 50 °Brix en base a los distintos parámetros analizados.

Muestras		Apariencia	Color	Sabor	Aceptación general
Fruta Fresca	Giombo	2,4 ± 0,5a	3,0 ± 0,7b	4,0 ± 0,9b	2,6 ± 0,9a
	Fuyu	8,4 ± 0,5b	8,0 ± 0,7c	9,0 ± 0,5c	8,2 ± 0,8c
	Rama	7,2 ± 0,8b	7,0 ± 0,7c	1,0 ± 0,5a	4,2 ± 0,4b
	Forte	1,6 ± 0,5a	1,8 ± 0,4a	4,0 ± 0,8b	2,0 ± 0,7a
Fruta osmodeshidratada	Giombo	7,8 ± 0,8b	7,8 ± 0,4c	5,0 ± 0,5b	8,2 ± 0,4c
	Fuyu	7,2 ± 0,4b	6,6 ± 0,8c	2,0 ± 0,5a	4,0 ± 0,7b
	Rama				
	Forte				

Letras diferentes en la misma columna para cada tipo de muestra indican diferencia significativa ($p < 0,05$).

Tabla 4.1.6 Grado de aceptación de fruta de *Dyospiros kaki* var. Rama Forte con todos sus pretratamientos de impregnación con calcio en base a los distintos parámetros analizados.

Muestras	Apariencia	Color	Aceptación general
T ₁	7,0 ± 0,7c	7,0 ± 0,4d	6,8 ± 0,4c
T ₂	3,4 ± 0,7a	3,6 ± 0,5a	3,4 ± 0,5a
T ₃	6,2 ± 0,8c	6,0 ± 0,5(c)(d)	6,2 ± 0,4c

T ₄	6,2 ± 0,8c	6,4 ± 0,5(c)(d)	6,2 ± 0,4c
T ₅	5,4 ± 0,4c	5,6 ± 0,5(b)(c)	5,6 ± 0,8(b)(c)
T ₆	4,4 ± 0,5b	4,9 ± 0,4b	4,8 ± 0,6b

Letras diferentes en la misma columna indican diferencia significativa ($p < 0,05$).

Las menores puntuaciones fueron para la variedad *Giombo*, lo que indica que las características evaluadas de esta variedad no fueron aceptadas por los evaluadores. Por su parte, las mayores puntuaciones fueron para la variedad *Fuyu*, lo que indica que fue la variedad preferida por los consumidores de acuerdo a las características evaluadas. Sin embargo, según los resultados obtenidos del análisis estadístico, las variedades *Fuyu* y *Rama Forte* no presentan diferencias significativas en la apariencia y color tanto para las muestras frescas como para las osmodeshidratadas.

Los evaluadores comentaron además que la variedad *Rama Forte* presentó un sabor fuertemente astringente, lo que se vio reflejado en las bajas puntuaciones. Además, que aquellas muestras de esta variedad tratadas con calcio aumentaron la firmeza de la fruta. En cuanto a estas muestras impregnadas en soluciones de calcio, las menores puntuaciones fueron para las muestras con los tratamientos T₂ y T₆, lo cual se evidencia con el oscurecimiento y cambios de color luego de los pretratamientos aplicados (Tabla 4.1.3). De este análisis se puede observar que las muestras con mayor aceptación fueron las muestras de variedad *Fuyu* lo cual estuvo relacionado con la coloración y aspecto más agradable al consumidor.

4.1.4 Selección de la variedad

Con los datos anteriormente expuestos, se realizó un análisis de cada variedad con el fin de seleccionar la más apropiada para el procesamiento. Se seleccionó la variedad con características organolépticas poco alteradas con el tratamiento osmótico y cuyo procesamiento sea más fácil para los futuros ensayos experimentales.

Rama Forte: la particularidad de esta variedad es su elevada astringencia en las etapas previas a su completa maduración, la cual desaparece en un estado de madurez avanzado, pero simultáneamente su tejido pierde firmeza volviéndose impracticable el tratamiento osmótico debido al desmembramiento de las muestras dentro de la solución hipertónica. La impregnación con calcio a la matriz vegetal aumenta la firmeza de las muestras facilitando el tratamiento osmótico por largos periodos. Las frutas luego de los diferentes tratamientos con soluciones de calcio, presentaron una tonalidad más oscura en relación a la fruta fresca (lo que se ve

reflejado en la disminución del parámetro L^*). Sin embargo, se optó por descartar esta variedad para futuros ensayos debido a que requiere un proceso adicional de impregnación para su procesamiento. No obstante, cabe resaltar que la impregnación con calcio es una alternativa viable a ser aplicable como pretratamiento para aumentar la firmeza de las muestras para la posterior deshidratación osmótica de la variedad *Rama Forte*.

Giombo: presenta una cinética de deshidratación osmótica apropiada. A pesar de no presentar grandes cambios de color durante el proceso osmótico, la apariencia propia de la fruta (coloración oscura y presencia de “manchas” negras), produce un rechazo en los consumidores (Tabla 4.1.5). Por este motivo, se decide descartar esta variedad para futuros ensayos.

Fuyu: Las características de la variedad fueron similares a las reportadas por otros autores (Cia et al., 2003). El color naranja de la fruta fresca madura resultó atractivo para el consumidor (Tabla 4.1.5). Si bien no se presentaron diferencias significativas en los atributos evaluados con la variedad *Rama Forte*, esta variedad obtuvo mayores puntuaciones en cuanto al *color*, *apariencia* y *aceptación general* por sobre las otras dos variedades. La cinética de deshidratación osmótica presenta un comportamiento similar a otras frutas, no se evidencian cambios de color durante el procesamiento y presenta un sabor dulce y agradable al consumidor. Además, esta variedad no precisa un tratamiento previo al procesamiento como si lo requiere la variedad *Rama Forte*. Por ende, se decide trabajar con esta variedad en los siguientes ensayos.

Sección II:
Deshidratación
Osmótica de Dyospiros
kaki var Fuyu

Capítulo 4: Resultados y Discusión

SECCION II: DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA

En esta sección se presentan y discuten los resultados de los ensayos de deshidratación osmótica de medias rodajas de *Dyospiros kaki* var. Fuyu a diferentes concentraciones del agente osmótico, distintas temperaturas y distintos tiempos de inmersión. Se evaluó la cinética de deshidratación a través de la pérdida de agua y de la ganancia de soluto; y se analizó, por medio de medidas instrumentales, la influencia del procesamiento en distintos parámetros, como las propiedades mecánicas, el color y el contenido de carotenos. Se caracterizaron los productos a través del análisis sensorial.

4.2.1 Agente deshidratante: Sacarosa

4.2.1.1 Pérdida de agua (ΔM_w)

La fruta seleccionada de *Dyospiros kaki* var. Fuyu, presentó valores de humedad promedio de $79,78 \pm 1,66$ g de agua / 100 g (bh). La fruta deshidratada osmóticamente por 6 horas presentó valores de humedad de $58,8 \pm 1,36$, $56,8 \pm 1,6$, $55,25 \pm 1,19$ y $52,63 \pm 1,13$ g de agua / 100 g (bh) para los tratamientos de 50B-30C, 60B-30C, 50B-40C y 60B-40C respectivamente.

La Figura 4.2.1 muestra los resultados de pérdida de agua durante la deshidratación osmótica de *Dyospiros kaki* var. Fuyu en solución de sacarosa para todas las condiciones de procesamiento aplicadas. Se puede observar un aumento importante en las primeras 2 horas, seguido de una reducción en la velocidad hasta finalizar el proceso. Esto ocurrió como resultado del gradiente de presión osmótica entre la fruta y la solución de sacarosa hipertónica circundante. La pérdida de agua alcanzó los máximos a 50 °Brix – 40 °C y 60 °Brix – 40 °C a las 6 horas de procesamiento, siendo respectivamente $39,34 \pm 0,40$ y $42,83 \pm 0,17$ g de agua / 100 g de Fruta Fresca. Falade et al. (2007) estudiaron la deshidratación osmótica de sandía a 40, 50 y 60 °Brix y 20, 30 y 40 °C utilizando sacarosa como agente osmótico. Luego de 12 horas de procesamiento encontraron mayores pérdidas de agua para las muestras tratadas con soluciones osmóticas de 50 y 60 °Brix, además se observó un rápido aumento de la pérdida de agua en las primeras 2 horas de procesamiento seguido de una reducción de la misma. Bozkir & Ergün (2020) determinaron que la pérdida de agua

durante la deshidratación osmótica de kaki en solución de sacarosa a 45 °Brix fue más rápida al inicio del proceso.

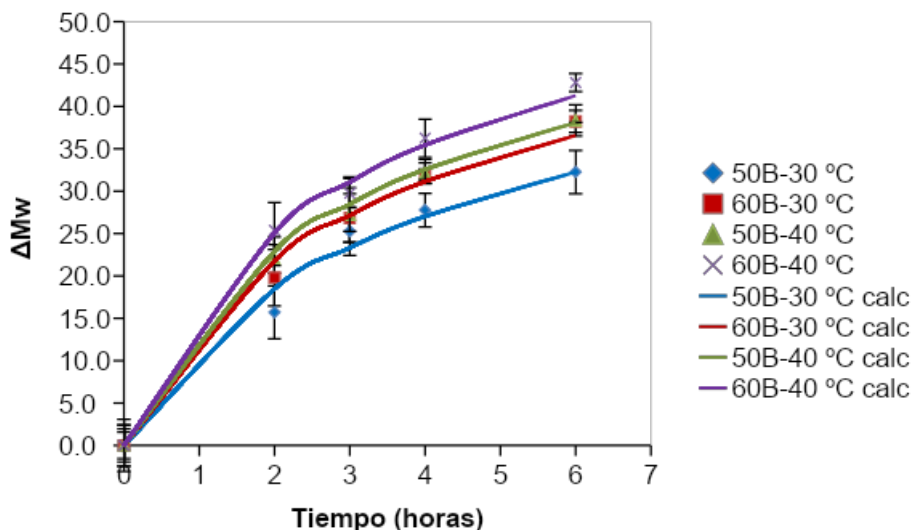


Figura 4.2.1 Datos experimentales y ajuste del modelo de Page para la pérdida de agua durante la deshidratación osmótica de *Dyospiros kaki* var. Fuyu

Los resultados mostraron que en las primeras horas no se evidencia diferencias significativas en la pérdida de agua entre las condiciones estudiadas a la misma temperatura. El aumento en la concentración de la solución osmótica dio como resultado un aumento en los gradientes de presión osmótica, afectando significativamente a la pérdida de agua a partir de las 4 horas de tratamiento (Tabla 4.2.1), este comportamiento se mantuvo hasta las 24 horas de procesamiento.

Así también, a partir de las 4 horas de procesamiento, la pérdida de agua para la misma concentración de agente osmótico fue afectada significativamente por la temperatura ($p < 0,05$) (Tabla 4.2.1). Un aumento de la temperatura genera una reducción de la viscosidad de la solución, reduciendo la resistencia externa a la transferencia de masa, facilitando así el transporte de agua y solutos. Tonon et al. (2007) encontraron que la temperatura fue la variable de mayor influencia en los coeficientes de transferencia de masa de agua durante la deshidratación osmótica de tomates a 65 °Brix utilizando soluciones de sacarosa y cloruro de sodio, un aumento de la temperatura de la solución osmótica produjo mayor pérdida de agua. Ispir & Togrul (2009) estudiaron la transferencia de masa durante la deshidratación osmótica de albaricoque. Las muestras fueron sumergidas en solución de sacarosa a 40 °Brix a diferentes temperaturas (25, 35 y 45 °C), se observó que la temperatura tenía un

efecto creciente en la pérdida de agua. Uddin et al. (2004) estudiaron la transferencia de masa durante la deshidratación osmótica de zanahoria, los autores encontraron que la temperatura fue una de las variables de mayor influencia en la pérdida de agua. Falade et al. (2007) observaron que la pérdida de agua aumentó con la temperatura de la solución durante la deshidratación osmótica de sandía. Se observaron mayores pérdidas de agua a 40 °C en comparación con las de 30 y 20 °C.

Tabla 4.2.1: Comparación múltiple de valores medios de pérdida de agua a cada tiempo de tratamiento de deshidratación osmótica con sacarosa.

Tratamiento	Tiempo (h)				
	2	3	4	6	24
50B-30C	a	a	a	a	a
60B-30C	ab	a	b	b	b
50B-40C	b	a	b	b	b
60B-40C	b	a	c	c	c

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas de acuerdo a un test LSD ($p < 0,05$)

En la Tabla 4.2.2 se muestran los valores de humedad, pérdida de agua y ganancia de solutos luego de 24 horas de tratamiento osmótico con sacarosa. Se observa diferencias significativas ($p < 0,05$) en los valores de humedad a las 24 horas de procesamiento con el aumento de la concentración del agente osmótico. Así mismo, no se observó efecto con aumento de temperatura, para la misma concentración de azúcar, en la humedad a las 24 horas de tratamiento osmótico.

Tabla 4.2.2: Valores de humedad, pérdida de agua y ganancia de solutos de muestras de *Dyospiros kaki* var Fuyu tratadas con deshidratación osmótica con sacarosa por 24 horas

Tratamiento	ΔM_w	ΔM_s	Humedad (g de agua / 100 g Producto)
50B-30C	44,51 ± 0,61a	11,65 ± 1,09a	51,8 ± 1,1b
60B-30C	47,51 ± 1,29b	12,95 ± 1,09a	48,4 ± 1,19a
50B-40C	48,5 ± 0,87b	15,19 ± 1,45b	50,55 ± 0,82b
60B-40C	51,81 ± 1,07c	16,63 ± 0,46b	48,0 ± 1,2a

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas de acuerdo a un test LSD ($p < 0,05$).

Diversos autores han utilizado modelos empíricos para describir la cinética tanto de pérdida de agua como de ganancia de soluto durante la deshidratación osmótica de diversas matrices alimenticias, como peras (Park et al., 2002), tomates (Azoubel & Murr, 2004), manzanas (Mandala et al., 2005) y kiwi (Simal et al., 2005).

En la Figura 4.2.1 se muestran los datos experimentales de pérdida de agua durante la deshidratación osmótica y los resultantes de aplicar el modelo de Page. Los parámetros del modelo (k y n) se representan en la Tabla 4.2.3 junto con los respectivos coeficientes de correlación (R^2). Se observa un buen ajuste de los datos experimentales. El error relativo porcentual calculado varió de 4,13 a 5,54 %.

Tabla 4.2.3 Parámetros de ajuste de la ecuación de Page para la pérdida de agua

		k	n	R^2	EPP
ΔM_w	50B-30C	$0,309 \pm 0,007$	0,8	97	5,54
	60B-30C	$0,354 \pm 0,009$	0,8	98	4,62
	50B-40C	$0,367 \pm 0,012$	0,8	97	5,19
	60B-40C	$0,389 \pm 0,003$	0,8	98	4,13

El parámetro n no presenta diferencias significativas con la temperatura ni con la concentración del agente osmótico. Azoubel & Murr (2004) aplicaron las ecuaciones de Peleg, Fick y Page para modelar la cinética de transferencia de masa durante la deshidratación osmótica de tomates, los modelos de Peleg y Page fueron los que mejor ajustaron a los datos experimentales. Simal et al. (2005) encontraron valores del parámetro n de 0,8 durante la cinética de secado de frutas de kiwi. Seenadera et al. (2003) también concluyeron que el valor de n era constante con la temperatura del aire de secado cuando se simulaban las curvas de secado de frijol, papa y arveja a través del modelo Page.

El parámetro k aumenta tanto con la concentración del agente osmótico como con la temperatura. Así, el aumento en la concentración del agente osmótico incrementó el valor de k en un 12 y 7 % para los tratamientos a 30 y 40 °C respectivamente. Por otro parte, el aumento de la temperatura produjo un aumento en los valores de k en un 15 y 9 % para los tratamientos a 50 y 60 °Brix respectivamente. Azoubel & Murr (2004) encontraron que, durante la deshidratación osmótica de tomates, el valor de k de Page para la pérdida de agua, aumentó al pasar de una concentración del 10 al 25 % de cloruro de sodio como agente osmótico.

4.2.1.2 Ganancia de soluto (ΔM_s)

A las 6 horas de tratamiento a 60 °Brix- 40 °C se observa una mayor ganancia de soluto, con un valor promedio de $12,50 \pm 1,04$ g / 100 g de Fruta Fresca. La Figura 4.2.2 muestra los resultados de ganancia de soluto durante la deshidratación osmótica

de *Dyospiros kaki* var. Fuyu en solución de sacarosa para todas las condiciones de procesamiento estudiadas.

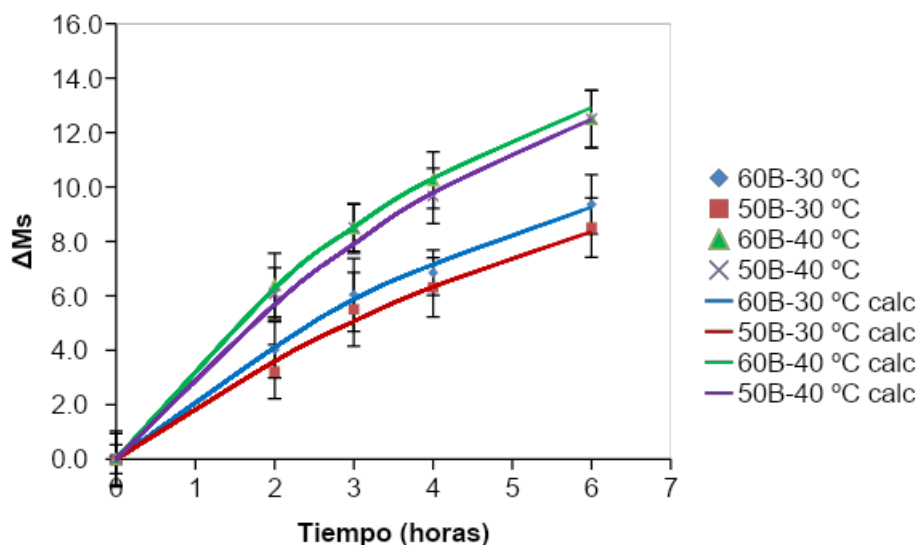


Figura 4.2.2 Datos experimentales y ajuste del modelo de Page para la ganancia de soluto durante la deshidratación osmótica de *Dyospiros kaki* var. Fuyu

Del análisis estadístico se puede ver que la concentración del agente osmótico no ejerce un efecto significativo sobre la ganancia de soluto en las condiciones ensayadas. Sin embargo, la temperatura si ejerce un efecto significativo sobre la ganancia de soluto (Tabla 4.2.4) luego de las 4 horas de procesamiento. Kaymak-Ertekin & Sultanoglu (2000) no encontraron diferencias significativas en la ganancia de soluto en muestras de manzanas deshidratadas osmóticamente en solución de sacarosa a 40, 50 y 60 °Brix; Dermesonlouoglou et al. (2008) encontraron que durante la deshidratación osmótica de pepinos en solución de oligofruktosa al 56 % a 15, 35 y 55 °C, se evidenció un aumento en la ganancia de soluto con el aumento de la temperatura. Tonon et al. (2007) estudiaron la deshidratación osmótica de tomates y encontraron que la temperatura fue la variable que mostró la mayor influencia en los coeficientes de transferencia de masa de agua y sacarosa. Esto puede estar relacionado con el aumento de la permeabilidad de la membrana causada por temperaturas más altas. Raoult-Wack et al. (1991) estudiaron la influencia de la concentración y del peso molecular del soluto sobre la pérdida de agua y ganancia de soluto en geles de agar y observaron que, a concentraciones más altas, la ganancia de soluto fue mucho menor que la pérdida de agua.

A las 24 horas de procesamiento (Tablas 4.2.2 y 4.2.4) se observaron diferencias significativas en la ganancia de soluto con la temperatura, con mayores valores para las muestras tratadas a 40 °C. El aumento de la temperatura (de 30 a 40 °C) presenta

valores de ganancia de soluto un 29 y 15 % mayores para las muestras tratadas a 50 y 60 °Brix respectivamente.

Tabla 4.2.4: Comparación múltiple de valores medios de ganancia de soluto a cada tiempo de tratamiento de deshidratación osmótica

Tratamiento	Tiempo				
	2	3	4	6	24
50B-30C	a	ab	a	a	a
60B-30C	a	b	a	a	a
50B-40C	b	a	b	b	b
60B-40C	b	a	b	b	b

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas de acuerdo a un test LSD ($p < 0,05$).

La fruta fresca presenta una concentración de sólidos solubles promedio de 18 °Brix, en la Tabla 4.2.5 se muestra la variación de los °Brix tanto de la fruta como de la solución durante el tratamiento osmótico para los tratamientos 50B-40C y 60B-40C. Se puede observar, como era de esperar, un aumento en la concentración de azúcares (°Brix) de la fruta conforme transcurre el tratamiento osmótico. Este aumento va acompañado de la disminución de los °Brix de la solución osmótica.

Tabla 4.2.5 Contenido de azúcares (°Brix) de la solución osmótica y la fruta durante el tratamiento osmótico para 50B-40C y 60B-40C

Tratamiento	Solución			Fruta		
	2 h	4 h	6 h	2 h	4 h	6 h
50B-40C	44,9	42,3	40,9	23,93	26,97	28,6
60B-40C	53,6	51,1	50,2	25,10	26,60	28,1

En la Figura 4.2.2 se muestran los datos experimentales de la ganancia de soluto durante la deshidratación osmótica y los resultantes de aplicar el modelo de Page. Los parámetros del modelo (k y n) se representan en la Tabla 4.2.6 junto con los respectivos coeficientes de correlación (R^2). Se observa un buen ajuste de los datos experimentales, y el error relativo porcentual calculado varió de 3,85 a 7,31 %.

Tabla 4.2.6 Parámetros de ajuste de la ecuación de Page para la ganancia de soluto

		k	n	R^2	EPP
ΔM_s	50B-30C	0,179±0,007	1	97	7,31
	60B-30C	0,193±0,008	1	97	5,42
	50B-40C	0,240±0,01	1	98	3,85
	60B-40C	0,250±0,01	1	96	5,18

El parámetro n no presenta diferencias significativas en las condiciones estudiadas. Por su parte, el parámetro k aumenta con el aumento de la concentración del agente

osmótico, aunque sin diferencias significativas. Sin embargo, si presenta diferencias significativas con la temperatura, aumentando con el incremento de la misma.

4.2.1.3 Color

El color de las muestras de *Dyospiros kaki* var. Fuyu tanto fresca como deshidratada presenta una tonalidad naranja. En la Tabla 4.2.7 se muestran los parámetros de color de las muestras con los diferentes tratamientos de deshidratación osmótica en solución de sacarosa. Además de un aumento de los valores del cambio de color total a las 3 y 6 hs de procesamiento, se puede observar una leve disminución de los parámetros L^* y b^* para las muestras deshidratadas durante 6 horas. Esta disminución indica que el procesamiento osmótico produce un leve oscurecimiento de las muestras.

Tabla 4.2.7 Parámetros de color de muestras tratadas con deshidratación osmótica en sus diferentes condiciones

Tratamiento	tiempo (h)	L^*	a^*	b^*	Hue	Chroma	ΔE
50B-30C	Fruta Fresca	51,22 ± 1,58a	33,64 ± 1,55b	47,12 ± 1,52b	54,47 ± 1,75ab	57,92 ± 1,28b	-
	3	50,79 ± 1,71a	31,46 ± 0,94a	46,23 ± 1,85b	55,76 ± 1,05b	56,92 ± 2,02b	3,11 ± 1,43
	6	49,12 ± 1,28a	31,20 ± 0,82a	41,66 ± 1,19a	53,16 ± 1,46a	52,05 ± 1,38a	6,41 ± 1,62
60B-30C	Fruta Fresca	55,34 ± 1,37b	30,32 ± 1,36a	46,60 ± 2,78a	56,90 ± 2,18a	55,63 ± 2,29a	
	3	52,19 ± 1,92a	31,16 ± 0,21a	46,66 ± 2,24a	56,24 ± 1,14a	56,11 ± 1,96a	3,91 ± 1,60
	6	49,89 ± 1,49a	30,68 ± 1,46a	44,11 ± 2,12a	55,16 ± 1,69a	53,75 ± 2,03a	6,38 ± 1,65
50B-40C	Fruta Fresca	52,27 ± 0,49b	31,78 ± 0,70b	47,41 ± 0,64b	56,16 ± 1,07b	57,08 ± 0,55c	
	3	51,47 ± 1,55b	30,21 ± 1,03a	45,21 ± 3,50b	56,17 ± 1,03b	54,42 ± 2,67b	4,22 ± 2,16
	6	47,53 ± 1,50a	29,86 ± 1,00a	40,71 ± 2,18a	53,70 ± 1,29a	50,51 ± 1,29a	8,63 ± 1,82
60B-40C	Fruta Fresca	51,67 ± 1,43b	31,01 ± 1,37a	46,60 ± 2,11b	56,33 ± 2,19b	56,00 ± 1,36b	
	3	46,65 ± 2,05a	32,03 ± 1,33a	42,37 ± 2,12a	51,33 ± 0,68a	52,22 ± 0,50a	6,56 ± 0,88
	6	48,30 ± 1,14a	32,09 ± 1,33a	40,73 ± 2,00a	51,74 ± 2,43a	51,89 ± 0,97a	8,12 ± 0,87

Letras diferentes en la misma columna, de cada parámetro de color y cada tratamiento, indican diferencia significativa ($p < 0,05$).

En el círculo cromático, el *Chroma* cambia del centro hacia la periferia. Los colores en el centro son grises o apagados y conforme avanza hacia la periferia se vuelven más saturados (vivos o limpios). En la fruta de *Dyospiros kaki* var. Fuyu se registra una disminución en los valores del *Chroma* con el procesamiento. El proceso de deshidratación osmótica en solución acuosa de sacarosa originó tonalidad más oscura en la fruta (L^* y *Chroma* menores que en kaki fresco). Mientras que los valores del

ángulo *Hue* se redujeron ligeramente luego de las 6 horas de procesamiento (el ángulo de color se desplaza hacia tonalidades más rojizas) por el efecto de la deshidratación osmótica. El parámetro *a** no presenta diferencias en relación a la fruta fresca.

4.2.1.4 Propiedades mecánicas

En la Figura 4.2.3 se observan curvas típicas de tensión-deformación para fruta fresca y tratada osmóticamente en solución de sacarosa a 40 °C. La fruta fresca presenta una curva de tensión-deformación típica, con un pico de tensión máximo bien definido; luego del tratamiento osmótico se reduce el valor de tensión máxima (Figuras 4.2.3 y 4.2.4) y el módulo de elasticidad *E* (Figura 4.2.4), denotando un comportamiento más elástico.

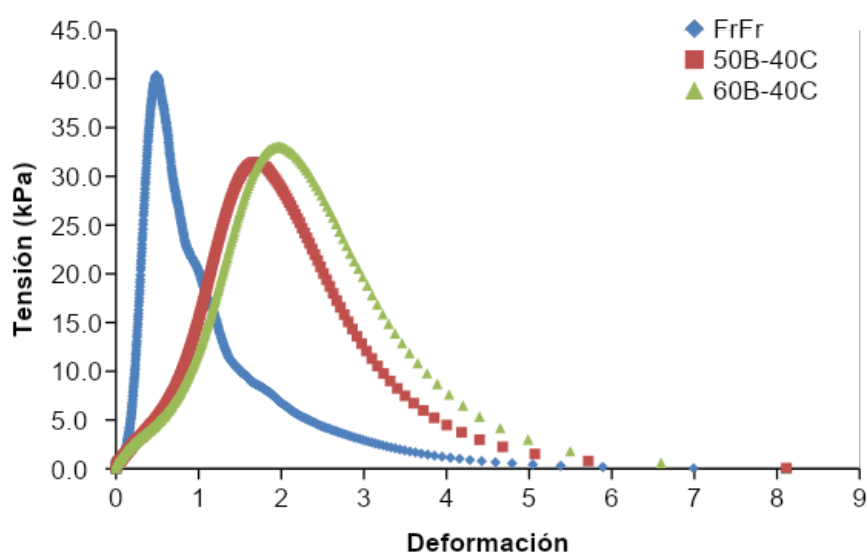


Figura 4.2.3 Comportamiento mecánico de fruta de *Dyospiros kaki* var. Fuyu fresco y tratado osmóticamente en solución de sacarosa por 6 h

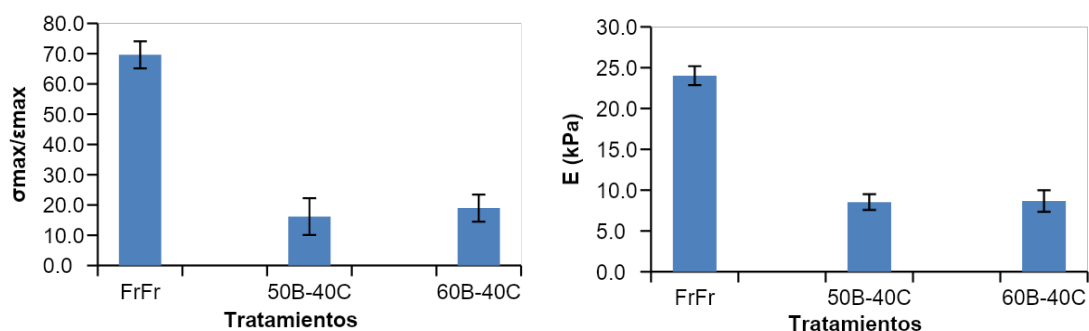


Figura 4.2.4 Relación $\sigma_{max}/\epsilon_{max}$ y módulo de elasticidad *E* de fruta de *Dyospiros kaki* var. Fuyu fresco y tratado osmóticamente en solución de sacarosa por 6 h

Las propiedades mecánicas del material biológico están determinadas por su estructura y sus componentes, así como por las condiciones del proceso. La tensión máxima para la fruta fresca presentó un valor de $40,35 \pm 2,18$ kPa. La deshidratación

osmótica a 50 y 60 °Brix causó una disminución significativa en la tensión máxima ($30,1 \pm 4,01$ kPa y $34,7 \pm 2,47$ kPa respectivamente). Estos resultados concuerdan con los expuestos por Lewicki & Lukaszuk (2000); Chiralt et al. (2001); Prinzevalli et al. (2006). Los cambios de textura pueden correlacionarse con la pérdida de agua y la ganancia de soluto, ya que existen factores como la disolución de la protopectina, la pérdida de presión de turgencia celular y la degradación de la lámina media inducida por el proceso de deshidratación osmótica (Prinzevalli et al., 2006). Sanjinez-Argandona et al. (2002) encontraron una disminución en la tensión máxima en piezas melón deshidratado osmóticamente con solución de sacarosa; esta reducción se asoció principalmente con las tasas de absorción de azúcar, lo que resulta en un producto menos rígido.

La fruta fresca presenta un valor de deformación máxima de $0,580 \pm 0,197$, mientras que la fruta osmodeshidratada presenta valores de deformación máxima de $1,86 \pm 0,22$ y $1,83 \pm 0,21$, para muestras deshidratadas con solución de sacarosa a 50 y 60 °Brix respectivamente. Por ende, las propiedades mecánicas no difieren entre las muestras con distintas condiciones de procesamiento.

La disminución en el contenido de agua durante la deshidratación osmótica provoca un aumento en la deformación máxima, esto puede deberse a que la incorporación de azúcar durante el proceso osmótico proporciona plasticidad estructural, afectando directamente a las propiedades mecánicas de la fruta debido a la pérdida de elasticidad (Mayor et al., 2007). Chiralt et al. (2001) y Pereira et al. (2007) también encontraron un aumento en la deformación máxima luego del proceso osmótico en frutas de kiwi y guayaba respectivamente.

4.2.1.5 Carotenos Totales

El contenido promedio de carotenos totales para fruta fresca fue de 3182 ± 16 µg/ 100 g FrFr. La Tabla 4.2.8 muestra el contenido de carotenos totales en muestras de *Dyospiros kaki* var. Fuyu fresco y osmóticamente deshidratado durante 6 horas a 50 y 60 °Brix y 40 °C. Las muestras deshidratadas osmóticamente presentaron mayores contenidos de carotenoides que las muestras frescas, lo que puede explicarse por la concentración que se presentó en las frutas procesadas, debido a la pérdida de agua. No obstante, se observó una leve disminución en el contenido de carotenos totales a las 24 horas de tratamiento, posiblemente por efecto de exposición más prolongada a la temperatura de la solución de osmótica (40 °C). Tonon et al. (2007) encontraron que muestras de tomates deshidratadas osmóticamente en solución osmótica de sacarosa

y cloruro de sodio a 65 °Brix y 30 °C mostraron mayores contenidos de carotenoides que las muestras frescas, lo que puede explicarse por la concentración que se produjo en los tomates procesados. Los valores calculados para la retención de carotenoides estaban entre 100,74% y 111,09%, lo que indica que el contenido de carotenoides inicialmente presente en las muestras se mantuvo después de 6 h de procesamiento. Heredia et al. (2009) encontraron resultados similares también en tomates osmóticamente deshidratados.

Tabla 4.2.8 contenido de carotenos totales ($\mu\text{g}/100\text{ g FrFr}$) de muestras frescas y con distintos tratamientos de deshidratación osmótica en solución de sacarosa

Tiempo (horas)	Condiciones Osmóticas			
	50B-40C		60B-40C	
	$\mu\text{g}/100\text{ g FrFr}$	$\mu\text{g}/100\text{ g muestra}$	$\mu\text{g}/100\text{ g FrFr}$	$\mu\text{g}/100\text{ g muestra}$
0	3185,5 ± 23	3185,5 ± 23	3147,1 $\pm 65,5$	3147,1 $\pm 65,5$
2	3153,8 $\pm 31,3$	3386,5 $\pm 33,5$	3190,7 $\pm 123,7$	3526,9,1 $\pm 136,7$
4	3132,7 $\pm 67,5$	3621,9 ± 78	3181 $\pm 97,5$	3934,8 $\pm 120,5$
6	3164,7 $\pm 49,8$	4229,5 ± 165	3035 $\pm 92,3$	4122,1 $\pm 125,3$
24	2400,7 $\pm 72,4$	3946 ± 172	2388,3 $\pm 35,7$	3724,8 $\pm 55,63$

4.2.1.6 Análisis Sensorial de kaki deshidratado con solución de Sacarosa

4.2.1.6.1 Efecto de la concentración del jarabe

A los efectos de evaluar si los consumidores pueden diferenciar muestras de *Dyospiros kaki* var. Fuyu deshidratado a distintas concentraciones de agente osmótico se aplicó el test del triángulo. A tal fin se presentaron muestras deshidratadas en solución hipertónica de sacarosa a 50 y 60 °Brix durante 6 horas. Cada evaluador recibió tres muestras, dos deshidratadas a una concentración y una deshidratada a concentración diferente, debiendo identificar la muestra diferente. De 24 evaluadores, solo 11 identificaron la muestra diferente, lo que señala que no hubo diferencias significativas entre las muestras a un nivel de significancia del 5 %. Por lo tanto, se concluyó que la fruta de *Dyospiros kaki* var. Fuyu deshidratada con solución hipertónica de sacarosa a 50 °Brix y 60 °Brix y 40 °C no presenta diferencias significativas en sus características organolépticas. A partir de esto y sabiendo que el uso de soluciones osmóticas de mayor concentración hace el proceso más costoso y aumenta la viscosidad de la solución (lo cual frena el proceso de transferencia de

masa), se seleccionó la condición de 50Brix-40°C para el subsiguiente análisis descriptivo y posterior procesamiento de secado.

4.2.1.6.2 Análisis descriptivo de *Dyospiros kaki* var. Fuyu deshidratado

El análisis descriptivo cuantitativo (ADC) se utilizó para identificar y cuantificar los atributos más representativos del *Dyospiros kaki* var. Fuyu fresco y deshidratado.

- Etapa de generación de Descriptores

En las primeras sesiones grupales, los evaluadores se familiarizaron con las características de los productos y desarrollaron términos descriptivos de los mismos.

En la primera sesión de la etapa de desarrollo de descriptores del ADC los panelistas generaron, mediante un *brainstorming*, los descriptores presentados en la Tabla 4.2.9.

Tabla 4.2.9 Descriptores surgidos en la primera sesión del ADC.

Atributo	Descriptor
Apariencia	Color (color naranja o rojizo), intensidad del color (oscuro o claro), brillo, tamaño, oscuro.
Textura	Dureza, resistencia a la presión, gomosidad, consistencia, masticabilidad, firmeza, resistencia al corte.
Sabor	Sabor a kaki, astringencia, intensidad de sabor dulce, acidez, intensidad de sabor ácido
Remembranza con otro alimento	Mamón, pera, banana, uva

En la siguiente sesión de generación de descriptores, los evaluadores volvieron a degustar las muestras y seleccionaron los atributos más representativos, se llegó a un acuerdo en cuanto a criterios y definiciones y el líder del panel definió el protocolo de evaluación de cada descriptor. El color se definió mediante la inspección visual, la firmeza mediante la primera mordida con los molares, y los sabores mediante el gusto. En la Tabla 4.2.10 se presentan los atributos, sus definiciones y protocolo de evaluación. Esta planilla fue presentada a los evaluadores a fin de brindarle información adicional sobre los descriptores seleccionados, la forma de definirlos y como evaluar los mismos.

Tabla 4.2.10 Atributos sensoriales seleccionados, definición y protocolo de evaluación, de *Dyospiros kaki* var. Fuyu fresco y deshidratado

Atributo Sensorial (Descriptor)	Definición	Protocolo de evaluación
---------------------------------	------------	-------------------------

<i>Apariencia</i>		
Color Naranja	Intensidad de coloración Naranja en las muestras presentadas.	Observar las referencias (yema de huevo y zanahoria) y luego evaluar el color.
<i>Textura Bucal</i>		
Firmeza (1°mordida)	Fuerza requerida para comprimir completamente la fruta entre los molares.	Colocar la muestra entre los molares y evaluar la fuerza requerida para comprimir la muestra (a mayor fuerza, mayor firmeza).
<i>Sabor</i>		
Sabor dulce	Sabor dulce propio de la fruta fresca y dulzor adquirido por la impregnación con azúcar.	Probar la muestra y evaluar la intensidad del sabor dulce
Sabor Ácido	Sabor ácido propio de la fruta fresca y acidez luego de la impregnación con azúcar	Probar la muestra y evaluar la intensidad del sabor ácido

- Etapa de entrenamiento

Durante las sesiones de entrenamiento, los evaluadores recibieron tres muestras codificadas y midieron los atributos seleccionados en una escala de 10 cm utilizando referencias para el máximo y mínimo de la escala. En esta etapa se les permitió discutir los resultados para lograr consenso al asignar la puntuación de cada atributo. En esta etapa, además, se fijaron los puntos extremos de las escalas hedónicas a utilizar en la siguiente etapa de medición. Estos puntos fueron determinados de acuerdo al criterio conjunto, los mismos fueron (tomando el valor más bajo y más alto respectivamente):

1. Para el color: Yema de huevo y zanahoria.
2. Para la firmeza: Queso untable y Manzana Roja.
3. Para el sabor dulce: Solución 1 (solución acuosa de sacarosa de 5 °Brix) y solución 2 (solución acuosa de sacarosa de 30 °Brix). Se optó por este límite superior ya que según la Tabla 4.2.5 la fruta deshidratada luego de 6 horas alcanzó un valor promedio de $28,6 \pm 0,7$ °Brix.
4. Para la Acidez: Banana y Manzana verde

Para la segunda sesión de entrenamiento, la mayoría de los evaluadores fueron capaces de identificar correctamente todos los atributos elegidos e identificar y diferenciar las características de las muestras impregnadas en relación a las de las muestras frescas.

- Etapa de medición

La intensidad que le asignaron los evaluadores a los atributos seleccionados durante la etapa de medición del ADC se ilustran en la Figura 4.2.5. No se registraron diferencias significativas en los atributos “Sabor Ácido” y “Color”, indicando que la impregnación / deshidratación no afecta al color y al sabor ácido. Sin embargo, el color para las muestras tratadas con deshidratación osmótica presentaron puntuaciones levemente mayores en relación a las muestras frescas, esto está en concordancia con las medidas instrumentales y se ve reflejado en el parámetro *Hue* (Tabla 4.2.7), el cual se redujo ligeramente luego de las 6 horas de procesamiento, lo que conlleva a que el ángulo de color se desplace hacia tonalidades más rojizas.

Los atributos de sabor dulce y la firmeza fueron los que mayores diferencias presentaron, la fruta fresca mostró una mayor firmeza en relación a las muestras tratadas. Estos resultados se condicen con los resultados de medidas instrumentales (Figura 4.2.4).

En cuanto al atributo “Sabor Dulce”, como era de esperar, los evaluadores asignaron la mayor puntuación a la muestra tratada con solución osmótica.

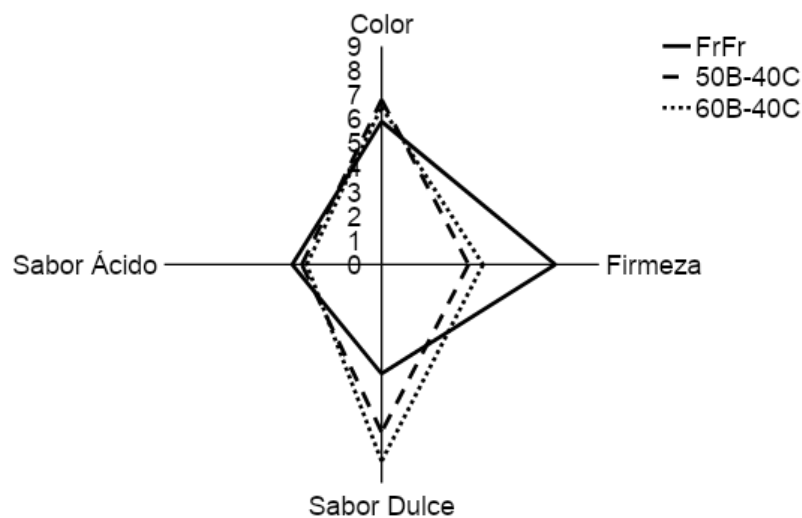


Figura 4.2.5 Puntaje de los atributos medidos en el ADC para fruta fresca (FrFr) y fruta deshidratada osmóticamente por 6 hs en solución de sacarosa a 50 y 60 °Brix a 40 °C (50B-40C, 60B-40C)

Teniendo en cuenta la información adicional, para la fruta fresca, el 90 % de los evaluadores afirmaron que comprarían el producto. Sin embargo, para la fruta procesada solo el 70 % de los evaluadores lo afirmaron, registrándose un 30 % de rechazo.

En cuanto a las frutas que más se asemejan al producto, el 70 % de los evaluadores optaron por el mamón (*Carica papaya*), y dentro de los 30 % restantes se nombraron a la banana y la pera.

4.2.1.6.3 Test de ordenamiento por preferencia

Para evaluar la preferencia de los consumidores sobre las muestras estudiadas se realizó un test de ordenamiento por preferencia con el objetivo de completar el estudio. En la Tabla 4.2.11 se presentan los resultados del test de ordenamiento por preferencia de las tres muestras, los evaluadores ordenaron las muestras asignando el primer orden a la de mayor agrado y el último orden a la de menor agrado. Se tuvieron en cuenta los atributos de *Sabor*, *Textura* y *Preferencia global*. Los evaluadores asignaron el primer orden a la fruta fresca en todos los atributos (*textura*, *sabor* y *preferencia global*). Este resultado, según comentarios de los propios evaluadores, puede estar relacionado con la preferencia por el producto sin procesamiento. El último lugar lo obtuvo la fruta tratada con DO60B-40C posiblemente por ser el tratamiento que mayor sabor dulce imparte a las muestras. No hubo diferencias significativas en la *preferencia global* entre la muestra tratada con DO50B-40C y la fruta fresca.

Tabla 4.2.11 Orden de preferencia de los atributos sensoriales de *Dyospiros kaki* var. Fuyu fresco y con tratamiento de deshidratación osmótica en solución de sacarosa (media de 16 evaluadores).

Muestra	Atributo		
	Sabor	Textura	Preferencia Global
FrFr	1,38a	1,19a	1,50a
50B-40C	1,69a	2,25b	1,63a
60B-40C	2,81b	2,50b	2,81b

Letras diferentes en la misma columna indican diferencia significativa ($p < 0,05$).

4.2.2 Agente deshidratante: Xilitol

4.2.2.1 Pérdida de agua

El xilitol es adecuado para ser utilizado como agente osmótico para la deshidratación osmótica de diversas matrices alimenticias. Numerosos autores han utilizado el xilitol como agente para la deshidratación osmótica; Soares de Mendonça et al. (2015) estudiaron la deshidratación osmótica de yacón a 25 °C utilizando xilitol y sorbitol a concentración entre 30 y 55 °Brix como agente osmótico, encontraron pérdidas de

agua entre 35 y 55 g agua / 100 g Fruta Fresca y ganancias de soluto entre 3 y 8 g / 100 g Fruta Fresca; los autores concluyeron que los polioles fueron adecuados para ser utilizados como solución osmótica en la deshidratación de yacón. Rodríguez & Mascheroni (2012) evaluaron la deshidratación osmótica de frutillas utilizando soluciones de sacarosa y xilitol a 60 °Brix y 35 °C, los autores obtuvieron una buena correlación para los sólidos solubles (SS) vs el contenido de agua (WC) de todos los datos experimentales analizados, estos resultados justifican el uso de xilitol como agente osmótico.

Las condiciones operativas aplicadas fueron: solución de xilitol de 30 y 50 °Brix y dos temperaturas 30 y 40 °C durante 6 horas (30BXIL-30C, 50BXIL-30C, 30BXIL-40C y 50BXIL-40C). La fruta deshidratada presentó valores de humedad de $66,9 \pm 3,9$, $58,9 \pm 1,3$, $65,8 \pm 0,9$ y $57,3 \pm 1,7$ g de agua / 100 g (bh) para los tratamientos de 30BXIL-30C, 50BXIL-30C, 30BXIL-40C y 50BXIL-40C respectivamente.

La pérdida de agua en las condiciones de procesamiento aplicadas aumentó durante la deshidratación, llegando a $21,85 \pm 3,56$, $32,22 \pm 3,67$, $23,76 \pm 1,6$ y $35,39 \pm 1,17$ g de agua / 100 g de Fruta Fresca en muestras tratadas con 30BXIL-30C, 50BXIL-30C, 30BXIL-40C y 50BXIL-40C durante 6 horas, respectivamente. La Figura 4.2.6 muestra los resultados de pérdida de agua durante la deshidratación osmótica de *Dyospiros kaki* var. Fuyu en solución de xilitol. Se puede observar un aumento importante en las primeras 2 horas, luego de este tiempo el aumento es gradual. Resultados similares obtuvieron Cichowska et al. (2018) en la deshidratación osmótica de manzanas utilizando eritritol, xilitol, maltitol, inulina y oligofruktosa como agentes osmóticos. La transferencia de masa de agua fue importante en los primeros 100 minutos, seguido de una disminución en la velocidad de transferencia.

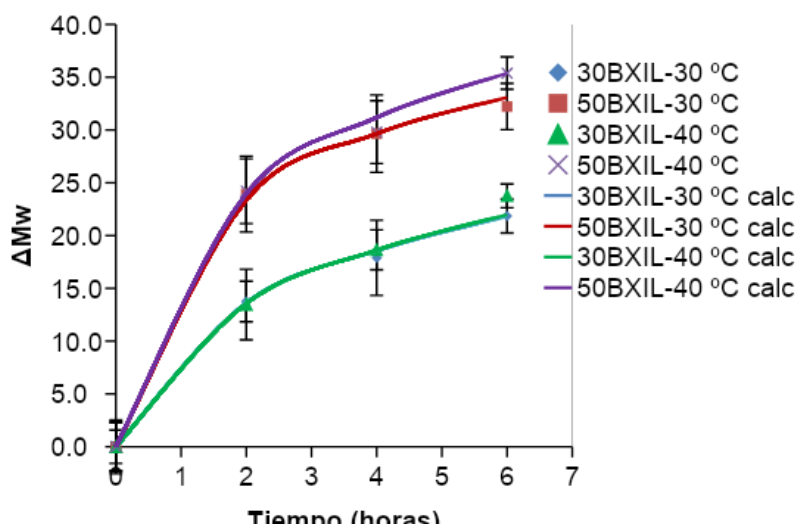


Figura 4.2.6 Ajuste del modelo de Page para la pérdida de agua durante la deshidratación osmótica de *Dyospiros kaki* var Fuyu en solución de xilitol

Los resultados mostraron que la concentración del agente osmótico afecta significativamente la pérdida de agua para muestras tratadas a la misma temperatura, esto puede deberse a que una mayor concentración de agente osmótico conduce a mayores gradientes de presión osmótica, lo que conduce a una mayor pérdida de agua durante todo el período de tratamiento osmótico. Mundada et al. (2011) encontraron resultados similares durante la deshidratación osmótica de granada a 40, 50 y 60 °Brix, donde las muestras osmodeshidratadas a 60 °Brix presentaron mayor pérdida de agua y ganancia de soluto en relación a las muestras tratadas a 40 y 50 °Brix. Cichowska et al. (2018), por su parte, encontraron que muestras de manzanas osmodeshidratadas a mayores concentraciones de agente osmótico presentaron mayores pérdidas de agua para los polioles utilizados a excepción de la inulina y la oligofructosa, los cuales fueron poco efectivos como soluciones osmóticas dado su elevado peso molecular.

Por otra parte, la pérdida de agua no fue afectada significativamente por la temperatura ($p < 0,05$). En la Tabla 4.2.12 se muestra la comparación múltiple de los valores de pérdida de agua. Como puede verse además en esta tabla, el efecto de la temperatura y el agente osmótico se mantiene aún a las 24 horas de procesamiento.

Tabla 4.2.12 Comparación múltiple de valores medios de pérdida de agua a cada tiempo de tratamiento de deshidratación osmótica con xilitol.

Tratamiento	Tiempo			
	2	4	6	24
30BXIL-30C	a	a	a	a
50BXIL-30C	b	b	b	b
30BXIL-40C	a	a	a	a
50BXIL-40C	b	b	b	b

En la Tabla 4.2.13 se muestran los valores de pérdida de agua, ganancia de soluto y humedad a las 24 horas de proceso para todas las condiciones de procesamiento.

Tabla 4.2.13 Pérdida de agua, ganancia de soluto y humedad de muestras de *Dyospiros kaki* var Fuyu tratadas con deshidratación osmótica con xilitol por 24 horas

Tratamiento	ΔM_w	ΔM_s	Humedad (g de agua / 100 g Producto)
30BXIL-30C	27,03 ± 1,60 ^a	13,15 ± 1,57 ^a	62,3 ± 1,37 ^b
50BXIL-30C	45,85 ± 2,19 ^b	17,82 ± 1,30 ^b	51,3 ± 2,23 ^a

30BXIL-40C	28,52 ± 1,13a	14,65 ± 1,06 ^a	61,2 ± 3,6b
50BXIL-40C	52,70 ± 1,54c	18,16 ± 1,49 ^b	49,6 ± 1,36a

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas de acuerdo a un test LSD ($p < 0,05$).

Se observan diferencias significativas entre las humedades a las 24 horas de procesamiento de muestras tratadas con soluciones a distintas concentraciones de xilitol. Así mismo, no se evidencian diferencias significativas de las humedades con la temperatura.

Se registra, a las 24 horas, valores de pérdida de agua aproximadamente un 20 y 30 % mayores que los registrados a las 6 hs para las muestras tratadas a 30 y 50 °Brix respectivamente. Además, para las muestras pretratadas a 50 °Brix, la pérdida de agua estuvo en el orden de las muestras tratadas con sacarosa. Sin embargo, los valores de pérdida de agua presentan diferencias significativas con la concentración del agente osmótico en muestras deshidratadas osmóticamente en solución de xilitol durante 24 horas.

El ajuste de los datos experimentales de pérdida de agua para *Dyospiros kaki* var. Fuyu deshidratado osmóticamente en solución de xilitol, por medio del modelo empírico de Page se muestra en las Figura 4.2.6. Se observa un aumento no lineal a lo largo del tiempo.

Los parámetros del modelo (k y n) se representan en la Tabla 4.2.14 junto con los respectivos coeficientes de correlación (R^2). Se observa un buen ajuste de los datos experimentales ya que presentan coeficientes de correlación superiores a 96 %, el error relativo porcentual calculado varió de 1,54 a 3,78 %. Cichowska et al. (2018) para la deshidratación osmótica de manzanas utilizando diferentes polioles como agentes osmóticos, encontraron un ajuste satisfactorio a los datos experimentales de pérdida de agua y ganancia de soluto utilizando el modelo de Peleg. Los coeficientes de correlación (R^2) fueron superiores al 96 % para las muestras tratadas con eritritol, xilitol y maltitol. Sin embargo, la pérdida de agua y ganancia de soluto para las muestras tratadas con inulina y oligofruktosa no presentaron buenos ajustes.

Tabla 4.2.14 Parámetros de ajuste de la ecuación de Page para la pérdida de agua de *Dyospiros kaki* var Fuyu durante la deshidratación osmótica en solución de xilitol por 6 horas

		k^*	n	R^2	EPP
ΔM_w	30BXIL-30C	0,38 ± 0,04	0,8	97	2,48
	50BXIL-30C	0,56 ± 0,07	0,4	98	1,54
	30BXIL-40C	0,39 ± 0,06	0,8	96	3,78
	50BXIL-40C	0,58 ± 0,04	0,4	98	3,04

*Valores medios \pm la Desviación estándar de los resultados obtenidos

El parámetro n disminuyó con el aumento de la concentración del agente osmótico, presentando valores de 0,8 y 0,4 para las muestras impregnadas a 30 y 50 °Brix respectivamente. Así mismo, el parámetro n no presentó diferencias significativas con la temperatura.

El parámetro k presenta un aumento con la concentración del agente osmótico, es decir que las muestras tratadas con 50BXIL-30C presentan valores de k 32 % superiores a los registrados con 30BXIL-30C; así mismo, las muestras tratadas con 50BXIL-40C presentan valores de k 33 % superiores a las tratadas por 30BXIL-40C. Los valores de k no evidencian diferencias con la temperatura, como se registra además en los datos experimentales. Azoubel & Murr (2004) encontraron, durante el ajuste de Page para la pérdida de agua en tomate osmóticamente deshidratado, un aumento en el parámetro k en un 40 % con el aumento de la concentración de la solución osmótica, mientras que el parámetro n tuvo el comportamiento inverso, presentando una disminución del 10 %.

4.2.2.2 Ganancia de soluto

Se observa, como era de esperar, un incremento de la ganancia de soluto (ΔM_s) con el tiempo. En la Tabla 4.2.15 se muestra la comparación múltiple de los valores de ganancia de soluto para cada tiempo de tratamiento de deshidratación osmótica con xilitol como agente osmótico, los valores de ΔM_s presentan diferencias significativas con el aumento de la concentración del agente osmótico a una misma temperatura a partir de las 4 horas de tratamiento. Sin embargo, no se evidencian diferencias significativas con la temperatura; este comportamiento se mantiene inclusive hasta las 24 horas de tratamiento (Tabla 4.2.13). La Figura 4.2.7 muestra los resultados de ganancia de soluto durante la deshidratación osmótica de *Dyospiros kaki* var. Fuyu en solución de xilitol para las condiciones de procesamiento aplicadas y el ajuste del modelo empírico de Page a dichos datos, se observa un aumento no lineal a lo largo del tiempo. Ispir & Togrul (2009) estudiaron la transferencia de masa durante la deshidratación osmótica de durazno a 40, 50 y 60 °Brix. Los autores informaron que el aumento en la concentración de agente osmótico resultó en un aumento en los gradientes de presión osmótica y, por lo tanto, se obtuvieron valores más altos de absorción de sólidos a lo largo del período osmótico.

Tabla 4.2.15 Comparación múltiple de valores medios de ganancia de soluto a cada tiempo de tratamiento de deshidratación osmótica con xilitol.

Tratamiento	Tiempo			
	2	4	6	24
30BXIL-30C	a	a	a	a
50BXIL-30C	a	bc	bc	b
30BXIL-40C	a	ab	ab	a
50BXIL-40C	a	c	c	b

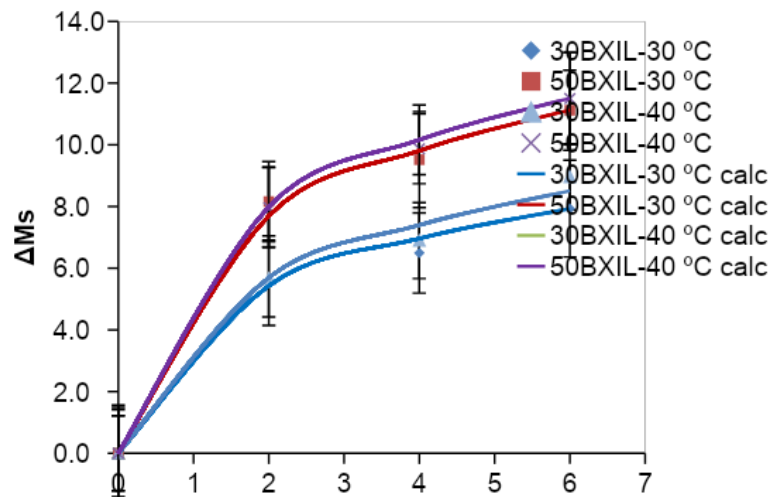


Figura 4.2.7 Ajuste del modelo de Page para la ganancia de soluto durante la deshidratación osmótica de *Dyospiros kaki* var Fuyu en solución de xilitol

En la Tabla 4.2.16 se muestra la variación de los °Brix tanto de la fruta como de la solución durante el tratamiento osmótico para los tratamientos 50BXIL-40C. Se puede observar un aumento en la concentración de azúcares (°Brix) de la fruta conforme transcurre el tratamiento osmótico. Este aumento va acompañado de la disminución de los °Brix de la solución osmótica. Los resultados concuerdan con los presentados para las muestras tratadas con solución de sacarosa.

Tabla 4.2.16 Contenido de azúcares (°Brix) de la solución osmótica y la fruta durante el tratamiento osmótico para 50BXIL-40C

Tratamiento	Solución			Fruta		
	2 h	4 h	6 h	2 h	4 h	6 h
50BXIL-40C	42,4 ± 0,4	41,0 ± 0,5	40,0 ± 0,1	20,87 ± 0,06	24,3 ± 0,1	27,7 ± 0,7

Los parámetros del modelo de Page (k y n) se representan en la Tabla 4.2.17 junto con los respectivos coeficientes de correlación (R^2). Se observa un buen ajuste de los datos experimentales ya que presentan coeficientes de correlación superiores a 97 %, el error relativo porcentual calculado varió de 1,35 a 3,32 %.

Tabla 4.2.17 Parámetros de ajuste de la ecuación de Page para la ganancia de soluto de *Dyospiros kaki* var Fuyu durante la deshidratación osmótica en solución de xilitol por 6 horas

		k^*	n	R^2	EPP
ΔMs	30BXIL-30C	$0,23 \pm 0,02$	0,8	98	3,05
	50BXIL-30C	$0,37 \pm 0,06$	0,6	97	3,32
	30BXIL-40C	$0,25 \pm 0,03$	0,8	99	2,39
	50BXIL-40C	$0,39 \pm 0,04$	0,6	99	1,35

*Valores medios \pm la Desviación estándar de los resultados obtenidos

El parámetro n no presentó diferencias significativas con la temperatura, pero si con la concentración del agente osmótico.

El parámetro k aumenta con el aumento de la concentración del agente osmótico y, al igual que para la pérdida de agua, no presenta diferencias significativas ($p < 0,05$) con la temperatura. Así, el valor de k para muestras tratadas con 50BXIL-30C fue un 38 % mayor que para las tratadas con 30BXIL-30C. De igual manera, el valor de k para las muestras luego del tratamiento de 50BXIL-40C fue un 36 % mayor que para aquellas con 30BXIL-40C.

Las curvas de ajuste del modelo de Page para la pérdida de agua y ganancia de soluto en muestras tratadas a bajas concentraciones de agente osmótico presentan menores pendientes en relación a aquellas tratadas a altas concentraciones. Azoubel & Murr (2004) obtuvieron pendientes similares en el ajuste de datos de pérdida de agua y ganancia de soluto durante la deshidratación osmótica de tomates.

4.2.2.3 Color

Las muestras tratadas mediante deshidratación osmótica en solución de xilitol presentaron leves cambios en el color en relación a la fruta fresca. El parámetro L^* disminuye al aumentar el tiempo de procesamiento, asimismo, el tiempo de tratamiento no tuvo efecto significativo ($p < 0,05$) sobre los parámetros de color a^* y b^* . En la Tabla 4.2.18 se muestran los valores del cambio de color total a las 2, 4 y 6 hs, se puede observar que el cambio de color es similar en todos los tratamientos, siendo levemente mayor en los tratamientos a 50B-40C a las 6 horas de procesamiento. En la Tabla 4.2.19 se muestran los parámetros de color de las muestras en sus diferentes tratamientos.

Tabla 4.2.18 Cambio total de color de *Dyospiros kaki* var Fuyu impregnado con xilitol.

Tratamiento	ΔE^*		
	2 h	4h	6h
30BXIL-30	4,4	4,9	7,5
C	3	1	6
50BXIL-30	2,9	5,4	6,7
C	3	9	9

30BXIL-40	6,1	5,5	6,9
C	8	3	4
50BXIL-40	5,7	5,6	8,1
C	2	4	8

Tabla 4.2.19 Parámetros de color de muestras tratadas con DO con xilitol en sus diferentes condiciones

Tratamiento	tiempo (h)	L^*	a^*	b^*	Hue	Chroma
30BXIL-30C	Fruta Fresca	56,45 ± 1,74a	29,53 ± 1,13a	53,66 ± 2,08a	61,17 ± 1,2a	61,25 ± 2,16a
	2	53,4 ± 0,87b	31,2 ± 1,02a	50,9 ± 0,35a	58,50 ± 0,91a	59,65 ± 0,44a
	4	52 ± 1,56b	29,4 ± 0,62a	51,6 ± 1,75a	60,27 ± 1,36a	59,42 ± 1,22a
	6	49,1 ± 0,66c	30,8 ± 0,96a	52,7 ± 5,44a	59,61 ± 1,76a	61,04 ± 5,19a
50BXIL-30C	Fruta Fresca	57,78 ± 2,87a	30,53 ± 0,61a	53,66 ± 2,08a	60,34 ± 1,32a	61,74 ± 1,62ab
	2	55,9 ± 1,07a	30,9 ± 0,19a	51,4 ± 1,86a	59,01 ± 0,77a	60,01 ± 1,69 ab
	4	51,1 ± 0,30b	30,2 ± 0,9ba	50,3 ± 1,00a	59,01 ± 0,74a	58,72 ± 0,72 a
	6	51,8 ± 0,81b	30,9 ± 0,71a	52,0 ± 4,41a	59,25 ± 2,39a	60,50 ± 3,57b
30BXIL-40C	Fruta Fresca	48,1 ± 1,84a	26,8 ± 2,21a	41,6 ± 0,46a	57,31 ± 2,22a	49,53 ± 1,21a
	2	45,2 ± 1,49b	25,4 ± 0,15a	36,3 ± 0,50b	55,01 ± 0,21a	44,34 ± 0,67b
	4	44,5 ± 1,9b	25,7 ± 0,20a	37,5 ± 1,24b	55,59 ± 0,78a	45,49 ± 1,09b
	6	42,9 ± 0,22b	25,1 ± 0,10a	37,4 ± 0,35b	56,15 ± 0,24a	45 ± 0,31b
50BXIL-40C	Fruta Fresca	51,59 ± 1,42a	28,02 ± 0,81a	46,14 ± 3,43a	59,15 ± 1,8ab	54 ± 3,08a
	2	48,7 ± 1,63b	28,6 ± 0,62a	41,3 ± 5,15a	56,54 ± 1,04c	49,46 ± 5,63ab
	4	47,8 ± 1,32bc	24,6 ± 0,81b	43,7 ± 3,43a	60,56 ± 1,8b	54 ± 3,08ab
	6	45,8 ± 0,44c	25,7 ± 0,25b	40,8 ± 1,15a	57,77 ± 0,48ac	48,23 ± 1,11b

Letras diferentes en la misma columna, de cada parámetro de color y cada tratamiento, indican diferencia significativa ($p < 0,05$)

El análisis estadístico indica que para todos los tratamientos se observan diferencias significativas en el parámetro L^* en relación a la fruta fresca, el cual disminuye con el tiempo de tratamiento osmótico, es decir que el tratamiento osmótico originó tonalidad más oscura en la fruta (L^* menores que en kaki fresco) para todas las condiciones de tratamiento, posiblemente debido a la concentración de los pigmentos y algún grado de pardeamiento enzimático.

4.2.2.4 Propiedades mecánicas

Debido a que las diferencias de color son similares en todas las condiciones, y que la pérdida de agua más importante se registró a 50B-40C, se selecciona esta condición para los posteriores estudios.

En la Figura 4.2.8 se observa las curvas de tensión-deformación para fruta fresca (FrFr) y tratada osmóticamente en solución de xilitol a 50 °Brix - 40 °C durante 6 horas. El tratamiento osmótico reduce la tensión máxima (Figuras 4.2.8 y 4.2.9) y el módulo de elasticidad E (Figura 4.2.9), lo que demuestra un comportamiento más elástico y una pérdida de turgencia de la fruta.

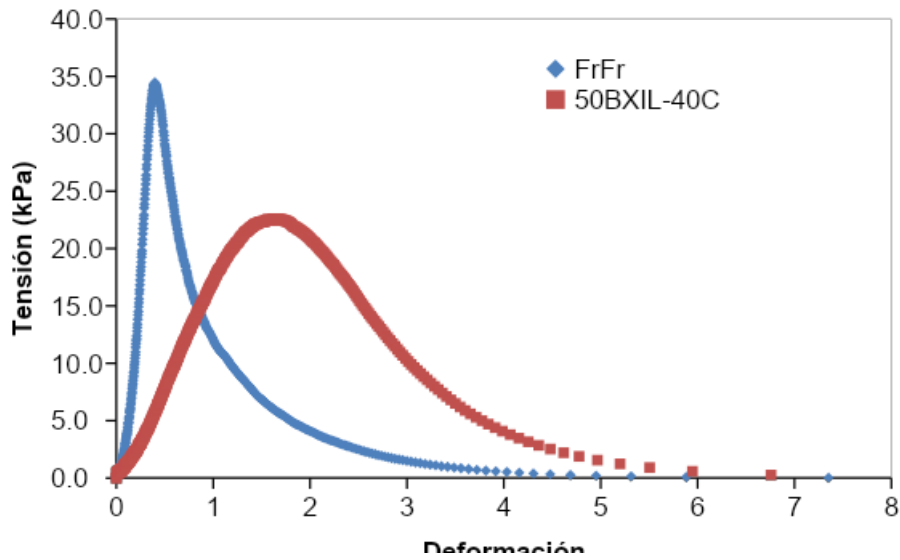


Figura 4.2.8 Comportamiento mecánico de fruta de *Dyospiros kaki* var Fuyu fresco y tratado osmóticamente en solución de xilitol

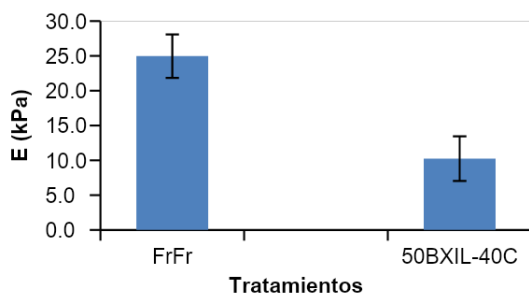
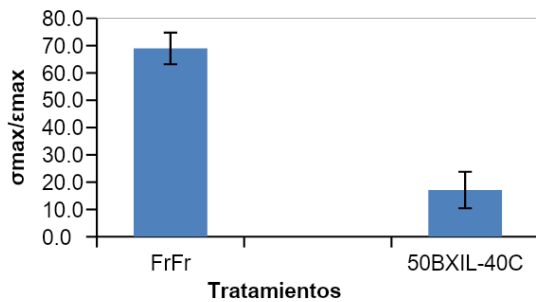


Figura 4.2.9 Relación $\sigma_{max}/\epsilon_{max}$ y módulo de elasticidad E de fruta de *Dyospiros kaki* var. Fuyu fresco y tratado osmóticamente en solución de xilitol por 6 h

La tensión máxima para la fruta fresca presento un valor de $34,43 \pm 4,62$ kPa promedio de diez medidas diferentes. La deshidratación osmótica a 50 °Brix causó una disminución significativa en la tensión máxima ($22,5 \pm 5,3$ kPa). Los principales cambios inducidos por el tratamiento osmótico sobre las propiedades mecánicas de los tejidos vegetales son la pérdida de la turgencia celular, la disolución de la protopectina y la alteración en la resistencia de la pared celular, por ende, el proceso osmótico provoca una disminución en la relación tensión-deformación con un aumento notable de la deformación máxima y una disminución en la tensión máxima (Chiralt et al., 2001). Además, estos cambios pueden correlacionarse con la pérdida de agua y la ganancia de solutos. Ferrari et al. (2010) encontraron resultados similares en muestras de melón osmodeshidratadas, con una reducción de la tensión máxima luego del proceso de deshidratación osmótica en solución a 60 °Brix del 23 % en relación a las muestras frescas.

Al igual que las muestras tratadas con solución de sacarosa, la deformación máxima también se vio influenciada con la deshidratación osmótica. La fruta fresca presenta un valor de deformación máxima de $0,572 \pm 0,082$, mientras que la fruta osmodeshidratada presenta un valor de deformación máxima de $1,188 \pm 0,304$.

4.2.2.5 Carotenos Totales

El contenido promedio de carotenos totales para fruta fresca fue de 3431 ± 74 µg/ 100 g FrFr. La Tabla 4.2.20 muestra el contenido de carotenos totales de muestras de *Dyospiros kaki* var. Fuyu fresco y tratados mediante deshidratación osmótica en solución de xilitol a 50 °Brix durante 6 horas a 40 °C. Al igual que para los tratamientos con sacarosa, las muestras deshidratadas osmóticamente presentaron mayores contenidos de carotenoides por gramo de materia que las muestras frescas, lo cual podrían deberse a que los mismos se concentraron durante el proceso de deshidratación osmótica. Esta presunción se refuerza con la evaluación de la composición referida a 100 g de fruta fresca (µg/ 100 g FrFr). No obstante, se observó una leve disminución en el contenido de carotenos totales a las 24 horas de tratamiento, posiblemente por efecto de exposición más prolongada a la temperatura de la solución de osmótica (40 °C).

Tabla 4.2.20 contenido de carotenos totales de muestras frescas y con deshidratación osmótica en solución de xilitol

Tiempo (horas)	Condiciones Osmóticas 50BXIL-40C
-------------------	-------------------------------------

	$\mu\text{g}/100$ g FrFr	$\mu\text{g}/100$ g muestra
0	3431,5± 73,5	3431,5±73, 5
2	3419,7± 87,9	3858,3±99, 2
4	3289,4± 187,5	4014,1±228 ,8
6	3404,5± 106,1	4830,2±150 ,5
24	2633,3± 115,6	4702,5±206 ,4

4.2.2.6 Cinética de deshidratación osmótica: Sacarosa y Xilitol

En las Figuras 4.2.10 y 4.2.11 se pueden observar la evolución de la pérdida de agua y la ganancia de soluto durante la deshidratación osmótica de *Dyospiros kaki* var. Fuyu utilizando sacarosa y xilitol como agentes osmóticos. Como se mencionó anteriormente, para ambos agentes se puede observar tanto para la pérdida de agua como para la ganancia de soluto un aumento importante en las primeras 2 horas, luego de este tiempo el aumento en los parámetros es gradual. En la Tabla 4.2.21 se observan los valores de pérdida de agua y cambio total de color luego de 6 horas de deshidratación osmótica con ambos agentes osmóticos.

Tabla 4.2.21 Pérdida de agua y cambio global de color de muestras con deshidratación osmótica en solución de sacarosa y xilitol por 6 horas

Tratamiento	ΔM_w	ΔE
50B-30C	32,3 ± 2,0a	6,4 ± 1,6a
50BXIL-30 C	32,2 ± 3,6a	6,8 ± 0,7a
50B-40C	39,3 ± 1,2b	8,6 ± 1,8a
50BXIL-40 C	35,4 ± 2,9ab	8,2 ± 0,8a

Letras diferentes en la misma columna indican diferencia significativa ($p < 0,05$).

El mayor valor de pérdida de agua se obtuvo para la condición 50B-40C. Sin embargo, no se observan diferencias significativas en la pérdida de agua a las 6 horas de procesamiento entre las muestras deshidratadas con ambos agentes osmóticos a la misma temperatura. No obstante, si se evidencian diferencias significativas con la temperatura para las muestras tratadas con sacarosa. Así, el aumento de temperatura de 30 a 40 °C presenta pérdidas de agua un 9 y 18 % mayores para las muestras tratadas con xilitol y sacarosa respectivamente. Así también, no se observan diferencias en el cambio global de color (ΔE) entre las muestras tratadas con solución

de sacarosa y xilitol, sin embargo, mayores valores de cambio de color se observaron a 40 °C.

En síntesis, dado que se presentaron escasas diferencias en la pérdida de agua y el cambio global de color, el efecto más importante de la deshidratación osmótica con xilitol como agente osmótico fue en el aporte calórico, el cual para las muestras tratadas con 50BXIL-30C y 50BXIL-40C fue un 10 y 35 % menor en comparación a las muestras tratadas con DO50B-30C y DO50B-40C respectivamente.

En las Figuras 4.2.10 y 4.2.11 se muestra la pérdida de agua y ganancia de soluto para las muestras tratadas con ambos agentes osmóticos.

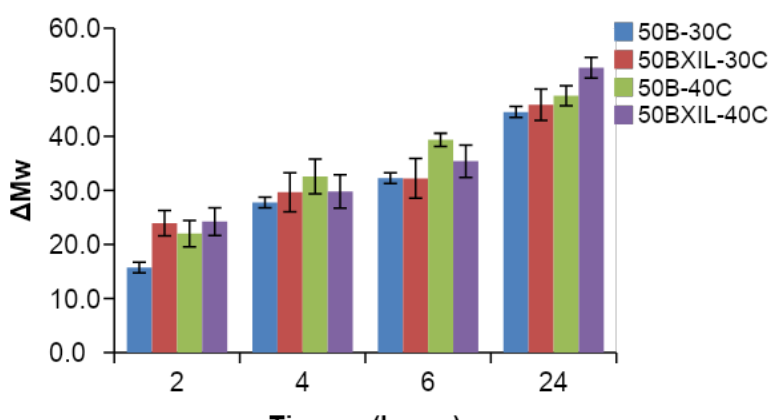


Figura 4.2.10 Pérdida de agua en frutas de *Dyospiros kaki* var Fuyu durante los tratamientos de deshidratación osmótica con sacarosa y xilitol

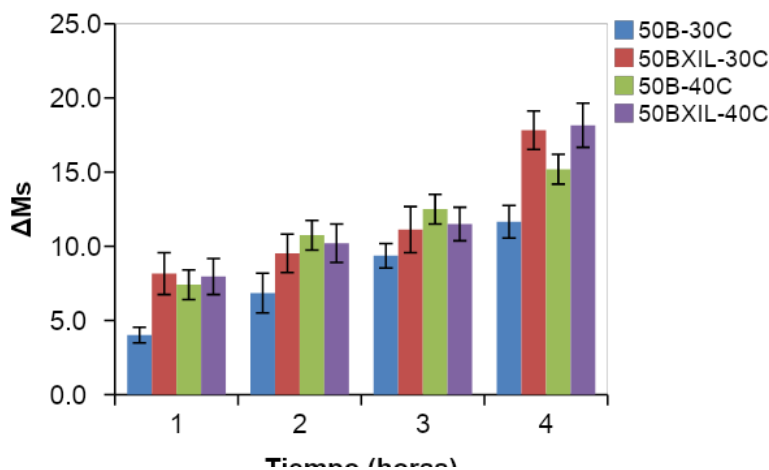


Figura 4.2.11 Ganancia de soluto en frutas de *Dyospiros kaki* var Fuyu durante los tratamientos de deshidratación osmótica con sacarosa y xilitol

Generalmente, el agente osmótico de bajo peso molecular penetra más fácilmente en la célula de la fruta en comparación con el agente osmótico de alto peso molecular. Los solutos con un alto peso molecular tienen más probabilidades de ser retenidos en la superficie del tejido. Por otro lado, las moléculas más pequeñas se difunden más

fácilmente a través de la matriz del producto. Esto se ve reflejado a las 24 horas de proceso donde la ganancia de soluto fue mayor para las muestras tratadas con xilitol (Figura 4.2.11), así, para los tratamientos a 50 °Brix en solución de xilitol la ganancia de soluto fue un 29 y 19 % mayor que para los tratamientos a 50 °Brix en solución de sacarosa a 30 y 40 °C respectivamente. Además, la pérdida de agua fue mayor para las muestras tratadas en solución de xilitol a 40 °C (Figura 4.2.10). Rizzolo et al. (2007) deshidrataron rodajas de frutillas en soluciones concentradas de sacarosa y sorbitol al 60 % durante 6 h a una temperatura de 30 °C. Observaron un aumento constante de la pérdida de agua durante los dos procesos. Además, obtuvieron valores más altos tanto de pérdida de agua como de ganancia de soluto cuando se utilizó la solución de sorbitol, este hecho se debió a la diferencia en los pesos moleculares de sorbitol (182,18 g / mol) y sacarosa (342,30 g / mol). Resultados similares obtuvieron Cichowska et al. (2018) durante la deshidratación osmótica de manzanas utilizando eritritol, xilitol, maltitol, inulina y oligofructosa a 20, 30 y 40 °Brix y sacarosa a 50 °Brix como agentes osmóticos; las muestras tratadas con los polioles utilizados evidenciaron mayor ganancia de soluto y pérdida de agua en relación a aquellas tratadas en solución de sacarosa. La inulina y la oligofructosa no fueron efectivas como soluciones osmóticas debido a su elevado peso molecular. Dados los buenos resultados en pérdida de agua y ganancia de solutos, se opta por trabajar en los siguientes ensayos la condición de 50 °Brix – 40 °C durante 6 horas.

***Sección III: Secado de
Dyospiros kaki var Fuyu***

Capítulo 4: Resultados y Discusión

SECCION III: SECADO

En esta sección se presentan y discuten los resultados de los ensayos de secado de medias rodajas de *Dyospiros kaki* var. Fuyu, con y sin pretratamiento de deshidratación osmótica. Se evaluó la cinética de secado a 45, 60 y 75 °C. Adicionalmente y con el objetivo de reducir el consumo energético del proceso, se analizó la aplicación de la metodología de secado intermitente (SAC INT), el cual se efectuó alternando periodos de 45 minutos de aplicación de calor y 45 minutos de reposo con aislación térmica. Además del análisis de la cinética de pérdida de agua, se evaluó como varían algunas características fisicoquímicas durante los procesamientos. La pérdida de humedad se describió apropiadamente mediante el modelo de Page.

4.3.1 Cinética de pérdida de agua

4.3.1.1 Secado Continuo

El valor medio de humedad de la fruta fresca fue de $81,1 \pm 2,1$ g de agua / 100 g (bh), los valores de humedad para las muestras después de 5 horas de secado con aire caliente (SAC) a 45, 60 y 75 °C fueron: $39,1 \pm 6,2$; $25,9 \pm 7,1$ y $9,9 \pm 1,1$ g de agua / 100 g (bh), respectivamente. Por ende, el secado a 45 °C durante 5 horas redujo el contenido de humedad de las muestras en un 52 % en relación a la fruta fresca. Así también, el secado a 60 y 75 °C redujeron el contenido de humedad de las muestras en un 60 y 87 % en relación a la fruta fresca.

En la Figura 4.3.1 se muestran las curvas de humedad adimensional en función del tiempo a las tres temperaturas estudiadas. Es evidente que la humedad disminuye continuamente con el tiempo de secado y los datos exhiben una velocidad decreciente de secado bien definida ya que la pendiente se reduce continuamente con el tiempo. Esto indica que no hubo un período de velocidad de secado constante y, por lo tanto, el proceso de secado está completamente dentro del período de velocidad decreciente donde domina la difusión de humedad interna. Se observó que la temperatura de secado muestra una influencia sobre la cinética de proceso, es decir, un aumento en la velocidad de secado conforme se incrementó la temperatura. Así mismo, se observaron mayores diferencias en la curva de secado a 75 °C en relación a la de 45 y 60 °C. Resultados similares han sido reportados en la literatura para varias frutas y

vegetales (Doymaz & Pala, 2003, Ertekin & Yaldiz, 2004, Borsini et al., 2021). Por otra parte, se muestra que la cinética de secado de frutas de *Dyospiros kaki* var. Fuyu es apropiadamente descrita por el modelo de Page. Doymaz (2012) estudió el secado de muestras *Dyospiros kaki* a temperaturas entre 50 y 70 °C y 2 m/s de velocidad de aire; ajustando los datos experimentales con 6 modelos empíricos. Los modelos de Page y Weibull fueron los que mejor ajustaron a los datos experimentales dando valores de R² cercanos a 99,9 %. Jumah et al. (2007) demostraron que, en un amplio rango de temperatura, la ecuación de Page es el modelo más apropiado para describir la cinética de secado de orujo en un rango de temperatura de 49 y 77 °C.

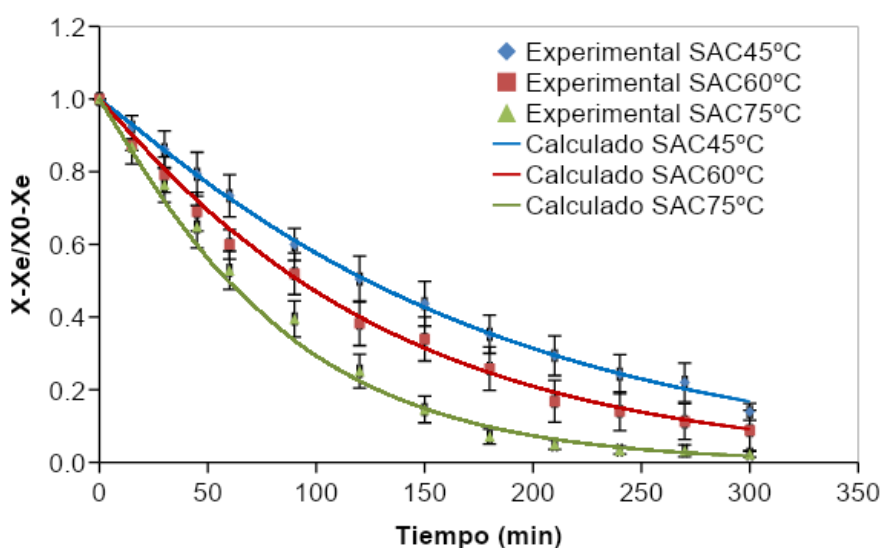


Figura 4.3.1 Curvas de secado continuo

En la Tabla 4.3.1 se muestran los valores de humedad de las muestras secadas por 24 horas, considerando peso constante, para las muestras secadas a 45, 60 y 75 °C, los cuales fueron utilizados como valores de equilibrio en el ajuste del modelo de Page. Se muestra, además, los valores de los parámetros del modelo de Page resultantes del ajuste de los datos experimentales de secado.

Tabla 4.3.1 Humedades de las muestras secadas por 24 horas a distintas temperaturas y parámetros de la ecuación de Page

Tratamiento	X_{eq} (g/100 g bh)**	k^{**}	n	EPP
SAC45°C	8,03 ± 0,18a	0,0038 ± 0,0006a	1,07a	3,5a
SAC60°C	5,86 ± 0,46b	0,006 ± 0,001b	1,07a	7,2b
SAC75°C	2,95 ± 0,20c	0,008 ± 0,0006c	1,1a	14,5c

*Letras diferentes señalan diferencia significativa a un nivel de significancia del 95% (p<0,05)

** Promedio ± desvío Standard de los resultados obtenidos

Como era de esperar, la temperatura del proceso afectó significativamente ($p < 0,05$) los valores de humedad de equilibrio.

En todos los casos se obtuvieron valores de R^2 superiores a 97%, lo que señala la bondad del ajuste del modelo de Page. En la Figura 4.3.1 se presentan los datos experimentales y los calculados a partir de los parámetros presentados en la Tabla 4.3.1. Los valores del parámetro n de la ecuación de Page no presentaron diferencias significativas ($p > 0,05$) para todas las condiciones. Sin embargo, para las condiciones SAC45°C y SAC60°C el valor medio fue de $1,07 \pm 0,03$; y para el secado a 75°C (SAC75°C) el valor resultante de n fue $1,10 \pm 0,02$.

El parámetro k puede ser considerado como una medida de la velocidad de pérdida de humedad. Así, los valores de k presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las distintas condiciones, mostrando un incremento con la temperatura. Comportamiento similar en relación al parámetro k y su aumento con la temperatura, fue reportado por Doymaz & Pala (2003) estudiando el secado de choclo con y sin pretratamiento a 55, 65 y 75 °C. Los autores evidenciaron un aumento en el parámetro k para el secado a 55 y 65 °C en las muestras sin pretratamiento. Así mismo, encontraron que para el choclo pretratado con oleato de etilo al 2 % (p/p) y carbonato de potasio al 4 % (p/p), los valores de k presentaron un aumento inclusive para el secado a 75 °C.

Alexandre et al. (2013) encontraron que el modelo de Page presentó mejor ajuste de los datos experimentales de secado de cascavas de ananá a temperaturas de 40, 50 y 60 °C y velocidades de aire de 0,8, 1,3 y 1,8 m/s. Encontraron además que el parámetro k del modelo de Page aumentó al incrementar la temperatura. Azoubel et al. (2010) informaron, evaluando la cinética de secado de banana a temperaturas de 50 y 70 °C y velocidad de aire de 3,0 m/s, utilizando ultrasonido como pretratamiento, que el modelo de la Page mostró un mejor ajuste a los datos experimentales con valores de R^2 superiores al 99,4 %; presentando valores de k entre 0,004 y 0,005.

Pese a que el ajuste del modelo de Page es satisfactorio en todas las condiciones aplicadas, se observa una disminución de la bondad del ajuste con el incremento de la temperatura de operación (Tabla 4.3.1).

4.3.1.2 Secado Intermitente

El secado intermitente es un proceso en el cual el calor es aplicado de manera discontinua con periodos o ciclos de reposo (Jumah et al., 2007). En este proceso el sólido pierde humedad durante los periodos de secado con corriente de aire. Sin

embargo, durante los periodos de intermitencia o reposo el agua difunde desde el centro húmedo a la superficie seca causando una redistribución del agua, que favorece la evaporación superficial de la misma; este hecho incrementa la velocidad de secado cuando se reanuda el flujo de aire caliente (Bon & Kruda, 2007).

Los valores de humedad de las muestras con 5 horas de secado efectivo (5 horas de aplicación de calor), aplicando metodología de secado intermitente alternando periodos de 45 min SAC/ 45 min reposo a 45, 60 y 75 °C fueron: $46,4 \pm 6,6$; $39,7 \pm 8,5$ y $8,8 \pm 1,3$ g / 100 g (bh).

En la Figura 4.3.2 se muestran las curvas de humedad adimensional en función del tiempo efectivo de aplicación de calor. Se observa que las curvas para las muestras tratadas a 75 °C (SACINT75°C) presentan una mayor velocidad de secado luego de los 50 minutos en relación a las demás (SACINT45°C y SACINT60°C), mostrando diferencias significativas en los valores de humedad adimensional.

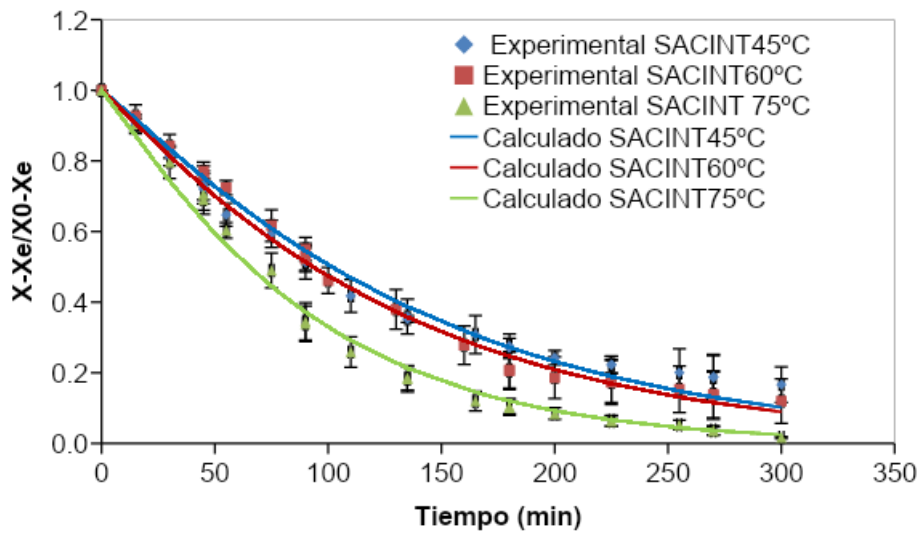


Figura 4.3.2 Curvas de secado intermitente (SAC INT)

En la Tabla 4.3.2 se muestran los valores de humedad de las muestras secadas con secado intermitente (SAC INT) hasta peso constante a 45, 60 y 75 °C y las constantes del modelo de Page. Estas constantes fueron calculadas considerando el tiempo efectivo de aplicación de calor, obviando los tiempos de reposo.

Tabla 4.3.2 Humedades luego del SAC INT hasta peso constante a distintas temperaturas y valores de los parámetros del modelo de Page resultantes del ajuste de los datos experimentales

Tratamiento	X_{eq} (g/100 g bh)**	k^{**}	n	EPP
-------------	-------------------------	----------	-----	-----

SACINT45°C	7,62 ± 0,54a	0,005 ± 0,001a	1,07 a	7,6
SACINT60°C	5,42 ± 0,85b	0,006 ± 0,001a	1,07 a	8,7
SACINT75°C	2,19 ± 0,29c	0,0075 ± 0,0007b	1,1b	11,5

*Letras diferentes en los valores señalan diferencia significativa a un nivel de Significancia del 95% ($p < 0,05$)

** Promedio ± Desviación Standard de los resultados obtenidos

Al igual que para el secado continuo (SAC), la temperatura del proceso afectó significativamente ($p < 0,05$) los valores de humedad de equilibrio, disminuyéndolos con el aumento de la temperatura.

El efecto de la temperatura fue menor entre las curvas de muestras secadas a 45 y 60 °C, donde no se observaron diferencias significativas entre ellas. Sin embargo, si se evidencian diferencias significativas entre las curvas a estas condiciones y las curvas de SACINT75°C (Tabla 4.3.2).

La aplicación de tiempos de reposo o intermitencia no afecta significativamente los valores del parámetro n . Al igual que para el SAC, los valores del parámetro n de la ecuación de Page no difieren entre los resultados a 45 y 60 °C ($p > 0,05$) con un valor medio de $1,07 \pm 0,02$; sin embargo, se observan diferencias con los valores a 75 °C siendo el valor de n de $1,10 \pm 0,01$.

Para los valores del parámetro k , se observan diferencias de comportamiento en relación a los ensayos de SAC, no se evidencian diferencias entre los datos a 45 y 60 °C con una leve disminución a 45 °C (no significativa). No obstante, si se evidencian diferencias significativas entre éstos y los datos a 75 °C.

Las curvas de secado intermitente que emplean el tiempo de secado efectivo o el tiempo de aplicación del calor, excluyendo el tiempo de reposo, se pueden comparar con las curvas de secado continuo. La Figura 4.3.3 muestra las curvas de secado de *Dyospiros kaki* var. Fuyu durante el secado continuo y el secado intermitente a 45 °C. En esta figura se observa que la aplicación de períodos de intermitencia tiene efecto favorable sobre la velocidad de secado hasta los 250 minutos y consecuentemente reduce el tiempo efectivo de aplicación de calor necesario para alcanzar un determinado valor de humedad, aunque debido a la dispersión de los resultados estas diferencias no son estadísticamente significativas ($p > 0,05$). A tiempos superiores a 250 min las curvas de cinética de SAC y SAC INT tienden a superponerse; en esta región los valores de humedad se aproximan a los de equilibrio y se observó que no hay diferencias significativas entre ellos. Chou et al. (2000) compararon el secado intermitente con el secado continuo de papas a 35 °C, encontrando una reducción del

tiempo de procesamiento de 25, 48 y 61 % para las condiciones de 15 min secado - 45 min reposo, 30 min secado - 30 min reposo y 40 min secado - 20 min reposo respectivamente.

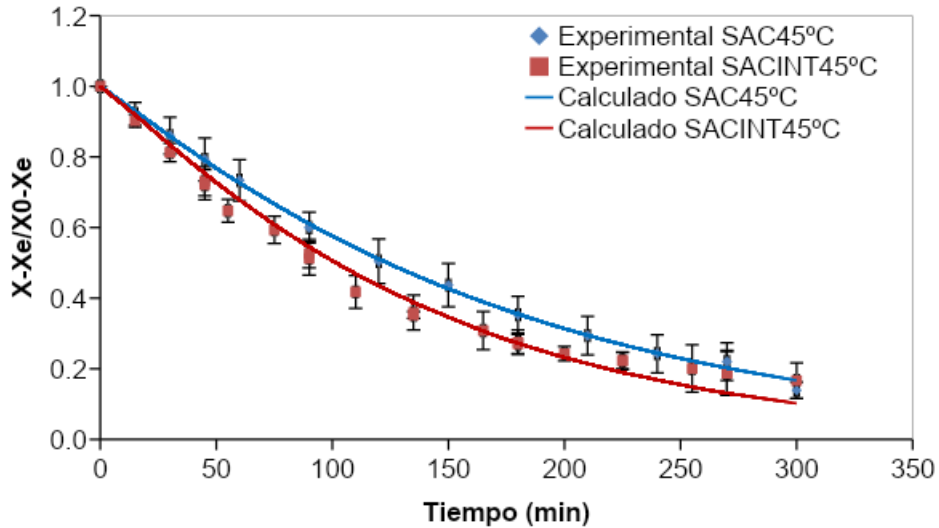


Figura 4.3.3 Curvas de secado para SAC45°C y SACINT45°C

En las curvas de cinética de secado a 60 y 75 °C no se observaron diferencias significativas en los resultados de variación de humedad con la aplicación de períodos de intermitencia en relación al secado continuo, (Figuras 4.3.4 y 4.3.5).

La cinética de pérdida de agua del SAC INT presenta poco beneficio como alternativa al secado continuo para frutas de *Diospyros kaki* var. Fuyu, aunque numerosas publicaciones indican resultados diferentes para otros productos. Ramallo et al. (2010) encontraron que la aplicación de períodos de intermitencia tiene efecto favorable sobre la velocidad de secado en yerba mate. Resultados similares fueron publicados por Aquerreta et al. (2007) en un estudio del efecto de la aplicación de períodos de intermitencia a temperatura ambiente, 40 y 60 °C en el secado de arroz, encontrando una reducción del tiempo de secado en un 38 % para las muestras con reposos a altas temperaturas (60 °C) en relación a las muestras sin reposo.

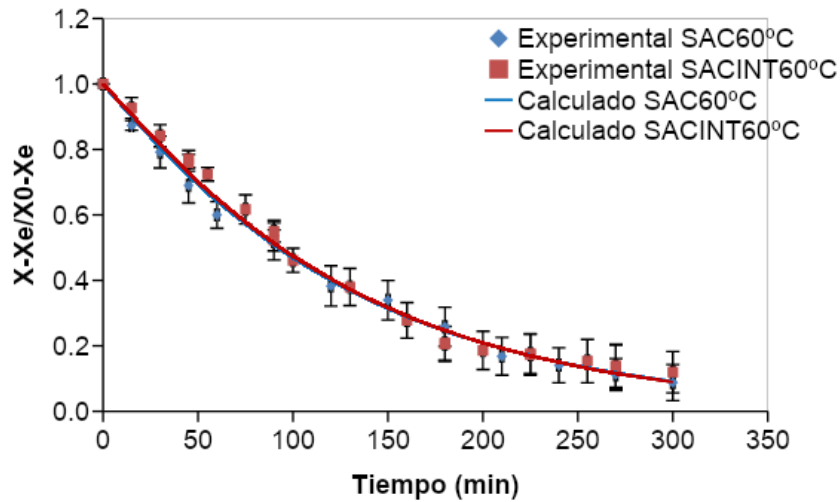


Figura 4.3.4 Curvas de secado continuo SAC60°C y SACINT60°C

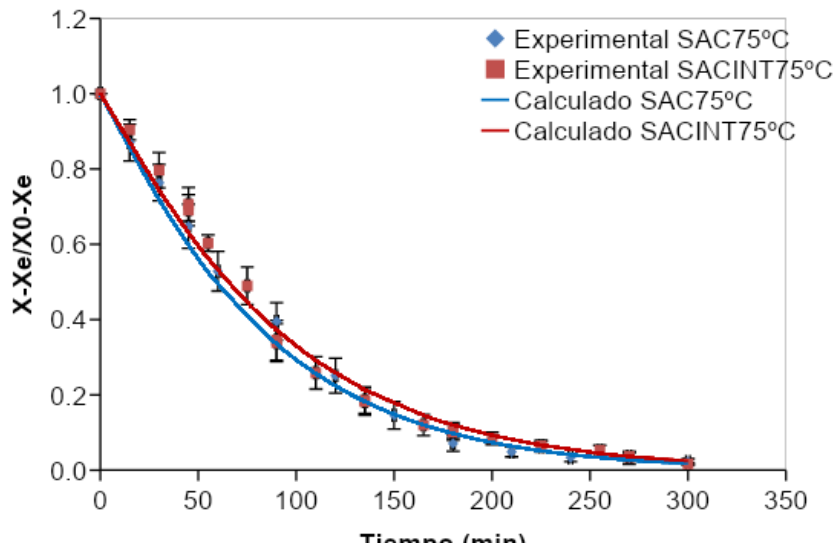


Figura 4.3.5 Curvas de secado continuo SAC75°C y SACINT75°C

4.3.1.2.1 Evolución de la Temperatura durante periodos de reposo

La temperatura de las muestras durante los reposos fue evaluada durante cuatro periodos de reposo para cada ensayo de secado como se presentan en las Figuras 4.3.6, 4.3.7 y 4.3.8. Se puede observar que la temperatura se mantuvo prácticamente constante durante los periodos de reposo, el valor promedio de la temperatura para el SAC45°C fue de $41,9 \pm 1,7$ °C, para el SAC60°C el valor fue de $56,9 \pm 2,1$ °C y para el tratamiento SAC75°C el valor medio de temperatura fue de $72,5 \pm 1,9$ °C. Esta constancia se debe al aislamiento de las muestras, utilizando un recipiente de poliestireno expandido de 5 cm de espesor de pared.

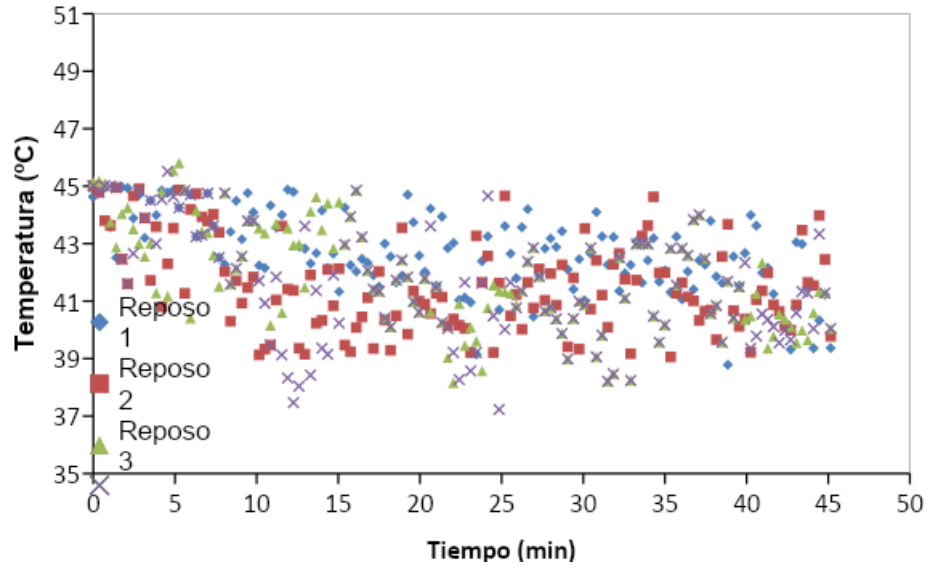


Figura 4.3.6 Valores experimentales de temperatura durante los reposos para SAC45°C

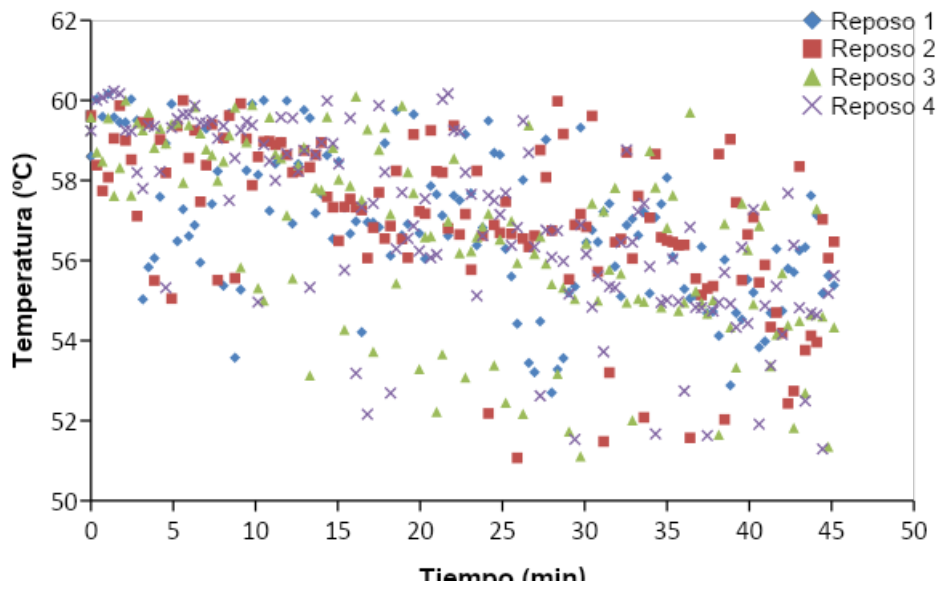


Figura 4.3.7 Valores experimentales de temperatura durante los reposos para SAC60°C

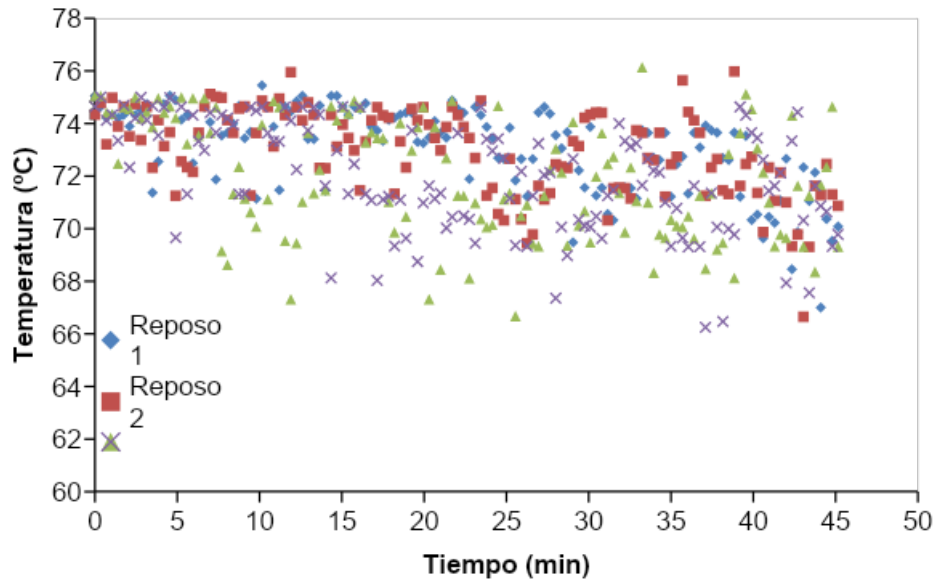


Figura 4.3.8 Valores experimentales de temperatura durante los reposos para SAC75°C

En la Figura 4.3.9 muestra la evolución completa de la humedad en las muestras de kaki durante el secado completo, incluyendo los periodos de reposo. El efecto de los tiempos de reposo únicamente se evidenció en las primeras etapas de proceso, volviéndose poco notorio en las etapas finales.

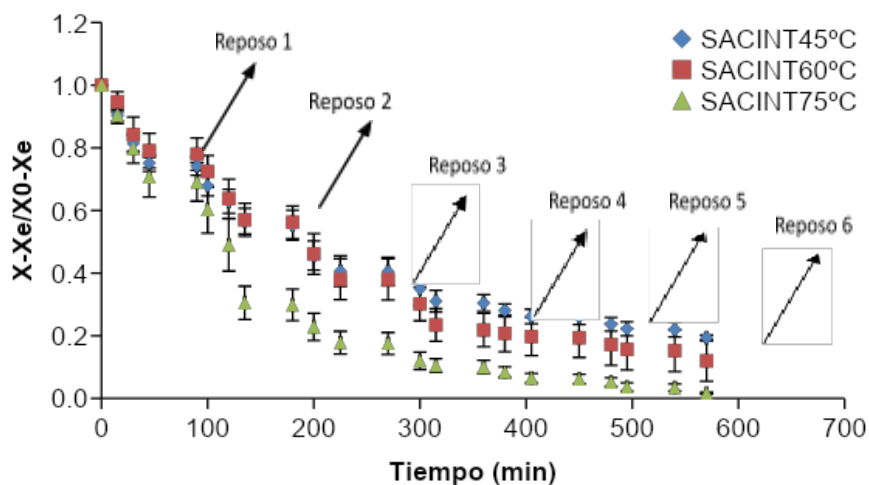


Figura 4.3.9 Curvas de secado intermitente a 45, 60 y 75 °C considerando los tiempos de reposo

4.3.1.3 Proceso Combinado de Deshidratación Osmótica y Secado

Para ver el efecto combinado de la deshidratación osmótica con el secado, se evaluó la cinética de secado de muestras previamente deshidratadas en solución de sacarosa a 50 y 60 °Brix y 40 °C; y en solución de xilitol a 50 °Brix y 40 °C por 6 horas.

Las muestras parcialmente deshidratadas osmóticamente fueron posteriormente secadas a 60 °C por 5 horas. Las curvas de secado de las muestras impregnadas a

ambas concentraciones de sacarosa no presentaron diferencias significativas, con valores de humedad final de $18,1 \pm 3,9$ y $17,3 \pm 5,2$ g/100 g (bh) a 50 y 60 °Brix respectivamente. Si bien estos valores son menores que los registrados durante el SAC a 60 °C, este hecho puede deberse a que durante la etapa de deshidratación osmótica, la humedad de las muestras disminuyó de $81,1 \pm 1,0$ a $56,3 \pm 1,4$ g/100 g (bh) y de $80,7 \pm 0,7$ a $53,5 \pm 0,5$ g/ 100 g (bh) para 50 y 60 °Brix respectivamente, y no deberse a un incremento en la velocidad de secado. Kowalska et al. (2018) obtuvieron un contenido de humedad menor para las muestras de manzanas previamente deshidratadas con solución de sacarosa a 65 °Brix-50 °C por 2 horas y posteriormente secadas a 50 °C por 5 horas, en relación a aquellas secadas a 50 °C sin pretratamiento osmótico.

Por otra parte, para las muestras deshidratadas en soluciones de xilitol a 50 °Brix, la humedad de las muestras disminuyó luego de la etapa de deshidratación osmótica de $81,1 \pm 0,2$ a $58,5 \pm 1,7$ g/ 100 g (bh). Así mismo, luego de la etapa de secado las muestras alcanzaron valores de humedad final de $20,0 \pm 1,0$ g/ 100 g (bh); estos valores de humedad final son menores que los respectivos registrados durante el SAC a 60°C, aunque son mayores que los registrados para el secado a 60 °C de muestras previamente impregnadas con sacarosa. Sin embargo, los valores de humedad final luego del secado para los tratamientos estudiados, no presentan diferencias significativas.

La Figura 4.3.9 muestra las curvas experimentales de secado de kaki durante el secado continuo por 5 horas de fruta con y sin pretratamiento de deshidratación osmótica en solución de sacarosa de 50 y 60 °Brix (DO50B+SAC60°C y DO60B+SAC60°C) y en xilitol a 50 °Brix (DO50BXIL+SAC60°C). Las curvas de fruta previamente deshidratadas en solución de xilitol muestran una notable disminución de la velocidad de secado al superar los 100 minutos en relación a las muestras tratadas en solución de sacarosa y de la fruta sin tratar. Asimismo, en este trabajo no se encontraron diferencias significativas en las velocidades de secado de muestras sin tratamiento osmótico y con tratamiento osmótico en solución de sacarosa.

El pretratamiento de frutas en soluciones osmóticas usualmente reduce la velocidad de secado en comparación con muestras frescas debido a la ganancia de soluto que ocurre durante el tratamiento osmótico lo cual genera una resistencia interna a la transferencia de masa reduciendo de esta manera la velocidad de secado (Mandala et al., 2005; El-Aouar et al., 2003; Simal et al., 1997; Rahman & Lamb, (1991). Sin embargo, Park et al. (2002) encontraron que los coeficientes de difusión del agua en

peras osmóticamente deshidratadas eran mayores que en la fruta fresca, esto se explica por la reducción en el efecto de contracción y endurecimiento de la superficie debido al tratamiento osmótico. García et al. (2007) encontraron que el efecto del pretratamiento osmótico en solución de sacarosa a 60 °Brix y 27 °C sobre el secado convectivo de calabazas a 50 y 70 °C, mejoró la transferencia de agua, por ende la velocidad de secado para las muestras pretratadas fue mayor.

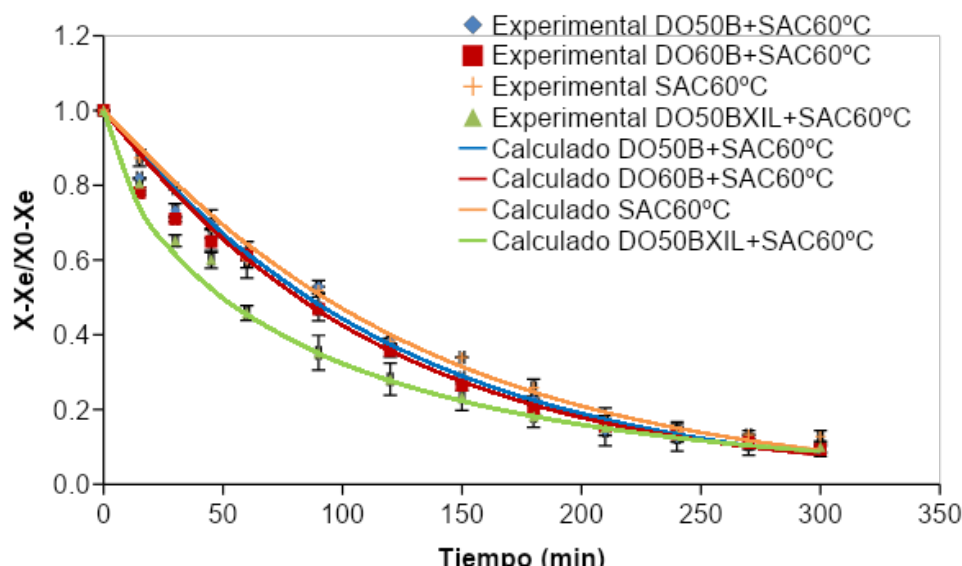


Figura 4.3.9 Curvas de secado continuo a 60°C de muestras con y sin tratamiento de deshidratación osmótica en solución de sacarosa y xilitol

En la Tabla 4.3.5 se muestran los valores de humedad de las muestras previamente deshidratadas osmóticamente en sus distintas condiciones y secadas a 60 °C hasta peso constante y los valores de los parámetros del modelo de Page resultantes del ajuste de los datos experimentales de secado.

Tabla 4.3.5 Humedades luego del DO+SAC hasta peso constante a distintas condiciones y Parámetros de la ecuación de Page

Condición	X_{eq} (g/100 g bh)**	k^{**}	n^*	EPP
SAC60°C	5,86 ± 0,46a	0,006 ± 0,0005	1,07b	7,2
DO50B+SAC60°C	5,95 ± 1,25a	0,0066 ± 0,0005	1,07b	6,4
DO60B+SAC60°C	5,07 ± 1,54a	0,007 ± 0,002	1,07b	7,8
DO50BXIL+SAC60°C	6,21 ± 1,73a	0,044 ± 0,004	0,7a	5,7

*Letras diferentes en los valores señalan diferencia significativa a un nivel de Significancia del 95% ($p < 0,05$)

** Promedio ± Desviación Standard de los resultados obtenidos

No se evidenciaron diferencias significativas ($p > 0,05$) en las humedades de equilibrio para las condiciones estudiadas.

La aplicación del pretratamiento osmótico en solución de sacarosa a distintas concentraciones previo al secado no afecta significativamente los valores del parámetro n . Sin embargo, el parámetro n para DO50BXIL+SAC60°C presenta un valor promedio de $0,7 \pm 0,01$, diferente al de las muestras tratadas con sacarosa y sin pretratamiento.

Los valores del parámetro k muestran, como era de esperar, un aumento considerable para las muestras tratadas con xilitol respecto de aquellas muestras tratadas con sacarosa. Azoubel et al. (2009) encontraron ajustes satisfactorios del modelo de Page en muestras de anacardo secados a 50, 60 y 70 °C y previamente osmodeshidratadas con sacarosa y jarabe de maíz a 52 °Brix y 34 °C. Para la condición de secado a 70 °C previamente osmodeshidratado con sacarosa, el modelo de Page fue el que mejor ajustó a los datos experimentales por sobre los demás modelos propuestos (exponencial de dos términos y logarítmico).

Con el objetivo de estudiar el efecto de la intermitencia en fruta pretratada con deshidratación osmótica, en la Figura 4.3.10 se muestran las curvas de secado continuo e intermitente a 60 °C durante 3 horas. Se aplicó secado continuo e intermitente a fruta previamente deshidratada en solución acuosa de sacarosa y xilitol a 50 °Brix por 6 horas. La aplicación de periodos de reposo o intermitencia no ejerce efecto positivo en la velocidad de secado.

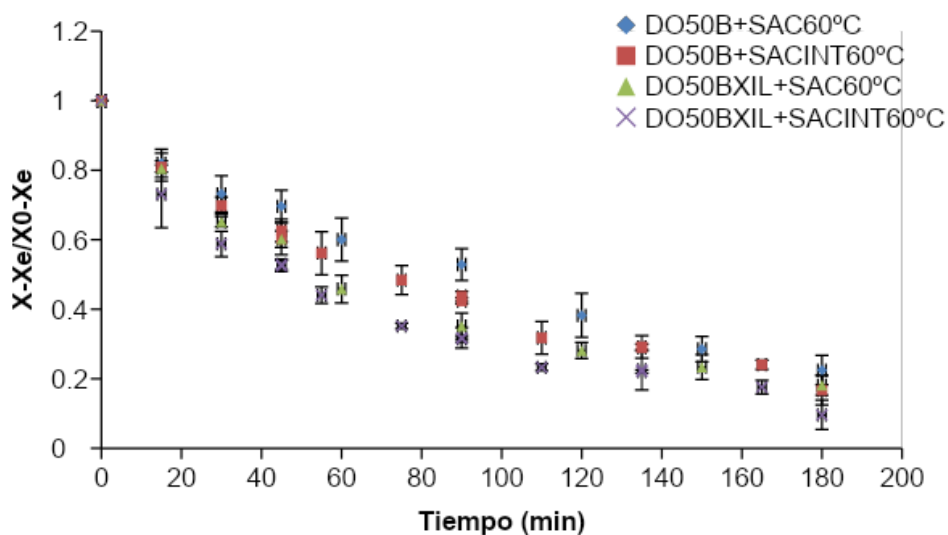


Figura 4.3.10 Curvas de secado continuo e intermitente a 60 °C de muestras con tratamiento previo de deshidratación osmótica a 50 °Brix en solución de sacarosa y xilitol

4.3.2 Propiedades Fisicoquímicas

4.3.2.1 Color

La retención del color total puede ser un indicador de calidad para evaluar el grado de deterioro debido al procesamiento térmico (Ávila & Silva, 1999). 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 como manzana (Mandala et al., 2005) o kiwi (Maskan, 2001). En la Tabla 4.3.6 se muestran los valores medios de los cambios de los parámetros instrumentales del color para cada condición de secado.

Tabla 4.3.6: Valores medios de los cambios en los parámetros instrumentales del color

Tratamiento	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE	Hue	Chroma
Fruta Fresca (FrFr)	--	--	--	--	59,46 ± 1,71b	61,89 ± 1,23b
SAC45°C	-9,9	-2,8	-8,3	13,4	55,02 ± 1,53a	49,47 ± 2,75a
SACINT45°C	-9,0	-1,1	-7,8	12,2	53,80 ± 2,80a	50,77 ± 2,65a
Fruta Fresca (FrFr)	--	--	--	--	59,03 ± 1,54b	61,60 ± 1,76b
SAC60°C	-8,9	-2,1	-8,9	12,9	53,51 ± 1,92a	50,05 ± 1,33a
SACINT60°C	-7,3	-1,6	-8,3	11,3	53,21 ± 1,80a	50,88 ± 1,68a
DO50B+SAC60°C	-5,2	-1,2	-5,7	7,9	53,80 ± 1,01a	51,70 ± 2,03a
DO60B+SAC60°C	-4,4	-1,0	-4,7	6,6	54,40 ± 2,91a	52,60 ± 2,73a
DO50BXIL+SAC60°C	-4,8	-1,2	-3,8	5,3	54,16 ± 1,08a	53,44 ± 1,10a
DO50B+SACINT60°C	-6,1	-0,6	-5,5	8,5	53,48 ± 0,91a	52,55 ± 1,67a
DO50BXIL+SACINT60°C	-6,2	-0,8	-4,1	7,3	54,61 ± 2,84a	53,60 ± 2,13a
Fruta Fresca (FrFr)	--	--	--	--	59,16 ± 4,77b	63,83 ± 2,03b
SAC75°C	-3,6	-5,5	-15,7	17,2	55,19 ± 1,00a	47,61 ± 1,33a
SACINT75°C	-4,1	-3,0	-15,7	16,7	52,78 ± 3,18a	49,22 ± 2,18a

*Letras diferentes en los valores señalan diferencia significativa a un nivel de Significancia del 95% ($p < 0,05$)

Los parámetros del color L^* y b^* disminuyeron significativamente durante el secado, mientras que a^* se mantuvo prácticamente constante, excepto en los procesos a 75 °C. Hubo mayores cambios en el parámetro b^* para tratamientos a 75 °C seguido de los tratamientos a 60 y 45 °C, esto evidencia una disminución en las tonalidades amarillas. En las muestras impregnadas se observan menores variaciones de color en

relación a la fruta sin impregnación, esto se ve reflejado en el valor del cambio global de color ΔE , esto puede deberse a la absorción de soluto durante el pretratamiento osmótico. Se presentan menores cambios de color (ΔE) para muestras tratadas con sacarosa a 60 °Brix en comparación a las tratadas a 50 °Brix, esto puede deberse a que éstas muestras tenían un contenido de humedad más bajo después de la ósmosis y esto podría inhibir la acción de las enzimas oxidantes (Mandala et al., 2005). Las muestras tratadas en solución de xilitol presentaron una menor variación en los parámetros b^* y ΔE en relación a aquellas tratadas en solución de sacarosa. La intermitencia no presenta efecto significativo ($p > 0,05$) en los parámetros de color en relación a las muestras tratadas con secado continuo. Mandala et al. (2005) encontraron mayores diferencias de color en muestras de manzana secadas a 55 °C sin pretratamiento en comparación a muestras previamente osmodeshidratadas en solución de glucosa y sacarosa a 30 y 45 °Brix, lo cual puede deberse a la absorción de solutos luego del pretratamiento osmótico que resultó en una reducción del pardeamiento enzimático.

El parámetro de color *Hue* representa los cambios de color en la superficie de la fruta de rojo (0°) a amarillo (90°). El secado tuvo efecto significativo sobre el color (ángulo *Hue*) para las frutas de *Diospyros kaki* var. Fuyu, presentando una reducción promedio de un 10 % en relación a la fruta fresca; sin embargo, el parámetro *Hue* no presenta efecto significativo entre los tratamientos aplicados. En el círculo cromático el *Chroma* cambia del centro hacia la periferia. Los colores en el centro son grises o apagados y conforme avanza hacia la periferia se vuelven más saturados (vivos o limpios). No hay diferencias significativas durante los tratamientos de secado aplicados, pero si entre las muestras secas y la fruta fresca.

4.3.2.2 Carotenos totales

El contenido de carotenos totales en la fruta fresca de *Diospyros kaki* var. Fuyu fue de $3649 \pm 194 \mu\text{g} / 100 \text{g}$ de Fruta Fresca. En la Figura 4.3.11 se observan los valores de carotenos totales luego del proceso de secado de frutas frescas y previamente osmodeshidratadas en soluciones de sacarosa y xilitol. El proceso de secado produjo una disminución significativa en el contenido de carotenos en relación a la fruta fresca, la fruta procesada presentó porcentajes de retención de 40, 38 y 26 % para SAC45°C, SAC60°C y SAC75°C respectivamente. Comparando los distintos tratamientos, las temperaturas moderadas (45 y 60 °C) no tuvieron efecto significativo ($p < 0,05$) sobre el contenido de carotenos. No obstante, la alta temperatura (75 °C), disminuyó

significativamente el contenido de carotenos. Las frutas previamente impregnadas con sacarosa y xilitol presentaron mayores retenciones de carotenos luego del proceso de secado en relación a las muestras sin pretratamiento, con retenciones del 56, 55 y 64 % para DO50B+SAC60°C, DO60B+SAC60°C y DO50BXIL+SAC60°C respectivamente. Esto puede deberse a que la solución de azúcar utilizada para la deshidratación osmótica limitó el contacto entre la fruta y el oxígeno, reduciendo la oxidación de carotenoides (Shi & Le Maguer, 2000). Las muestras secas sin pretratamiento osmótico mostraron una degradación de carotenoides más pronunciada, probablemente debido al daño del tejido celular y al aumento de la exposición al oxígeno, lo que resultó en la destrucción del pigmento (Shi & Le Maguer, 2000). Torreggiani & Bertolo (2001) también mostraron que la absorción de azúcar de la fruta promovida por la ósmosis combinada con el secado puede modificar la composición de la fruta, favoreciendo la retención de pigmentos, vitaminas y sustancias aromatizantes. Sanjinez-Argandoña et al. (2005) encontraron valores de retención de carotenos totales del 68 % en muestras de guayabas osmodeshidratadas en solución de sacarosa a 60 °Brix y secadas a 60 °C. Por su parte, Di Scala & Capriste (2008) evaluaron la cinética de pérdida de carotenos durante el secado de pimiento rojo, encontrando valores de pérdidas similares.

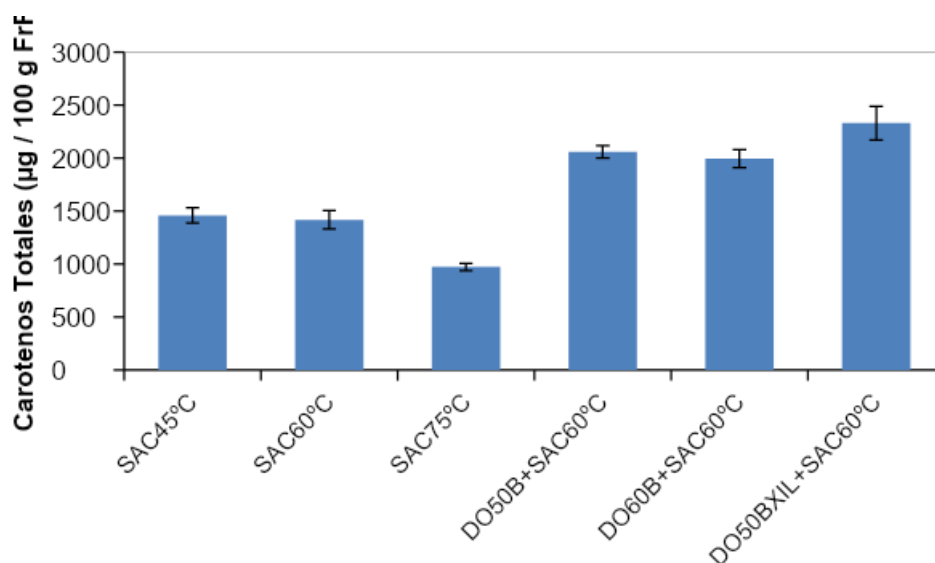


Figura 4.3.11 Carotenos totales en frutas de *Diospyros kaki* var. Fuyu secadas con y sin tratamiento de impregnación previo

4.3.2.3 Propiedades Mecánicas

En la Figura 4.3.12 se observan las curvas tensión - deformación de frutas de *Diospyros kaki* var. Fuyu con diferentes tratamientos. Se observan tres grupos, uno perteneciente a la fruta fresca, otro integrado por las muestras secas a 45 y 60 °C y el último conformado por las muestras secas previamente osmodeshidratadas conjuntamente con el tratamiento SAC75°C. La fruta fresca presenta una curva de tensión-deformación típica, con un pico de tensión máximo bien definido. En la fruta tratada, el secado cambia la forma de la curva de tensión-deformación demostrando curvas sin un pico máximo definido. Se observa que las muestras secas presentan valores de tensión máxima mayores que la fruta fresca debido a la humedad final alcanzada luego del proceso de secado. Esto puede deberse a que la reducción de la humedad de las muestras genera un incremento en la tensión máxima, debido a la resistencia interna del sólido seco, a menor humedad final de las muestras mayor es la tensión máxima. No se evidencian diferencias significativas ($p > 0,05$) en los valores de tensión máxima para las muestras tratadas con SAC45°C y SAC60°C en relación a la fruta fresca (aunque presentan mayores valores); sin embargo si se evidencian diferencias significativas ($p < 0,05$) de éstos con los de las muestras tratadas con SAC75°C, DO50B+SAC60°C y DO50BXIL+SAC60°C (Figura 4.3.12, Tabla 4.3.7). Así, el proceso de secado a 75 °C (SAC75°C) y el pretatamiento osmótico seguido de secado a 60 °C (DO50B+SAC60°C y DO50BXIL+SAC60°C) aumentaron la tensión máxima de las muestras de kaki en relación a la fruta fresca en un 69, 75 y 74 % para SAC75°C, DO50B+SAC60°C y DO50BXIL+SAC60°C respectivamente.

En cuanto a la deformación máxima (ϵ_{\max}) se evidencian diferencias significativas ($p < 0,05$) entre la fruta fresca y tratada, pero no hubo diferencia entre los valores entre tratamientos.

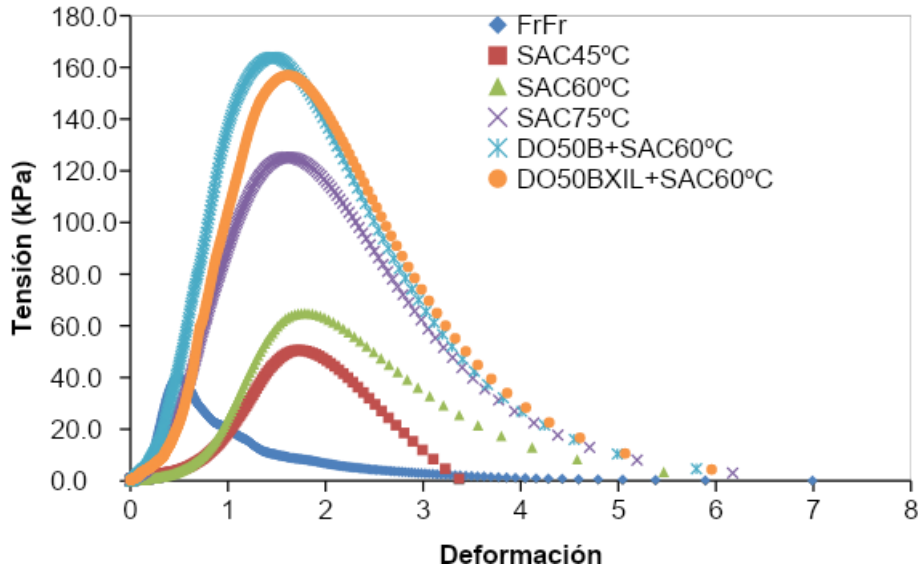


Figura 4.3.12 Curva Tensión - deformación de frutas de *Diospyros kaki* var. Fuyu frescas y secadas con y sin tratamiento de impregnación previo

En resumen, el proceso de secado aumenta la firmeza del tejido de las frutas como así también la deformación máxima, es decir que produce muestras más resistentes que la fruta fresca.

Tabla 4.3.7: Tensión y deformación máxima de la fruta de *Diospyros kaki* var. Fuyu fresca y con los distintos tratamientos

Tratamiento	$\sigma_{max} \times 10^3 \text{ (Pa)}$	ϵ_{max}
FrFr	40,2 ± 18,8a	0,8 ± 0,05a
SAC45°C	52,7 ± 24,53a	1,8 ± 0,17b
SAC60°C	67,2 ± 52,07a	1,8 ± 0,18b
SAC75°C	130,2 ± 20b	1,5 ± 0,31b
DO50B+SAC60°C	162,82 ± 23,6b	1,5 ± 0,1b
DO50BXIL+SAC60°C	158,81,5 ± 38b	1,5 ± 0,3b

*Letras diferentes en los valores señalan diferencia significativa a un nivel de Significancia del 95% ($p < 0,05$)

4.3.2.4 Rehidratación

La remoción de agua del tejido vegetal durante el secado, induce cambios en las propiedades físico-químicas y estructurales del sistema. El comportamiento de la relación de rehidratación (RR), la cual expresa la habilidad del material para rehidratarse, se puede ver en la Figura 4.3.13 para muestras secadas a 45 y 60 °C (SAC45°C y SAC60°C), y rehidratadas a 25 y 35 °C respectivamente. No se evidencia efecto de la temperatura de secado ni del proceso de rehidratación en el rango de temperatura ensayada en el presente estudio, esto aun cuando las muestras secadas a 60 °C tienen valores medios de RR mayores que las muestras secadas a 45 °C a

120 minutos de rehidratación. Bozkir & Ergün (2020) encontraron valores de relación de rehidratación similares durante la rehidratación de kaki tratados con ultrasonidos. Seremet et al. (2016) estudiaron la rehidratación de calabazas secadas a 50, 60 y 70 °C, encontrando que la relación de rehidratación aumentó con el descenso de la temperatura luego de los 80 minutos de procesamiento. No obstante, no observaron grandes cambios en la relación de rehidratación entre las muestras rehidratadas previamente secadas a 60 y 70 °C.

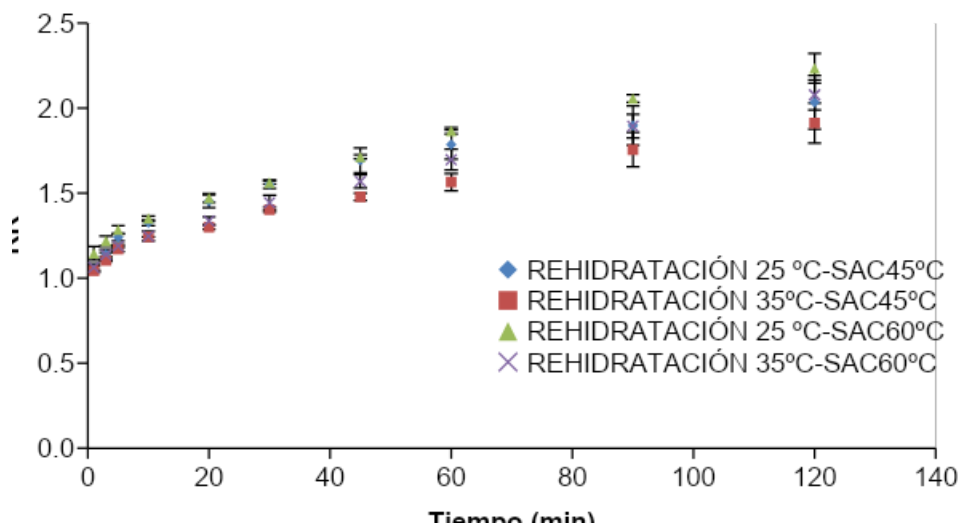


Figura 4.3.13 Rehidratación a 25 y 35 °C de muestras de *Diospyros kaki* var. Fuyu secadas a 45 y 60 °C

Changure et al. (2008) han demostrado que la deshidratación osmótica previa al secado dificulta el proceso de rehidratación porque reduce el número de espacios intercelulares vacíos, y la superficie de la célula queda cubierta con la sustancia osmoactiva que crea una barrera para la penetración del agua. En la Figura 4.3.14 se muestra la evolución del RR durante la rehidratación a 25 °C para fruta previamente deshidratada en xilitol y sacarosa. En esta figura se observa que la temperatura de secado no afecta los valores de RR. Cabe resaltar que las muestras previamente impregnadas con xilitol presentan una menor velocidad de rehidratación. Comparando los resultados de la Figura 4.3.13 y la Figura 4.3.14 se observa que el pretratamiento osmótico reduce la velocidad de rehidratación. Este efecto barrera a la rehidratación fue observado por Noshad et al. (2012) en muestras de membrillo secadas a 80 °C con y sin pretratamiento osmótico en solución de sacarosa a concentraciones de 40-60 °Brix y aplicación de ultrasonido, encontrando que durante la rehidratación, el contenido de agua de las muestras pretratadas fue menor que aquellas sin pretratamiento. Los autores encontraron que después del tratamiento previo a secado,

las células se distorsionaron más y formaron canales microscópicos, a pesar de la existencia de éstos microcanales que podrían facilitar la difusión del agua durante el proceso de rehidratación, la difusividad del agua de las muestras pretratadas disminuyó, lo cual puede explicarse por la ganancia de azúcar. El azúcar puede haber saturado el canal, reduciendo el tamaño del poro y creando una resistencia adicional a la difusión del agua durante la rehidratación. Por su parte, Agnieszka & Andrzej (2010) estudiaron la rehidratación de frutillas liofilizadas con y sin pretratamiento osmótico en solución de sacarosa a 61 °Brix y glucosa a 50 °Brix, encontrando que la fruta liofilizada con pretratamiento osmótico presentó menores contenidos de agua después de 120 minutos de rehidratación en relación a la fruta sin pretratamiento.

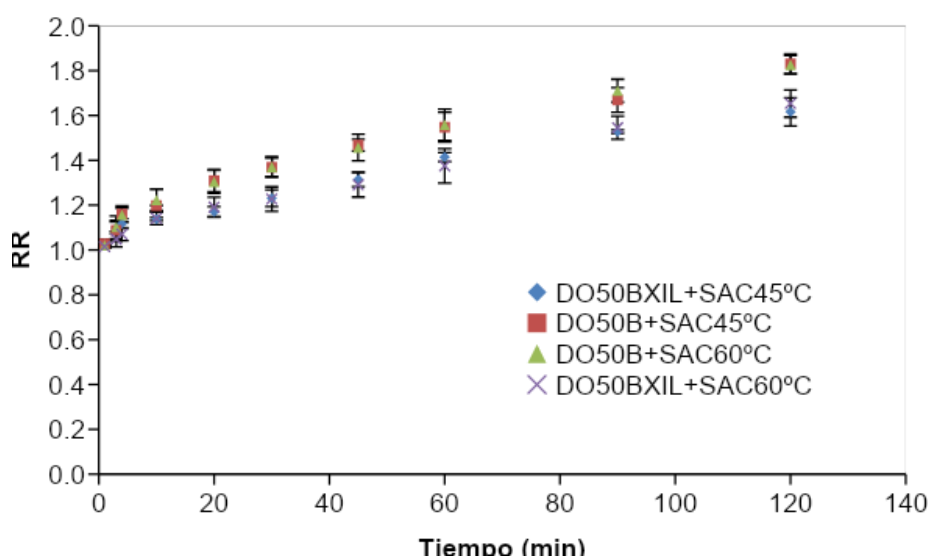


Figura 4.3.14 Relación de Rehidratación de muestras de *Diospyros kaki* var. Fuyu con diferentes tratamientos de secado durante la rehidratación a 25°C

Para las muestras secadas a 60 °C, la fruta recuperó, a los 120 minutos de rehidratación, un promedio del 50 % del contenido de agua de la fruta fresca para ambas temperaturas de rehidratación con un valor de humedad final de $66,9 \pm 1,4$ g agua / 100 g (bh). Las muestras secadas a 45 °C recuperaron un promedio de 48,9 y 36,4 % del contenido de agua con valores de humedad final de $61,1 \pm 1,7$ y $52,8 \pm 2,1$ g agua / 100 g (bh) para la rehidratación a 25 y 35 °C respectivamente. Resultados similares obtuvieron Krokida & Philippopoulos (2005) y Krokida & Marinos-Kouris (2003) durante la rehidratación de arvejas, banana, zanahoria, maíz, calabaza, cebolla, manzana, entre otros. En cuanto a las muestras previamente osmodeshidratadas el porcentaje de recuperación fue de 43 % y 38 %, para fruta deshidratada con sacarosa y xilitol respectivamente.

Se observó para todos los casos que en la primera hora de rehidratación se absorbió el 70 % del agua total absorbida.

En la Tabla 4.3.8 se muestran los valores del coeficiente de rehidratación (CR) para las dos horas de rehidratación para todas las condiciones estudiadas, el cual indica el grado de recuperación de peso con respecto a la fruta fresca. La temperatura de secado no afectó los valores del CR tanto para las muestras sin impregnación previa como para aquellas con deshidratación osmótica previa. Por otra parte, este coeficiente fue más alto para las frutas sin impregnación con sacarosa o xilitol que para las frutas impregnadas. Los valores de CR fueron algo menores para las frutas pretratadas con xilitol en relación a la pretratada con sacarosa. Estos valores están en concordancia con los resultados obtenidos mediante el análisis de la relación de rehidratación.

Tabla 4.3.8 Valores de CR para todos los tratamientos y condiciones de rehidratación

Tratamientos	CR*	
	Rehidratación a 25°C	Rehidratación a 35°C
SAC45°C	0,536±0,08c	0,513±0,02a
SAC60°C	0,545±0,01c	0,539±0,1a
DO50BXIL+SAC45° C	0,454±0,03a	----
DO50BXIL+SAC60° C	0,459±0,04a	----
DO50B+SAC45°C	0,476±0,04b	----
DO50B+SAC60°C	0,483±0,04b	----

*valor medio ± la Desviación Estándar de los resultados obtenidos

*Letras diferentes en los valores señalan diferencia significativa a un nivel de Significancia del 95% ($p < 0,05$)

En síntesis, se observó que las temperaturas de secado y de rehidratación en el rango aplicado no afectó a los coeficientes RR y CR, los cuales si fueron afectados por el proceso de impregnación previa. Así mismo, las muestras pretratadas con xilitol presentaron menores valores de dichos coeficientes respecto a aquellas pretratadas con sacarosa.

Finalmente, se utilizó la ecuación de Page para describir la ganancia de agua de láminas de fruta de *Diospyros kaki* var. Fuyu en función del tiempo de rehidratación. En la Tabla 4.3.9 se muestran los valores de los parámetros del modelo de Page, resultantes del ajuste a los datos experimentales. En todos los casos se obtuvieron valores de R² superiores a 96 %, lo que indica que el modelo de Page es adecuado para describir la ganancia de agua de *Diospyros kaki* var. Fuyu durante la rehidratación.

Los valores del parámetro n de la ecuación de Page no presentaron diferencias significativas ($p > 0,05$) para todas las condiciones con un valor medio de $0,96 \pm 0,01$ (Tabla 4.3.9).

Los valores del parámetro k , para las muestras sin pretratamiento, se incrementaron con la temperatura de secado y disminuyeron con el aumento de la temperatura de rehidratación (aunque sin diferencia significativa), como se muestra en la Tabla 4.3.9. Respecto al efecto del tratamiento osmótico, las muestras deshidratadas/impregnadas con sacarosa presentaron valores de k mayores que aquellas procesadas en solución de xilitol durante la rehidratación a 25 °C. Los valores del Error Promedio Porcentual (EPP) de la estimación variaron entre 5,5 y 12,3. Los valores de k presentados están en concordancia con los resultados de RR y CR expuestos.

Tabla 4.3.9 Parámetros de la ecuación de Page y error de la estimación

T (°C)	Tratamiento	k^*	n	EPP
25°C	SAC45°C	0,022±0,003	0,96	8,4
	SAC60°C	0,028±0,003	0,96	12,3
	DO50BXIL+SAC45° C	0,013±0,002	0,96	9,8
	DO50B+SAC45°C	0,020±0,003	0,96	6,9
	DO50BXIL+SAC60° C	0,014±0,002	0,96	7,0
	DO50B+SAC60°C	0,020±0,002	0,96	9,0
35°C	SAC45°C	0,020±0,002	0,96	5,5
	SAC60°C	0,023±0,003	0,96	8,5

*Valor medio \pm la Desviación Estándar de los resultados obtenidos

En la Figura 4.3.15 se presenta una imagen de las muestras de fruta después de 2 horas de rehidratación en las condiciones SAC45°C y SAC60°C a 25 y 35 °C.

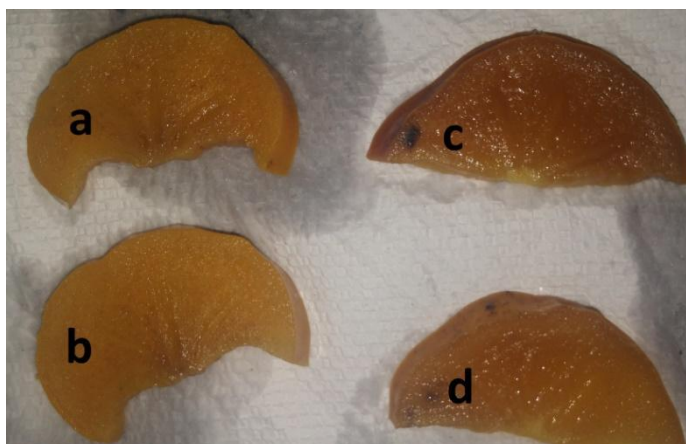


Figura 4.3.15 Muestras rehidratadas a 25 °C a) SAC45°C y b) SAC60°C; y muestras rehidratadas a 35 °C c) SAC45°C y d) SAC60°C

4.3.3 Isotermas de Sorción

Se realizaron isotermas de sorción en muestras de fruta con y sin impregnación previa y secadas en estufa a temperatura constante (60 °C) por 24 horas, según se detalla a continuación:

- Deshidratación osmótica en solución de sacarosa a 50 °Brix y 40 °C durante 6 h seguida de secado continuo a 60 °C por 24 horas (DO50B/SAC60°C)
- Deshidratación osmótica a 60 °Brix y 40 °C durante 6 h seguida de secado continuo a 60 °C por 24 horas (DO60B/SAC60°C)
- Deshidratación osmótica en solución de xilitol a 50 °Brix y 40 °C durante 6 h seguida de secado continuo a 60 °C por 24 horas (DO50BXIL/SAC60°C)
- Secado continuo a 60 °C por 24 horas (SAC60°C24h)

En las Figuras 4.3.16, 4.3.17 y 4.3.18 se presentan las isotermas a 8, 25 y 35 °C para frutas tratadas según las condiciones anteriormente mencionadas. Las isotermas obtenidas presentaron un comportamiento del tipo III según la clasificación de BET (Iglesias & Chirife, 1982), estas isotermas son usuales en alimentos con alto contenido de azúcar (Ayranci et al., 1990). Así mismo, las isotermas obtenidas en el presente estudio tienen forma similar a las isotermas de albaricoque, higos, uvas secas y ciruelas secas (Ayranci et al., 1990; Tsami et al., 1990) y arándanos secos (Lim et al., 1995). Las figuras muestran, como era de esperar, que los valores de humedad de equilibrio (X_w) se incrementan con el aumento de la actividad acuosa (a_w) durante el proceso de adsorción a todas las temperaturas. A $a_w < 0,6$ las muestras absorbieron menos del 40 % de humedad. Saltmarch & Labuza (1980) estudiaron el comportamiento de las isotermas de suero en polvo, y demostraron que a bajas a_w el agua puede ser absorbida solo en los sitios -OH de los azúcares cristalinos. A altas a_w hay disolución de los azúcares y el azúcar cristalino se convierte en amorfo. La cantidad de agua absorbida aumenta en gran medida luego de esta transición debido al incremento del número de sitios de absorción luego de la ruptura de la estructura cristalina de los azúcares. Los azúcares inherentes de la fruta y el agente osmótico infundido durante la deshidratación osmótica explicaron la forma de las isotermas. Agnieszka & Andrzej (2010) encontraron que en las isotermas de frutillas deshidratadas osmóticamente en solución de sacarosa a 61 °Brix y posteriormente liofilizadas, el contenido de agua aumenta a partir de un a_w de 0,648. En el presente trabajo de tesis, se observó que las muestras impregnadas con sacarosa absorbieron igual o más humedad que las muestras sin impregnación previa a las tres temperaturas estudiadas, este efecto es menos importante a bajas temperaturas (8

°C), esto se ve reflejado en el aumento del valor de la monocapa de BET. Sin embargo, no se registran diferencias significativas entre las isothermas de frutas impregnadas a 50 y 60 °Brix. Falade et al. (2003) obtuvieron las isothermas en plátanos deshidratados osmóticamente en solución de sacarosa a 52, 60 y 68 °Brix y 25 °C y secadas a 60 °C por 72 hs, los autores no encontraron diferencias significativas en las isothermas de las muestras osmóticamente deshidratadas, y encontraron que las muestras secadas sin pretratamiento osmótico absorbieron menos humedad que aquellas con pretratamiento; Falade et al. (2004) encontraron resultados similares en isothermas de ananá tratadas en las mismas condiciones. En cuanto a las muestras osmóticamente deshidratadas en xilitol, las isothermas no presentan diferencias significativas con las muestras sin pretratamiento osmótico.

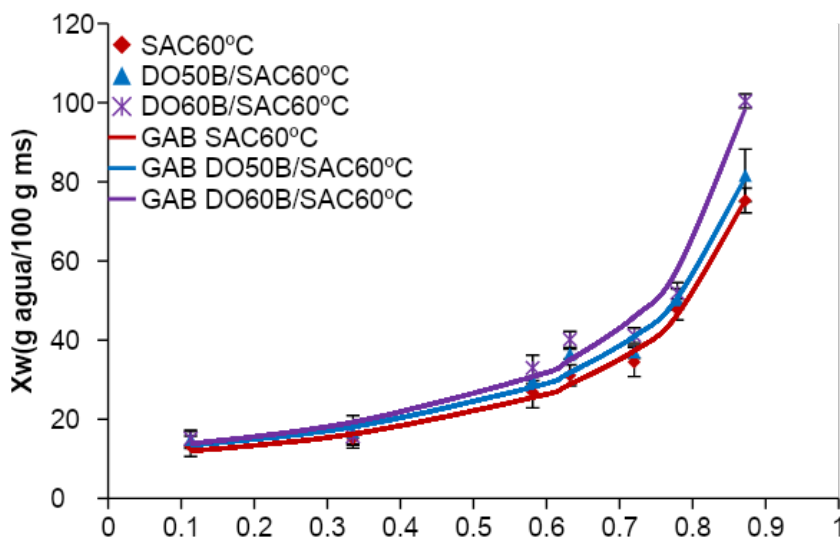


Figura 4.3.16 isothermas de sorción a 8 °C de muestras con SAC60°C24h, DO50B/SAC60°C y DO60B/SAC60°C

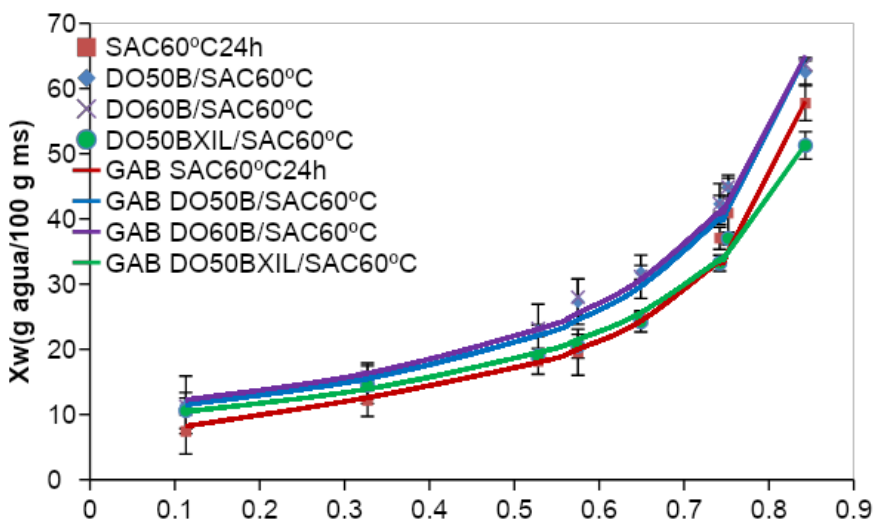


Figura 4.3.17 isotermas de sorción a 25 °C de muestras con SAC60°C24h, DO50B/SAC60°C, DO60B/SAC60°C y DO50BXIL/SAC60°C

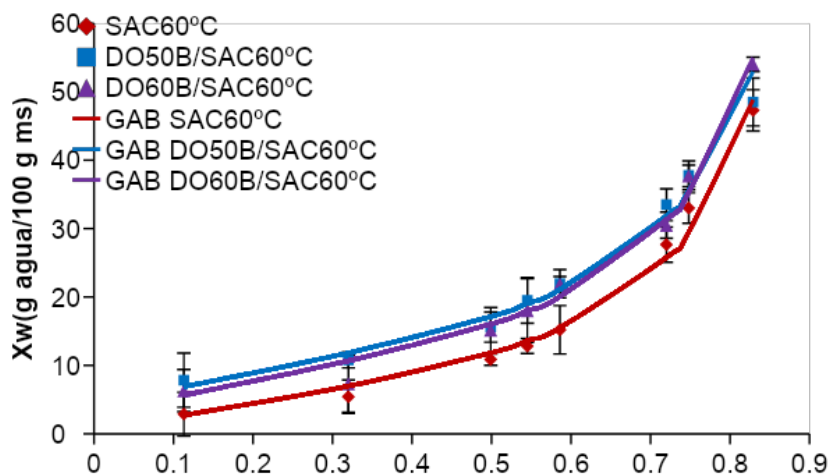


Figura 4.3.18 isotermas de sorción a 35 °C de muestras con SAC60°C24h, DO50B/SAC60°C y DO60B/SAC60°C

Se resalta que son más higroscópicas las muestras secadas con pretratamiento osmótico en solución de sacarosa respecto a la que no tiene impregnación. A bajas temperaturas, este efecto deja de ser significativo (a 8 °C).

En las Figuras 4.3.19, 4.3.20 y 4.3.21, se muestra el efecto de la temperatura en las isotermas de sorción de frutas de *Diospyros kaki* var. Fuyu, se observa que a una determinada actividad de agua el aumento de la temperatura provoca una disminución en la cantidad de agua absorbida. Resultados similares obtuvieron Martínez-Las Heras et al. (2014); Sahu & Tiwari (2007); en hojas de kaki y pimienta dulce respectivamente. Se observa diferencias significativas en las isotermas a diferentes temperaturas para muestras con y sin tratamiento osmótico; este comportamiento se mantiene para las muestras pretratadas osmóticamente a diferentes concentraciones de agente osmótico. Falade et al. (2003) encontraron resultados similares en rodajas de plátanos.

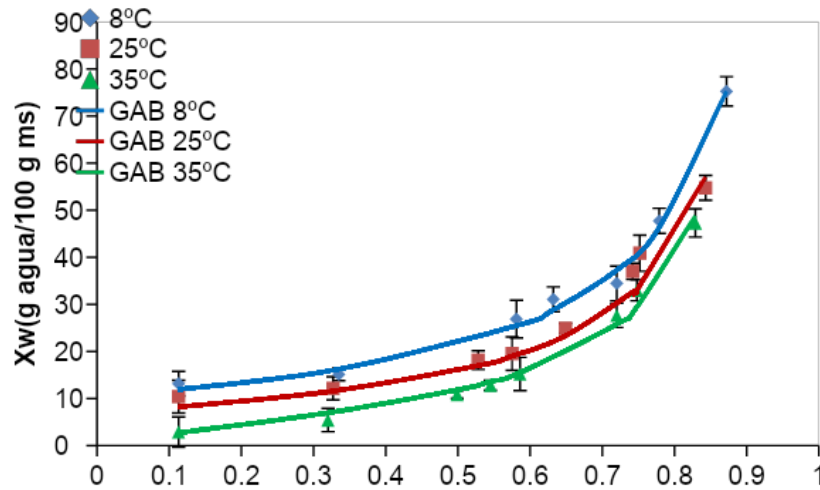


Figura 4.3.19 Isothermas de sorción de frutas de *Diospyros kaki* var. Fuyu con SAC60°C24h a las tres temperaturas

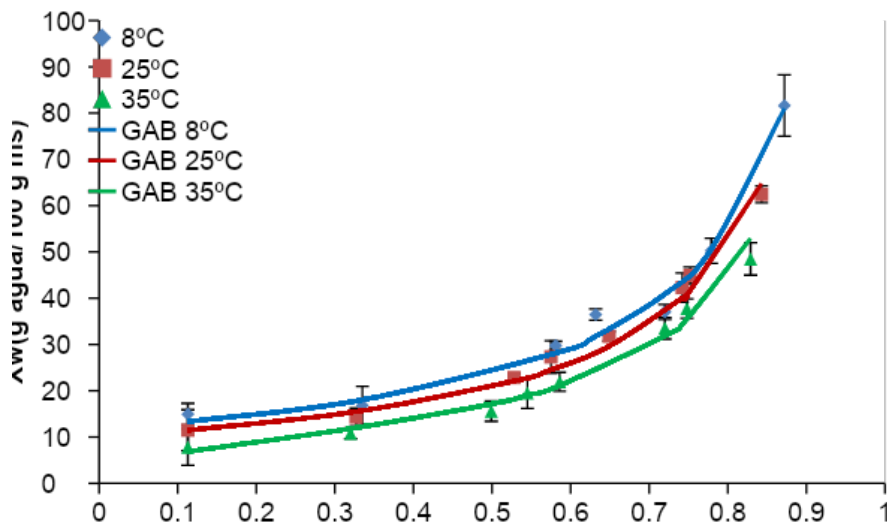


Figura 4.3.20 Isothermas de sorción de frutas de *Diospyros kaki* var. Fuyu con DO50B/SAC60°C a las tres temperaturas

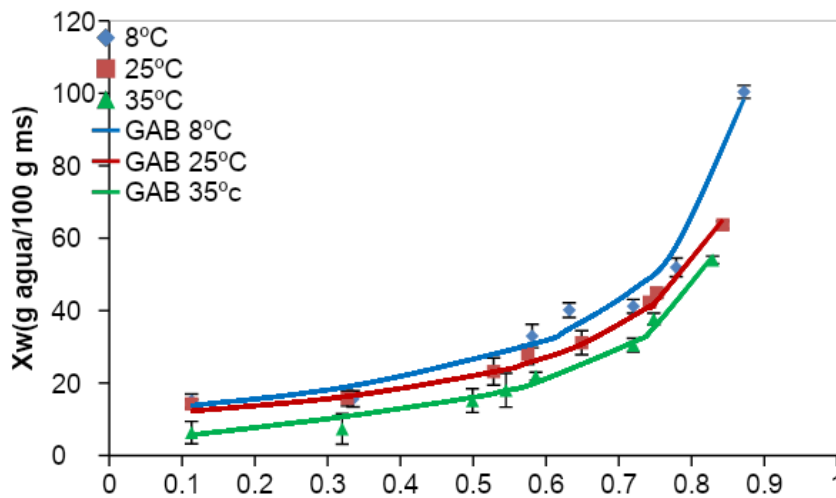


Figura 4.3.21 Isotermas de sorción de frutas de *Diospyros kaki* var. Fuyu con DO60B/SAC60°C a las tres temperaturas

4.3.3.1 Modelado

En la Tabla 4.3.10 se muestran los coeficientes de los 5 modelos aplicados a las tres temperaturas estudiadas (8, 25 y 35 °C). Los modelos propuestos ajustaron satisfactoriamente con coeficientes de correlación superiores a 97 %. El conocimiento del contenido de agua de la monocapa (X_m) es importante para la determinación de las condiciones adecuadas de almacenamiento y el control de las reacciones de deterioro del alimento, de la Tabla 4.3.10 se puede observar que este contenido de humedad de la monocapa (X_m) obtenido con la ecuación de GAB es menor para las muestras secadas sin pretratamiento osmótico en relación a aquellas secadas con pretratamiento. Además, el X_m disminuyó con el aumento de la temperatura, lo que está de acuerdo con las conclusiones de Falade et al. (2003) en plátanos. Similar comportamiento se ha encontrado en níspero y membrillo (Moreira et al., 2008) y en ananá (Simal et al., 2007). La influencia de la temperatura en los valores del contenido de agua de la monocapa ha sido relacionada a una reducción de los sitios activos de sorción como resultado de cambios fisicoquímicos inducidos por la temperatura (Iglesias et al., 1975; Sopade et al., 1996). Telis et al. (2000) encontró valores similares en los parámetros de GAB para la variedad de kaki *Rama Forte*. El parámetro c de GAB disminuye significativamente con la temperatura, esto indica que a mayor temperatura decrece la energía de unión de las moléculas de agua en la monocapa. El parámetro k no presenta diferencias significativas.

En la Tabla 4.3.11 se muestran los parámetros del modelo de GAB tradicional de tres parámetros y los obtenidos mediante el esquema de cálculo aplicado (X_m calculado por BET para $a_w < 0,5$ y aplicado a GAB), es decir el modelo de GAB de 2 parámetros. Para las muestras tratadas con SAC60°C24h, DO50B/SAC60°C y DO60B/SAC60°C, se observa que mediante la aplicación del esquema de cálculo se obtiene un mejor ajuste reduciendo el EPP de 8,62 a 7,9 % en relación al modelo de GAB tradicional. Staudt et al. (2013) propusieron también una nueva metodología para predecir las isotermas de sorción de diversas matrices alimenticias. El modelo BET clásico se utilizó junto con la ecuación de Clausius-Clapeyron, y se supuso una relación tipo Arrhenius para la dependencia de la temperatura del parámetro energético C de BET. El modelo de GAB ha sido reportado como el de mejor ajuste de los valores experimentales de sorción en algunas frutas y alimentos en general (Simal et al., 2007; García - Pérez et al., 2008, Mrad et al., 2013). Al igual que para el modelo de GAB

tradicional, en el modelo de GAB con la aplicación del esquema de cálculo anteriormente mencionado los valores de X_m y c disminuyen significativamente con la temperatura para un mismo tratamiento y el parámetro k no presenta diferencias significativas. Los parámetros del modelo de GAB tradicional y los obtenidos mediante el esquema de cálculo aplicado (X_m calculado por BET para $a_w < 0,5$ y aplicado a GAB) para las muestras tratadas con DO50BXIL/SAC60°C se muestran en la Tabla 4.3.11, se observa, al igual que los resultados anteriormente mostrados, que mediante la aplicación del esquema de cálculo se obtiene un mejor ajuste reduciendo el EPP. En conclusión, el modelo de GAB con el esquema de cálculo aplicado fue el que mejor ajustó a los datos experimentales con un EPP promedio de 7,94 %, seguido por el modelo de Halsey con un EPP promedio de 8,04 % y por el modelo de GAB tradicional con un EPP promedio de 8,62 %. El modelo de Henderson es el que peor ajustó a los datos experimentales con EPP de 17,6 %.

Tabla 4.3.10 Parámetros de los modelos planteados a 8, 25 y 35 °C

		Temperatura									
		8°C			25°C				35°C		
		Tratamientos									
		SAC60°C24h	DO50B/SAC60°C	DO60B/SAC60°C	SAC60°C24h	DO50B/SAC60°C	DO60B/SAC60°C	DO50BXIL/SAC60°C	SAC60°C24h	DO50B/SAC60°C	DO60B/SAC60°C
GAB	X _m	11,1 ± 0,4	12,3 ± 0,91	12,2 ± 0,58	9,3 ± 0,3	11,4 ± 0,39	11 ± 0,47	10,04 ± 0,3	8,5 ± 0,74	10,6 ± 0,2	10,3 ± 0,1
	c	30 ± 2,2	55 ± 7,1	47,7 ± 3,2	4,42 ± 0,8	24,9 ± 0,6	27,7 ± 1,9	9,6 ± 0,9	1,9 ± 0,3	8,5 ± 0,54	7,1 ± 0,7
	k	0,98 ± 0,01	0,97 ± 0,03	1 ± 0,004	0,98 ± 0,01	0,96 ± 0,01	0,97 ± 0,01	0,96 ± 0,006	1,01 ± 0,02	0,95 ± 0,005	0,99 ± 0,01
	EPP	7,1	7,5	10,5	9,9	4,7	5,7	10,9	8,8	8,0	13,1
BET	X _m	10,04 ± 0,66	10,9 ± 0,05	11,7 ± 1,41	8,5 ± 0,03	10,5 ± 0,25	10,6 ± 0,02	9,6 ± 0,1	7,1 ± 0,3	9,1 ± 0,09	9,7 ± 0,28
	c	15 ± 1,8	26,5 ± 1,56	24,8 ± 0,36	7,3 ± 0,35	35,1 ± 0,3	55,1 ± 4,02	27,14 ± 0,55	3,1 ± 0,69	44,3 ± 0,5	9,7 ± 0,7
	EPP	13,9	13	12,4	9	7,6	7,9	12,6	11	8	13,8
Henderso n	A	0,05 ± 0,01	0,04 ± 0,02	0,07 ± 0,004	0,09 ± 0,0001	0,03 ± 0,005	0,03 ± 0,05	0,03 ± 0,005	0,15 ± 0,01	0,08 ± 0,004	0,08 ± 0,013
	B	0,87 ± 0,01	0,92 ± 0,2	0,75 ± 0,01	0,75 ± 0,0008	1,00 ± 0,05	1,000 ± 0,006	1,1 ± 0,055	0,64 ± 0,02	0,79 ± 0,01	0,78 ± 0,04
	EPP	19,5	20,2	26,5	15,2	12,6	14,5	22,1	13,7	15,7	16
Halsey	a	43,7 ± 4,6	57,6 ± 0,6	30,9 ± 1,2	13,3 ± 0,09	50,1 ± 4,5	59,2 ± 3,0	48,1 ± 4,5	6,6 ± 0,5	21,6 ± 2,2	13,7 ± 2,2
	r	1,34 ± 0,05	1,4 ± 0,01	1,18 ± 0,002	1,1 ± 0,0002	1,4 ± 0,05	1,4 ± 0,05	1,4 ± 0,054	0,91 ± 0,02	1,2 ± 0,03	1,1 ± 0,04
	EPP	7,2	9	10,3	7	5,3	6,1	9,7	9,3	6,2	10,3
Oswin	c ₁	21,9 ± 0,7	24,5 ± 1,7	24 ± 1,7	14,4 ± 0,08	22,9 ± 0,5	23,6 ± 0,7	19,2 ± 0,49	11,6 ± 0,35	18,8 ± 0,3	16,1 ± 0,57
	c ₂	0,63 ± 0,08	0,61 ± 0,08	0,72 ± 0,004	0,75 ± 0,0002	0,59 ± 0,02	0,57 ± 0,02	0,6 ± 0,025	0,9 ± 0,02	0,671 ± 0,03	0,76 ± 0,04
	EPP	11,2	11,7	15,7	9,9	9,6	8,6	21,6	9	9,2	12,8

Tabla 4.3.11 Parámetros del modelo de GAB

Temperatura	Tratamiento	GAB				GAB*			
Isoterma		X _m	c	k	EPP	X _m	c	k	EPP
8°C	SAC60°C24h	11,1 ± 0,4	30 ± 2,2	0,98 ± 0,01	7,6	10,04 ± 0,52	32 ± 2,3	0,99 ± 0,01	6,5
	DO50B/SAC60°C	12,3 ± 0,91	55 ± 7,1	0,97 ± 0,03	7,8	11,1 ± 0,3	57,5 ± 3,5	0,98 ± 0,02	6,7
	DO60B/SAC60°C	12,2 ± 0,58	47,7 ± 3,2	1,000 ± 0,004	11	11,7 ± 0,29	48,2 ± 2,5	1,000 ± 0,001	10,4
25°C	SAC60°C24h	9,3 ± 0,3	4,42 ± 0,8	0,98 ± 0,01	9,7	8,5 ± 0,3	5,8 ± 1,1	0,99 ± 0,008	8,9
	DO50B/SAC60°C	11,4 ± 0,39	24,9 ± 0,6	0,96 ± 0,01	4,7	10,5 ± 0,25	27 ± 10	0,99 ± 0,01	7,7
	DO60B/SAC60°C	11 ± 0,47	27,7 ± 1,9	0,97 ± 0,01	5,7	10,6 ± 0,28	35 ± 5	1,00 ± 0,01	4,7
	DO50BXIL/SAC60°C	10,04 ± 0,3	9,6 ± 0,9	0,96 ± 0,006	10,9	9,6 ± 0,13	21,7 ± 10	0,97 ± 0,005	8,8
35°C	SAC60°C24h	8,5 ± 0,74	1,9 ± 0,3	1,01 ± 0,02	8,8	7,1 ± 0,3	3,8 ± 1,3	1,03 ± 0,008	8,8
	DO50B/SAC60°C	10,6 ± 0,2	8,5 ± 0,54	0,95 ± 0,005	8,0	9,1 ± 0,1	15,8 ± 1,1	1,000 ± 0,003	7,2
	DO60B/SAC60°C	10,3 ± 0,1	7,1 ± 0,7	0,99 ± 0,01	12	9,6 ± 0,8	14,8 ± 4,3	1,02 ± 0,02	10,1

*valores calculados mediante el esquema de cálculo aplicado (X_m calculado por BET para a_w < 0,5 y aplicado a GAB)

Sección IV:
Almacenamiento de
frutas de Dyospiros kaki
var. Fuyu

Capítulo 4: Resultados y Discusión

SECCION IV: ALMACENAMIENTO

En esta sección se presentan y discuten los resultados de los ensayos de almacenamiento de muestras de *Diospyros kaki* var. Fuyu tratadas con las condiciones seleccionadas. El almacenamiento se llevó a cabo en condiciones de refrigeración domiciliaria para fruta fresca (FrFr) y para muestras con humedad intermedia (DO50B, DO50BXIL); y a temperatura ambiente para muestras de humedad menor a $30,1 \pm 1,43$ g de agua / 100 g bh. Se analizó, por medio de medidas instrumentales, la influencia del almacenamiento sobre las propiedades mecánicas, humedad, color y contenido de carotenos.

4.4.1 Influencia del tiempo de almacenamiento en los parámetros fisicoquímicos

4.4.1.1 Contenido de agua

La humedad de la fruta fresca (FrFr) antes del almacenamiento fue de $82,5 \pm 1,7$ g de agua / 100 g (bh), las muestras tratadas mediante el proceso de deshidratación osmótica a 50 °Brix durante 6 horas presentaron una humedad promedio de $56,6 \pm 1,2$ y $58,4 \pm 1,1$ g de agua / 100 g (bh) utilizando como agente osmótico sacarosa (DO50B) y xilitol (DO50BXIL) respectivamente. En la Tabla 4.4.1 se muestra la evolución de la humedad durante el almacenamiento refrigerado a 4 °C y 75 % de HR, se puede observar una disminución en los valores de humedad en los primeros 10 días de almacenamiento tanto para la fruta fresca como para la fruta procesada. Así mismo, en la fruta impregnada con xilitol, la variación de humedad continuó durante los 30 días de almacenamiento. Aunque se registra una reducción en el contenido de agua, esta variación no es significativa debido a la dispersión de los datos.

Tabla 4.4.1 Valores de humedad (g agua / 100 g bh) de fruta fresca y con distintos tratamientos de DO a distintos tiempos de almacenamiento a 4°C y 75 % HR.

Muestras	Contenido de agua (g agua / 100 g bh)				
	Tiempo de almacenamiento (días)				
	0	5	10	20	30
FrFr	$82,5 \pm 0,8$	$81,5 \pm 0,5$	$79,1 \pm 1,0$	$78,8 \pm 1,7$	$78,4 \pm 2,2$
DO50B	$56,6 \pm 1,2$	$53,4 \pm 0,9$	$50,5 \pm 1,8$	$50,1 \pm 5,7$	$50,1 \pm 3,8$
DO50BXIL	$58,4 \pm 1,1$	$56,0 \pm 0,8$	$55,9 \pm 1,4$	$52,1 \pm 1,2$	$51,7 \pm 2,1$

Las frutas con menor contenido de humedad, permiten un almacenamiento más prolongado a temperatura ambiente. Por ende, las muestras tratadas con secado a 60 °C durante 24 horas (SAC60°C24h) y deshidratadas osmóticamente a 50 °Brix con solución de sacarosa previo al secado (DO50B+SAC60°C24h) fueron almacenadas durante 60 días a 25 °C y 75 % HR, los valores de humedad se muestran en la Tabla 4.4.2. Se observó un aumento en los valores de humedad hasta los 30 días de almacenamiento, la ganancia de agua fue mayor para las muestras previamente impregnadas con sacarosa respecto de la fruta sin impregnación. Falade et al. (2003) encontraron que muestras de rodajas de plátanos osmodeshidratadas en solución de sacarosa a 60 y 68 °Brix absorbieron más humedad que las muestras secadas sin pretratamiento previo. A bajas a_w , el agua solo puede adsorberse en los sitios OH de azúcares cristalinos, se genera una disolución local de azúcar, una inflamación del biopolímero y aparición de nuevos sitios activos. A altas a_w , se produce la disolución del azúcar y el azúcar cristalino se convierte en azúcar amorfo. La cantidad de agua a absorber aumenta mucho después de esta transición debido al aumento en el número de sitios de adsorción al romperse la estructura cristalina del azúcar (Saltmarch & Labuza, 1980; Weisser, 1985; Ayranci et al., 1990).

De acuerdo a los datos presentados en las isotermas de sorción (Figura 4.3.17), a un a_w de 0,75 se obtuvieron valores de humedad promedio de $25,2 \pm 0,6$ y $30,1 \pm 1,1$ g de agua / 100 g bh para SAC60°C y DO50B+SAC60°C, estos valores concuerdan con los presentados en la Tabla 4.4.2 para 30 días de almacenamiento. Falade et al. (2003) encontraron valores similares de humedad a un a_w de 0,75 para muestras de plátanos secos y osmodeshidratados en solución de sacarosa a 60 y 68 °Brix.

Tabla 4.4.2 Valores de humedad (g agua / 100 g bh) de fruta fresca y con distintos tratamientos de SAC y DO+SAC a distintos tiempos de almacenamiento a 25°C y 75 % HR

	Tiempo de almacenamiento (días)						
	0	5	10	20	30	40	60
FrFr	82,6 ± 0,9	79,2 ± 1,1	78,1 ± 1,4	---	---	---	---
SAC60°C24h	6,2 ± 0,9	12,9 ± 1,5	19,3 ± 1,1	21,9 ± 0,8	24,6 ± 0,7	24,7 ± 1,0	24,6 ± 1,1
DO50B+SAC60°C24h	7,4 ± 0,8	17,0 ± 0,6	22,5 ± 0,9	26,6 ± 1,7	29,0 ± 2,0	29,5 ± 1,0	29,1 ± 1,5

Por su parte, se almacenaron muestras de fruta fresca a 25 °C únicamente por 10 días (dado que a mayor tiempo de almacenamiento se observa crecimiento microbiano). La humedad de las muestras luego de los 10 días de almacenamiento disminuyó un 5,4 %. Si bien esta disminución fue mayor que para las muestras almacenadas a 4 °C

durante 10 días (4,1 %), no se presentaron diferencias significativas en los valores de humedad luego de 10 días de almacenamiento a ambas temperaturas.

4.4.1.2 Color

Durante el almacenamiento de frutas de *Dyospiros kaki* var. Fuyu a 4 °C por 30 días, se observó un pardeamiento de las muestras tanto frescas como osmodeshidratadas, esto se vio reflejado en la disminución de el parámetro L^* . En las Figuras 4.4.1, 4.4.2 y 4.4.3 se muestran la variación de los parámetros de color L^* , a^* y b^* para cada tratamiento durante el almacenamiento. Los valores de L^* luego de los 30 días de almacenamiento fueron de $42,7 \pm 0,4$; $37,0 \pm 2,3$ y $28,1 \pm 1,3$ para FrFr, DO50B y DO50BXIL respectivamente, esto equivale a una reducción en relación a la fruta fresca a los 30 días del 14 y 34 % para DO50B y DO50BXIL respectivamente. La fruta tratada con solución de xilitol presentó una mayor pérdida de color y un mayor efecto del pardeamiento durante el almacenamiento refrigerado. El proceso de deshidratación osmótica no protege a las muestras del cambio de color durante el almacenamiento en relación a la fruta fresca. Cárcel et al. (2010) observaron pardeamiento durante el almacenamiento a 2, 10, 18 y 28 °C de *Dyospiros kaki* var. Rojo Brillante secado a 50 °C, la temperatura de almacenamiento afecto a la velocidad del cambio de color.

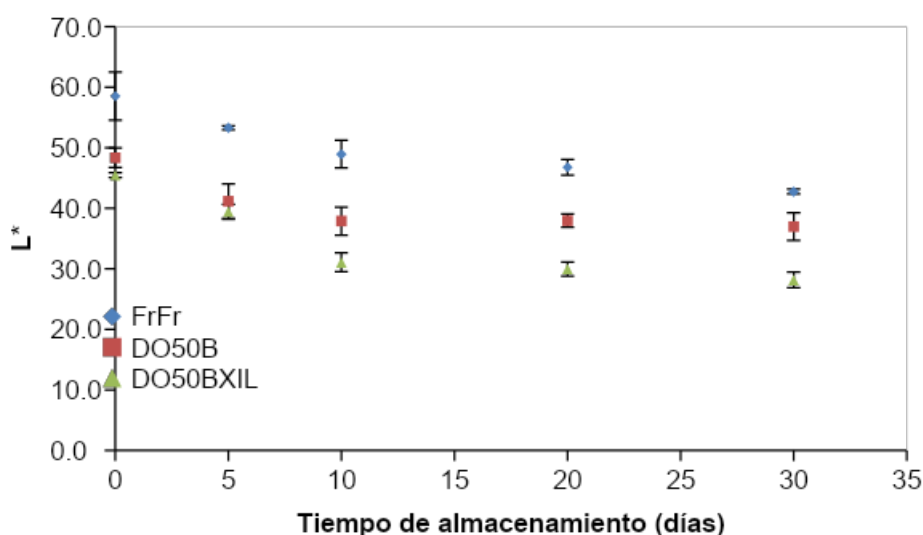


Figura 4.4.1 Evolución del L^* durante el almacenamiento a 4 °C durante 30 días

Los valores del parámetro a^* para todos los tratamientos de muestras almacenadas a 4 °C, disminuyen los primeros 5 días de almacenamiento y luego no presentan grandes variaciones durante los 25 días restantes, lo que indica una disminución en las tonalidades rojizas durante los primeros días de almacenamiento. No se

evidenciaron diferencias significativas en los valores de a^* entre los tratamientos aplicados durante el transcurso del almacenamiento (Fig. 4.4.2).

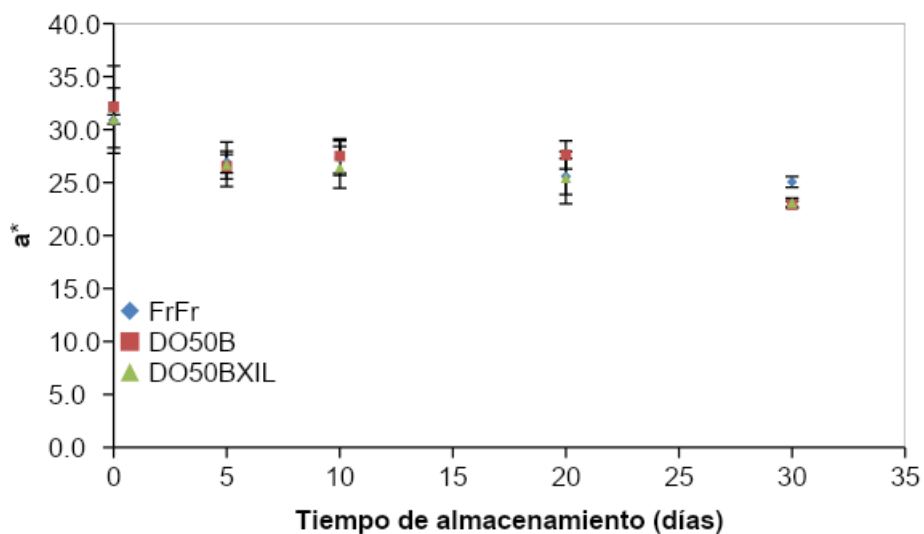


Figura 4.4.2 Evolución del a^* durante el almacenamiento a 4 °C durante 30 días

El parámetro b^* para todos los tratamientos estudiados de muestras almacenadas a 4 °C, presenta una disminución los primeros 10 días de almacenamiento permaneciendo prácticamente invariante los restantes 20 días, lo que indica una reducción en las tonalidades amarillas durante los 10 primeros días de almacenamiento. Se evidencian diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los valores de b^* para la fruta fresca y osmodeshidratada. Los valores de b^* luego de los 30 días de almacenamiento fueron de $36,7 \pm 0,7$; $26,3 \pm 0,5$ y $26,8 \pm 2,7$ para FrFr, DO50B y DO50BXIL respectivamente, esto equivale a una reducción en relación a la fruta fresca del 28 y 27 % para DO50B y DO50BXIL respectivamente, esta reducción se debe al efecto de la deshidratación osmótica en las muestras y no al almacenamiento.

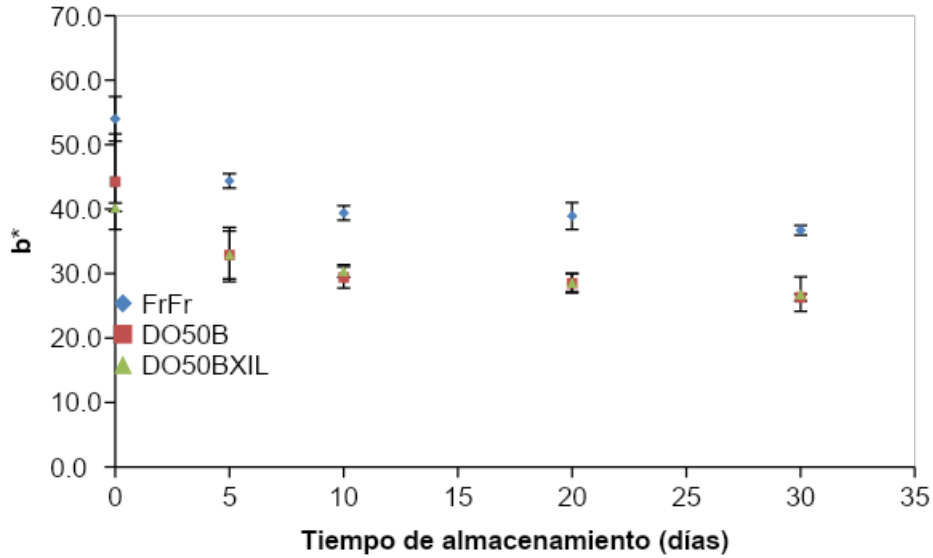


Figura 4.4.3 Evolución del b^* durante el almacenamiento a 4 °C durante 30 días

Durante el almacenamiento de frutas de *Dyospiros kaki* var. Fuyu a 25 °C por 60 días no se observan diferencias significativas en los valores de L^* entre las muestras de SAC60°C y DO50B/SAC60°C24h (Figura 4.4.5). En cuanto al efecto del almacenamiento, hasta los 20 días las muestras no muestran cambios en el parámetro L^* , luego de este tiempo, se observa una reducción en dicho parámetro, lo que se traduce en un oscurecimiento de las muestras.

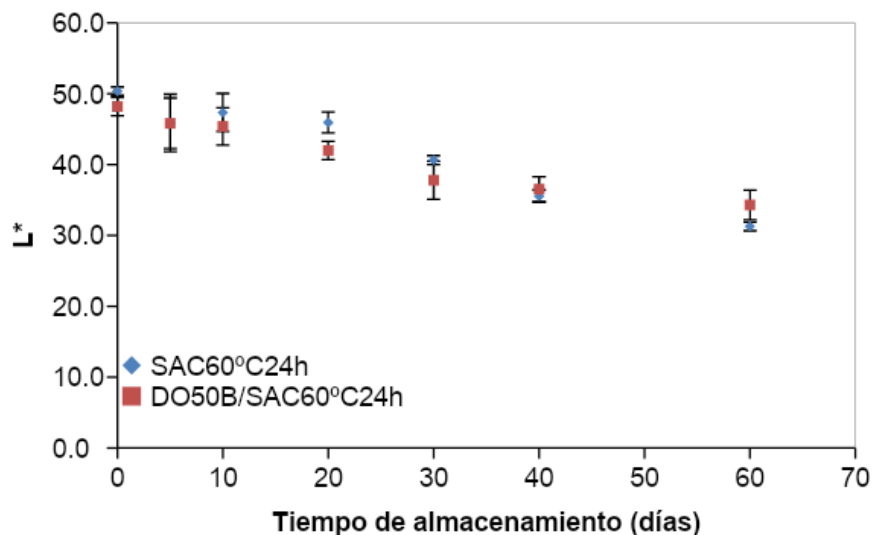


Figura 4.4.4 Evolución del L^* durante el almacenamiento a 25 °C durante 60 días

Al finalizar el período de almacenamiento (60 días) los valores de a^* para las muestras tratadas con SAC60°C disminuyeron en un 47 % en relación a las muestras tratadas con DO50B/SAC60°C24h (Figura 4.4.5) indicando una reducción en la tonalidad rojiza.

Ésto, evidencia un efecto protector del proceso de deshidratación osmótica en las muestras secas y previamente impregnadas almacenadas por 60 días a 25 °C.

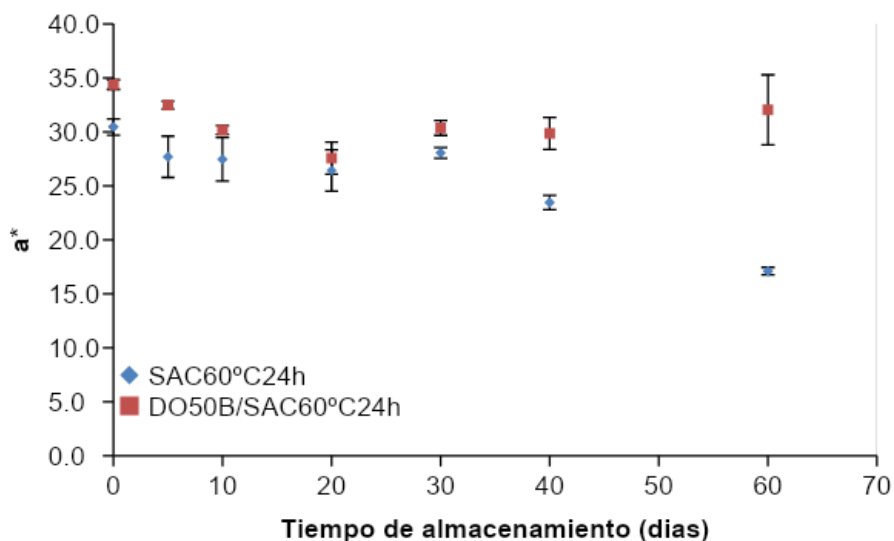


Figura 4.4.5 Evolución del a^* durante el almacenamiento a 25 °C durante 60 días

De igual manera, los valores de b^* presentaron una disminución de un 29 % para las muestras con SAC60°C en relación a las muestras con DO50B/SAC60°C24h luego del almacenamiento por 60 días (Figura 4.4.6), lo que indica, al igual que para el parámetro a^* , un efecto protector del proceso de deshidratación osmótica en el parámetro de color b^* .

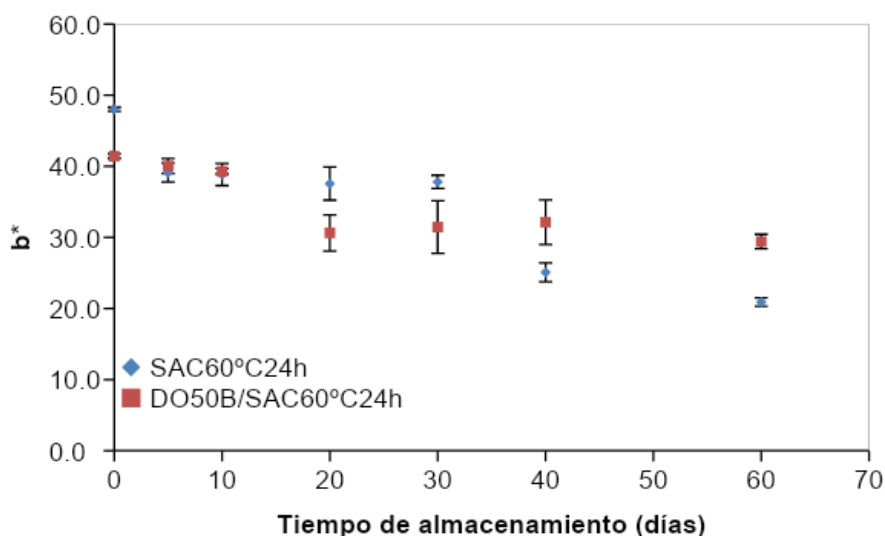


Figura 4.4.6 Evolución del b^* durante el almacenamiento a 25 °C durante 60 días

En la Tabla 4.4.3 se muestran los valores del cambio global de color (ΔE) y los respectivos valores de *Hue* y *Chroma* de las muestras durante el almacenamiento tanto a 4 como a 25 °C. Para las muestras almacenadas durante 30 días en refrigeración, los mayores cambios se registraron en los primeros 10 días de

almacenamiento, lo que se evidencia en la disminución del parámetro *Chroma* que representa la saturación e intensidad de color. Estos resultados también fueron confirmados en los valores de humedad, los cuales presentaron diferencias significativas a los 10 días de almacenamiento. En cuanto a las muestras almacenadas a 25 °C, para la condición DO50B/SAC60°C24h, se observan mayores diferencias de color luego de los 20 días de almacenamiento con una reducción del *Chroma* del 24 % respecto del inicio del almacenamiento. En cuanto a la condición SAC60°24h se observa una disminución significativa del *Chroma* a los 40 días de almacenamiento con un 39,5 % de reducción respecto a las condiciones iniciales. Los valores del parámetro *Hue* disminuyen a medida que transcurre el tiempo de almacenamiento, indicando que las muestras pasan de una coloración naranja a una coloración más rojiza. Valores similares encontraron Shahkoomahally & Ramezani (2013) para cambios de color en cáscaras de kaki almacenados a 1 °C por 56 días. En cuanto a la fruta fresca, se puede observar un aumento en el ΔE para las muestras almacenadas a 25 °C en relación a las almacenadas a 4 °C, esto se evidencia mediante el oscurecimiento de las muestras durante el almacenamiento a 25 °C. Este cambio también se ve reflejado en los valores de *Hue* y *Chroma*, los cuales disminuyen considerablemente.

Tabla 4.4.3 Cambio global de color (ΔE) y valores de *Hue* y *Chroma* de frutas con diferentes tratamientos, durante el almacenamiento a 4 y 25°C

	T alm		Tiempo de almacenamiento (días)						
			0	5	10	20	30	40	60
FrFr	4°C	<i>Hue</i>	60,3 ± 2,1	58,8 ± 0,9	55,3 ± 1,4	56,7 ± 2,3	55,7 ± 0,4	--	--
		<i>Chroma</i>	62,2 ± 4,1	51,9 ± 1,3	48 ± 1,6	46,6 ± 1,9	44,5 ± 0,8	--	--
		ΔE	--	12,3 ± 5,3	18,3 ± 5,1	20,2 ± 3,3	24,3 ± 5,8	--	--
DO50B		<i>Hue</i>	53,8 ± 2,2	51,7 ± 2,8	46,6 ± 0,8	45,9 ± 2,6	48,9 ± 0,5	--	--
		<i>Chroma</i>	54,7 ± 8,1	41,9 ± 3,2	39,6 ± 1,2	40,4 ± 1,4	34,9 ± 0,6	--	--
		ΔE	--	15,7 ± 5,4	19,8 ± 4,5	20,6 ± 4,8	24,1 ± 5,5	--	--
DO50BXIL		<i>Hue</i>	52,4 ± 0,7	50,8 ± 2,1	49,1 ± 1,9	48,4 ± 3,6	49,1 ± 2,9	--	--
		<i>Chroma</i>	50,8 ± 1,5	42,5 ± 4,4	40,3 ± 1,7	38,4 ± 1,5	35,5 ± 2	--	--
		ΔE	--	11,4 ± 3,4	17,9 ± 1,3	19,9 ± 1,7	22,3 ± 1,3	--	--
FrFr	25°C	<i>Hue</i>	60,0 ± 1,0	48,8 ± 1,2	42,4 ± 4,4	--	--	--	--

SAC60°C24h	<i>Chroma</i>	61,4 ± 3,3	25,7 ± 2,5	23,8 ± 1,1	--	--	--	--
	ΔE	--	45,5 ± 2,8	41 ± 4,9	--	--	--	--
	<i>Hue</i>	57,6 ± 0,8	54,7 ± 2,1	54,8 ± 1,8	54,9 ± 2,5	53,4 ± 0,5	46,9 ± 1	50,7 ± 0,8
	<i>Chroma</i>	53,9 ± 1,2	47,9 ± 1,5	47,6 ± 2,1	46 ± 2,3	47,1 ± 1	34,4 ± 1,4	27 ± 1
DO50B/SAC60°C24h	ΔE	--	11 ± 2,6	10,6 ± 1,5	12,2 ± 2	14,3 ± 1,1	28,2 ± 1,9	35,8 ± 1
	<i>Hue</i>	50,3 ± 0,9	50,9 ± 2	52,5 ± 1	48 ± 3,4	45,8 ± 3,4	47 ± 3,1	42,7 ± 2,8
	<i>Chroma</i>	53,8 ± 1	51,6 ± 1	49,5 ± 2	41,3 ± 1,6	43,8 ± 2,6	43,9 ± 2,5	43,5 ± 2,6
	ΔE	--	4,3 ± 1,4	5,9 ± 1,5	14,5 ± 1,6	15,2 ± 3,2	16 ± 1	18,8 ± 1,6

4.4.1.3 Carotenos totales

Los carotenos tienen una alta importancia en la alimentación, son ampliamente conocidos como provitamina A y existe un interés creciente en su papel como antioxidantes; además de poseer actividad anticancerígena, protección contra enfermedades cardiovasculares, entre otras propiedades (Koca et al., 2007).

Diversas frutas debido a su composición, muestran diferente comportamiento en cuanto a la pérdida de carotenos durante el almacenamiento. Gil et al. (2006) estudiaron el efecto del almacenamiento de ananá, mango, melón, sandía, frutilla y kiwi cortado; para ananá almacenado a 5 °C, después de 3 días, encontraron una reducción del 25 % en los carotenoides totales en relación con la fruta entera para las muestras recién cortadas; para mango, el efecto almacenamiento se demostró después de 9 días de almacenamiento con una reducción del 25 % en el contenido total de carotenoides con respecto a los valores iniciales; para melón, el contenido total de carotenoides disminuyó después del corte, pero fue seguido por un contenido constante durante el almacenamiento; para sandía, el contenido total de carotenoides no cambió significativamente luego de 6 días de almacenamiento, pero se redujo ligeramente luego del día 7, resultados que concuerdan con las muestras de frutilla; en muestras de kiwi no encontraron diferencias significativas durante el periodo de almacenamiento.

El contenido de carotenos totales para la fruta de kaki fresca y osmodeshidratada almacenada por 30 días a 4 °C se muestra en la Tabla 4.4.4. Se puede observar una disminución en el contenido de carotenos con el tiempo de almacenamiento. La fruta fresca sufre una pérdida del 13,2; 17,1; 20,8 y 24,1 % para los 5; 10; 20 y 30 días de almacenamiento respectivamente en relación a la fruta al inicio del mismo. Wright &

Kader (1997) encontraron resultados similares durante el almacenamiento de kaki en atmosferas controladas a 5 °C. Los autores encontraron pérdidas entre 5 y 14 % para muestras almacenadas por 7 días en atmosferas controladas de almacenamiento. Por su parte, la fruta con deshidratación osmótica en solución de sacarosa presentó pérdidas del 11,0; 14,9; 19,9 y 24,9 %, y la fruta con deshidratación osmótica en solución de xilitol presentó pérdidas de 14,3; 18,2; 24,4; 28,4 % para los 5; 10; 20 y 30 días de almacenamiento respectivamente. Se evidencia una disminución importante en los primeros días de almacenamiento, estos resultados concuerdan con los expresados en el apartado de color durante el almacenamiento (Tabla 4.4.3).

Tabla 4.4.4 Contenido de carotenos ($\mu\text{g}/100\text{ g FrFr}$) de muestras frescas y con deshidratación osmótica almacenadas a 4 °C durante 30 días

	FrFr	DO50B	DO50BXIL
Día 0	3271 \pm 95	3126 \pm 108	3394 \pm 49
Día 5	2839 \pm 280	2782 \pm 130	2909 \pm 185
Día 10	2710 \pm 253	2660 \pm 88	2778 \pm 101
Día 20	2591 \pm 216	2504 \pm 156	2564 \pm 79
Día 30	2483 \pm 263	2345 \pm 234	2427 \pm 268

En la Tabla 4.4.5 se muestran los valores del contenido de carotenos totales para la fruta fresca y secada durante 24 hs a 60 °C y almacenada por 60 días a 25 °C. La fruta fresca se almacenó en estas condiciones únicamente por 10 días debido a la consecuente contaminación microbiana. Se observó una disminución significativa en el contenido de carotenos de la fruta fresca con una caída del 44 % respecto del inicio del almacenamiento, ésta caída se vio acompañada con la degradación microbiana de la fruta.

Tabla 4.4.5 Contenido de carotenos totales ($\mu\text{g}/100\text{ g Fr}$) de muestras frescas (FrFr) y secas (SAC60°C24h) almacenadas a 25°C durante 60 días

	FrFr	SAC60°C24h
Día 0	3271 \pm 27	1275 \pm 154
Día 5	2098 \pm 74	1074 \pm 120
Día 10	1839 \pm 15	1029 \pm 50
Día 20	--	938 \pm 40
Día 30	--	891 \pm 50
Día 40	--	754 \pm 41
Día 60	--	670 \pm 27

El proceso de secado produce una degradación significativa de los carotenos en relación a la fruta fresca. El contenido de carotenos de las muestras secas al final del

almacenamiento (60 días) fue un 48 % menor que al inicio del mismo. Koca et al. (2007) estudiaron la degradación de carotenos y la pérdida de color en zanahorias escaldadas y no escaldadas; y almacenadas a 27, 37, 47 y 57 °C. Encontraron que la degradación del β -caroteno en rodajas de zanahoria escaldadas y deshidratadas siguen una reacción de primer orden; además que la pérdida a 27 °C para las zanahorias escaldadas durante el almacenamiento a 180 días fue del 52 %.

La pérdida de carotenos durante el almacenamiento a ambas temperaturas para las muestras frescas y tratadas fueron descritas adecuadamente mediante el modelo cinético de primer orden con valores de $R^2 \geq 96$ %. La constante k (Tabla 4.4.6) para las muestras tratadas con SAC60°C24h y almacenadas a 25 °C presentaron valores de 0,086 y 0,099 días⁻¹ para muestras almacenadas por 30 y 60 días respectivamente. Los altos valores de k se ven reflejados en el mayor porcentaje de pérdida para el almacenamiento en estas condiciones. En cuanto a la muestra almacenada a 4 °C, no se observan diferencias significativas en el parámetro k para las muestras frescas y tratadas con sacarosa; sin embargo, se evidencian diferencias entre las muestras frescas y aquellas tratadas con xilitol. Resultados similares de k fueron reportados por Koca et al. (2007) en el efecto protector del escaldado en la degradación de β -caroteno en rodajas de zanahoria escaldadas y deshidratadas, con valores entre 0,022 y 0,085 para muestras no escaldadas.

Tabla 4.4.6 Parámetros cinéticos del modelo de primer orden para el contenido de carotenos de frutas con diferentes tratamientos durante el almacenamiento a 4 °C y a 25 ° por 30 días

Tratamiento	Temperatura (°C)	k (días ⁻¹)
FrFr	4 °C	0,061 ± 0,004a
DO50B		0,068 ± 0,003ab
DO50BX IL		0,069 ± 0,001b
SAC60° C24h	25 °C	0,086 ± 0,003c

*Letras diferentes en los valores señalan diferencia significativa a un nivel de Significancia del 95% ($p < 0,05$)

La pérdida de carotenos totales en *Dyospiros kaki* variedad Fuyu frescas, deshidratadas y secas, y posteriormente almacenadas a 4 y 25 °C también fue confirmada por el cambio de los valores a^* y b^* , los cuales disminuyeron con el tiempo

de almacenamiento, lo que sugiere que el color de las muestras cambió de tonalidades rojas marcadas a un tono rojizo más claro.

4.4.1.4 Propiedades mecánicas

La tensión máxima (σ_{max}) de las muestras frescas y osmodeshidratadas almacenadas en refrigeración (4 °C) y 75 %HR durante 30 días se muestran en la Figura 4.4.7, el valor de la tensión máxima (σ_{max}) para la muestra fresca fue de $38,4 \pm 7,2$ kPa. El proceso osmótico con soluciones de sacarosa y xilitol a 50 °Brix causó una disminución significativa en la tensión máxima del 26 y 38 % respectivamente en relación a la fruta fresca, resultados que concuerdan con Ferrari et al. (2010) durante la deshidratación osmótica de piezas de melón. Las frutas cortadas poseen tejidos heridos y, en consecuencia, se deterioran más rápidamente y su fisiología difiere de la de las frutas intactas; las heridas y las lesiones mecánicas dan como resultado un aumento en las tasas de respiración y producción de etileno, y los efectos se observan muy rápidamente durante el almacenamiento (Toivonen & Brummell, 2010). En el almacenamiento refrigerado de fruta fresca se observa una disminución significativa (una reducción del 91 % en relación al inicio del almacenamiento) de la tensión máxima en los primeros 5 días, manteniéndose sin variación hasta el final del proceso, esta disminución se evidencia en la pérdida de turgencia del tejido en los primeros días de almacenamiento. El ablandamiento de los tejidos es con frecuencia el principal problema que limita la vida útil de los productos recién cortados, que incluso refrigerados pueden volverse inaceptables en tan solo 2 días para frutas tropicales como la papaya. O'Connor et al. (1994) encontraron que las muestras de papaya y kiwi recién cortadas y almacenadas a 4 °C presentaron un ablandamiento considerable a partir de los 2 días de almacenamiento. Salvador et al. (2007) encontraron una disminución en la firmeza de frutas de kaki almacenadas a 20 °C durante 6 días, lo cual fue atribuido a una degradación del parénquima resultando en una pérdida de la adhesión intercelular. Torres et al. (2008) encontraron resultados similares durante el almacenamiento de mango deshidratado osmóticamente. Los tratamientos osmóticos causan alteraciones en la resistencia de la pared celular, lo cual afecta a las propiedades mecánicas de la fruta (Chiralt & Talens, 2005). Por otra parte, la disminución del contenido de agua durante la deshidratación osmótica provoca un aumento en la deformación máxima (Figura 4.2.3). Las frutas tratadas en solución osmótica de sacarosa presentaron una disminución significativa en la tensión máxima después de los 10 días de almacenamiento, presentando una reducción del 65 % en

relacion al inicio del almacenamiento. Por su parte, las muestras tratadas en solución de xilitol presentan diferencias significativas en los valores de tensión máxima luego de los 20 días de almacenamiento, con una reducción del 57 % en relación al inicio del almacenamiento. La disminución en la tensión máxima durante el almacenamiento es menor que el de la fruta fresca, esto puede deberse al efecto protector que ejerce el proceso de deshidratación osmótica.

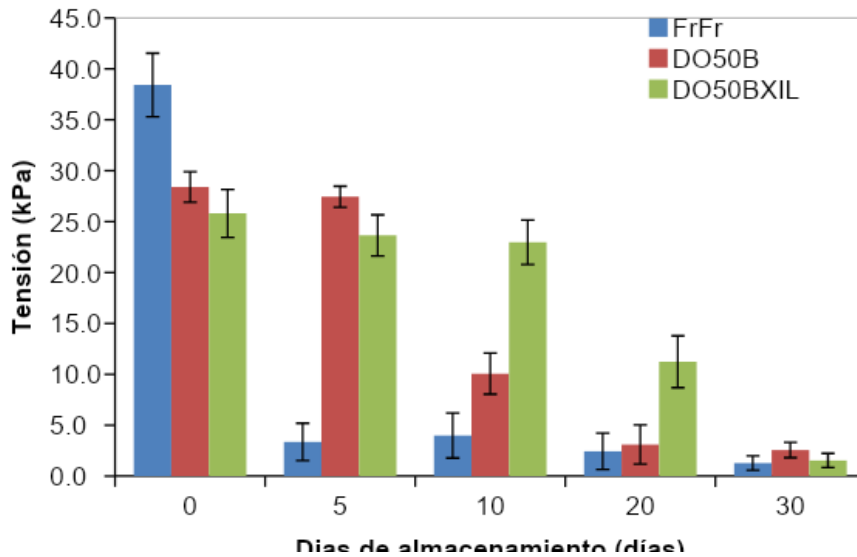


Figura 4.4.7 Tensión máxima (σ_{max}) de muestras frescas y osmodeshidratadas almacenadas en refrigeración (4 °C) y 75 %HR durante 30 días

La deformación máxima y la relación $\sigma_{max}/\epsilon_{max}$ para cada condición y tiempo de almacenamiento se muestran en las Figuras 4.4.8 y 4.4.9. No se observan diferencias significativas en la deformación máxima con el tiempo de almacenamiento para la fruta fresca y osmodeshidratada. Torres et al. (2008) no encontraron diferencias significativas en la deformación máxima luego de 10 días de almacenamiento a 10 °C de cilindros de mango fresco y osmodeshidratado en solución de sacarosa a 20 °Brix. Al igual que para la tensión máxima, la relación $\sigma_{max}/\epsilon_{max}$ presenta una disminución significativa para el quinto día de almacenamiento en la fruta fresca; las frutas osmodeshidratadas en solución de sacarosa y xilitol presentan disminución en los valores a los 10 y 20 días respectivamente, es decir que el proceso de deshidratación osmótica ejerce un efecto protector en la firmeza de la fruta. Estos resultados se confirman también con los datos de humedad durante el almacenamiento (Tabla 4.4.1).

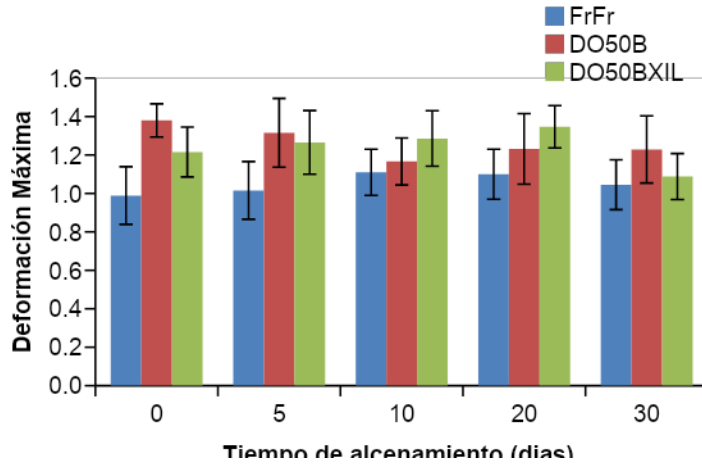


Figura 4.4.8 Deformación máxima (ϵ_{\max}) de muestras frescas y osmodeshidratadas almacenadas en refrigeración (4°C) y 75 %HR durante 30 días

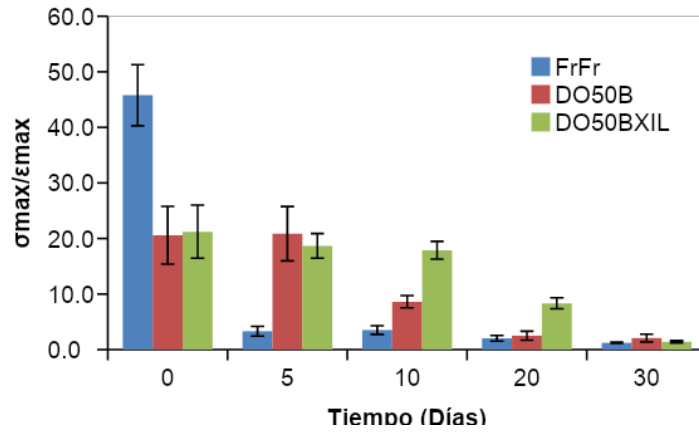


Figura 4.4.9 Relación $\sigma_{\max}/\epsilon_{\max}$ de muestras frescas y osmodeshidratadas almacenadas en refrigeración (4°C) y 75 %HR durante 30 días

Capítulo 5:

Conclusiones

Generales

Capítulo 5: Conclusiones Generales

Los resultados del presente trabajo de tesis permitieron seleccionar, entre las tres variedades cultivadas en la provincia de Misiones, la variedad de *Dyospiros kaki* más idónea para el procesamiento de deshidratación, además de establecer condiciones de deshidratación osmótica, secado y combinación de los mismos apropiadas para preservar la calidad de la fruta.

Selección de la Variedad

Se trabajó con las tres variedades de *Dyospiros kaki* cultivadas en la Provincia de Misiones, cuyas características varían considerablemente entre cada variedad.

La variedad *Rama Forte* presenta una elevada astringencia en las etapas previas a su completa maduración, lo cual no la hace apta para el consumo. Al completar la maduración, la fruta pierde astringencia y se vuelve muy agradable al paladar pero simultáneamente su tejido pierde firmeza lo que hace inviable su procesamiento de deshidratación osmótica. Para ello, la impregnación con calcio fue una alternativa viable a ser aplicada como pretratamiento para aumentar la firmeza y evitar la disgregación del tejido vegetal, siendo la solución de lactato de calcio al 5 % la que mejor resultados de firmeza presentó. La impregnación con Ca hizo posible el procesamiento osmótico con valores de pérdida de agua y ganancia de soluto apropiadas. Sin embargo, debido al tiempo y al costo que requiere este proceso adicional, esta variedad no es recomendable para el procesamiento.

La variedad *Giombo*, por su parte, presentó una cinética de deshidratación osmótica apropiada. La apariencia propia de la fruta (coloración oscura y presencia de “manchas” negras), generó un rechazo en los consumidores, por lo que se decidió descartar esta variedad para los subsiguientes ensayos.

Con respecto a la variedad *Fuyu*, el color, la ausencia de astringencia y la firmeza de la fruta fresca madura resultó atractivo para el consumidor. Por otra parte, la cinética de deshidratación osmótica presentó un comportamiento similar a las otras variedades y la firmeza propia de la fruta en su completo estado de madurez facilitó el procesamiento. Por lo tanto, la variedad *Fuyu* fue la que presentó características mecánicas y organolépticas de mayor aceptabilidad, por lo cual fue seleccionada para continuar con las etapas subsiguientes del presente trabajo de tesis.

Deshidratación Osmótica

Con el objetivo de obtener productos de diferente aporte calórico, se realizó deshidratación osmótica a las frutas de la variedad *Fuyu* con sacarosa y con xilitol. En ambos casos la pérdida de agua más importante se produjo en las primeras 2 horas de procesamiento. De las variables evaluadas, temperatura y concentración del agente osmótico, ésta segunda afectó en forma más significativa al proceso con xilitol, tanto para la pérdida de agua como para la ganancia de soluto. Por su parte, la temperatura de procesamiento únicamente tuvo efecto significativo en los ensayos de deshidratación osmótica en solución de sacarosa.

Los valores de humedad de la fruta con tiempos prolongados de procesamiento (24 horas) presentaron diferencias con la concentración del agente osmótico tanto para el proceso con sacarosa como con xilitol. Así mismo, no se observaron diferencias con la temperatura. Se observó un buen ajuste del modelo de Page para la pérdida de agua y para la ganancia de soluto con coeficientes de correlación superiores a 96 %.

En cuanto al color se concluyó que las muestras tratadas mediante deshidratación osmótica con sacarosa y xilitol, no sufrieron grandes cambios en el color en relación a la fruta fresca. Se pudo observar una disminución en el parámetro L^* para las muestras deshidratadas durante 6 horas. Esta disminución indica que el procesamiento osmótico produjo un leve oscurecimiento de las muestras. Asimismo, no hubo diferencias en el color entre las muestras tratadas a ambas concentraciones de agente osmótico (50 y 60 °Brix).

El tratamiento osmótico redujo la tensión máxima y el módulo de elasticidad E , lo que demuestra un comportamiento más elástico y una pérdida de turgencia de la fruta.

Por su parte, el proceso de deshidratación osmótica produjo muestras con mayores contenidos de carotenos en relación a la fruta fresca tanto para las muestras tratadas con sacarosa como con xilitol, lo que pudo deberse a la concentración de los mismos debido a la pérdida de agua. Del análisis sensorial, se concluyó que la fruta deshidratada con solución de sacarosa no presentó diferencias significativas en sus características organolépticas entre las concentraciones aplicadas (50 y 60 °Brix). Asimismo, los atributos “sabor dulce” y “firmeza” fueron los que mayores diferencias presentaron entre la fruta fresca y fruta procesada. Sin embargo, los evaluadores no encontraron diferencias significativas en la preferencia global entre la fruta fresca y la condición de 50 °Brix – 40 °C.

En conclusión, para los tratamientos en solución de sacarosa, dados que los mayores valores de pérdida de agua y ganancia de soluto se registraron a 40 °C, que no se evidenciaron diferencias significativas en el color y las propiedades mecánicas entre muestras tratadas a 50 y 60 °Brix y que no se encontraron diferencias significativas en preferencia global entre la fruta fresca y la condición de 50 °Brix – 40 °C, se optó por trabajar con esta condición en los ensayos de deshidratación osmótica seguida de secado. En cuanto a las muestras tratadas con xilitol, dados los resultados de pérdida de agua y ganancia de soluto, se optó por trabajar con la condición de 50 °Brix – 40 °C durante 6 horas en los ensayos de deshidratación osmótica seguida de secado.

Dado que se presentaron escasas diferencias en la pérdida de agua y el cambio global de color entre las muestras tratadas con ambos agentes osmóticos, el efecto más importante de la deshidratación osmótica con xilitol fue en el aporte calórico.

Secado

En primera instancia, se evaluó la cinética de secado de medias rodajas de *Dyospiros kaki* var. Fuyu. El secado por 5 horas, redujo el contenido de humedad de las muestras en un 52, 60 y 87 % a 45, 60 y 75 °C respectivamente. El aumento de la temperatura de secado tuvo influencia sobre la cinética de proceso, siendo significativa la cinética de las muestras secadas a 75 °C en comparación con las demás cinéticas. Se evaluó la cinética de pérdida de agua por medio del modelo de Page, ajustando satisfactoriamente a los datos experimentales.

La temperatura del proceso afectó significativamente los valores de humedad de equilibrio, los que disminuyeron con el aumento de la temperatura. En cuanto a la cinética de secado intermitente, la aplicación de períodos de intermitencia tuvo efecto favorable sobre la velocidad de secado hasta los 250 minutos para el secado a 45 °C. En las curvas de cinética de secado a 60 y 75 °C no se observaron diferencias entre el secado intermitente y el continuo. El efecto de los tiempos de reposo únicamente se evidenció en las primeras etapas de proceso del secado intermitente, volviéndose menos importante al avanzar el proceso. Se concluyó que el secado intermitente presenta poco beneficio como alternativa al secado continuo para frutas de *Diospyros kaki* var. Fuyu.

La fruta previamente impregnada en solución hipertónica de sacarosa no presentó diferencias significativas en las velocidades de secado en relación a la fruta sin

pretratamiento. Por su parte, las curvas de secado de fruta previamente deshidratadas en solución de xilitol muestran mayores velocidades de secado hasta los 100 minutos de procesamiento en relación a las muestras tratadas en solución de sacarosa y de la fruta sin tratar. La aplicación de periodos de reposo o intermitencia no ejerció efecto positivo en la velocidad de secado de muestras previamente impregnadas.

Con respecto a los cambios de color de las muestras deshidratadas, se observó que las muestras secadas mostraron valores mas bajos de luminosidad (L^*) y del parámetro b^* en relación a la fruta fresca. El parámetro b^* , por su parte, presentó menores valores para muestras secadas a 75 °C lo que esto evidenció una disminución en las tonalidades amarillas. En las muestras impregnadas con sacarosa y xilitol se observaron menores variaciones de color durante el secado que en la fruta sin impregnación, siendo las muestras tratadas en solución de xilitol las que presentaron menor variación en los parámetros b^* .

El proceso de secado produjo una disminución significativa en el contenido de carotenos, con porcentajes de retención que variaron entre el 26 y 64 %. Las frutas previamente impregnadas con sacarosa y xilitol presentaron mayor retención de carotenos luego del proceso de secado en relación a las muestras sin pretratamiento, lo que indicaría un efecto de la impregnación en la retención de carotenos durante el procesamiento de secado. La firmeza, por su parte, aumentó con el proceso de secado.

En cuanto a la rehidratación de las muestras secas, las muestras secadas a 60 °C recuperaron mayor cantidad de agua en relación a las otras condiciones, con un promedio del 50 % de recuperación del contenido de agua para ambas temperaturas de rehidratación. El pretratamiento osmótico redujo la velocidad de rehidratación, con porcentajes de recuperación de 43 % y 38 %, para fruta deshidratada con sacarosa y xilitol respectivamente, lo que indicó una influencia del tratamiento osmótico en la ganancia de agua durante el proceso de rehidratación.

Las isotermas de sorción obtenidas presentaron un comportamiento del tipo III según la clasificación de BET. A $a_w < 0,6$ las muestras absorbieron menos del 40 % de humedad. Las muestras impregnadas con sacarosa absorbieron igual o más humedad que las muestras sin impregnación previa a las tres temperaturas estudiadas. En cuanto al efecto de la temperatura de almacenamiento, el aumento de la temperatura provoca una disminución en la cantidad de agua absorbida. Mediante la aplicación del

esquema de cálculo propuesto para el modelo de GAB (convirtiéndolo en un modelo de dos parámetros) se obtuvo el mejor ajuste a los datos experimentales, seguido por el modelo de Halsey.

Almacenamiento

La estabilidad de los productos durante el almacenamiento es clave para el desarrollo de nuevos productos, por tal motivo se evaluó la evolución de la humedad, así como la influencia del almacenamiento a humedad relativa (75%) y temperaturas (4 y 25 °C) constantes sobre las propiedades mecánicas, humedad, color y contenido de carotenos.

Durante el almacenamiento refrigerado, la humedad presentó una disminución en los primeros 10 días de almacenamiento tanto para la fruta fresca como para la fruta parcialmente deshidratada en solución de sacarosa. Así mismo, en la fruta impregnada con xilitol, la variación de humedad continuó durante los 30 días de almacenamiento alcanzando una reducción del 11%.

Por su parte, en las muestras secas almacenadas a 25 °C, se observó un aumento en los valores de humedad durante los 30 días de almacenamiento, la ganancia de agua fue mayor para las muestras previamente impregnadas con sacarosa respecto de la fruta sin impregnación.

En cuanto al color de la fruta almacenada en condiciones de refrigeración, se evidenció un pardeamiento de las muestras tanto frescas como osmodeshidratadas, lo que se vio reflejado en la disminución del parámetro L^* . Por lo tanto, se concluyó que el proceso de deshidratación osmótica no protege a las muestras del cambio de color durante el almacenamiento refrigerado.

Por su parte, en el almacenamiento a 25 °C, el parámetro L^* disminuyó a partir de los 20 días de almacenamiento. Los valores de a^* y b^* para las muestras secadas a 60°C presentaron una reducción significativa en relación a las muestras tratadas con DO50B/SAC60°C24h, lo cual se evidenció en una reducción en las tonalidades rojizas y tonalidades amarillas. Esta reducción indicó un efecto protector del proceso de deshidratación osmótica en las muestras impregnadas previamente al secado.

El contenido de carotenos disminuyó durante el almacenamiento para ambas condiciones estudiadas, además, esta pérdida fue descrita adecuadamente mediante

el modelo cinético de primer orden, con valores de $R^2 \geq 96 \%$. Las muestras de fruta fresca almacenada a 25 °C evidenciaron pérdidas del 44 % en relación al inicio del almacenamiento. Por su parte, las muestras secas presentaron pérdidas del 48 %.

En cuanto a las muestras frescas y osmodeshidratadas almacenadas a 4 °C, las mayores pérdidas de carotenos a los 30 días de almacenamiento se observaron en muestras con tratamiento en solución de xilitol, con pérdidas del 28 %.

En cuanto a las propiedades mecánicas, en el almacenamiento refrigerado de fruta sin tratamiento se observó una disminución significativa de la tensión máxima en los primeros 5 días del 91 % en relación al inicio del almacenamiento, manteniéndose sin variación hasta el final del proceso. Por su parte, las frutas tratadas con deshidratación osmótica presentaron una disminución significativa en la tensión máxima después de los 10 y 20 días de almacenamiento con porcentajes de reducción del 57 y 65 % para tratamientos con sacarosa y xilitol respectivamente. La disminución fue menor que el de la fruta sin tratamiento, esto puede deberse al efecto protector que ejerce el proceso de deshidratación osmótica.

Finalmente, de este trabajo de tesis se concluye que es viable la obtención de frutas de *Diospyros kaki* deshidratadas en las tres variedades estudiadas, la impregnación con calcio fue una alternativa viable a ser aplicada como pretratamiento para aumentar la firmeza de muestras de variedad *Rama Forte*. Sin embargo, la variedad *Fuyu* fue la que ha demostrado ser la que mejor se adapta a los tratamientos de secado y deshidratación, en cuanto a su calidad tanto fisicoquímica como organoléptica. En cuanto a la deshidratación osmótica de esta variedad, se obtuvieron productos con distintos aportes calóricos y similares características organolépticas. Entre las variables operativas, se seleccionó la condición de 50 °Brix – 40 °C como la más apropiada para la etapa de deshidratación osmótica de la variedad *Fuyu*.

En cuanto al secado, se concluyó que el secado intermitente no presentó beneficios como alternativa al secado continuo. Asimismo, se registraron mejores resultados con el método combinado de secado con aire caliente con previa impregnación en solución de xilitol, debido a la reducción del tiempo de secado, menor cambio de color durante el proceso y mayor retención de carotenos.

Por otra parte, del almacenamiento refrigerado de muestras frescas y osmodehidratadas, se concluyó que el proceso de deshidratación osmótica no protege

a las muestras del cambio de color ni la pérdida de carotenos, sin embargo ejerce un efecto protector en las propiedades mecánicas durante el almacenamiento.

En cuanto a las muestras secas almacenadas a 25 °C, el proceso de deshidratación osmótica previo al secado generó un efecto protector al cambio de color durante el almacenamiento, este efecto no se evidenció en el almacenamiento de muestras sin pretratamiento.

Capítulo 6:

Referencias

Bibliográficas

Capítulo 6: Referencias Bibliográficas

- Adedeji, A.A., Gachovska, T.K., Ngadi, M.O., & Raghavan, G.S.V. (2008). Effect of pretreatments on drying characteristics of okra. *Drying Technology*, 26: 1251-1256. <https://doi.org/10.1080/07373930802307209>.
- Agnieszka, C., & Andrzej, L. E. (2010). Rehydration and sorption properties of osmotically pretreated freeze-dried strawberries. *Journal of Food Engineering*, 97: 267–274. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.10.022>.
- Aguayo, E., Escalona, B.H., Llorca, E., & Artés, F. (2008). Effect of hot water treatment and various calcium salts on quality of fresh-cut 'Amarillo' melon. *Postharvest Biology and Technology*, 47: 397-406. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.08.001>.
- Aguayo, E., Requejo-Jackman, C., Stanley, R., & Woolf, R. (2015). Hot water treatment in combination with calcium ascorbate dips increases bioactive compounds and helps to maintain fresh-cut apple quality. *Postharvest Biology and Technology*, 110: 158–165. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.07.001>.
- Akpınar, E., Midilli, A., & Bicer, Y. (2003). Single layer drying behaviour of potato slices in a convective cyclone dryer and mathematical modelling. *Energy Conversion Management*, 44: 1689–1705. [https://doi.org/10.1016/S0196-8904\(02\)00171-1](https://doi.org/10.1016/S0196-8904(02)00171-1).
- Akyıldız, A., Aksay, S., Benli, H., Kiroglu, F., & Fenercioglu, H. (2004). Determination of changes in some characteristics of persimmon during dehydration at different temperatures. *Journal of Food Engineering*, 65: 95-99. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.01.001>.
- Alandes, L., Pérez-Munuera, I., Llorca, E., Quiles, A., & Hernando, I. (2009). Use of calcium lactate to improve structure of "Flor de Invierno" fresh-cut pears. *Postharvest Biology and Technology*, 53: 145-151. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2009.03.006>.
- Albert, A., Varela, P., & Salvador, A. (2009). Improvement of crunchiness of battered fish nuggets. *European Food Research and Technology*, 228: 923-930. <https://doi.org/10.1007/s00217-008-1005-9>.
- Alexandre, H.V., da Silva, F.L.H., Gomes, J.P., da Silva, O.S., Carvalho, J.P.D., & de Lima, E.E. (2013). Cinética de secagem do resíduo de abacaxi enriquecido. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 17(6): 640-646. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000600010>.
- Al-Muhtaseb, A.H., McMinn, W.A.M., & Magee, T.R.A. (2002). Moisture sorption isotherm characteristics of food products: A Review. *Food and Bioprocess Technology*, 80: 118-128. <https://doi.org/10.1205/09603080252938753>.
- Anino, S.V., Salvatori, D.M., Gómez, P., & Alzamora, S.M. (2006). Changes in calcium level and mechanical properties of apple tissue due to impregnation with calcium salts. *Food Research International*, 39: 154-164. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2005.07.003>.

Aquerreta, J., Iguaz, A., Arroqui, C., & Virseda, P. (2007). Effect of high temperature intermittent drying and tempering on rough rice quality. *Journal of Food Engineering*, 80: 611-618. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.06.012>.

Ashtiani, S.M., Salarikia, A., Golzarian, M.R., & Emadi, B. (2016). Non-Destructive Estimation of Mechanical and Chemical Properties of Persimmons by Ultrasonic Spectroscopy. *International Journal of Food Properties*, 19(7): 1522-1534. <https://doi.org/10.1080/10942912.2015.1082485>.

Atarés, L., Chiralt, A., Corradini, M.G., & González-Martínez, C. (2009). Effect of the solute on the development of compositional profiles in osmotic dehydrated apple slices. *Food Science and Technology*, 42: 412–417. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2008.03.009>.

Ávila, I.M.L.B., & Silva, C.L.M. (1999). Modelling kinetics of thermal degradation of colour in peach puree. *Journal of Food Process Engineering*, 39: 161-166. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(98\)00157-5](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(98)00157-5).

Ayranci, E., Ayranci, G., & Dogantan, Z. (1990). Moisture Sorption Isotherms of Dried Apricot, Fig and Raisin at 20 °C and 36 °C. *Journal of Food Science*, 55(6): 1591-1594. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1990.tb03577.x>.

Azoubel, P.M., & Murr, F.E.X. (2004). Mass transfer kinetics of osmotic dehydration of cherry tomato. *Journal of Food Engineering*, 61: 291-295. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(03\)00132-8](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(03)00132-8).

Azoubel, P.M., El-Aouar, A.A., Tonon, R.V., Kurozawa, L.E., Antonio, G.C., Murr, F.E.X., & Park, K.L. (2009). Effect of osmotic dehydration on the drying kinetics and quality of cashew apple. *International Journal of Food Science and Technology*, 44: 980-986. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2008.01783.x>.

Azoubel, P.M., Baima, M. do A.M., Amorim, M. da R., & Oliveira, S.S.B. (2010). Effect of ultrasound on banana cv Pacovan drying kinetics. *Journal of Food Engineering*, 97: 194-198. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.10.009>.

Barragán-Iglaesias, J., Rodríguez-Ramírez, J., Sablani, S.S., & Méndez-Lagunas, L.L. (2018). Texture analysis of dried papaya (*Carica papaya* L., cv. Maradol) pretreated with calcium and osmotic dehydration. *Drying Technology*, 37(7): 906-919. <https://doi.org/10.1080/07373937.2018.1473420>.

Basu, S., Shivhare, U.S., & Mujumdar, A.S. (2006). Models for sorption isotherms for foods: a review. *Drying Technology*, 24: 917-930. <https://doi.org/10.1080/07373930600775979>.

Bartolome, L.G., & Hoff, J.E. (1972). Firming of potatoes: Biochemical effect of preheating. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 20: 266-270. <https://doi.org/10.1021/jf60180a028>.

Baysal, T., Icier, F., Ersus, S., & Yildiz, H. (2003). Effects of microwave and infrared drying on the quality of carrot and garlic. *European Food Research and Technology*, 218: 68-73. <https://doi.org/10.1007/s00217-003-0791-3>.

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. <https://doi.org/10.1081/DRT-120029999>.

Bekele, Y., & Ramaswamy, H. (2010). Going beyond conventional osmotic dehydration for quality advantage and energy savings. *Ethiopian Journal of Applied Sciences and Technology*, 1(1): 1–15. <https://journals.ju.edu.et/index.php/ejast/article/view/798>.

Besada, C., Salvador, A., Arnal, L., & Martínez-Jávega, J.M. (2010). Optimization of the duration of deastringency treatment depending on persimmon maturity. *Acta Horticulturae*, 858: 69–74. ISSN : 0567-7572.

Bon, J., & Kruda, T. (2007). Enthalpy-Driven Optimization of Intermittent Drying. *Drying Technology*, 25: 523-532. <https://doi.org/10.1080/07373930701226880>.

Borsini, A.A., Llavata, B., Umaña, M., & Cárcel, J.A. (2021). Artichoke by Products as a Source of Antioxidant and Fiber. How It Can Be Affected by Drying Temperature. *Foods*, 10, 459. <https://doi.org/10.3390/foods10020459>.

Bozkir, H., Ergün, A.R., Serdar, E., Metin, G., & Baysal, T. (2019). Influence of ultrasound and osmotic dehydration pretreatments on drying and quality properties of persimmon fruit. *Ultrasonics - Sonochemistry*, 54: 135-141. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.02.006>.

Bozkir, H., & Ergün, A.R. (2020). Effect of sonication and osmotic dehydration applications on the hot air drying kinetics and quality of persimmon. *LWT - Food Science and Technology*, 131: 109704. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109704>.

Britton, G. (1995). UV/visible spectroscopy. In Britton G, Liaaen-Jensen S, Pfander H (eds), *Carotenoids: spectroscopy*, vol 1B. Birkhäuser Verlag, Basel, pp 13-63.

Brummell, D.A., Dal Cin, V., Crisosto, C.H., & Labavitch, J.M. (2004). Cell wall metabolism during maturation, ripening and senescence of peach fruit. *Journal of Experimental Botany*, 55: 2029-2039. <https://doi.org/10.1093/jxb/erh227>.

Brunauer, S., Emmett, P.H., & Teller, E. (1938). Adsorption of gases in multimolecular layer. *Journal of American Chemists Society*, 60: 309-319. <https://doi.org/10.1021/ja01269a023>.

Butt, M.S., Sultan, M.T., Aziz, M., Naz, A., Ahmed, W., Kumar, N., & Imran, M. (2015). Persimmon (*Diospyros kaki*) fruit: Hidden phytochemicals and health claims, *EXCLI Journal*, 14: 542–561. <http://dx.doi.org/10.17179/excli2015-159>.

Candir, E. E., Ozdemir, A. E., Kaplankiran, M., & Toplu, C. (2009). Physico-chemical changes during growth of persimmon fruits in the east Mediterranean region. *Scientia Horticulturae*, 121: 42–48. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.01.009>.

Cano, M. P., Gómez-Maqueo, A., Fernandez-López, R., Welti-Chanes, J., & García-Cayuela, T. (2019). Impact of High hydrostatic pressure and thermal treatment on the stability and bioaccessibility of carotenoid and carotenoid esters in astringent

persimmon (*Diospyros kaki* Thumb, var. Rojo Brillante). *Food Research International*, 123: 538–549. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.05.017>.

Cárcel, J. A., García-Perez, J.V., Riera, E., & Mulet, A. (2007). Influence of High-Intensity Ultrasound on Drying Kinetics of Persimmon. *Drying Technology*, 25: 185–193. <https://doi.org/10.1080/07373930601161070>.

Cárcel, J.A., García-Pérez, J.V., Sanjuán, N., & Mulet, A. (2010). Influence of pre-treatment and storage temperature on the evolution of the colour of dried persimmon. *Food Science and Technology*, 43: 1191-1196. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.04.011>.

Changure, V., Orsat, V., & Raghavan, G.S.V. (2008). Osmotically dehydrated microwave vacuum drying of strawberries. *Journal of Food Processing*, 32: 798-816. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2008.00215.x>.

Castelló, M.L., Igual, M., Fito, P.J., & Chiralt, A. (2009). Influence of osmotic dehydration on texture, respiration and microbial stability of Apple slices (Var. Granny Smith). *Journal of Food Engineering*, 91(1):1–9. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.07.025>.

Chavasit, V., Pisaphab, R., Sungpuag, P., Jittinandana, S., & Wasantwisut, E. (2002). Changes in β -Carotene and Vitamin A Contents of Vitamin A-rich Foods in Thailand During Preservation and Storage. *Journal of Food Science*, 67(1):375-379. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb11413.x>.

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*, 49: 129-135. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00203-X](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00203-X).

Chiralt, A., & Fito, P. (2003). Transport mechanisms in osmotic dehydration: the role of the structure. *Food Science and Technology International*, 9(3): 179-186. <https://doi.org/10.1177/1082013203034757>.

Chiralt, A., & Talens, P. (2005). Physical and chemical changes induced by osmotic dehydration in plant tissues. *Journal of Food Engineering*, 67: 167-177. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.05.055>.

Chou, S.K., Chua, K.J., Chou, S.K., Mujumdar, A.S., Hawlader, M.N.A., & Ho, J.C. (2000). On the intermittent drying of an agricultural product. *Institution of Chemical Engineers*, 78(4): 193- 203. <https://doi.org/10.1205/09603080051065296>.

Chou, S.K., & Chua, K.J. (2001). New hybrid drying technologies for heat sensitive foodstuffs. *Trends in Food Science & Technology*, 12: 359-369. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(01\)00102-9](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(01)00102-9).

Chua, K.J., Chou, S.K., Ho, J.C., Mujumdar, A.S., & Hawlader, M.N.A. (2000). Cyclic air temperature drying of guava pieces: effects on moisture and ascorbic acid contents. *Transactions of the Institution of Chemical Engineers*, 78 (C): 72–78. <https://doi.org/10.1205/096030800532761>.

- Chua, K.J., Mujumdar, A.S., Chou, S.K., Hawlader, M.N.A., & Ho, J.C. (2000). Convective drying of banana, guava and potato pieces: Effect of cyclical variations of air temperature on drying kinetics and color change. *Drying Technology*, 18(4-5): 907-936. <https://doi.org/10.1205/096030800532761>.
- Chua, K.J., Mujumdar, A.S., Hawlader, M.N.A., Chou, S.K., & Ho, J.C. (2001). Batch drying of banana pieces — effect of stepwise change in drying air temperature on drying kinetics and product colour. *Food Research International*, 34: 721–731. [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(01\)00094-1](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(01)00094-1).
- Chua, K.J., Hawlader, M.N.A., Chou, S.K., & Ho, J.C. (2002). On the study of time-varying temperature drying—effect on drying kinetics and product quality. *Drying Technology*, 20(8): 1559-1577. <https://doi.org/10.1081/DRT-120014052>.
- Chua, K.J., Mujumdar, A.S., & Chou, S.K. (2003). Intermittent drying of bioproducts - an overview. *Bioresource Technology*, 90: 285 – 295. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(03\)00133-0](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(03)00133-0).
- Cia, P.; da Silva, E.A.B., Sigrist, J.M.M., Sarantópoulos, C.I.G., & Padula, M. (2003). Effect of Modified-Atmosphere Packaging on the Quality of 'Fuyu' Persimmon. *Brazilian Journal of Food Technology*, 6: 109-118.
- Cichowska, J., Zubernik, J., Czyzewski, J., Kowalska, H., & Witrowa-Rajchert, D. (2018). Efficiency of Osmotic Dehydration of Apples in Polyols Solutions. *Molecules*, 23: 446-460. <https://doi.org/10.3390/molecules23020446>.
- Cinar, I. (2004). Carotenoid pigment loss of freeze-dried plant samples under different storage conditions. *LWT - Food Science and Technology*, 37(3): 363-367. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2003.10.006>.
- Crossen, A.G., Jimenez, M.J., & Siebenmorgen, T.J. (2003). Rice fissuring response to high drying and tempering temperatures. *Journal of Food Engineering*, 59(1): 61-69. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(02\)00431-4](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(02)00431-4)
- Cybulska, J., Zdunek, A., & Konstankiewicz, A. (2011). Calcium effect on mechanical properties of model cell walls and apple tissue. *Journal of Food Engineering*, 102: 217-223. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.08.019>.
- de Carvalho, L.M.J., Gomes, P.B., Godoy, R.L., Pacheco, S., do Monte; P.H.F., de Carvalho, J.L.V., Nutti, M.R., Neves, A.C., Vieira, A.C., & Ramalho Ramos, S.R. (2012). Total carotenoid content, α -carotene and β -carotene, of landrace pumpkins (*Cucurbita moschata* Duch): A preliminary study. *Food Research International*, 47: 337-340. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.07.040>.
- de Escalada Pla, M.F., Campos, C.A., Gerschenson, LN., & Rojas, A.M. (2009). Pumpkin (*Cucurbita moschata* Duchesne ex Poiret) mesocarp tissue as a food matrix for supplying iron in a food product. *Journal of Food Engineering*, 92: 361-369. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.11.013>.

- de Oliveira, J.G., & Vitória, A.P. (2011). Papaya: Nutritional and pharmacological characterization, and quality loss due to physiological disorders. An overview. *Food Research International*, 44: 1306–1313. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.12.035>.
- Del Bubba, M., Giordani, E., Cincinelli, A., Checchini, L., & Galvan, P. (2009). Nutraceutical properties and sugar contents in astringent persimmons during on-tree growth and ripening and in response to different postharvest treatments. *Journal of Food Composition and Analysis*, 22, 668–677.
- Dermesonlouoglou, E. K., Pourgouri, S., & Taoukis, P. S. (2008). Kinetic study of the effect of the osmotic dehydration pre-treatment to the shelf life of frozen cucumber. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 9: 542-549. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2008.01.002>.
- Demiray, E., Tulek, Y., & Yilmaz, Y. (2013). Degradation kinetics of lycopene, β -carotene and ascorbic acid in tomatoes during hot air drying. *LWT - Food Science and Technology*, 50: 172-176. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.06.001>.
- Demirtas, C., Ayhan, T., & Kaygusuz, K. (1998). Drying behaviour of hazelnuts. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 76: 559–564. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(199804\)76:4<559::AID-JSFA988>3.0.CO;2-J](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(199804)76:4<559::AID-JSFA988>3.0.CO;2-J).
- Djendoubi Mrad, N., Bonazzi, C., Boudhrioua, N., Kechaou, N., & Courtois, F. (2012). Influence of sugar composition on water sorption isotherms and on glass transition in apricots. *Journal of Food Engineering*, 111: 403-411. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.02.001>.
- Doymaz, I., & Pala, M. (2003). The thin-layer drying characteristics of corn. *Journal of Food Engineering*, 60: 125-130. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(03\)00025-6](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(03)00025-6).
- Doymaz, I. (2004). Convective air drying characteristics of thin layer carrots. *Journal of Food Engineering*, 61(3): 359–364. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(03\)00142-0](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(03)00142-0).
- Doymaz, I. (2012). Evaluation of some thin-layer drying models of persimmon slices (*Diospyros kaki* L.). *Energy Conversion and Management*, 56: 199–205. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2011.11.027>.
- Dubost, N.J., Shewfelt, R. L., & Eitenmiller, R. R. (2003). Consumer acceptability, sensory and instrumental analysis of peanut soy spreads. *Journal of Food Quality*, 26: 27-42. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4557.2003.tb00224.x>.
- Ece, M.C., & Cihan, A. (1993). A liquid diffusion model for drying rough rice. *Transactions of American Society of Agricultural Engineers*, 36: 837–840. doi: 10.13031/2013.28406.
- El-Aouar, A.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: 85–91. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(02\)00434-X](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(02)00434-X).

El-Beltagy, A., Gamea, G.R., & Amer Essa, A.H. (2007). Solar drying characteristics of strawberry. *Journal of Food Engineering*, 78: 456–464. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.10.015>.

Elias, N., Berbert, P.A., Molina, M.A., Viana, A.P., Dionello, R.G., Queiroz, V.A.V. (2008). Avaliação nutricional e sensorial de caqui cv Fuyu submetido à desidratação osmótica e secagem por convecção. *Ciênc. Tecnol. Aliment., Campinas*, 28(2): 322-328. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612008000200009>.

Ertekin, C., & Yaldiz, O. (2004). Drying of eggplant and selection of a suitable thin layer drying model. *Journal of Food Engineering*, 63: 349–359. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2003.08.007>.

Ertekin, C., & Ziya Firat, M. (2017). A Comprehensive Review of Thin Layer Drying Models Used in Agricultural Products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(4), 701-717. DOI: 10.1080/10408398.2014.910493.

Escribano, S., & Sanchez, F.J. A. (2010). Establishment of a sensory characterization protocol for melón (*Cucumis melo L.*) and its correlation with physical–chemical attributes: indications for future genetic improvements. *European Food Research and Technology*, 231: 611-621. <https://doi.org/10.1007/s00217-010-1313-8>.

Falade, K.O., Adetunji, A.I., & Aworh, O.C. (2003). Adsorption isotherm and heat of sorption of fresh- and osmo-oven dried plantain slices. *European Food Research Technology*, 217: 230-234. <https://doi.org/10.1007/s00217-003-0738-8>.

Falade, K.O., Olukini, I., & Adegoke, G.O. (2004). Adsorption isotherm and heat of sorption of osmotically pretreated and air-dried pineapple slices. *European Food Research and Technology*, 218: 540-543. <https://doi.org/10.1007/s00217-004-0900-y>

Falade, K.O., Igbeka, J.C., & Ayanwuyi, F.A. (2007). Kinetics of mass transfer and colour changes during osmotic dehydration of watermelon. *Journal of Food Engineering*, 80: 979-985. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.06.033>

FAO. Disponible en internet: www.fao.org, 2017.

Fernandes, F., Linhares Jr. F.E., & Rodrigues S. (2008). Ultrasound as pre-treatment for drying of pineapple. *Ultrasonics Sonochemistry*, 15(6): 1049–1054. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2008.03.009>.

Fernandes F.A.N, Gallao, M.I., & Rodrigues, S. (2008). Effect of osmotic dehydration and ultrasound pre-treatment on cell structure: Melon dehydration. *LWT- Food Science and Technology*, 41: 604-610. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.05.007>.

Fernandes, F.A.N, Rodrigues, S., Cárcel, J.A., & García-Pérez, J.V. (2015). Ultrasound assisted air-drying of apple (*Malus domestica L.*) and its effects on the vitamin of the dried product. *Food Bioprocess Technology*, 8: 1503-1511. <https://doi.org/10.1007/s11947-015-1519-7>.

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. <https://doi.org/10.1080/10942910802227934>

Ferri, V. C., Rinaldi, M.M., Luchetta, L., & Rombaldi, C.V. (2002). Qualidade de caquis fuyu tratados com cálcio em pré-colheita e armazenados sob atmosfera modificada. *Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal*, 24(2): 385–388. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452002000200022>.

Ferrini, F., & Pennati, L. (2008). Gardens and panoramic views in Tuscany: The ornamental role of persimmons. *Advances in Horticultural Science*, 22(4): 255–260. www.jstor.org/stable/42883466.

Fortes, M., & Okos, M.R. (1981). Non-equilibrium thermodynamics approach to heat and mass transfer in corn kernels. *Transactions of American Society of Agricultural Engineers*, 22: 761–769. doi: 10.13031/2013.34335.

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: 284 – 291. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.02.004>.

García-Pérez, J.V. (2007). Contribución al estudio de la aplicación de ultrasonidos de potencia en el secado convectivo de alimentos. Tesis doctoral en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Departamento de Tecnología de Alimentos Universidad Politécnica de Valencia, España.

García-Pérez, J.V., Cárcel, J.A., Clemente, G., & Mulet, A. (2008). Water sorption isotherms for lemon peel at different temperatures and isosteric heats. *LWT- Food Science and Technology*, 41: 18-25. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.02.010>

George, A. P., & Redpath, S. (2008). Health and medicinal benefits of persimmon fruit: A review. *Advances in Horticultural Science*, 22(4): 244–249. <http://digital.casalini.it/10.1400/100649>.

Gil, M.I., Aguayo, E., & Kader, A.A. (2006). Quality Changes and Nutrient Retention in Fresh-Cut versus Whole Fruits during Storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54: 4284-4296. <https://doi.org/10.1021/jf060303y>.

Giordani, E., Doumet, S., Nin, S., & Del Bubba, M. (2011). Selected primary and secondary metabolites in fresh persimmon (*Diospyros kaki* Thunb.): A review of analytical methods and current knowledge of fruit composition and health benefits. *Food Research International*, 44: 1752- 1767. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.01.036>.

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: 33-43. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(02\)00331-X](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(02)00331-X).

González-Fésler, M., Salvatori, D., Gómez, P., Alzamora, S.M. (2008). Convective air drying of apples as affected by blanching and calcium impregnation. *Journal of Food Engineering*, 87: 323-332. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.12.007>.

Greenspan, L. (1977). Humidity Fixed Points of Binary Saturated Aqueous Solutions. *JOURNAL OF RESEARCH of the National Bureau of Standards - A. Physics and Chemistry* Vol. 81 A, No.1, January- February.

Gu, H., Li, C., Xu, Y., Hu, W., Chen, M., & Wan, Q. (2008). Structural features and antioxidant activity of tannin from persimmon pulp. *Food Research International*, 41: 208–217. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2007.11.011>.

Halsey, G. (1948). Physical adsorption on non-uniform surfaces. *Journal of Chemistry and Physics*, 16: 931-937. <https://doi.org/10.1063/1.1746689>.

Henderson, S.M. (1952). A basic concept of equilibrium moisture. *Agricultural Engineering*, 33: 29-32. DOI: 10.3136/fstr.12.1.

Heredia, A., Peinado, I., Barrera, C., & Andrés Grau, A. (2009). Influence of process variables on color changes, carotenoids retention and cellular tissue alteration of cherry tomato during osmotic dehydration. *Journal of Food Composition and Analysis*, 22: 285-294. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2008.11.018>.

Ho, J.C., Chou, S.K., Chua, K.J., Mujumdar, A.S., & Hawlader, M.N.A. (2002). Analytical study of cyclic temperature drying: effect on drying kinetics and product quality. *Journal of Food Engineering*, 51: 65-75. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(01\)00038-3](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00038-3).

Iglesias, H.A., Chirife, J., & Lombardi, J.L. (1975). Water sorption isotherms in sugar beet root. *International Journal of Food Science & Technology*, 10: 299-308. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1975.tb00033.x>.

Iglesias, H.A., & Chirife, J. (1982). *Handbook of food isotherms*. Academic Press, New York.

Islam, R., Ho, J.C., & Mujumdar, A.S. (2003). Convective drying with time- varying heat input: Simulation results. *Drying Technology*, 21(7): 1333 – 1356. <https://doi.org/10.1081/DRT-120023187>.

Ispir, A., & Toğrul, Đ.T. (2009). Osmotic dehydration of apricot: kinetics and the effect of process parameters. *Chemistry of Engineering Research and Design*, 87: 166-80. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2008.07.011>.

IUPAC, Commission on Colloid and Surface Chemistry of the International Union of Pure and Applied Chemistry, *Pure and Applied Chemistry*, 57: 603 (1985).

Jumah, R.Y. (1995). *Flow and drying characteristics of a rotating jet spouted bed*. McGill University (Canada), Canada, 207

Jumah, R., Al-Kteimat, E., Al-Hamad, A., & Telfah, E. (2007). Constant and Intermittent Drying Characteristics of Olive Cake. *Drying Technology*, 25: 1421–1426. <https://doi.org/10.1080/07373930701536668>

Kader, A.A. (1999). Fruit maturity, ripening, and quality relationships. *Acta Horticulturae* 485: International Symposium Effect of Pre- & Postharvest factors in Fruit Storage, 485: 203-208. DOI: 10.17660/ActaHortic.1999.485.27

Kammoun Bejar, A., Boudhrioua Mihoubi, N., & Kechaou, N. (2012). Moisture sorption isotherms – experimental and mathematical investigations of orange (*Citrus sinensis*) peel and leaves. *Food Chemistry*, 32 (4): 1728-1735. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.06.059>.

Kaymak-Ertekin, F., & Sultanoglu, M. (2000). Modelling of mass transfer during osmotic dehydration of apples. *Journal of Food Engineering*, 46: 243-250. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00084-4](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00084-4).

Kaymak-Ertekin, F., & Gedik, A. (2004). Sorption isotherms and isosteric heat of sorption for grapes, apricots, apples and potatoes. *LWT - Food Science and Technology*, 37: 429-438. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2003.10.012>.

Kingsly, R.P., Goyal, R.K., Manikantan, M.R., & Ilyas, S.M. (2007). Effects of pretreatments and drying air temperature on drying behavior of peach slice. *International Journal of Food Science and Technology*, 42: 65-69. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.01210.x>.

Koca, N., Burdurlu, H.S., & Karadeniz, F. (2007). Kinetics of colour changes in dehydrated carrots. *Journal of Food Engineering*, 78: 449-455. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.10.014>.

Kowalska, H., & Lenart, A. (2001). Mass exchange during osmotic pretreatment of vegetables. *Journal of Food Engineering*, 49: 137-140. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00214-4](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00214-4).

Kowalska, H., Lenart, A., & Leszczyk, D. (2008). The effect of blanching and freezing on osmotic dehydration of pumpkin. *Journal of Food Engineering*, 86: 30-38. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.09.006>.

Kowalska, H., Marzec, A., Kowalska, J., Ciużyńska, A., Samborska, M.B., & Lenart, A. (2018). Rehydration properties of hybrid method dried fruit enriched by natural components. *International Agrophysics*, 32: 175-182. doi: 10.1515/intag-2016-0100.

Kowalski, S.J., & Pawłowski, A. (2011). Energy consumption and quality aspect by intermittent drying. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 50 (4): 384–390 <https://doi.org/10.1016/j.cep.2011.02.012>.

Krokida, M.K., & Marinos-Kouris, D. (2003). Rehydration kinetics of dehydrated products. *Journal of Food Engineering*, 57: 1–7. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(02\)00214-5](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(02)00214-5).

Krokida, M.K., & Philippopoulos, C. (2005). Rehydration of Dehydrated Foods. *Drying Technology*, 23(4): 799–830. DOI: 10.1081/DRT-200054201

Labuza, T.P. (1975). Interpretation of sorption data in relation to the state of constituent water. En Water relations of foods. Ed. Duckworth, R.B., Academic Press, New York, EEUU

Lawless H., & Heymann H. (1998). Sensory evaluation of food, Principles and practices. Chapman & Hall, New York

Lazarides, H. N., & Mavroudis, N. E. (1996). Kinetics of osmotic dehydration of a highly shrinking vegetable tissue in a salt-free medium. *Journal of Food Engineering*, 30: 61-74. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(96\)00042-8](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(96)00042-8).

Lerici, C.R., Pinnavala, G., Daliarosa, M., & Bartolucci, L. (1985). Osmotic dehydration of fruit: influence of osmotic agents on drying behavior and product quality. *Journal of Food Science*, 50:1217–1220. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1985.tb10445.x>

Lewicki, P.P., & Lukaszuk, A. (2000). Effect of osmotic dewatering on rheological properties of Apple subjected to convective drying. *Journal of Food Engineering*, 45: 119-126. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00025-X](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00025-X).

Li, W., Bai, Y., Mousaa, S.A.S., Zhang, Q., & Shen, Q. (2012). Effect of High Hydrostatic Pressure on Physicochemical and Structural Properties of Rice Starch. *Food Bioprocess Technology*, 5:2233–2241. <https://doi.org/10.1007/s11947-011-0542-6>.

Lim, L.T., Tang, J., & He, J. (1995). Moisture Sorption Characteristics of Freeze Dried Blueberries. *Journal of Food Science*, 60: 810-814. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1995.tb06235.x>.

Lin, S.X.Q., Dong-Chen X., & Pearce, D.L. (2005). Desorption isotherm of milk powders at elevated temperatures and over a wide range of relative humidity. *Journal of Food Science*, 68: 257-264. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.05.036>.

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: 277-284. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.07.009>.

Luo, Z. (2006). Extending shelf-life of persimmon (*Diospyros kaki* L.) fruit by hot air treatment. *European Food Research and Technology*, 222: 149-154. <https://doi.org/10.1007/s00217-005-0156-1>

Maestrelli, A., Lo-Scalzo, R., Lupi, D., Bertolo, G., & Torreggiani, D. (2001). Partial removal of water before freezing: Cultivars and pre-treatments as quality factors of frozen muskmelon (*Cucumis melo*, cv reticulatus Naud.). *Journal of Food Engineering*, 49: 255–260. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00211-9](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00211-9).

Mandala, I.G., Anagnostaras, E.F., & Oikonomou, C.K. (2005). Influence of osmotic dehydration conditions on apple air-drying kinetics and their quality characteristics. *Journal of Food Engineering*, 69: 307 – 316. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.08.021>.

- Marfil, P.H.M., Santos, E.M., & Telis, V.R.N. (2008). Ascorbic acid degradation kinetics in tomatoes at different drying conditions. *Food Science and Technology*, 41: 1642-1647. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.11.003>.
- Martínez-Las Heras, R., Heredia, A., Castelló, M.L., & Andrés, A. (2014). Moisture sorption isotherms and isosteric heat of sorption of dry persimmon leaves. *Food Bioscience*, 7: 88-94. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2014.06.002>.
- Maskan, M. (2001). Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of food engineering*, 48(2), 177-182. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00155-2](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00155-2).
- Mauro, M.A., & Menegalli, F.C. (2003). Evaluation of water and sucrose diffusion coefficients in potato tissue during osmotic concentration. *Journal of Food Engineering*, 57: 367–374. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(02\)00357-6](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(02)00357-6).
- Mavroudis, N. E., Gekas, V., & Sjöholm, I. (1998). Osmotic dehydration of apples – effects of agitation and raw material characteristics. *International Journal of Food Engineering*, 35: 191-209. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(98\)00015-6](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(98)00015-6).
- Mayor, L., Cunha, R.L., & Sereno, A.M. (2007). Relation between Mechanical Properties and Structural Changes during Osmotic Dehydration of Pumpkin. *Food Research International*, 40(4): 448-460. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2007.02.004>.
- Mendonça, K.S., Gomes Corrêa, J.L., de Jesus, J.R., Pereira, M.C., & Vilela, M.B. (2015). Optimization of Osmotic Dehydration of Yacon Slices. *Drying Technology*, 37-41. <https://doi.org/10.1080/07373937.2015.1054511>.
- Michalczyk, M., Macura, R., & Matuszak, I. (2009). The effect of air-drying, freeze-drying and storage on the quality and antioxidant activity of some selected berries. *Journal of Food Processing and Preservation*, 33(1), 11-21. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2008.00232.x>.
- Milczarek, R.R., Vilches, A.M., Olsen, C.W., Breksa, A.P., Mackey, B.E., & Brandl, M.T. (2020). Physical, Microbial, and Chemical Quality of Hot-Air-Dried Persimmon (*Diospyros kaki*) Chips during Storage. *Journal of Food Quality*, 15 pages, <https://doi.org/10.1155/2020/7413689>.
- Moreira, R., Chenlo, F., Torres, M. D., & Vazquez, G. (2007). Effect of stirring in the osmotic dehydration of chestnut using glycerol solutions. *LWT- Food Science and Technology*, 40: 1507-1514. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2006.11.006>.
- Moreira, R., Chenlo, F., Torres, M.D., & Vallejo, N. (2008). Thermodynamic analysis of experimental sorption isotherms of loquat and quince fruits. *Journal of Food Engineering*, 88: 514-521. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.03.011>.
- Mori, H. (1958). Studies on the inheritance of the main characters of deciduous fruit trees. *Natl. Inst. Agr. Sci. Jpn.*, E2: 1-68.
- Mrad, N.D., Bonazzi, C., Courtois, F., Kechaou, N., & Mihoubi, N.B. (2013). Moisture desorption isotherms and glass transition temperatures of osmo-dehydrated apple and

pear. *Food and bioproducts processing*, 91: 121-128. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2012.09.006>.

Mundada, M., Hathan, B. S., & Maske, S. (2011). Mass transfer kinetics during osmotic dehydration of pomegranate arils. *Journal of Food Science*, 75: 31-39. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01921.x>.

Naval, M.M., Zuriaga, E., Pecchioli, S., Ll acer, G., Giordani, E., Badenes, M. (2010). Analysis of genetic diversity among persimmon cultivars using microsatellite markers. *Tree Genetics & Genomes*, 6(5): 677-687. <https://doi.org/10.1007/s11295-010-0283-0>.

Naval, M.M., Martinez-Calvo, J., Badenes, M.L., & Llacer, G. (2012). Los programas de mejora genética de frutales en el Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA). IV. Caqui. *Revista de Fruticultura*, 20: 4-13. <http://hdl.handle.net/20.500.11939/6329>.

Nemzer, B., Vargas, L., Xia, X., Sintara, M., & Feng, H. (2018). Phytochemical and physical properties of blueberries, tart cherries, strawberries, and cranberries as affected by different drying methods. *Food Chemistry*, 262, 242–250. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.04.047>.

Nicoletti, Z., Silveira Jr, V., Telis-Romero, J., & Telis, V.R.N. (2007). Influence of Drying Conditions on Ascorbic Acid during Convective Drying of Whole Persimmons. *Drying Technology*, 25(5): 891–899. <https://doi.org/10.1080/07373930701370365>.

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. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(98\)00043-0](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(98)00043-0).

Nieto, A.B., Salvatori, D.M., Castro, M.A., & Alzamora, S.M. (2004). Structural changes in apple tissue during glucose and sucrose osmotic dehydration: shrinkage, porosity, density and microscopic features. *Journal of Food Engineering*, 61: 269–278. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(03\)00108-0](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(03)00108-0).

Nishiyama, Y., Cao, W., & Li, B. (2006). Grain intermittent drying characteristics analyzed by a simplified model. *Journal of Food Engineering*, 76: 272-279. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.04.059>.

Noshad, M., Mohebbi, M., Shahidi, F., & Mortazavi, S.A. (2012). Kinetic modeling of rehydration in air-dried quinces pretreated with osmotic dehydration and ultrasonic. *Journal of Food Processing and Preservation*, 36(5): 383-392. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2011.00593.x>.

Novillo, P., Salvador, A., Llorca, E., Hernando, I., & Besada, C. (2014). Effect of CO₂ deastringency treatment on flesh disorders induced by mechanical damage in persimmon. Biochemical and microstructural studies. *Food Chemistry*, 145: 453–463. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.08.054>.

Noypitak, S., Terdwongworakul, A., Krisanapook, K., & Kasemsumran, S. (2015). Evaluation of astringency and tannin content in 'Xichu' persimmons using near infrared

spectroscopy. *International Journal of Food Properties*, 18(5): 1014-1028. <https://doi.org/10.1080/10942912.2014.884577>.

Nhung, D.T.T., Bung, P.N., Ha, N.T., & Phong, T.K. (2010). Changes in lycopene and beta carotene contents in aril and oil of gac fruit during storage. *Food Chemistry*, 121(2): 326-331. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.12.032>.

O'Connor-Shaw, R.E., Roberts, R., Ford, A.L., & Nottingham, S.M. (1994). Shelf Life of Minimally Processed Honeydew, Kiwifruit, Papaya, Pineapple and Cantaloupe. *Journal of Food Science*, 59(6):1202–1206. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1994.tb14676.x>.

Osorio, C., Franco, M.S., Castaño, M.P., González-Miret, M.L., Heredia, F.J., & Morales, A.L. (2007). Colour and flavour changes during osmotic dehydration of fruits. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 8:353–359. DOI: 10.1016/j.ifset.2007.03.009.

Oswin, G.R. (1946). The kinetics of package life III. The Isotherm. *Journal of the Society of Chemical Industry*, 65:419-421. <https://doi.org/10.1002/jctb.5000651216>.

Page, G.E. (1949). Factors influencing the maximum rates of air drying shelled corn in thin layers. M.Sc. Thesis, Purdue University.

Pagliarini, E., Laureati, M., & Lavelli, V. (2010). Sensory evaluation of gluten-free breads assessed by a trained panel of celiac assessors. *European Food Research and Technology*, 231: 37-46. <https://doi.org/10.1007/s00217-010-1249-z>.

Pan, Y.K., Zhao, L.J., & Hu, W.B. (1998). The effect of tempering-intermittent drying on quality and energy of plant materials. *Drying Technology*, 17(9): 1795-1812. <https://doi.org/10.1080/07373939908917653>.

Park, K.J., Bin, A., Brod, F.P.R., & Park, T.H.K. (2002). Osmotic dehydration kinetics of pear D'anjou (*Pyrus communis* L.). *Journal of Food Engineering*, 52: 293–298. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(01\)00118-2](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00118-2).

Pereira, L.M., Carmello-Guerreiro, S.M., Bolini, H.M., Cunha, R.S., & Hubinger, M.D. (2007). Effect of calcium salts on the texture, structure and sensory acceptance of osmotically dehydrated guavas. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87: 1149-1156. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2836>.

Perera, C.O. (2005). Selected quality attributes of dried foods. *Drying Technology*, 23(4): 717-730. DOI: 10.1081/DRT-200054180.

Pérez-Burillo, S., Oliveras, M.J., Quesada, J., Rufián-Henares, J.A., & Pastoriza, S. (2018). Relationship between composition and bioactivity of persimmon and kiwifruit. *Food Research International*, 105: 461-472. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.11.022>.

Pérez-Elortondo, F.J. (2001). Ensayos hedónicos, en: *Análisis Sensorial de Alimentos. Métodos y Aplicaciones*. Springer, Barcelona: 90-109.

Philip, T., Weber, C.W., & Berry, J.W. (1977). Color Measurement of Egg Yolks—An Instrumental Method. *Poultry Science*, 56(4): 1305–1309. <https://doi.org/10.3382/ps.0561305>.

Phisut, N. (2012). Factors affecting mass transfer during osmotic dehydration of fruits. *International Food Research Journal*, 19(1): 7–18. DOI: 10.12691/ajfst-7-3-2.

Planinic, M., Velic, D., Tomas, S., Bilic, M., & Bucic, A. (2005). Modelling of drying and rehydration of carrots using Peleg's model. *European Food Research and Technology*, 221: 446–451. <https://doi.org/10.1007/s00217-005-1200-x>.

Plaza, L., Colina, C., de Ancos, B., Sánchez-Moreno, C., & Pilar-Cano, M. (2012). Influence of ripening and astringency on carotenoid content of high-pressure treated persimmon fruit (*Diospyros kaki L.*). *Food Chemistry*, 130: 591–597. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.07.080>.

Prinzivalli, C., Brambilla, A., Maffi, D., Lo Scalzo, R., & Torreggiani, D. (2006). Effect of Osmosis Time on Structure, Texture and Pectin Composition of Strawberry Tissue. *European Food Research and Technology*, 224 (1): 119-127. <https://doi.org/10.1007/s00217-006-0298-9>.

Prothon, F., & Ahrné, M.L. (2004). Application of the Guggenheim, Anderson and De Boer model to correlate water activity and moisture content during osmotic dehydration of apples. *Journal of Food Engineering*, 61: 467-470. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(03\)00119-5](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(03)00119-5).

Rahman, M. S., & Lamb, J. (1991). Air drying behavior of fresh and osmotically dehydrated pineapple. *Journal of Food Process Engineering*, 14: 163-171. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.1991.tb00088.x>.

Rahman, S. (1995). *Food Properties Handbook* (CRC Press, Inc. New York, USA)

Rahman, M. S. (2007). Drying and food preservation. In R. M.S. (Ed.), *Handbook of food preservation*. CRC Press (2nd ed.), 412

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. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-89132005000600012>.

Ramallo, L.A., Lovera, N.N., & Schmalko, M.E. (2010). Effect of the application of intermittent drying on *Ilex paraguariensis* quality and drying kinetics. *Journal of Food Engineering*, 97: 188–193. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.10.008>.

Ramallo, L.A., & Mascheroni, R.H. (2012). Quality evaluation of pineapple fruit during drying process. *Food and Bioproducts Processing*, 90: 275-283. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2011.06.001>.

Ramesh, M., & Rao, P.S. (1996). Drying studies of cooked rice in a vibrofluidised bed drier. *Journal of Food Engineering*, 27(4): 389-396. [https://doi.org/10.1016/0260-8774\(95\)00018-6](https://doi.org/10.1016/0260-8774(95)00018-6).

- Rao, A. V., & Rao, L. G. (2007). Carotenoids and human health. *Pharmacological Research*, 55(3): 207–216. <https://doi.org/10.1016/j.phrs.2007.01.012>.
- Raoult-Wack, A.L., Guilbert, S., Le Maguer, M., & Rios, G. (1991). Simultaneous water and solute transport in shrinking media - Part 1. *Drying Technology*, 9(3): 589-612. <https://doi.org/10.1080/07373939108916698>.
- Raybaudi-Massilia, R.M., Mosqueda-Melgar, J., Sobrino-Fortuny, R., Martin-Belloso, O. (2007). Shelf-life extension of fresh-cut “Fuji” apples at different ripeness stages using natural substances. *Postharvest Biology and Technology*, 45: 265-275. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.02.006>.
- Renkema, J.M.S., Knabben, J.H.M., & Van Vliet, T. (2001). Gel formation by β -conglycinin and glycinin and their mixtures. *Food Hydrocolloids*, 15: 407-414. [https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(01\)00051-0](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(01)00051-0).
- Reyes, G., Corzo O., Bracho N., & Rodríguez Y. (2008). Optimización de la deshidratación osmótica con pulso de vacío de láminas de sardinas. *Revista Científica – Facultad de Ciencias Veterinarias*, 18(3): 320-328. ISSN 0798-2259.
- Riadh, M.H., Ahmad, S.A.B., Marhaban, M.H., & Soh, A.C. (2014). Infrared Heating in Food Drying: An Overview. *Drying Technology: An International Journal*, DOI: 10.1080/07373937.2014.951124.
- Ribeiro, K.O., Rodrigues, M.I., Sabadini, E., & Cunha, R.L. (2004). Mechanical properties of acid sodium caseinate-k-carrageenan gels: effect of co-solute addition. *Food Hydrocolloids*, 18: 71-79. [https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(03\)00043-2](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(03)00043-2).
- Rico, D., Martín-Diana, A.B., Frías, J.M., Barat, J.M., Henehan, G.T.M., & Barry-Ryan, C. (2007). Improvement in texture using calcium lactate and heat-shock treatments for stored ready-to-eat carrots. *Journal of Food Engineering*, 79: 1196-1206. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.04.032>.
- Rizzolo, A., Gerli, F., Prinzivalli, C., Buratti, S., & Torreggiani, D. (2007). Headspace volatile compounds during osmotic dehydration of strawberries (cv Camarosa): Influence of osmotic solution composition and processing time. *LWT - Food Science and Technology*, 40: 529-535. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2006.02.002>.
- Rodriguez, A., & Mascheroni, R.H. (2012). Generalized Correlations for Characteristic Variables and Thermophysical Properties of Osmotically Dehydrated Fruits. *Drying Technology*, 30: 1323-1331. <https://doi.org/10.1080/07373937.2012.695758>.
- Romero Rodriguez, M. A., Vazquez Oderiz, M. L., Lopez Hernandez, J., & Simal Lozano, J. (1992). Determination of vitamin C and organic acids in various fruits by HPLC. *Journal of Chromatographic Science*, 30(11): 433–437. <https://doi.org/10.1093/chromsci/30.11.433>.
- Sacilik, K., Elicin, A.K., & Unal, G. (2006). Drying kinetics of uryani plum in a convective hot-air dryer. *Journal of Food Engineering*, 76: 362-368. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.05.031>.

Sahu, J.K., & Tiwari, A. (2007). Moisture Sorption Isotherms of Osmotically Dehydrated Sweet Pepper. *International Journal of Food Engineering*, 3(5): 1-16. <https://doi.org/10.2202/1556-3758.1223>.

Salvador, A., Arnal, L., Besada, C., Larrea, V., Quiles, A., & Pérez-Munuera, I. (2007). Physiological and structural changes during ripening and deastringency treatment of persimmon fruit cv. 'Rojo Brillante'. *Postharvest Biology and Technology*, 46: 181-188. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.05.003>.

Sampaio, R.M., Neto, J.P., Perez, V.H., Marcos, S.K., Boizan, M.A., & Da Silva, L.R. (2016). Mathematical modeling of drying kinetics of persimmon fruits (*Diospyros Kaki* cv. Fuyu). *Journal of Food Processing and Preservation*, 1745-4549. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12789>.

Sanjinez-Argandona, E.J., Nishiyama, C., & Hubinger, M.D. (2002). Quality of osmotically dehydrated melon in sucrose solutions with addition of acids. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 37(17): 1803-1810 . ISSN : 0100-204X.

Sanjinez-Argandona, E.J., Cunha, R.L., Menegalli, F.C., & Hubinger, M.D. (2005). Evaluation of total carotenoids and ascorbic acid in osmotic pretreated guavas during convective drying. *Italian journal of Food Science*, 3(17): 305-314. ISSN : 1120-1770.

Sanjuán, N., Bon, J., Clemente, G., & Mulet, A. Changes in the quality of dehydrated broccoli florets during storage. *Journal of Food Engineering*, 62: 15-21 (2004). [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(03\)00165-1](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(03)00165-1).

Senadeera, W., Bhandari, B.R.I., Young, G., & Wijesinghe, B. (2003). Influence of shapes of selected vegetable materials on drying kinetics during fluidized bed drying. *Journal of Food Engineering*, 58(3): 277-283. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(02\)00386-2](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(02)00386-2).

Seremet, L., Botez, E., Nistor, O-V., Andronoiu, D.G., & Mocanu, G.D. (2016). Effect of different drying methods on moisture ratio and rehydration of pumpkin slices. *Food Chemistry*, 195: 104-109. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.03.125>.

Sereno, A.M., Moreira, R., & Martinez, E. (2001). Air Mass transfer coefficients during osmotic dehydration of apple in single and combined aqueous solutions of sugar and salt. *Journal of Food Engineering*, 47: 43-49. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00098-4](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00098-4).

Sestari, I., Edagi, F.K., Terra, F.A.M., Chiou, D.G., Kluge, R. A., & Antonioli, L. R. (2009). Influence of ripening stage and astringency removal on quality of cold stored "Rama Forte" persimmon. *Acta Horticulturae*, 833:263-268. doi:10.17660/actahortic.2009.833.42

Shahkoomahally, S., & Ramezani, A. (2013). Analytical and statistical interpretation of relationship between total antioxidant activity, ascorbic acid content, total phenolic compounds, soluble tannin and chromatic parameters of persimmon (*Diospyros kaki*) cv 'Shiraz' during cold storage. *Agricultural Communication*, 1(1): 17-22.

- Shi, J., & Xue, J. S. (2009). Application and development of osmotic dehydration technology in food processing. In C. Ratti (Ed.), *Advances in food dehydration*. USA: CRC Press
- Shi, J., & Le Maguer, M. (2000). Lycopene in tomatoes: Chemical and physical properties affected by food processing. *Critical Reviews in Biotechnology*, 20(4):293-334- <https://doi.org/10.1080/10408690091189275>.
- Silva, J.S., Lacerda Filho, A.F., Berbert, P.A. (2000). Secagem e armazenagem de produtos agrícolas. In: Silva, J. de S. Secagem e armazenagem de produtos agrícolas. UFV, 395-467.
- Silva, M.A., Silva, Z.E., Mariani, V.C., & Darche, S. (2012). Mass transfer during the osmotic dehydration of West Indian cherry. *Food Science and Technology*, 45: 246-252. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.07.032>.
- Silva, K.S., Fernandes, M.A., & Mauro, M.A. (2014). Osmotic Dehydration of Pineapple with Impregnation of Sucrose, Calcium, and Ascorbic Acid. *Food and Bioprocess Technology*, 7: 385-397. <https://doi.org/10.1007/s11947-013-1049-0>.
- Silveira, A.C., Aguayo, E., Chisari, M., & Artés, F. (2011). Calcium salts and heat treatment for quality retention of fresh-cut 'Galia' melon. *Postharvest Biology and Technology*, 62: 77-84. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2011.04.009>.
- Simal, S., Deyá, E., & Roselló, C. (1997). Simple Modelling of Air Drying Curves of Fresh and Osmotically Pre-dehydrated Apple Cubes. *Journal of Food Process Engineering*, 33: 139-150. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(97\)00049-6](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(97)00049-6).
- Simal, S., Femenia, A., Garau, M.C., & Roselló, C. (2005). Use of exponential, Page's and diffusional models to simulate the drying kinetics of kiwi fruit. *Journal of Food Engineering*, 66: 323-328. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.03.025>.
- Simal, S., Femenia, A., Castell-Palou, A., & Roselló, C. (2007). Water desorption thermodynamic properties of pineapple. *International Journal of Food Engineering*, 80: 1293-1301. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.10.001>.
- Soares de Mendonça, K., Gomes Corrêa, J.L., de Jesus, J.R., Pereira, M.C., & Vilela, M.B. (2015). Optimization of Osmotic Dehydration of Yacon Slices. *Drying Technology*, 37-41. <https://doi.org/10.1080/07373937.2015.1054511>.
- Sobukola, O.P., Dairo, O.U., Sanni, L.O., Odunewu, A.V., & Fadiolu, B.O. (2007). Thin layer drying process of some leafy vegetables under open sun. *Food Science Technology International*, 13: 35-40. <https://doi.org/10.1177/1082013207075953>.
- Sopade, P.A., Ajisegiri, E.S., & Abass, A.B. (1996). Moisture sorption isotherms of dawadawa, a fermented African locust bean (*Parkia biglohosa* Jacq. Benth). *Food Control*, 7(3):153-156. [https://doi.org/10.1016/0956-7135\(96\)00022-9](https://doi.org/10.1016/0956-7135(96)00022-9).
- Souza, J.S., Medeiros, M.F.D., Magalhaes, M.M.A., Rodrigues, S., & Fernandes, F.A.N. (2007). Optimization of osmotic dehydration of tomatoes in a ternary system followed

by air-drying. *Journal of Food Engineering*, 83: 501-509. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.03.038>.

Saltmarch, M., & Labuza, T.P. (1980). Influence of relative humidity on the physicochemical state of lactose in spray-dried sweet whey powders. *Journal of Food Science*, 45: 1231-1236. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1980.tb06528.x>.

Staudt, P.B., Kechinski, C.P., Tessaro, I.C., Marczak, L.D.F., Soares, R., & Cardozo, N.S.M. (2013). A new method for predicting sorption isotherms at different temperatures using the BET model. *International Journal of Food Engineering*, 114: 139-145. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.07.016>.

Stone, H., Sidel, J., Oliver, S., Woolsey, A., & Singleton, R.C. (1974). Sensory evaluation by quantitative descriptive analysis. *Food Technology*, 8: 24-32. DOI:10.1002/9780470385036.

Taira, S., Onodera, K., Itamura, H., & Watanabe, S. (1994). Differences between the Japanese persimmon (*Diospyros kaki* Thunb.) 'Denkro' and 'Hiratanenashi' on acetaldehyde production by their flesh discs. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 62: 897-902. <https://doi.org/10.2503/jjshs.62.897>.

Teles, U.M., Fernandes, F.A.N., 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 and Technology*, 41: 674-680. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.01134.x>.

Telis, V.R.N., Gabas, A.L., Menegalli, F.C., & Telis-Romero, J. (2000). Water sorption thermodynamic properties applied to persimmon skin and pulp. *Thermochimica Acta*, 343: 49-56. [https://doi.org/10.1016/S0040-6031\(99\)00379-2](https://doi.org/10.1016/S0040-6031(99)00379-2).

Thomkapanich, O., Suvarnakuta, P., & Devahastin, S. (2007). Study of intermittent low pressure superheated steam and vacuum drying of heat-sensitive material. *Drying Technology*, 25: 205-223. <https://doi.org/10.1080/07373930601161146>.

Timmermann, E.O., Chirife, J., & Iglesias, H.A. (2001). Water sorption isotherms of foods and foodstuffs: BET or GAB parameters?. *Journal of Food Engineering*, 48: 19-31. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00139-4](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00139-4).

Timmermann, E.O. (2003). Multilayer sorption parameters: BET or GAB values?. *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*, 220: 235-260.

Tiwari, R. B. (2005). Application of osmo air dehydration for processing of tropical fruits in rural areas. *Indian Food Industry*, 24(6): 62-69.

Toivonen, P.M.A., & Brummell, D.A. (2010). Biochemical bases of appearance and texture changes in fresh-cut fruit and vegetables. *Food Science and Technology*, 43: 1191-1196. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.09.004>.

Tonon, R.V., Baroni, A.F., & Hubinger, M.D. (2007). Osmotic dehydration of tomato in ternary solutions: Influence of process variables on mass transfer kinetics and an

evaluation of the retention of carotenoids. *Journal of Food Engineering*, 82: 509-517. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.03.008>.

Torreggiani, D. (1993). Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing. *Food Research International*, 26: 59-68. [https://doi.org/10.1016/0963-9969\(93\)90106-S](https://doi.org/10.1016/0963-9969(93)90106-S).

Torreggiani, D., & Bertolo, G. (2001). Osmotic pre-treatments in fruit processing: chemical, physical and structure effects. *Journal of Food Engineering*, 49: 247-253. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00210-7](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00210-7).

Torre Hernández, P. (2001). Ensayos descriptivos, en: Análisis Sensorial de Alimentos. Métodos y Aplicaciones. Springer, Barcelona: 126-141

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: 240–246. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.03.017>.

Torres, J.D., Castelló, M.L., Escriche, I., & Chiralt, A. (2008). Quality Characteristics, Respiration Rates, and Microbial Stability of Osmotically Treated Mango Tissue (*Mangifera indica* L.) with or without Calcium Lactate. *Food Science Technology International*, 14(8): 355-365. <https://doi.org/10.1177/1082013208097276>.

Tortoe, C. (2010). A review of osmodehydration for food industry. *African Journal of Food Science*, 4(6): 303-324. <http://hdl.handle.net/123456789/489>.

Tsami, E., Marinos-Kouris, D., & Maroulis, Z.B. (1990). Water Sorption Isotherms of Raisins, Currants, Figs, Prunes and Apricots. *Journal of Food Science*, 55(6): 1593-1597. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1990.tb03578.x>.

Tuyen, T.T., Truong, V., Fukai, S., & Bhandari, B. (2009). Effects of hightemperature fluidized bed drying and tempering on kernel cracking and milling quality of Vietnamese rice varieties. *Drying Technology*, 27: 486-494. <https://doi.org/10.1080/07373930802686099>.

Uddin, M.B., Ainsworth, P., & Ibanoglu, S. (2004). Evaluation of mass exchange during osmotic dehydration of carrots using response surface methodology. *Journal of Food Engineering*, 65: 473-477. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.02.007>.

Ulloa, J.M.O., Oyarzún, A., Machuca, A., Luchsinger, L., Peña-Neira, A., & Escalona, V.H. (2018). Effect of cutting and storage temperature on Packham's Triumph pears (*Pyrus communis* L.). *Agroindustry and Food Science*, 67(1): 39-45. <https://doi.org/10.15446/acag.v67n1.57901>.

USDA, (2019). National Nutrient Database for Standard Reference. Disponible en internet: <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/341606/nutrients>,

Van Buggenhout, S., Grauwet, T., Loey, A.V., Hendrickx, M. (2008). Use of pectinmethylesterase and calcium in osmotic dehydration and osmodehydrofreezing of strawberries. *European Food Research and Technology*, 226:1145–1154. <https://doi.org/10.1007/s00217-007-0643-7>.

- Van den Berg, C. (1985). Development of B.E.T. like models for sorption of water of foods, theory and relevance. In: Simatos, D., Multon, J.L. (Eds.), *Properties of Water in Foods*. Martinus Nijhoff, Dordrecht, pp. 119–135
- Váquiro Herrera, H.A. (2009). Contribución al estudio y optimización del secado intermitente: aplicación al secado de Mango (*Mangifera indica* L var. Tommy Atkins). Tesis doctoral en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Departamento de Tecnología de Alimentos Universidad Politécnica de Valencia, España
- Veberic, R., Jurha, J., Mikulic-Petkovsek, M., Stampar, F., & Schmitzer, V. (2010). Comparative study of primary and secondary metabolites in 11 cultivars of persimmon fruit (*Diospyros kaki* L.). *Food Chemistry*, 119: 477–483. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.06.044>.
- Weisser, H. (1985). Influence of temperature on sorption equilibria. In: Simatos D, Multon JL (eds) *Properties of water in foods*. Martinus Nijhoff, Dordrecht,
- Willats, W.G.T., Knox, J.P., & Mikkelsen, J.D. (2006). Pectin: new insights into an old polymer are starting to gel. *Trends in Food Science and Technology*, 17: 97-104. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2005.10.008>.
- Wright, K.P., & Kader, A.A. (1997). Effect of slicing and controlled-atmosphere storage on the ascorbate content and quality of strawberries and persimmons. *Postharvest Biology and Technology*, 10: 39-48. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(96\)00061-0](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(96)00061-0).
- Yamada, M., Giordani, E., & Yonemori, K. (2012). Persimmon. In: M.L. Badenes, D.H. Byrne (Eds.). *Fruit Breeding, Handbook of Plant Breeding*, Vol 8, Part 3. Springer., 663-693
- Yonemori K., & Matsushima J. (1985). Property of development of the tannin cells in non-astringent type fruits of Japanese persimmon (*Diospyros kaki*) and its relationship to natural deastringency. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 54:201–208. <https://doi.org/10.2503/jjshs.54.201>.
- Zielinska, M., & Markowski, M. (2016). The Influence of Microwave-Assisted Drying Techniques on the Rehydration Behavior of Blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.). *Food Chemistry*, 196: 1188–1196. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.10.054>
- Zhu, Y., Pan, Z., McHugh, T.H., & Barrett, D.M. (2010). Processing and quality characteristics of apple slices processed under simultaneous infrared dry-blanching and dehydration with intermittent heating. *Journal of Food Engineering*, 97(1): 8-16. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.07.021>.

Anexos

Anexo I. Planillas de aceptación / rechazo

ANALISIS SENSORIAL DE KAKI

Nombre:Edad:.....Fecha:.....MUESTRA
N°:.....

Evalúe las muestras y marque sobre la escala según su criterio

(1) ¿Cuánto te agrada la apariencia de este producto?

*Me disgusta mucho
mucho*

Indiferente

Me gusta

(2) ¿Cuánto te agrada el color de este producto?

*Me disgusta mucho
mucho*

Indiferente

Me gusta

(3) ¿Cuánto te agrada el sabor de este producto?

*Me disgusta mucho
mucho*

Indiferente

Me gusta

(4) ¿Cuánto te agrada en general este producto?

*Me disgusta mucho
mucho*

Indiferente

Me gusta

Anexo II. Planillas de aceptación / rechazo

ANALISIS SENSORIAL DE KAKI IMPREGADO

Nombre:Edad:.....Fecha:.....MUESTRA
N°:.....

Evalúe las muestras y marque sobre la escala según su criterio

(1) ¿Cuánto te agrada la apariencia de este producto?

*Me disgusta mucho
mucho*

Indiferente

Me gusta

(2) ¿Cuánto te agrada el color de este producto?

*Me disgusta mucho
mucho*

Indiferente

Me gusta

(3) ¿Cuánto te agrada en general este producto?

*Me disgusta mucho
mucho*

Indiferente

Me gusta

Anexo III. Planilla de Test de Triángulo

TEST DEL TRIÁNGULO

Nombre:

Muestra:

Pruebe las muestras de izquierda a derecha, dos son idénticas.
Identifique la muestra diferente teniendo en cuenta su sabor.

Si no encuentra la diferencia, igual debe elegir una.

Set de tres muestras

Muestra diferente

Comentarios:

Anexo IV. Planillas de generación de descriptores

BUSQUEDA DE DESCRIPTORES

Nombre: Fecha:.....
Email: Cel:.....

Observe y pruebe las muestras. Describa con palabras las sensaciones que usted percibe

<i>Muestras</i>	<i>Se parecen en</i>	<i>Se diferencian en</i>
857 vs 479		
479 vs 624		
857 vs 624		

Anexo V. Planillas de Análisis Sensorial Descriptivo (planilla de entrenamiento)

CATADOR:

Lea atentamente las instrucciones de la escala hedónica.

Observe y pruebe las muestras, de izquierda a derecha.

Para la muestra que usted va a evaluar, encierre en un círculo el puntaje elegido que considere más apropiado para cada uno de los atributos.

Muestra: _____

Color:		Claro (Yema de Huevo)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Oscuro (Zanahoria)
Textura:		Extremadamente blanda (Queso untable)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Extremadamente dura (Manzana Roja)
Sabor dulce:		Poco dulce (solución 1)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Muy Dulce (solución 2)
Acidez:		Poca Acidez (Banana)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Excelente (Manzana Roja)
Aceptación sensorial:		Inaceptable Me disgusta extremadamente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Excelente Me gusta extremadamente

5 = Regular: ni me gusta, ni me disgusta.

Anexo VI. Planillas de Análisis Sensorial Descriptivo (Planilla de medición)

EVALUACIÓN SENSORIAL DE KAKI

CATADOR:

Lea atentamente las instrucciones de la escala hedónica.

Observe y pruebe las muestras, de izquierda a derecha.

Para la muestra que usted va a evaluar, encierre en un círculo el puntaje elegido que considere más apropiado para cada uno de los atributos.

Muestra: _____

Color:	Claro	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Oscuro
Textura:	Extremadamente blanda	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Extremadamente dura
Sabor dulce:	Poco dulce	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Muy Dulce
Acidez:	Poca Acidez	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Excelente
Aceptación sensorial:	Inaceptable Me disgusta extremadamente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Excelente Me gusta extremadamente

PUBLICACIONES

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

1) **Publicación de artículos científicos con referato**

1.1

Borsini, Ariel A.; Albani, Oscar A.; Ramallo, Laura A. Aplicación de Diferentes Técnicas de Secado en Frutas de *Diospyros Kaki* Var. "Fuyu". Revista de Ciencia y Tecnología, Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales. Año 18 / Suplemento N° 1 / 2016 / 65–70. ISSN: 1851-7587

1.2

Fernández, Paula R.; Lovera, Nancy; Romero, Agustina; **Borsini**, Ariel A.; Ramallo, Laura A. Deshidratación Osmótica de Ananá con Reutilización del Jarabe de Sacarosa. Revista de Ciencia y Tecnología, Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales. Aceptado para su publicación en la Revista de Ciencia y Tecnología el día 25 de Septiembre del año 2017

1.3

Borsini, A.A.; Llavata, B.; Umaña, M.; Cárcel, J.A. Artichoke by Products as a Source of Antioxidant and Fiber. How It Can Be Affected by Drying Temperature. *Foods* 2021, 10, 459. <https://doi.org/10.3390/foods10020459>

2) **Publicación de Abstract**

2.1) **"DESHIDRATACION OSMOTICA DE FRUTAS DE TRES VARIEDADES DE DIOSPYROS KAKI"**

BORSINI A., ALBANI O., RAMALLO LA. Libro de Resúmenes. IV Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos-Córdoba- Córdoba-Argentina; 14 al 16 de Noviembre de 2012. ISBN: 978-950-33-1068-7

2.2) **"SECADO DE FRUTAS DE DIOSPYROS KAKI VAR FUYU"**

BORSINI A., ALBANI O., RAMALLO LA. Libro de Resúmenes. V Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos-Córdoba- Córdoba-Argentina; 17 al 19 de Noviembre de 2014. ISBN: 978-987-45738-5-8

2.3) **"ISOTERMAS DE SORCIÓN DE KAKI IMPREGNADO CON SACAROSA"**

BORSINI, Ariel Alejandro; ALBANI, Oscar Alfredo; RAMALLO Laura Ana. IX Jornadas Científico-Tecnológicas de la Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales - UNaM. 28 al 30 de Octubre de 2015. ISBN: 978-950-766-112-9

2.4) **"REHIDRATACIÓN DE FRUTAS DE KAKI CON DIFERENTES TRATAMIENTOS DE DESHIDRATACIÓN"**

BORSINI, Ariel Alejandro; ALBANI, Oscar Alfredo; RAMALLO Laura Ana. VI Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos-Córdoba- Córdoba-Argentina - UNaM. 2 al 4 de Noviembre de 2016. ISBN: 978-987-45380-0-0

2.5) **"DESHIDRATACION OSMOTICA EN CICLOS SUCESIVOS: EFECTO SOBRE LA CALIDAD DEL PRODUCTO Y DEL JARABE HIPERTÓNICO"**

FERNANDEZ, Paula Rosana; LOVERA, Nancy; ROMERO, Agostina; BORSINI, Ariel Alejandro; RAMALLO, Laura Ana. VI Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos-Córdoba- Córdoba-Argentina - UNaM. 2 al 4 de Noviembre de 2016. ISBN: 978-987-45380-0-0

3) *Publicación de Trabajos Completos*

3.1) **“DESHIDRATACION OSMOTICA DE FRUTAS DE TRES VARIEDADES DE DIOSPYROS KAKI”**

BORSINI A., ALBANI O., RAMALLO LA. IV Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos-Córdoba- Córdoba-Argentina; 14 al 16 de Noviembre de 2012. ISBN: 978-950-33-1068-7

3.2) **“SECADO DE FRUTAS DE *DIOSPYROS KAKI VAR FUYU*”**

BORSINI A., ALBANI O., RAMALLO LA. V Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos-Córdoba- Córdoba-Argentina; 17 al 19 de Noviembre de 2014. ISBN: 978-987-45738-5-8

3.3) **“ISOTERMAS DE SORCIÓN DE KAKI IMPREGNADO CON SACAROSA”**

BORSINI, Ariel Alejandro; ALBANI, Oscar Alfredo; RAMALLO Laura Ana. IX Jornadas Científico-Tecnológicas de la Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales - UNaM. 28 al 30 de Octubre de 2015. ISBN: 978-950-766-112-9

3.4) **“REHIDRATACIÓN DE FRUTAS DE KAKI CON DIFERENTES TRATAMIENTOS DE DESHIDRATACIÓN”**

BORSINI, Ariel Alejandro; ALBANI, Oscar Alfredo; RAMALLO Laura Ana. VI Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos-Córdoba- Córdoba-Argentina . 2 al 4 de Noviembre de 2016. ISBN: 978-987-45380-0-0

3.5) **“CARACTERÍSTICAS DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE ANANA CON REUTILIZACIÓN DEL JARABE HIPERTÓNICO”**

FERNANDEZ, Paula; LOVERA, Nancy; ROMERO, Agostina; **BORSINI**, Ariel Alejandro; RAMALLO, Laura Ana. VI Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos-Córdoba- Córdoba-Argentina. 2 al 4 de Noviembre de 2016. ISBN: 978-987-45380-0-0

Proyectos Científico-Tecnológicos

Se presenta a continuación un listado de los Proyectos Científico-Tecnológicos dentro de los cuales se desarrolló esta Tesis Doctoral:

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:* 31/12/2018

Nombre del Proyecto: Diseño del proceso de impregnación y elaboración de productos reducidos en calorías en base a frutas fortificadas con Ca, Mg y Ácido Ascórbico (Cod.: 16/Q1064-PI)

Directora: Dra. Ramallo Laura

Entidad: FCEQyN-UNaM. Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico (C.I.D.E.T.)

Monto:

Fecha Inicio: 1/01/2019 *Fecha Finalización:* 31/12/2021