

TESIS DE MAESTRÍA

Tecnología de los Alimentos

“Rodajas de peras fortificadas con calcio y zinc
para la elaboración de un tentempié”

Autor: Lic. Daniela Bosco

Director de Tesis: Dra. Patricia Della Rocca

Co Director de Tesis: Dr. Rodolfo Mascheroni

Buenos Aires - 2021

En memoria de mi querido padre Julio.

A mi hermosa hija Gina.

A mi hermoso hijo Lucio.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecerle muy profundamente a la Dra. Patricia Della Rocca, por dirigir mi tesis y transmitirme durante todo este tiempo su conocimiento y experiencia. Quiero destacar su acompañamiento permanente, paciencia, profesionalismo y por sobre todo su calidez humana, que me permitieron transitar este proceso con mucho entusiasmo y motivación.

Le agradezco muchísimo al Dr. Rodolfo Mascheroni, por compartir su extensa experiencia y conocimientos en el tema y por brindarme sus valiosos aportes como co director en la tesis.

Les agradezco a Florencia Tamara Pereyra y a Andrea Merlo (becarias estudiantes de la UTN) por su excelente predisposición para acompañarme en las experiencias y generar momentos tan agradables de trabajo.

Al Mg. Maximiliano Argumedo, por asistirme durante mis experimentaciones en el laboratorio de la Universidad, cada vez que lo precisaba y por ser tan amable y profesional conmigo.

Al Dr. Reynaldo Justino Silva Paz, por brindarme apoyo técnico y transmitirme su experiencia profesional.

A Mercedes Pianetti (del INTI) por darme la posibilidad de trabajar en su laboratorio y poder realizar las microfotografías, brindándome su asistencia profesional.

Agradezco a la Escuela de Posgrado, la Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva y al Departamento de Ingeniería Química de la FRBA, por darme el apoyo financiero necesario para poder llevar a cabo la tesis.

Por último, quiero agradecer especialmente a mi familia:

En memoria de mi padre Julio, por haber sido el mejor padre que podría haber tenido, por brindarme todo su cariño, comprensión y amor, valorando siempre mis estudios y formación profesional.

A mis amados hijos Gina y Lucio, que me dan tantas alegrías y me enseñan todos los días lo maravillosa que es la vida.

A mi madre Silvia por acompañarme y apoyarme siempre en todo lo que emprendo con tanto amor, y por darme los mejores consejos.

A mi compañero incondicional Matías, por su amor, apoyo y aliento en todo lo que emprendo.

A mi hermana Luciana, por acompañarme y estar siempre a mi lado.



Still Life with Apples and Pears -Paul Cezane-



Three Pears – Paul Cezanne-

Recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS)

Como parte de una dieta saludable baja en grasas, azúcares y sodio, la OMS recomienda consumir más de 400 gramos de frutas y verduras al día para mejorar la salud general y reducir el riesgo de determinadas enfermedades no transmisibles.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I

1.1 Introducción al tema de tesis	1
I.2 HIPÓTESIS	2
I.3 OBJETIVOS	2
Objetivos generales	
Objetivos específicos	

CAPÍTULO II

II. INTRODUCCIÓN

II.1 IMPORTANCIA DEL CONSUMO DE FRUTAS PARA LA SALUD	5
II.2 PERA	5
Taxonomía	5
Variedades de pera	5
Principales usos de la pera	7
Variedades comerciales	8
Peras Packham's Triumph	
Características generales	8
Manejo del cultivo	9
Polinización	9
Poda	9
Raleo	10
Cosecha y Postcosecha	10
Maduración	11
Sabor y aroma	11
Áreas y volúmenes de producción	12
Producción de peras en Argentina	12
Exportaciones	13
Consumo	14
Escaldadura superficial	14
Mancha corchosa	15

Propiedades nutricionales de la pera	16
II.3 MINERALES	20
II.3.1 Potasio	20
II.3.2 Importancia del calcio y del zinc en el organismo humano	21
II.3.2.1 Calcio	21
Absorción del calcio	22
Poblaciones en riesgo	22
Consecuencias de la deficiencia de calcio	22
Alimentos aportadores de calcio	23
Ingesta diaria recomendada	23
II.3.2.2 Zinc	24
Absorción y metabolismo	24
Alimentos aportadores de zinc	25
Ingesta diaria recomendada	25
II.4 CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES DE LA PERA Y SU TEJIDO VEGETAL	
Partes de la pera	25
Tejido vegetal	26
Célula vegetal	28
Pared celular	30
Las pectinas y su unión con los cationes Ca^{2+} para formar los pectatos	33
Propiedades biológicas de las pectinas	35
II.5 DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA	35-40
Modificaciones de la célula vegetal durante el proceso de deshidratación osmótica	40
II.6 Diseño de productos vegetales funcionales: impregnación con componentes fisiológicamente activos (componentes bioactivos) como ciertos minerales importantes para la salud	41
II.7 TECNOLOGÍAS DE CONSERVACIÓN CONVENCIONALES Y EMERGENTES	42
Métodos convencionales	42
Métodos emergentes	42
Tecnologías emergentes térmicas	42
Tecnologías emergentes no térmicas	43
II.8 SECADO	44
Secado por microondas	45

Secado por convección con aire caliente	48
Secado combinado	49
II.9 ANÁLISIS SENSORIAL	50
CAPÍTULO III	
III. PARTE EXPERIMENTAL	53
III.1 MATERIALES	53
III.1.1 Materia Prima	53
III 1.2 Caracterización de las muestras de peras	53
III. 1.3 Solución deshidratante/impregnación	53
III. 1.4 Equipo utilizado	54
III.2 MÉTODOS	54
III. 2.1 Determinación de humedad	54
III. 2.2 Determinación de sólidos solubles	54
III. 2.3 Determinación de la firmeza de la pulpa	56
III. 2.4 Determinación de la acidez titulable	56
III. 2.5 Experiencias de deshidratación osmótica/impregnación (DO/I) con minerales	57
Preparación de la solución deshidratante/impregnación	57
III.2.6 Preparación de las muestras de pera	57
III.2.7 Determinación de las condiciones durante la DO/I	58
III.2.8 Condiciones finales de trabajo en las experiencias de DO/I	58
III.2.9 Determinación de peso de las muestras	60
III.2.10 Determinación de humedad de las muestras	60
III.2.11 Determinación de sólidos solubles en la solución y en la fruta	60
III.2.12 Curvas de deshidratación osmótica/impregnación	62
Curva de humedad	62
Impregnación con calcio y zinc	62
Determinación de calcio y potasio de las muestras tratadas por deshidratación osmótica/impregnación por espectrometría de absorción atómica	62
Preparación de las muestras determinación de calcio y de potasio de las muestras tratadas por deshidratación osmótica/impregnación	62
Determinación de zinc de las muestras tratadas por deshidratación osmótica/impregnación	63
III.2.13 Secado combinado (microondas y convección con aire caliente simultáneo) y comparación con el secado convencional por convección con aire caliente de las muestras DO/I	63

Determinación de calcio, potasio y de zinc de las muestras sometidas a secado combinado, por espectrometría de absorción atómica y por ICP/OES	65
III.2.13.1 Curvas de secado combinado	65
III.2.14 Modelos matemáticos	65
III.2.14.1 Modelado del proceso de deshidratación osmótica	65
I. Modelo de Page (1949)	65
II. Modelo de Henderson y Pabis (1961)	66
III. Modelo de Midilli et al. (2002)	66
IV. Modelo de Crank (1975)	67
III.2.14.2 Modelado del proceso de secado combinado (simultáneo con microondas y convección con aire caliente) y secado convectivo (con aire caliente)	69
1. Modelo de Crank (1975)	69
2. Modelo de Wang y Singh (2002)	70
Tratamiento estadístico aplicado a los datos experimentales	70
Optimización final del proceso combinado y del producto obtenido	71
III.2.15 Microscopía electrónica de barrido, MEB	71
III.2.16 Análisis sensorial	72
Encuesta de evaluación sensorial: “Rodajas de peras desecadas”	73

CAPÍTULO IV

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

IV.1 Caracterización de las peras en estado fresco	77
IV.2 Deshidratación osmótica/impregnación de las peras (DO/I)	77
IV.2.1 Modelado matemático del proceso de DO/I	80
Curvas de absorción de calcio y de zinc en el proceso de impregnación de las peras	84
IV.2.2 Estimación de los coeficientes de difusividad mediante el modelo de crank	85
Coeficiente de difusividad efectiva del agua	85
Coeficiente de difusividad efectiva del calcio	86
Coeficiente de difusividad efectiva del zinc	87
IV.3 Secado combinado (secado por microondas y convección con aire caliente), posterior al pretratamiento por DO/I	87
Secado combinado (Microondas a 400 W)	87
Secado combinado (Microondas a 500 W)	90
Secado combinado (Microondas a 600 W)	93

IV.3.1. Modelado matemático del secado combinado	93
Cálculo del coeficiente de difusión efectivo del agua	95
IV.4 Secado por convección con aire caliente	96
IV.4.1 Modelado matemático del secado por convección con aire caliente y comparación con el secado combinado	99
IV.5 Análisis de la microestructura de la pera fresca y de la pera tratada por DO	102
Peras frescas	102
Peras tratadas por deshidratación osmótica/impregnación con minerales	105
Peras sometidas a secado combinado a distintas potencias de microondas y pretratadas por deshidratación osmótica/impregnación con minerales durante 1 hora	108
IV.6 Análisis sensorial evaluado por panel no entrenado	112
Análisis de componentes principales	113
Mejora de las características texturales del producto final	115

CAPÍTULO V

V. CONCLUSIONES	118
------------------------	-----

VI. RECOMENDACIONES O CONSIDERACIONES PARA EL FUTURO	124
---	-----

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	126
--	-----

VIII. TRANSFERENCIA DE RESULTADOS (CONGRESOS Y PUBLICACIONES)	137
--	-----

IX. ANEXO	139
------------------	-----

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO II - INTRODUCCIÓN

Figura 1. “ <i>Pyrus communis</i> ”. Peral europeo o común.	7
Figura 2. Peras Packham’s Triumph.	9

Figura 3. Áreas de producción de <i>Pyrus communis</i> en la República Argentina.	12
Figura 4. Producción de peras del 2009 al 2017.	13
Figura 5. Exportaciones de peras (Miles de toneladas).	13
Figura 6. Escaldadura superficial en peras.	14
Figura 7. Mancha corchosa en peras Beurré D´Anjou.	16
Figura 8. Esquema del metabolismo del calcio y del fósforo.	21
Figura 9. La pera y sus partes.	25
Figura 10. Tejido Vegetal. Su constitución.	26
Figura 11. Esquema de una célula vegetal.	29
Figura 12. Microfotografía de Braquiesclereidas o células pétreas en fruto de pera.	29
Figura 13. Tinción de células pétreas en corte transversal de peras.	30
Figura 14. Pared celular.	30
Figura 15. Esquema de células con su membrana celular, pared celular y laminilla media.	32
Figura 16. Hemicelulosas, celulosa, glucoproteínas y compuestos pécticos.	33
Figura 17. Formación de pectatos de calcio.	34
Figura 18. Estructura de caja de huevo.	35
Figura 19. Esquema de la acción del ácido ascórbico como antipardeante.	40
Figura 20. Plasmólisis de una célula vegetal.	41

CAPÍTULO III – MATERIALES Y MÉTODOS

Figura 21. Peras Packham´s Triumph.	53
Figura 22. Penetrómetro.	56
Figura 23. Extracción del corazón y corte de las peras en rodajas.	57
Figura 24. Medición del espesor de las rodajas con calibre.	58
Figura 25. Preparación de la solución.	59
Figura 26. Recipiente contenedor del sistema peras-solución.	59
Figura 27. Equipo de deshidratación osmótica: agitador orbital y sistema solución-pera en su interior.	60
Figura 28. Refractómetro digital.	61
Figura 29. Equipo de secado combinado con peras en su interior.	64
Figura 30. Estufa de convección con aire caliente y rodajas de peras en su interior.	64
Figura 31. Imagen de peras con las partes analizadas en el microscopio.	71
Figura 32. Microscopio electrónico de barrido, marca Philips 505.	72

Figura 33. Rodajas de peras en vasos listas para evaluación sensorial. 72

CAPÍTULO IV – RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Figura 34. Humedad de la pera en función del tiempo de deshidratación osmótica. 78

Figura 35. Velocidad de deshidratación osmótica de la pera en función del tiempo. 78

Figura 36. Rodajas de peras luego del tratamiento DO/I a diferentes tiempos. 79

Figura 37. Grados Brix de las peras y de la solución deshidratante durante el proceso de deshidratación osmótica. 80

Figura 38. Datos experimentales del proceso de deshidratación osmótica y ajuste del modelo de Page. 82

Figura 39. Datos experimentales del proceso de deshidratación osmótica y ajuste del modelo de Page modificado. 82

Figura 40. Datos experimentales del proceso de deshidratación osmótica y ajuste del modelo de Henderson y Pabis. 83

Figura 41. Datos experimentales del proceso de deshidratación osmótica y ajuste del modelo de Midilli et al. 83

Figura 42. Concentración del Ca y Zn en la pera a diferentes tiempos de deshidratación osmótica/impregnación. 85

Figura 43. Datos experimentales del proceso de deshidratación osmótica y regresión lineal del modelo de Crank. 86

Figura 44. Datos experimentales del proceso de impregnación con calcio y regresión lineal del modelo de Crank. 86

Figura 45. Datos experimentales del proceso de impregnación con zinc y regresión lineal del modelo de Crank. 87

Figura 46. Peras sometidas a un secado combinado (microondas a 400 W) durante 15 min pretratadas por deshidratación osmótica/impregnación con lactato de calcio durante 1 h. 88

Figura 47. Peras sometidas a un secado combinado (microondas a 400 W) durante 15 min pretratadas por deshidratación osmótica/impregnación sin lactato de calcio durante 1 h. 89

Figura 48. Peras sometidas a un secado combinado (microondas a 500 W) durante 10 min pretratadas por deshidratación osmótica/impregnación sin lactato de calcio (a) y con lactato de calcio (b) durante 1 h. 90

Figura 49. Peras secadas solo por microondas a una potencia de 600 W, pretratadas por deshidratación osmótica/impregnación con lactato de calcio durante 1 h. 92

- Figura 50.** Peras secadas de modo combinado (microondas 500 W) durante 6 min de un lado, reposo de 1min y luego secado durante 5 min del otro lado, pretratadas por deshidratación osmótica/impregnación con lactato de calcio durante 1h. 92
- Figura 51.** Peras secadas de modo combinado (microondas 600 W) durante 4 min de un lado, reposo de 5.5 min, 4 min del otro lado, reposo de 5.5 min y 4 min nuevamente del primer lado, pretratadas por deshidratación osmótica/impregnación con lactato de calcio durante 1 h. 93
- Figura 52.** Datos experimentales de humedad en función del tiempo durante el proceso de secado combinado (microondas a potencia 500 W con convección con aire caliente). 94
- Figura 53.** Modelo de Page aplicado a los datos experimentales de relación de humedades (RH) durante el secado combinado (microondas/convección con aire caliente). 94
- Figura 54.** Ajuste del Modelo de Wang y Singh a los datos experimentales de humedad durante el secado combinado (microondas 500 W con convección con aire caliente). 95
- Figura 55.** Modelo de Crank aplicado a los datos experimentales de relación de humedades (RH) durante el secado combinado (microondas/convección con aire caliente). 96
- Figura 56.** Peras pretratadas por deshidratación osmótica durante 1 h y secado por convección con aire caliente, SC, a 90 °C a diferentes tiempos. 97
- Figura 57.** Humedad en función del tiempo para el secado por convección con aire caliente a una temperatura de 90 °C. 98
- Figura 58.** Ajuste del modelo de Wang y Singh a los datos experimentales de humedad en el proceso de secado convectivo con aire caliente a 90 °C. 100
- Figura 59.** Ajuste del modelo de Crank a los datos experimentales de humedad en el proceso de secado convectivo con aire caliente a 90 °C. 101
- Figura 60.** Imagen obtenida por microscopía electrónica de barrido correspondiente a las peras frescas, región externa de la pulpa (cerca de la piel). 103
- Figura 61.** Imagen obtenida por microscopía electrónica de barrido correspondiente a las peras frescas, región interna de la pulpa (lejos de la piel). 103
- Figura 62.** Imagen obtenida por microscopía electrónica de barrido correspondiente a las peras frescas, región interna de la pulpa (lejos de la piel). 103
- Figura 63.** Imagen obtenida por microscopía electrónica de barrido correspondiente a las peras frescas (piel). 103
- Figura 64.** Imágenes de células pétreas (cúmulos o clusters) por fluorescencia. Fuente: Tao et al., 2009. 104
- Figura 65.** Análisis de la distribución de minerales por espectroscopía de energía dispersiva de rayos X, tomadas en la zona de piel de las peras frescas. 104

- Figura 66.** Análisis de la distribución de minerales, por espectroscopía de energía dispersiva de rayos X, Pera Packham 's Triumph fresca, región interna de la pulpa. 105
- Figura 67.** Análisis de la distribución de minerales, por espectroscopía de energía dispersiva de rayos X, Pera Packham 's Triumph fresca región externa de la pulpa. 105
- Figura 68.** Imagen obtenida por microscopía electrónica de barrido correspondiente a la estructura de las peras deshidratadas osmóticamente 50x. 106
- Figura 69.** Imagen obtenida por microscopía electrónica de barrido correspondiente a la estructura de las peras deshidratadas osmóticamente 400x. 106
- Figura 70.** Imagen obtenida por microscopía electrónica de barrido correspondiente a la estructura de las peras deshidratadas osmóticamente, parte interna de la rodaja, lejos de la piel. 107
- Figura 71.** Imagen obtenida por microscopía electrónica de barrido correspondiente a la estructura de las peras deshidratadas osmóticamente, parte externa de la rodaja, cercana a la piel. 107
- Figura 72.** Imagen obtenida por microscopía electrónica de barrido correspondiente a la estructura de la pera secada de forma combinada (500 W) pretratada por osmodeshidratación/impregnación. Parte externa de la rodaja, cercana a la piel. 109
- Figura 73.** Imagen obtenida por microscopía electrónica de barrido correspondiente a la estructura de la pera secada de forma combinada (500 W) pretratada por osmodeshidratación/impregnación. Parte interna de la rodaja, lejana a la piel. 109
- Figura 74.** Imagen obtenida por microscopía electrónica de barrido correspondiente a la estructura de la pera secada de forma combinada (600 W) pretratada por osmodeshidratación/impregnación. Parte interna de la rodaja (100x). 110
- Figura 75.** Imagen obtenida por microscopía electrónica de barrido correspondiente a la estructura de la pera secada de forma combinada (600 W) pretratada por osmodeshidratación/impregnación. Parte interna de la rodaja (800x). 110
- Figura 76.** Imagen obtenida por microscopía electrónica de barrido correspondiente a la estructura de la pera secada de forma combinada (600 W) pretratada por osmodeshidratación/impregnación. Parte externa de la rodaja (100x). 111
- Figura 77.** Imagen obtenida por microscopía electrónica de barrido correspondiente a la estructura de la pera secada de forma combinada (600 W) pretratada por osmodeshidratación/impregnación. Parte externa de la rodaja (400x). 111
- Figura 78.** Análisis de componentes principales. 113
- Figura 79.** Representación Biplot. 114
- Figura 80.** Agrupamiento de las muestras según sus atributos característicos en un diagrama Biplot. 115

Figura 81. Fotos de las muestras 487 (a) y 176 (b) con secado final convectivo a 50 °C.	116
--	-----

CAPÍTULO V – CONCLUSIONES

Figura 82. Fábricas de vegetales con luz artificial. Agricultura sostenible 137 (Fuente INFOBAE, 2019).	122
--	-----

IX. ANEXO

Figura 83. Datos experimentales de humedad en función del tiempo DO/I (3 experiencias)	139
Figura 84. Datos experimentales de humedad en función del tiempo. Secado combinado (microondas 500 W y convección con aire caliente).	141
Figura 85. Datos experimentales de humedad en función del tiempo Secado por convección con aire caliente a 90° C.	142

LISTA DE TABLAS

CAPÍTULO II – INTRODUCCIÓN

Tabla I. Composición nutricional y valor energético de la pera.	17
Tabla II. Contenido de azúcares en frutos en %.	19
Tabla III. Principales macroelementos y su contenido en el cuerpo.	20

CAPÍTULO IV – RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla IV. Resultados de la caracterización de la pera en estado fresco.	77
Tabla V. Parámetros de las ecuaciones de los modelos y bondades del ajuste.	81
Tabla VI. Ecuaciones matemáticas utilizadas para el ajuste de las cinéticas de peras osmodeshidratadas/impregnadas.	84
Tabla VII. Resultados de la observación macroscópica y descripción de características organolépticas en función del tiempo de tratamiento de las peras secadas de modo combinado (microondas a 400 W), pretratadas por deshidratación osmótica/impregnación con lactato de calcio.	88

Tabla VIII. Resultados de la observación macroscópica y descripción de características organolépticas en función del tiempo de tratamiento de las peras secadas de modo combinado (microondas a 400 W), pretratadas por deshidratación osmótica/impregnación sin lactato de calcio. 89

Tabla IX. Parámetros de los modelos aplicados a los datos experimentales en el proceso de secado convectivo con aire caliente y en el secado combinado. 99

Tabla X. Análisis estadístico de los atributos de las muestras. 113

Tabla XI. Modificaciones de la muestra sometida a secado convectivo con aire caliente a 50 °C en el tiempo. 116

IX-ANEXO

Tabla XII. Valores de humedad en función del tiempo para tres experiencias. 139

Tabla XIII. Dimensiones de las rodajas de peras. 140

Tabla XIV. Impregnación de las peras con Ca y Zn (valores de concentración) en el tiempo. 140

Tabla XV. Valores de humedad en función del tiempo para dos experiencias de secado Combinado a 500W. 141

Tabla XVI. Datos de humedad en función del tiempo para dos experiencias de secado por convección con aire caliente a 90°C. 142

Tablas correspondientes a los datos del análisis sensorial y su tratamiento estadístico 143

LISTA DE ABREVIATURAS

AOAC Association of Oficial Analytical Chemists

AVG aminoetoxivinilglicina

bh Base húmeda

Ca Calcio

CTols trienos conjugados

D₀ Coeficiente pre-exponencial

Def Coeficiente de difusión o difusividad efectiva

DO Deshidratación osmótica

DOV Deshidratación osmótica en vacío

DPA difenilamina

EDS energía de dispersión de rayos X

EE. UU. Estados Unidos

F₀ Número de Fourier

FAO Food and Agriculture Organization

FEN Fundación Española de la Nutrición

FEU Forty Foot Equivalent Unit

Fig. Figura

GE Grado de esterificación

GS Ganancia de sólidos

H Hora

H Humedad

HM Pectinas de alto metoxilo, en inglés *High methoxyl pectin*

Hz Hertz

I Impregnación

IDR Ingestas Dietéticas de Referencia

INIA Instituto de Investigaciones Agropecuarias de Chile

INTA Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

L litros

Lbf libras fuerza

LM Pectinas de bajo metoxilo, en inglés *Low methoxyl pectin*

M Masa

MEB microscopía electrónica de barrido

GHz: 10⁹ Hz

MHz: 10⁶ Hz

min Minutos

mL Mililitros

mmHg milímetro de mercurio

OMS Organización Mundial de la Salud

PA pérdida de agua

pH Potencial de hidrógeno

PP Pérdida de peso

PTH Parathormona

Pulg 2 Pulgada cuadrada

R Constante universal de los gases

SC Secado convectivo

ST sólidos totales

T Temperatura

USA United States of América

USP United States Pharmacopea

UV ultravioleta

W Watt

WHO World Health Organization

X aumentos en microscopía

X dimensión de longitud

Zn Zinc

1-MCP 1-metilciclopropeno

RESUMEN

El objetivo fue obtener peras de la variedad Packham's Triumph secadas por microondas en simultáneo con convección con aire caliente (secado combinado), previo pretratamiento por impregnación con calcio y zinc para mejorar su valor nutricional, su textura y alcanzar una adecuada humedad que permitiese extender su vida útil. Las rodajas de peras se sumergieron en una solución acuosa que contenía sales de lactato de calcio y de acetato de zinc. Se determinó la concentración de Calcio y Zinc en el producto durante el tiempo de impregnación por espectrofotometría de absorción atómica de llama y por ICP/POES, respectivamente. Para lograr extender la vida útil del tentempié, se tomó la muestra osmodeshidratada/impregnada durante 1h y posteriormente, se secó mediante secado combinado. Se realizaron pruebas a diferentes potencias de microondas y tiempos. Este método de secado combinado se comparó con el secado por convección con aire caliente solo, y presentó la ventaja de reducir los tiempos de exposición y obtener un producto de mejores características organolépticas. El producto obtenido luego del secado combinado presentó algunas propiedades texturales que requirieron mejora, mediante un secado convectivo final con aire caliente. Los procesos de deshidratación osmótica/impregnación, secado combinado y de convección con aire caliente se modelaron matemáticamente mediante modelos empíricos y uno del tipo fenomenológico basado en la segunda Ley de Fick de la difusión como el de Crank que se utilizó para calcular los coeficientes de difusión efectivos. La microestructura de las peras frescas y tratadas se analizó por microscopía electrónica de barrido y la concentración de minerales superficial se determinó por espectroscopía de dispersión de rayos X. Se realizó el análisis sensorial para determinar las muestras de mejores características organolépticas. Finalmente, se determinó la concentración de calcio y de zinc en el producto final elegido, luego de todos los tratamientos, con el fin de conocer el aporte que una porción de fruta deshidratada de 25 g cubre de los porcentajes requeridos de estos minerales para una dieta diaria de 2000 Kcal. Palabras claves: peras fortificadas, peras secadas por microondas y convección, secado combinado de peras, peras impregnadas con Ca y Zn, peras deshidratadas osmóticamente.

Abstract

The aim of this thesis is to obtain pears (var. Packham 's Triumph) dried by a combined method (microwave and hot air convection), pretreated by osmotic dehydration/impregnation process with calcium and zinc. The main purpose is to improve the nutritional value, the characteristic texture and reach an adequate humidity which allows a stable shelf product. The pear slices were immersed in an aqueous solution, which contained lactate calcium and acetate zinc. The calcium and zinc concentrations were measured by a flame atomic absorption spectrophotometer and by ICP / POES, respectively. The impregnation with minerals was analysed in relation to time. In order to extend the useful life of the snack, the osmodehydrated / impregnated sample was taken for 1h and subsequently, it was dried by combined drying. Tests were carried out at different microwave powers and times. This combined drying method was compared to convection drying with hot air alone, and had the advantage of reducing exposure times and obtaining a product with better organoleptic characteristics. The product obtained after combined drying showed some textural properties that required improvement, by means of a final convective drying with hot air. The processes of osmotic dehydration / impregnation, combined drying and convection with hot air were mathematically modeled using empirical models and one of the phenomenological type based on Fick's second Law of diffusion such as Crank's that was used to calculate the effective diffusion coefficients. The microstructure of fresh and treated pears was analyzed by scanning electron microscopy. Mineral concentration at the surfaces of these samples was determined by X-ray dispersion spectroscopy. Afterwards, these samples were studied by sensorial analysis with the aim to know the contribution that a portion of 25 g, cover a percentage of these minerals (Ca and Zn) for a daily diet of 2000 kcal. Keywords: fortified pears, pears dried by microwave and convection, combined drying of pears, pears impregnated with Ca and Zn, osmotically dehydrated pears.

1.1 INTRODUCCIÓN AL TEMA DE TESIS

La pera, variedad Packham's Triumph se eligió para elaborar el tentempié porque es de menor consumo que la variedad Williams en Argentina. A través de la elaboración de este *snack*, su sabor, textura y propiedades nutricionales puede ser mejorada. Además, pueden aprovecharse los desperdicios que se generan durante las inclemencias climáticas y los problemas de manejo de la cosecha.

En esta tesis, se realizó la incorporación de minerales a las peras por inmersión en una solución con lactato de calcio y acetato de zinc en una concentración de 5% m/m y de 0,1% m/m, respectivamente. Por su parte, el lactato de calcio posee una moderada solubilidad en agua a 25°C (9,3 g/L) y su sabor es ligeramente dulce. Si bien su contenido en calcio es del 13%, inferior a otras sales como el citrato de calcio (21%), este último tiene una muy baja solubilidad en agua (0,2 g/L) (Lovera, 2016). La fruta deshidratada osmóticamente en soluciones con lactato de calcio muestra una buena aceptación sensorial (Yadav y Singh, 2014). En cuanto al acetato de zinc, se presenta como un polvo cristalino blanco y es fácilmente soluble en agua (Puerto Galán, 2016). Existen algunas sugerencias de que el gluconato de zinc es más eficaz, sin embargo, podría provocar ciertas intolerancias digestivas (Penny, 2013). Durante este pretratamiento se produce la deshidratación osmótica y la impregnación con minerales de forma simultánea. La solución en la que se sumerge el producto ejerce un efecto deshidratante a través de la diferencia de presión osmótica que se manifiesta entre la solución y el alimento. Se produce un flujo de agua desde el alimento hacia la solución hipertónica y un contraflujo de solutos que integran la solución hacia el producto. De esta manera, el alimento disminuye su humedad además de impregnarse con los minerales en forma simultánea. Durante este proceso, se trabajó a presión atmosférica ya que otros investigadores encontraron que esta es la forma más conveniente para obtener un tentempié de textura adecuada. En el proceso de deshidratación osmótica se pueden obtener valores de pérdida de humedad del orden de 50-60 % del contenido inicial en el alimento, por lo que se producen modificaciones significativas tales como la reducción en el volumen, cambio de forma y estructura del alimento, así como variaciones en los coeficientes de difusión y de transferencia de masa (Spiazzi y Mascheroni, 1997). La humedad alcanzada luego de la deshidratación osmótica no llega a un valor que evite su deterioro microbiano, por lo que, para extender la vida útil del producto, posterior al pretratamiento por deshidratación osmótica se procede a realizar un secado para llegar a una humedad cercana al 20 %, tal lo recomendado por el Código Alimentario Argentino, CAA.

I.2 HIPÓTESIS

“En esta tesis se propone desarrollar un producto que pueda ser considerado un tentempié ‘*snack*’ saludable, es decir, que presente bajo contenido en sodio, aporte vitaminas y minerales propios del vegetal como potasio y fósforo, además de estar fortificado con calcio y zinc. También por ser una fruta no posee grasas saturadas ni colesterol, ventaja respecto de otros snacks de mercado de muy alto consumo, hoy en día. Dadas las características mencionadas se podría considerar un alimento funcional. Asimismo, la intención es lograr un producto mediante secado combinado (microondas con convección con aire caliente simultáneo) con características similares a la de un fruto en estado fresco, pero de mayor vida útil”.

I.3 OBJETIVOS

Los objetivos de este trabajo de tesis son:

Objetivos generales

1. Obtener un tentempié ‘*snack*’ que posea un alto contenido en minerales (Ca y Zn) a través de un proceso de deshidratación osmótica/impregnación y una vida útil extendida que se pueda lograr mediante la aplicación de un secado combinado posterior al pretratamiento.
2. Modelar matemáticamente las cinéticas de los procesos de deshidratación osmótica/impregnación y secado combinado (microondas con convección con aire caliente simultáneo).
3. Seleccionar el proceso más adecuado para la obtención de un producto final con mejores características organolépticas, trabajando con diferentes tiempos y potencias de microondas durante el secado combinado.
4. Evaluar la microestructura aplicando análisis por imágenes y poder estimar características texturales del producto.
5. Analizar sensorialmente el producto final obtenido.

Objetivos específicos

1. Buscar y determinar las condiciones de proceso: concentración de solutos, temperatura y nivel de agitación adecuada para lograr una correcta impregnación del producto con los minerales (Ca y Zn) y a su vez reducir el contenido de humedad.
2. Analizar la impregnación de la pera con los minerales (Ca y Zn) a través del tiempo durante el proceso de deshidratación osmótica/impregnación, midiendo la concentración de los mismos por espectrofotometría de absorción atómica y por ICP/POES.
3. Determinar los modelos matemáticos que ajustan de manera más satisfactoria los datos experimentales durante el proceso de deshidratación osmótica/impregnación. Aplicar modelos empíricos como los modelos de Page, Page modificado, Henderson y Pabis y Midilli et al. y también modelos fenomenológicos basados en la segunda Ley de Fick de la difusión como el modelo Crank.
4. Estimar los coeficientes de difusión efectiva del agua, de los sólidos y de los minerales (Ca y Zn) mediante la aplicación del modelo de Crank para el proceso de deshidratación osmótica/impregnación.
5. Analizar el contenido de los minerales (Ca, Zn y K) del producto final, luego de todo el proceso de secado, midiendo la concentración de calcio y potasio a través de espectrofotometría de absorción atómica y de zinc por ICP/OES.
6. Aplicar los modelos de Page, Crank y Wang y Singh para correlacionar el contenido de humedad con el tiempo durante el proceso de secado convectivo con aire caliente solamente y el secado combinado (convectivo con aire caliente y microonda simultáneo).
7. Estimar los coeficientes de difusión efectiva del agua mediante la aplicación del modelo de Crank para los procesos de secado convectivo con aire caliente solamente y el secado combinado (convectivo con aire caliente y microonda simultáneo).
8. Analizar cómo se modifica la microestructura del producto con los diferentes tratamientos (deshidratación osmótica/impregnación y diferentes tipos de secado) mediante microscopía electrónica de barrido y analizar la distribución superficial de minerales por espectroscopía de dispersión de energía de rayos X.

II. INTRODUCCIÓN

II.1 Importancia del consumo de frutas para la salud

El consumo de frutas y vegetales resulta beneficioso para la salud no sólo por su aporte en compuestos de elevado valor nutritivo, sino también por su contribución a la prevención de ciertas enfermedades tales como cáncer, diabetes y patologías cardiovasculares. Asimismo, las frutas con sus componentes bioactivos intervienen en el retraso de procesos degenerativos como el envejecimiento.

En la actualidad, los ritmos de vida vertiginosos y los hábitos más sedentarios de la población promueven una inadecuada alimentación. La mayoría de las personas optan por consumir refrigerios que generalmente son poco saludables (alto contenido de lípidos y sodio y bajo en minerales como calcio, hierro y zinc). Por ello, la importancia de la elaboración de un refrigerio a base de fruta. Además, que las peras se consideran una buena fuente de fibra (3,1 g/100 g., USDA, 2016) y pueden suministrar cantidades sustanciales de potasio (Xue, 2004).

La Organización Mundial de la Salud, OMS, impulsa el aumento en el consumo de frutas y vegetales. Así surgió, la estrategia 5 al día que promueve el consumo de 5 raciones diarias de frutas y hortalizas. Este hábito contribuirá a adquirir una dieta saludable. Desde la industria alimenticia, existe un creciente interés en desarrollar nuevos productos para revertir hábitos alimentarios poco saludables. También, cabe destacar que, gracias a las mejoras en las técnicas de preservación, transporte, sistemas de comercialización y distribución se disminuyen las pérdidas sufridas en las diferentes etapas de esta cadena de acceso al consumidor y es posible así, incrementar el consumo de frutas (Gamboa-Santos et al., 2016).

II.2 Pera

La pera es un fruto carnoso según la consistencia de su pericarpio. Se desarrolla a partir de una flor con ovario ínfero en la que el receptáculo que rodea al ovario o hipanto crece considerablemente y constituye la mayoría de la parte comestible, este tipo de fruto se denomina pomo (García Breijo, 2012).

Taxonomía

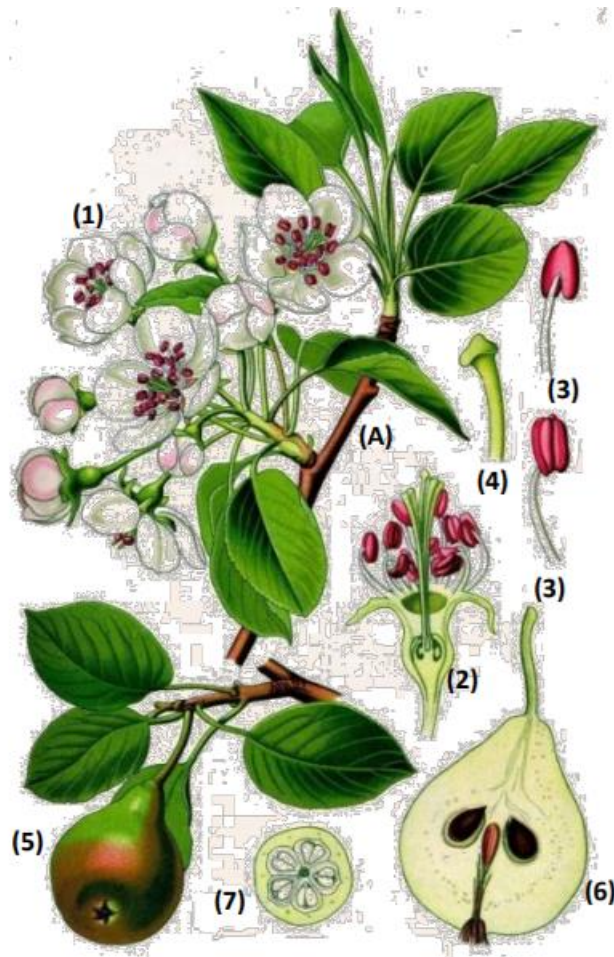
El peral pertenece a los frutales de pepitas, orden Rosales, familia Rosaceae, subfamilia Maloideae o Pomoideae, género *Pyrus* especie *Communis* L.

Variedades de pera

El Alto Valle de Río Negro y Neuquén es la principal zona productora y exportadora de peras de la Argentina. Los principales cultivares utilizados son Williams, Packham's Triumph, Beurré D'Anjou y Abate Fetel (SENASA, 2012). Aproximadamente el 90% de estas plantaciones se encuentra sobre el portainjerto Franco (*Pyrus communis* L.), que induce un elevado vigor y una lenta entrada en producción. Una ventaja de este portainjerto es su perfecta afinidad con todas las variedades de peral. Sin embargo, demuestra ser sensible al pulgón lanígero (*Eriosoma lanigerum*), a *Erwinia amylovora* y a *Agrobacterium tumefaciens*, mientras que resulta tolerante al decaimiento del peral (Pear Decline) (Gergoff Grozeff, 2007).

El peral (*Pyrus communis*), cuyo origen es Europa, es un árbol frutal que crece de 2 a 20 m de altura. Su tronco es de color gris y posee una vida media de 65 años. Es de raíz leñosa profunda con flores de color blanco formadas por 5 pétalos lanceolados estrechados en punta. Crece en zonas de clima cálido templado tropical.





- (A) Rama con hojas y flores
- (1) Flor abierta
- (2) Sección longitudinal de la flor
- (3) Detalle de las anteras
- (4) Detalle del estilo y estigma
- (5) Fruto en pomo
- (6) Sección longitudinal del pomo mostrando las semillas
- (7) Sección transversal del pomo

Figura 1. “*Pyrus communis*”. Foto Peral europeo o común (Fuente Mayor). Componentes del peral (García Breijó, Universidad Politécnica de Valencia, UPV)

Los valles irrigados del norte de la Patagonia reúnen condiciones agroecológicas excepcionales para el cultivo de esta especie. La calidad de la variedad Williams lograda en estos valles es una de las más altas del mundo.

Principales usos de la pera

El uso principal de la pera es gastronómico, industria conservera, industria elaboradora de mermeladas, compotas e industria de la sidra.

Variedades comerciales

Aproximadamente el 50% de la cosecha nacional corresponde a la variedad Williams y el 27% a Packham's Triumph. Luego continúan la variedad Beurrè D'Anjou y la variedad Abate Fetel con el 10% y el 1% respectivamente, del volumen producido. En el Alto Valle cerca de la mitad de la superficie está plantada con la variedad Williams, mientras que en el Valle de Uco la proporción asciende al 80%. Existen otras variedades de más reciente difusión y menores superficies de cultivo.

Peras Packham's Triumph

Características generales

Esta variedad de peras es autoincompatible y su floración es temprana. Entre otras, puede ser polinizada por Beurrè D'Anjou y Abate Fetel. En el Norte de la Patagonia florece entre el 18 y el 22 de septiembre.

El fruto es piriforme de base ancha y corta, de tamaño medio a grande. Su peso promedio se halla en el rango de 270-280 g, con una altura y un calibre medio de 95 y 75 mm respectivamente. El pedúnculo es largo, leñoso, de inserción vertical y su cavidad peduncular se encuentra apenas definida. La epidermis es de color verde claro, cambiando a amarillo en la madurez, con numerosas lenticelas oscuras; la superficie externa se encuentra cubierta de numerosas protuberancias. La pulpa es blanco-cremosa, consistente y de textura fina, dulce y ligeramente acidulada. Por otro lado, los niveles de nitrógeno, calcio, magnesio, manganeso, hierro, cobre, zinc y boro muestran una disminución radial de las concentraciones desde la piel del fruto hasta los tejidos más internos (Saquet, A.A., Streif, J. & Almeida, D.P., 2019)

En los Valles de Río Negro y Neuquén madura hacia fines de la primera semana de febrero, cuando el fruto cuenta con un desarrollo promedio de 138 días desde el momento de la plena floración. Son bastante resistentes. Soportan muy bien el almacenamiento, aunque son susceptibles a la escaldadura superficial y a la deshidratación del pedúnculo. También son sensibles al ataque de *Botrytis* sp. por el extremo distal del pedúnculo, pero debido a sus características estructurales no es tan atacable como la variedad Anjou. A temperaturas de 0 a -1° C y humedad relativa del 92-94 %, cosechadas en el momento oportuno, se conservan en buenas condiciones durante 6 a 7 meses. Asimismo, algunas experiencias señalan que pueden mantenerse adecuadamente con las siguientes atmósferas controladas: 2-3 % de O₂ con 1-2 % de CO₂ o 2-3 % de O₂ con 4-5 % de CO₂. Algunos investigadores recomiendan mantener el CO₂ por debajo del 5 %.



Figura 2. Peras Packham's Triumph. Fuente: INTA 2012

Manejo del cultivo

El peral se multiplica por siembra con el fin de obtener plantones o francos para el injerto. Estos se emplean en el campo para realizar el injerto de los perales silvestres que se buscan en los bosques. Como en general son viejos y pequeños suelen dar escasos resultados. Prácticamente, el único procedimiento de multiplicación usual es el injerto. Como portainjertos, son empleados diferentes sujetos, pero los dos más corrientes son el franco y el membrillero. Este último posee la ventaja de producir frutos de una mayor calidad. Parece que una cierta falta de afinidad tiende a mejorar las características organolépticas de los frutos (células pétreas, astringencia) así como el calibre (Gergoff Grozeff, 2007).

Polinización

Al no contar con variedades "floríferas" deben interplantarse variedades comerciales, seleccionándolas por la coincidencia de los períodos respectivos de floración. Para asegurar mayor cantidad y calidad de frutas en las nuevas plantaciones, es conveniente colocar más de una fuente de polen, aun cuando se trate de variedades sin valor económico. Las peras asiáticas constituyen una buena alternativa para la polinización. Deben elegirse variedades que presenten sus períodos de floración coincidentes con la variedad comercial a polinizar y con buen retorno de floración.

Poda

Los tipos de poda pueden ser de formación y de producción o fructificación.

Poda de formación: el peral puede adaptarse a todo tipo de formas, pero las más adecuadas son: pirámide, huso, cordón vertical, cordón horizontal simple, palmeta simple y palmeta doble. En las localidades de clima caluroso se recomiendan las formas libres y si están demasiado sometidas al viento, las pirámides y los husos. Del mismo modo se prefieren las formas libres en los terrenos muy ricos y profundos. Sin embargo, en climas húmedos, expuestos a las heladas tardías

primaverales y las tempranas otoñales, convienen las formas apoyadas, y si el terreno es poco fértil y superficial, también son preferibles en general las formas pequeñas.

Poda de producción o fructificación: busca obtener y mantener sobre los brazos únicamente ramos de fruto. El fruticultor debe procurar, como objetivo principal, la producción de lamburdas provistas de bolsas, dardos fructíferos, vegetativos y brindillas. La poda de estas lamburdas debe regularse de manera que se obtengan constantemente frutos lo más próximos al brazo, sin agotar demasiado la planta. Con el despunte se persigue que afluya la máxima cantidad de savia a los dardos.

Raleo

El propósito del raleo en la variedad Packham's Triumph es eliminar aquellos frutos de calidad no comercial. En muchos casos se realiza una intervención sobre los frutos pequeños para eliminar competencia, no siendo el resultado tan notorio como en el grupo Williams, en cuanto a la influencia sobre el calibre de los frutos que quedan sobre la planta. Los calibres en ésta variedad tienen una fuerte correlación con las condiciones climáticas en el momento de floración y las de polinización. El raleo manual se puede realizar hasta fines del mes de diciembre, teniendo presente que Packham's presenta una caída natural de frutos hasta fines de noviembre.

Cosecha y Postcosecha

Los perales tienen tendencia a la caída de frutos antes de la cosecha. La caída puede incrementarse si las plantas sufren deficiencia de boro, magnesio o humedad, o si están excesivamente fertilizadas con nitrógeno. Por tanto, el tratamiento con hormonas se ha convertido en una práctica habitual, generalmente, entre cinco a diez días antes de la cosecha, o bien cuando aparece la primera evidencia de una caída normal de los frutos. Estas pulverizaciones hormonales aceleran la maduración de la fruta, estando o no la misma en la planta.

A diferencia de la mayoría de las frutas procedentes de árboles caducos, las peras presentan mejor calidad cuando se cosechan en estado ligeramente verde. Resulta difícil seleccionar el momento apropiado para la cosecha de peras, pero las características más utilizadas incluyen aumento en el tamaño, incremento del contenido de azúcares, sólidos solubles, en los constituyentes que determinan el ablandamiento y propiedades aromáticas y un cambio gradual en el color de la base que cambia de verde a verde amarillento, seguido por el amarillo verdoso y finalmente se torna totalmente amarilla.

En Packham's Triumph, las principales características son la pérdida de color de la epidermis, ablandamiento de la pulpa y daño por fricción (roce). Durante varios años se ha investigado en el

desarrollo de estrategias de manejo de guarda para esta variedad; la aplicación de 1-MCP (1-metilciclopropeno) a la cosecha ha sido una de ellas. Sin embargo, su utilidad a nivel comercial es aún restringida, dado que puede inhibir completamente la maduración, de no utilizarse un plan adecuado de aplicación. Los primeros trabajos desarrollados en el Centro INIA La Platina del Instituto de Investigaciones Agropecuarias de Chile con esta tecnología apuntaron a estudios dosis-respuesta, encontrándose que dosis iguales o superiores a 200 ppb retienen el avance de la madurez. Por otra parte, se trabajó también en protocolos de aplicación de 1-MCP (1-metilciclopropeno), con el fin de evitar la inhibición completa de la maduración de los frutos. Éstos han estado enfocados en el retraso de la aplicación a cosecha, así como uso de etileno exógeno. Sin embargo, la respuesta para obtener un buen producto con esta tecnología está orientada a entender cómo afecta la temperatura durante la precosecha al proceso de maduración. Al ser producida bajo diversas condiciones agroclimáticas, sumado a un extenso período de cosecha dentro de cada huerto, esta variedad, varía su potencial de maduración al momento de cosecha, por lo que la respuesta frente a una inhibición de etileno estará condicionada a ello (Defilippi et al. 2015).

Maduración

Las peras europeas generalmente no tienen la capacidad de madurar a cosecha, pero debe someterse a temperaturas frías o tratarse con etileno para inducir su capacidad de maduración. El almacenamiento en frío promueve la biosíntesis de etileno, pero la respuesta varía dependiendo de varios factores incluyendo el cultivar, la madurez en la cosecha, el tiempo de almacenamiento en frío, la temperatura de almacenamiento y la composición del gas.

Se dispone de varios métodos y se están desarrollando otros para retardar el desarrollo de la madurez de la pera y la maduración en el árbol y la senescencia del fruto después de la cosecha y durante el almacenamiento, incluyendo 1-MCP (1-metilciclopropano) y AVG. (aminoetoxivinilglicina). Además del control apropiado de la temperatura y la humedad relativa durante el almacenamiento, el manejo cuidadoso de la fruta y las prácticas de saneamiento, el almacenamiento en atmósfera controlada sigue siendo una de las mejores opciones para controlar la maduración y la senescencia a largo plazo.

El almacenamiento en frío de peras mantiene una alta calidad por mucho más tiempo y permite controlar los trastornos fisiológicos, como escaldaduras y rupturas internas (Villalobos-Acuña y Mitcham, 2008).

Sabor y aroma

El aroma de la pera puede verse influido por una amplia gama de factores, incluidas las diferencias genéticas, los factores previos a la cosecha, la madurez en la cosecha, las condiciones de almacenamiento y la fisiología del fruto (localización volátil intra-fruta, maduración, senescencia y presencia de trastornos) (Rapparini y Predieri, 2003).

Áreas y volúmenes de producción

La República Argentina participa con un 3% en la producción mundial de frutas de pepita y es el principal productor de peras del hemisferio sur, con casi la mitad del volumen total. Cuenta aproximadamente con 600.000 hectáreas ocupadas por frutales. Cerca de 30.000 corresponden a distintas variedades de pera, que se comercializan en fresco, tanto para el mercado interno como el externo, o procesadas. Esta superficie se concentra principalmente en el Alto Valle del Río Negro y Neuquén, Valle Medio del Río Negro y en el oasis Sur y Valle de Uco en Mendoza. Otras zonas de menor relevancia son 25 de Mayo en La Pampa y el Valle del Tulum en San Juan.



Figura 3. Áreas de producción de *Pyrus communis* en la República Argentina (Fuente: SENASA, 2017).

Producción de peras en Argentina

En la Figura 7 se aprecia una caída en la producción de pera del 31,7 % desde el año 2009 al 2017.

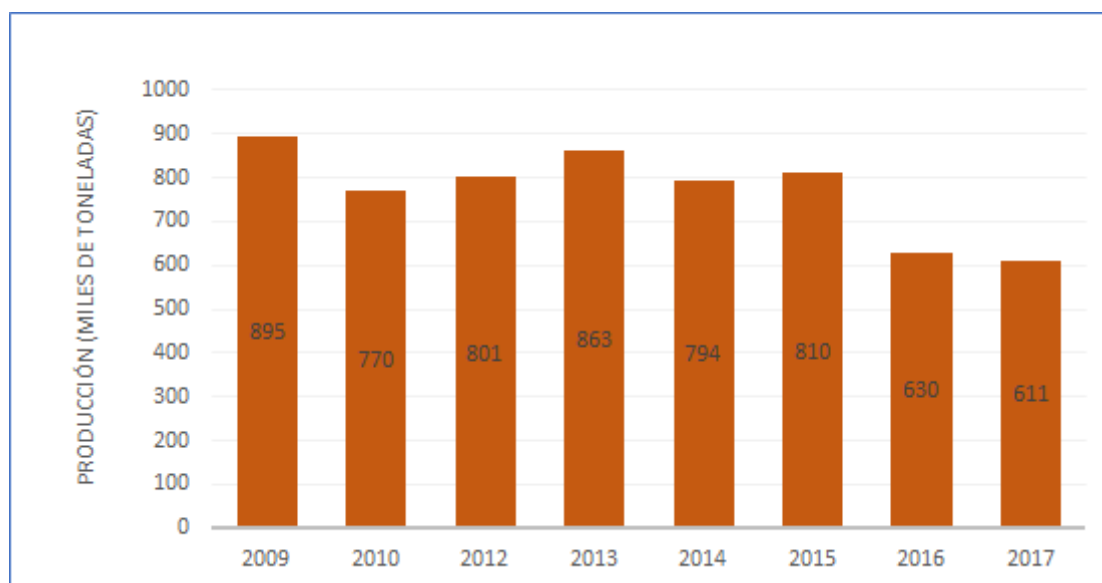


Figura 4. Producción de peras del 2009 al 2017.

La producción de pera en el período 2018/2019 fue de 590.000 ton (en baja respecto del 2017). Se presentaron problemas en producción por los altos costos operativos y malas condiciones económicas que tuvieron que afrontar los productores. Además, a principios de enero de 2020 se registraron fuertes tormentas y granizadas que afectaron numerosas plantaciones

Exportaciones

En la Figura 5 se presentan los miles de toneladas de peras exportadas desde el año 2009 al 2017. En esos años las exportaciones cayeron un 36,8 %.

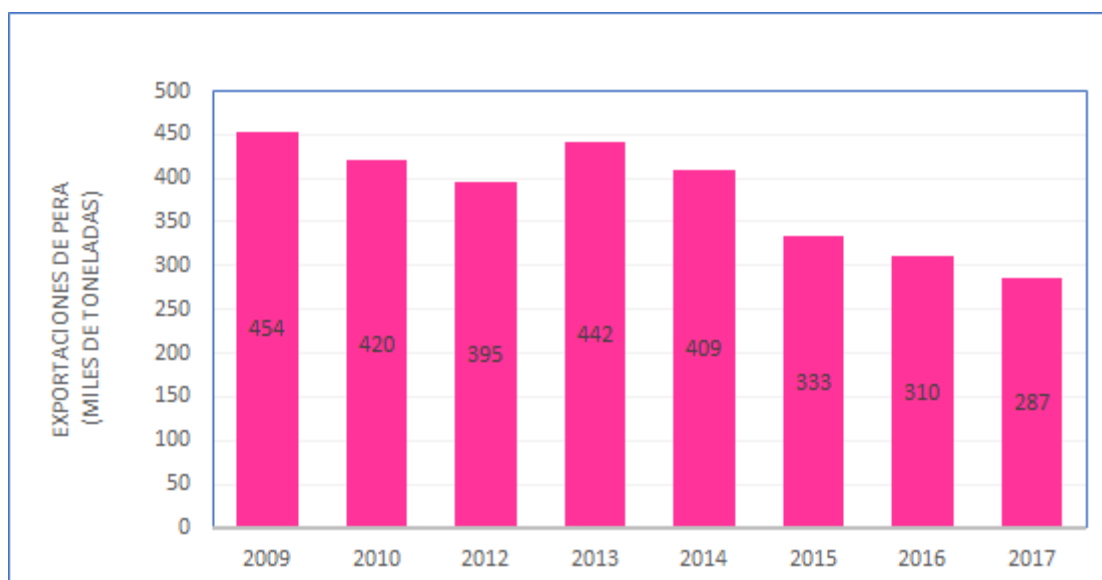


Figura 5. Exportaciones de peras (Miles de toneladas).

Consumo

En Argentina se consumen en promedio 2,5 kg de peras frescas por habitante y por año, valores bajos comparados con China y la Unión Europea. En el país son escasas las campañas nacionales de promoción del consumo. La pera preferida por el consumidor argentino es la variedad Williams (55%), correspondiendo a Packham's Triumph el 35%.

La producción de pera se destina un 74% al consumo en fresco (60% al mercado externo y 14% al mercado interno) y 26% a la industria de jugos concentrados, deshidratados, etc.

De la pera destinada al sector industrial, aproximadamente un 65% es absorbido por el procesamiento de jugo concentrado, un 28% por la elaboración de sidra, y el porcentaje restante se destina a otros subproductos, como deshidratados y aromas. Las empresas elaboradoras de jugo concentrado de manzana y pera se localizan en la zona del Valle de Río Negro y Neuquén. Estas industrias necesitan aproximadamente 7 kg de fruta para obtener 1 kg de jugo concentrado, relación que en alguna medida puede variar en función del nivel tecnológico del establecimiento. Entre el 90% y el 95% de la producción de jugo concentrado se destina al mercado externo.

El principal destino de las exportaciones de jugo concentrado de pera es Estados Unidos, cuya participación promedio representa el 84%.

En los últimos años se observó una importante caída en los volúmenes exportados, porque no se realizaron envíos a Estados Unidos, que es el principal destino de este producto (Alimentos Argentinos, 2017).

Escaldadura superficial



Figura 6. Escaldadura superficial en peras. (Fuente: Botes, Kawhena, Fortuin y Ruiters, 2017).

La escaldadura superficial (Figura 6) es un desorden fisiológico de postcosecha que afecta la calidad de las peras europeas (*Pyrus communis* L.) y también, las peras asiáticas (*Pyrus serotina*

Redh.) en todas las zonas productoras del mundo. Este fenómeno produce elevadas pérdidas económicas. Se considera como un daño por frío (Watkins et al., 1995). Se caracteriza por un pardeamiento de la superficie del fruto sin afectar la pulpa. Durante los estadios iniciales las células hipodérmicas comienzan a colapsar y, a medida que la severidad de este desorden incrementa, las células epidérmicas y corticales se comprometen. La superficie de la fruta se torna rugosa y/o con leves depresiones. A medida que aumenta en severidad, se incrementa tanto el oscurecimiento del color como el área afectada. Por lo general, su aparición se produce luego de un período prolongado de almacenamiento a bajas temperaturas y se manifiesta después de la exposición a temperatura ambiente por un determinado tiempo. Generalmente, este daño se manifiesta en la mayoría de las variedades, luego de un período mínimo de tres a cuatro meses de almacenamiento refrigerado (Calvo, 2016).

La causa de este desorden es la oxidación de un componente natural de la piel de los frutos (el α -farnaseno), que produce compuestos altamente tóxicos, los trienos conjugados, CTols. Estos dañan las células provocando su muerte. Este daño por oxidación requiere de la disponibilidad de oxígeno y asimismo depende de otros factores tales como la fecha de cosecha, la producción de etileno y la capacidad antioxidante del fruto.

Por otro lado, las manzanas y las peras con bajas concentraciones de calcio desarrollan más fácilmente escaldadura superficial que las que presentan concentraciones elevadas de calcio. (Li, Q., Cheng, C., Zhang, X., Wang, C. & Yang, S., 2020)

Mancha corchosa

La variedad de pera más susceptible es Beurré D'Anjou y en menor medida Packham's Triumph, pero ambas son las más propensas. Aparecen pequeñas manchas de tejido muerto en la pulpa, con formación de tejidos con apariencia similar al corcho en la subepidermis (Figura 7). Se produce en frutos con bajo contenido de calcio o con una relación alta de potasio/calcio. Se produce cerca del extremo del caliz, debajo de la piel o en lo profundo de la pulpa.

Las aspersiones de calcio en precosecha son benéficas, especialmente en la estación tardía, pero hay un riesgo de fitotoxicidad



Figura 7. Mancha corchosa en peras Beurré D'Anjou (Calvo y Candan, INTA, 2013)

Propiedades nutricionales de la pera

La porción comestible es de aproximadamente 88 gramos por cada 100 gramos de pera fresca. La pera aporta cantidades apreciables de fibra, especialmente de tipo insoluble, es rica en lignina. Entre los minerales de la pera se destaca el potasio y entre las vitaminas, la vitamina C, en cantidades apreciables. Asimismo, contiene algunos flavonoides que poseen importante carácter antioxidante. Se han encontrado cantidades moderadas de flavonoides como la quercetina y el kaempferol, y catequinas como la (+) catequina y la (-) epicatequina. También aportan pequeñas cantidades de lignanos, una clase de fitoestrógenos. En su composición, también presenta ácidos orgánicos; concretamente: hidroxiacidos no fenólicos (ácidos málico y cítrico que son los más abundantes) y ácidos fenólicos hidroxicinámicos (ácido cafeico).

En la tabla I se presentan la composición nutricional y el valor energético de la pera fresca.

Tabla I. Composición nutricional y valor energético de la pera.

Nutriente	Unidad de medida	Cada 100 g
Energía	Kcal	51
Agua	g	84
Proteínas	g	0,4
Grasa total	g	0,1
Carbohidratos totales (*)	g	12,1
Fibra dietaria	g	3,1
Azúcares totales	g	9,8
Cenizas	g	0,3
<i>Minerales</i>		
Calcio	mg	9
Hierro	mg	0,18
Magnesio	mg	7
Fósforo	mg	12
Potasio	mg	116
Sodio	mg	1
Zinc	mg	0,10
<i>Vitaminas</i>		

Vitamina C	mg	4,3
Nutriente	Unidad de medida	Cada 100 g
Tiamina	mg	0,012
Riboflavina	mg	0,026
Niacina	mg	0,161
Vitamina B6	mg	0,029
Folatos, DFE	µg	7
Vitamina A, RAE	µg	1
Vitamina A	UI	25
Vitamina E (alfa-tocoferol)	mg	0,12
Vitamina K	µg	4,4
<i>Lípidos</i>		
Ácidos grasos saturados	mg	22
Ácidos grasos monoinsaturados	mg	84
Ácidos grasos poliinsaturados	mg	94

(*) calculados por diferencia = 100 – (agua + cenizas + proteínas + grasa total + fibra dietaria total).

Fuente: United States Department of Agriculture. Fuente: USDA, 2016.

La pera es un fruto climatérico. Puede madurar organolépticamente tanto en el árbol como separado de él (siempre que se la coseche con un determinado grado de desarrollo, denominado

madurez fisiológica). Sin embargo, las peras alcanzan su mejor calidad de consumo cuando maduran en el árbol.

La tasa de consumo de azúcares y ácidos está supeditada a la actividad respiratoria del fruto, la cual depende también de la especie y la temperatura.

Existe una correlación entre la tasa respiratoria y el nivel de perecibilidad de los frutos. Aquellos que poseen una tasa respiratoria elevada suelen tener una vida más breve en postcosecha. La pera tiene un nivel de tasa respiratoria baja (5-10 ml de CO₂/ (kg h) a 5 °C).

Los azúcares y los ácidos orgánicos son los dos sustratos respiratorios principales. Se encuentran mayoritariamente en el interior de las vacuolas y contribuyen de manera fundamental con el sabor. Tanto los azúcares como los ácidos provienen de la asimilación fotosintética.

Los ácidos predominantemente (ácido cítrico y ácido málico) declinan durante la maduración debido a su utilización como sustratos respiratorios o conversión en azúcares.

El contenido de azúcares simples en la pera se presenta en la Tabla II, que informa la composición porcentual de algunos frutos en sacarosa, glucosa y fructosa.

Tabla II. Contenido de azúcares en frutos en gramos cada 100 g de fruta (Fuente Baduí Dergal, 2006)

Frutos	Sacarosa (g%)	Glucosa (g%)	Fructosa (g%)
Pera	1.0	2.4	7.0
Frutilla	1.3	2.6	2.3
Manzana	3.6	1.7	6.0
Durazno	6.7	1.5	1.0
Ciruela	4.3	4.0	1.4

Las peras poseen un bajo contenido de proteínas (0,36 %). La mayoría de ellas son enzimas involucradas en reacciones que conducen a la maduración y posterior senescencia, pero no tienen influencia en el sabor.

Los lípidos comprenden también las ceras que constituyen la cutina superficial que conforman el epicarpio, el cual tiene función de protección frente a la deshidratación y al ataque de patógenos. Asimismo, los lípidos son componentes primordiales de las membranas celulares.

II.3. Minerales

Los minerales son los componentes de los tejidos vegetales y animales que quedan como cenizas cuando éstos se incineran. Los minerales se dividen en:

- Macroelementos
- Elementos de traza
- Elementos ultratrazas

Los macroelementos como el Na, K, Ca, Mg, Cl, S y P son esenciales para el hombre en cantidades mayores a los 50 mg/día.

Los elementos trazas (Fe, I, F, Zn, Se, Cu, Mn, Cr, Mo, Co, Ni) son esenciales a concentraciones menores a 50 mg/día. Los elementos ultratrazas son el Al, As, Ba, Bi, B, Br, Cd, Cs, Ge, Hg, Li, Pb, Rb, Sb, Si, Sm, Sn, Sr, Tl, Ti, y W.

Los macroelementos y los elementos trazas desempeñan una multiplicidad de funciones, por ejemplo, como electrolitos, como componentes de las enzimas y como parte de la estructura de algunas sustancias corporales como huesos y dientes.

En la Tabla III se informa el rango del contenido en que se halla presente los macroelementos en el cuerpo humano.

Tabla III. Principales macroelementos y su contenido en el cuerpo humano.

Elemento	Contenido (g/kg)
Calcio	10-20
Fósforo	6-12
Potasio	2-2,5
Sodio	1-1,5
Cloro	1-1,2
Magnesio	0,4-0,5

Fuente: Belitz, Grosch y Schieberle, 2011.

II.3.1. Potasio

El potasio regula la presión osmótica celular, participa en el transporte de membrana y en la activación de una serie de enzimas de la glicólisis y de la cadena respiratoria. El consumo de potasio en una dieta normal es de 2 – 5,9 g/día. Los requerimientos mínimos diarios se estiman en 782 mg. La deficiencia de potasio se produce por un consumo pobre de alimentos o por la ingesta de alimentos pobres en potasio, como, por ejemplo, el pan blanco, las grasas y los aceites. Son

especialmente ricas en potasio las paltas, las grosellas negras, las bananas y los damascos. Si bien el potasio es el mineral más predominante en la pera, entre las pomáceas (manzanas, peras y membrillos) la pera es la que presenta menor contenido en potasio.

II.3.2. Importancia del calcio y del zinc en el organismo humano

II.3.2.1. Calcio

El calcio es un mineral esencial en el cuerpo humano, necesario para el normal crecimiento y desarrollo del esqueleto, los dientes, los nervios y los músculos, así como para regular diversos procesos metabólicos (FAO/WHO, 2002).

El organismo adulto contiene entre 850 g y 1500 g, que representan alrededor del 1.7% del peso corporal. El 99 % está localizado en el tejido óseo junto con el fósforo, integrando un fosfato complejo, la hidroxiapatita, depositada sobre una matriz de naturaleza proteica. El 1 % restante está en fluidos y tejidos, siendo esencial para regular funciones fisiológicas como irritabilidad neuromuscular, contracción muscular, automatismo cardíaco, coagulación sanguínea y un gran número de reacciones bioquímicas (Figura 8).

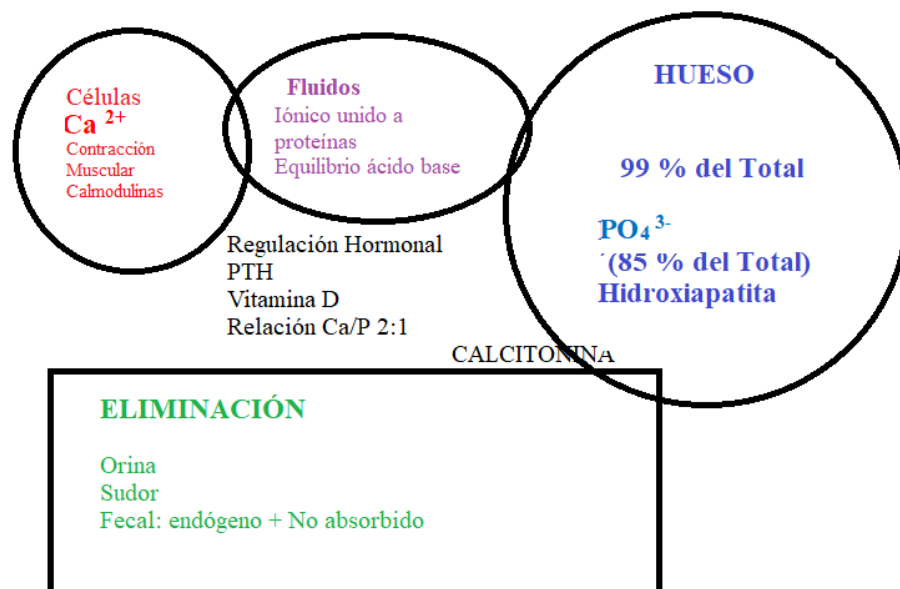


Figura 8. Esquema del metabolismo del calcio y del fósforo.

La masa ósea está determinada por factores genéticos, hormonales, nutricionales y por la actividad física. Desde el nacimiento con el incremento de peso se produce un aumento del contenido de calcio corporal que alcanza su valor máximo a los 30 años aproximadamente. Este pico depende de la ingesta de calcio y de otros factores nutricionales durante la etapa de crecimiento. A partir de los 50 años, comienza a disminuir, aumentando los riesgos de osteoporosis. Esta disminución es más abrupta en las mujeres.

Absorción de calcio

La absorción de calcio se realiza a través de un mecanismo activo (saturable) y uno pasivo (por difusión), que se torna más importante a medida que la ingesta de calcio se incrementa. El principal determinante del primero es el calcitriol (1,25-(OH)₂ D₃), por consiguiente, disminuye en la insuficiencia renal, en los síndromes malabsortivos por déficit de la vitamina D y en la baja exposición solar. Con el propósito de prevenir las fracturas óseas es importante aumentar la ingesta alimentaria sostenida de calcio en la niñez y adolescencia (1300 mg/día). En varones y mujeres pre y post menopáusicas se retrasó la pérdida ósea vertebral con la suplementación de calcio en dosis elevadas (1-2 g/día), incrementando así la densidad de masa ósea en un 1-3 % (De Girolami y González Infantino, 2010).

Poblaciones en riesgo

Un balance de calcio positivo (es decir, la retención neta de calcio) es requerido durante el crecimiento, particularmente durante los primeros 2 años de vida y durante la pubertad y la adolescencia. Estos grupos etarios constituyen poblaciones en riesgo de deficiencia de calcio, al igual que las mujeres embarazadas (especialmente en el último trimestre), mujeres lactantes, posmenopáusicas y los ancianos.

Consecuencias de la deficiencia de calcio

La deficiencia crónica de calcio presenta elevada prevalencia en grandes grupos poblacionales de diferentes zonas geográficas y no está ligada al nivel socioeconómico, sino a hábitos alimentarios. Los efectos de la deficiencia tienen manifestaciones clínicas tardías que habitualmente se hacen evidentes por la baja masa ósea alcanzada durante el crecimiento y por la pérdida de masa ósea en las mujeres luego de la menopausia. Las consecuencias a largo plazo constituyen una de las causas más frecuentes de osteoporosis y fracturas en la edad adulta y senil. Por ello, la necesidad del manejo nutricional preventivo de la osteoporosis para desarrollar al máximo la masa ósea, durante la maduración esquelética y disminuir la pérdida ósea, durante la etapa de pérdida del hueso.

Existen trabajos que evidencian relación entre la baja ingesta de calcio e incidencia de preeclampsia e hipertensión inducida por embarazo, ciertos cánceres (mamarios, de colon, pólipos colonrectales, de próstata), enfermedades cardiovasculares e hipertensión, diabetes tipo II, síndrome metabólico (obesidad), algunas enfermedades inmunológicas e infecciosas (tuberculosis, influenza/infecciones del tracto respiratorio superior), funcionamiento neuropsicológico (autismo, función cognitiva, depresión) (Portela, 2015).

Alimentos aportadores de calcio

El calcio no es un mineral abundante en la mayoría de los alimentos habituales de la dieta occidental. Los principales alimentos aportadores son los lácteos donde el calcio se encuentra unido a la caseína del suero. La leche humana presenta una relación calcio/fósforo óptima (2:1) y factores potenciadores de la absorción (lactosa, algunos péptidos y ciertas características de los lípidos), por lo cual la biodisponibilidad del calcio es muy elevada para el niño lactante (entre 40 y 70 %).

Algunas hortalizas de hoja (acelga y espinaca), los pescados que se consumen con espinas (cornalitos, conservas), algunos frutos secos y semillas (almendra, sésamo, etc.) pueden ser aportadores importantes. Sin embargo, en el caso de verduras, frutos secos y semillas, la biodisponibilidad puede ser baja debido a la presencia de algunos componentes como los oxalatos, fitatos y fibra que disminuyen la absorción, por formación de complejos insolubles. En el caso de la pera su contenido en oxalato es de bajo a medio (2-10 mg por cada 100g de pera).

Otros factores que reducen la absorción del calcio por formación de complejos insolubles son los ácidos grasos de cadena larga, fluoruro, fosfato y los cationes bivalentes, que interactúan por un mecanismo competitivo. Por dicho motivo, los cereales integrales que contienen alta proporción de fósforo disminuyen la absorción de calcio, si se consumen conjuntamente con productos lácteos.

Ingesta diaria recomendada

Las necesidades fisiológicas de calcio están determinadas por las del esqueleto e implican un proceso adaptativo, cuya regulación está a cargo del sistema endocrino y en la cual el intestino desempeña un papel fundamental.

La ingesta recomendada por día de calcio en niños y niñas de 4 a 8 años es de 800 mg y en el rango etario de 9 a 18 años es de 1100 mg para ambos sexos. En adultos de 19 a 70 años es de 800 mg en los hombres y de 800-1000 mg en las mujeres.

Existe una correlación linealmente positiva entre excreción urinaria de sodio y de calcio. Cada 2,3 g de sodio ingerido se excreta 40 mg de calcio por orina. Sin embargo, la excreción urinaria de potasio se correlaciona negativamente con la excreción urinaria de calcio.

II.3.2.2. Zinc

El hombre adulto contiene 2-3 g distribuido, fundamentalmente, en hueso, tejido muscular y eritrocitos (donde se encuentra el 85 % del total de la sangre).

El zinc es esencial para la actividad de una gran cantidad de enzimas, de las cuales las más conocidas se relacionan con la utilización de energía, la síntesis de proteínas y la protección oxidativa (Cousins, 1997) ya sea por formar parte constitutiva de la molécula o requerirlo como cofactor.

El zinc juega un papel fundamental en la estabilización de ciertas macromoléculas (incluyendo algunos receptores) y de las membranas celulares; regula la transcripción, uniéndose a proteínas nucleares.

Absorción y metabolismo

La absorción del zinc ocurre en el intestino delgado, por difusión pasiva y también por unión a la histidina y cisteína de proteínas específicas que lo transportan a las células de la mucosa intestinal. El intestino delgado juega un importante rol en el mantenimiento de la homeostasis del zinc, mediante dos mecanismos: 1) regulando la conservación del Zn endógeno y 2) a través de la regulación de la absorción del Zn exógeno, de la dieta.

En general, el zinc de los alimentos vegetales es menos biodisponible que el de los animales, debido a la presencia de sustancias que producen complejos de baja solubilidad. Entre estos, se hallan los fitatos, que disminuyen considerablemente la absorción del Zn y se relacionan con su deficiencia. El complejo fitato-Zn-Ca es extremadamente insoluble al pH de la parte superior del intestino delgado, donde se absorbe la mayor proporción del Zn.

Sin embargo, estudios recientes demuestran que sólo en el caso de ingerir grandes cantidades de alimentos ricos en fitato junto con dietas pobres en contenido mineral se pueden producir problemas de biodisponibilidad mineral. De hecho, si se consumen cantidades moderadas de fitato junto con dietas equilibradas desde el punto de vista mineral no se observan problemas de biodisponibilidad. Así, incluso la ingesta de cantidades de fitato de 2 g por día, no afecta al balance mineral, cuando el consumo mineral es adecuado (López-González et al., 2009).

Existen pruebas que sugieren que los mecanismos de transporte de calcio y de zinc son distintos, lo que explicaría que el calcio parezca tener escaso efecto en la absorción de zinc en ratas y el

hecho de que ni la vitamina D, ni el 1, 25 dihidroxicolecalciferol influyen sobre la absorción del zinc. Sin embargo, los suplementos de calcio podrían reducir la absorción de zinc por un efecto en el interior de la luz intestinal que aumentaría la pérdida de zinc (Wood y Zheng, 1995).

Alimentos aportadores de zinc

Los alimentos de origen animal constituyen la fuente principal: carne, leche, pescados y mariscos. En los cereales el contenido disminuye con la molienda y las harinas refinadas contienen menos de 5 microg/g.

Ingesta diaria recomendada

Las necesidades diarias para un adulto de entre 19 a 70 años son de 11 mg para el varón y de 8 mg para la mujer, ya que su biodisponibilidad es del 30 % para las dietas occidentales. En niños y niñas entre 1 y 3 años es 2,5 mg y en el rango etario de 4 a 8 años es 4 mg por día. Para ambos sexos de entre 9 a 13 años es 8 mg y entre 14 a 18 años en hombres es 11 mg y en mujeres 9 mg diarios.

II.4 Características estructurales de la pera y su tejido celular

Partes de la pera

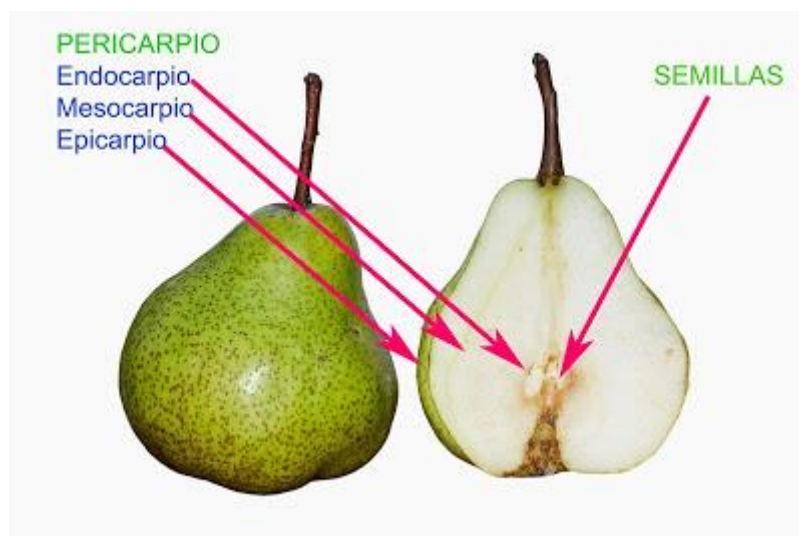


Figura 9. La pera y sus partes.

El fruto, el ovario de la flor fecundada, se desarrolla diferenciándose, en tres partes concéntricas, en las que cada una engloba a la siguiente. Estas partes darán lugar a (Figura 9):

- Endocarpio: es la parte más interna del fruto, constituida por las semillas y las hojas carpelares.
- Mesocarpio: es la zona de la pulpa o parte carnososa del fruto.
- Epicarpio: constituye la zona más externa del fruto.

El mesocarpio de la pera está compuesto por células parenquimáticas poliédricas casi isodiamétricas. Es rico en grupos de células pétreas ó esclerenquimáticas, especialmente cerca del endocarpio. Estas células tienen sus paredes compuestas de lignina, que se tiñen intensamente. La dureza de los frutos no maduros depende de la lignina.

Tejido vegetal: su estructura

Es importante describir la estructura vegetal para poder comprender la absorción de los minerales en los diferentes tejidos que conforman el fruto.

La estructura de una planta es en su mayoría anisotrópica, heterogénea y no continua. Exhibe una gran variabilidad en su construcción (Jackman y Stanley, 1995).

Cada una de las distintas partes de la planta es un órgano de la misma. Los órganos están constituidos por diferentes tipos de tejidos. Los tejidos pueden definirse como grupos de células estructural y/o funcionalmente características. Los tejidos que se componen de un solo tipo de células se denominan tejidos simples, y los que se componen de dos o más tipos de células reciben el nombre de tejidos complejos (Figura 10). El parénquima, el colénquima y el esclerénquima son simples, mientras que el xilema y el floema son complejos. Estos tejidos se encuentran en la planta organizados en tres sistemas, revelando una similitud básica de los diferentes órganos y la continuidad del cuerpo vegetal. Estos sistemas son: 1) Fundamental, 2) Vascular y 3) Epidérmico.



Figura 10. Tejido Vegetal. Su constitución.

El sistema fundamental se compone de tres tejidos principales que conforman el elemento básico de la planta: el parénquima, el colénquima y el esclerénquima, siendo el parénquima el más abundante. El tejido parenquimático es el progenitor de todo el resto de los tejidos. Sus células se encuentran formando masas continuas en la corteza de los tallos y raíces, en el mesófilo de las hojas y en la pulpa de los frutos, además forman cordones verticales y horizontales en los tejidos vasculares. Las células parenquimáticas son células vivas, capaces de crecer y dividirse. Poseen diferentes formas; la mayoría son poliédricas, pero pueden ser estrelladas o muy alargadas. El parénquima está implicado en actividades que dependen del protoplasto vivo, como la fotosíntesis, el almacenamiento de reservas, la cicatrización de las heridas, la regeneración de los tejidos, la secreción y la formación de nuevos vástagos y raíces adventicias. También pueden tener un papel importante en el movimiento del agua y en el transporte de nutrientes (Raven et al, 1992). Dependiendo del arreglo espacial y tamaño relativo de las células, el tejido tiene cantidades significativas (1-25%) de espacios intercelulares llenos de aire que tienen un impacto considerable en las propiedades mecánicas (Jackman y Stanley, 1995). El colénquima y el esclerénquima son tejidos mecánicos de sostén de la planta. Las células del colénquima aparecen formando cordones discretos o cilindros continuos en tallos, hojas, partes florales, frutos y raíces.

La forma de las células varía desde prismática corta a muy alargada. Por lo general, poseen paredes desigualmente engrosadas (Esau, 1982).

Las células del esclerénquima se desarrollan en cualquier parte del cuerpo vegetal. Tienen paredes secundarias gruesas, frecuentemente lignificadas, que cumplen una función de refuerzo, así como de sostén. Son células muertas y se distinguen dos tipos de células: las esclereidas y las fibras. Las esclereidas varían en forma desde poliédrica hasta alargada y pueden ser también ramificadas. Las fibras generalmente son células largas y delgadas (Esau, 1982). Las células del esclerénquima presentan propiedades elásticas, al contrario que las del colénquima que son plásticas.

El sistema vascular está compuesto de dos tipos de tejidos conductores, el xilema (conductor de agua) y el floema (conductor de nutrientes). El xilema es un tejido complejo que consta de varios tipos de células, de las cuales las más importantes son los elementos traqueales (traqueidas y tráqueas), que son células muertas implicadas fundamentalmente en el transporte de agua e iones disueltos, pero además desempeñan en algún grado una función de sostén (Fahn, 1985). El floema también es un tejido complejo. Se encuentra en el cuerpo de la planta junto al xilema. Está relacionado con la conducción y el almacenamiento de nutrientes y con el sostén. (Esau, 1982). Las células fundamentales del floema son los elementos cribosos, que conducen los productos de la fotosíntesis. Estos elementos de tubo criboso están unidos por sus extremos (Fahn, 1985).

El sistema dérmico se encuentra representado por la epidermis, la cubierta protectora más externa del cuerpo vegetal. Las células epidérmicas forman una capa continua densamente trabada en la

superficie del cuerpo de la planta proporcionando una considerable protección mecánica. Por otro lado, pueden contener estomas, relacionados con el intercambio gaseoso, y otros tipos de células especializadas para funciones específicas. Las paredes de las células epidérmicas en las partes aéreas están recubiertas por una cutícula que minimiza las pérdidas de agua y está formada mayoritariamente por cutina y cera (Raven et al, 1992).

Célula vegetal

Una célula vegetal típica (Figura 11) posee una pared celular porosa y delgada que rodea a un citoplasma limitado por una membrana, denominada plasmalema. En el citoplasma se encuentra una gran vacuola central, rodeada de otra membrana, denominada tonoplasto. La membrana celular otorga rigidez y protección a la célula frente a una posible distensión originada por una entrada masiva de agua. La pared no presenta selectividad al transporte de componentes. Sin embargo, la membrana plasmática y el tonoplasto controlan el pasaje de componentes de un compartimiento a otro. La vacuola contiene una solución de iones inorgánicos, ácidos orgánicos, y azúcares, y puede alcanzar hasta el 90% del volumen de una célula madura (Sette, 2015). La naturaleza semipermeable de las membranas permite que pequeñas moléculas de agua puedan atravesarla, pero restringen el ingreso de moléculas de mayor tamaño como los azúcares (Le Maguer, 1998; Pitt, 1992). La savia vacuolar responsable de la presión de turgencia de la pared celular, hace que las vacuolas se agranden y presionen unas contra otras impartiendo turgencia y rigidez al tejido celular.

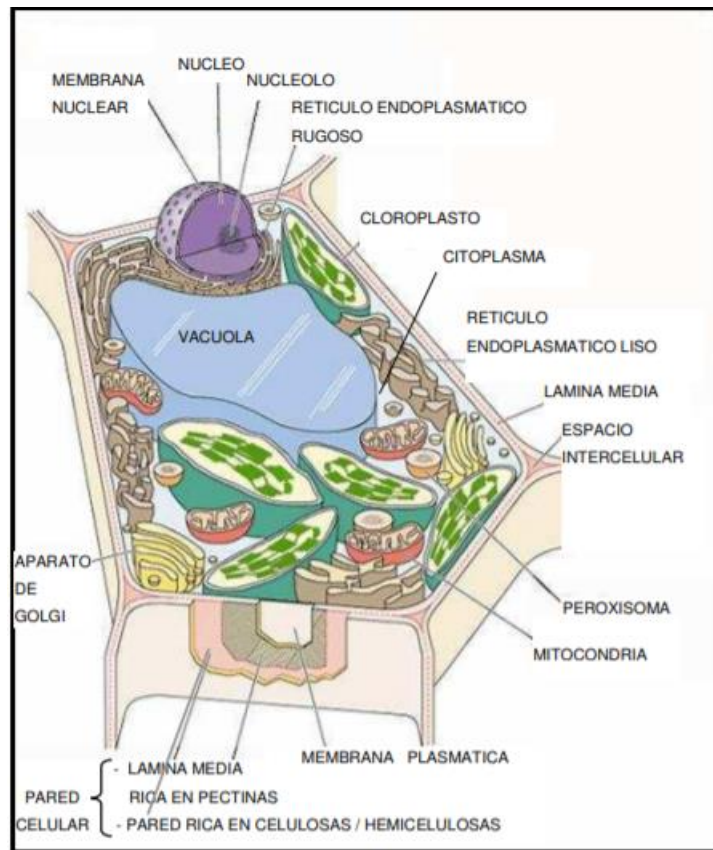


Figura 11. Esquema de una célula vegetal (Fuente: Casim, 2011)

Las células pétreas o braquiesclereidas (Figura 12) se llaman así porque tienen formas de piedras. Se hallan presentes en la parte carnosa de la pera.

Braquiesclereidas o Células Pétreas en fruto de pera

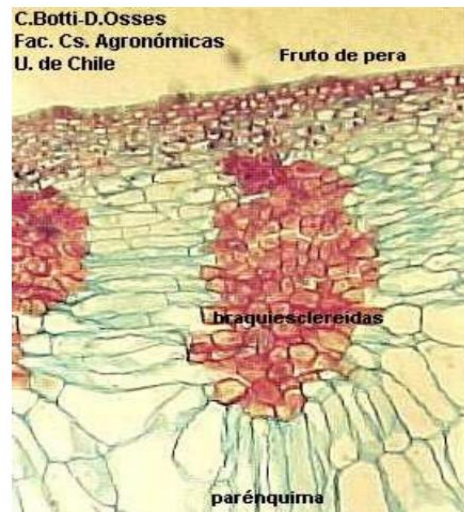


Figura 12. Microfotografía de Braquiesclereidas o células pétreas en fruto de pera.

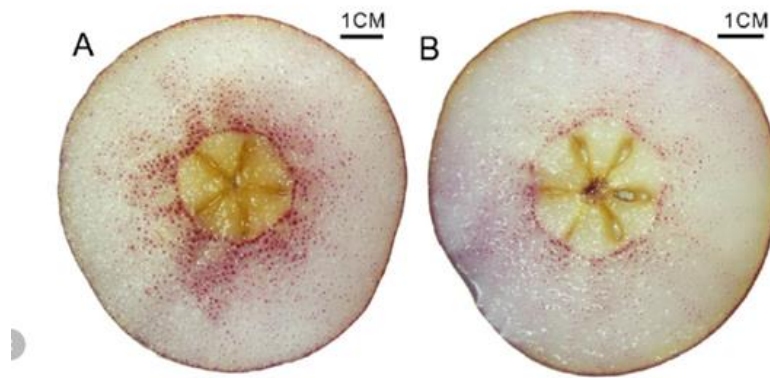


Figura 13. Tinción de células pétreas en corte transversal de peras.

Las células pétreas son las que se pueden apreciar teñidas de violeta en la Figura 13, correspondiente a un corte transversal de la pera.

Pared celular

La presencia de la misma es la característica fundamental que la diferencia de la célula animal. La pared celular se sitúa externamente a la membrana plasmática. Está constituida principalmente por celulosa, además de otros polisacáridos y glicoproteínas. Distintos tipos celulares presentan diferencias en composición y organización en su pared celular dependiendo de la función que estén desarrollando.

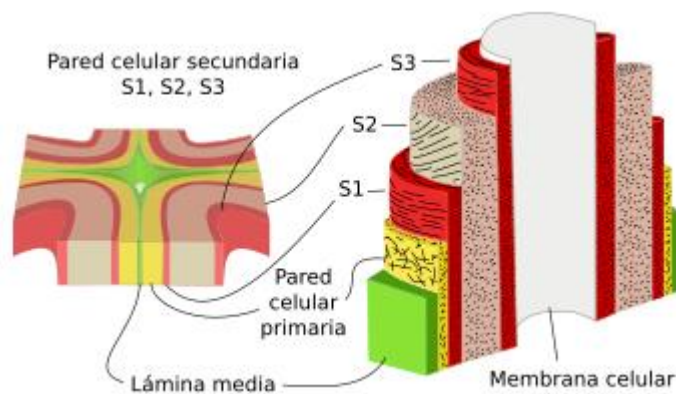


Figura 14. Pared celular.

La pared celular (Figura 14) presenta una función mecánica. Es la responsable de la forma y tamaño de las células de las plantas y a su vez la estructura que las protege. También es responsable de la rigidez de la planta para mantener erguidas sus estructuras aéreas y los órganos que la forman. Otra de sus funciones es ser medio de comunicación y transporte de moléculas y agua entre las

células, tanto entre las próximas como las alejadas. También participa en la lucha contra patógenos y es capaz de desencadenar respuestas de defensa, o dar textura a los tejidos de los frutos. Morfológicamente la pared está formada por capas. Todas las células tienen al menos dos: laminilla media y pared primaria. La laminilla media se sintetiza y comparte por las células que son contiguas entre sí, mientras que la pared primaria se sintetiza y pertenece a cada célula. En algunas células se deposita una tercera capa más gruesa denominada pared secundaria.

La *laminilla media* es la capa más externa de la pared celular y la primera en formarse. Actúa como un pegamento que une a las células vecinas. Es compartida por las dos células contiguas. Tiene un aspecto amorfo y es muy delgada, su grosor está próximo al límite de resolución del microscopio óptico. Incluso con el microscopio electrónico no se presenta como una capa muy bien delimitada. La laminilla media está formada principalmente por pectinas. Puede lignificarse en aquellas células que tienen pared celular secundaria.

La pared celular (Figura 14) actúa como barrera a la libre difusión de moléculas entre células. Sin embargo, las células necesitan comunicarse entre sí. Para ello, las células vegetales poseen conductos que atraviesan las paredes celulares y que permiten la comunicación directa entre citoplasmas adyacentes. Estos conductos se denominan plasmodesmos (Figura 15). Entonces, todas las células de una planta están conectadas con sus vecinas mediante plasmodesmos. Los plasmodesmos pueden aparecer concentrados en ciertas áreas de la pared celular formando lo que se denominan campos de poros primarios, que forman unas depresiones en la pared celular puesto que el grosor de ésta es menor en esos puntos.

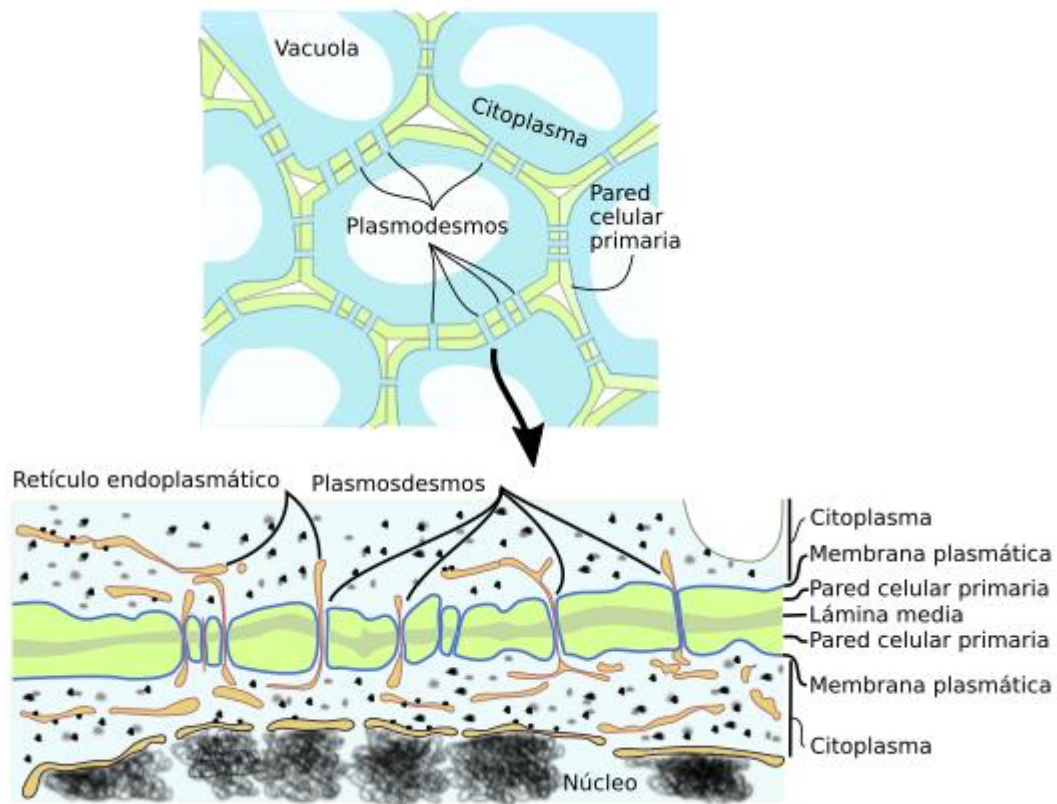


Figura 15. Esquema de células con su membrana celular, pared celular y laminilla media.

La pared celular primaria es una armazón de microfibrillas de celulosa, conectadas por moléculas de hemicelulosa y embebidas en una matriz de pectinas (Figura 16). La organización tridimensional de celulosa, hemicelulosa y pectinas no está clara todavía. Se han propuesto varios modelos y el más citado presupone que las moléculas de hemicelulosa se unen estrechamente a las de celulosa por puentes de hidrógeno. Las pectinas parecen jugar un papel más importante en la compactación de la pared celular. Por ejemplo, parece que las pectinas tienen más enlaces con la celulosa que la hemicelulosa con la celulosa. Las pectinas colaboran en la hidratación de la pared celular primaria.

También las pectinas presentan un rol importante en la relajación de la pared celular durante el crecimiento. Pueden hidratarse mucho aportando plasticidad a la pared. El calcio es importante para las pectinas puesto que favorece la unión entre ellas.

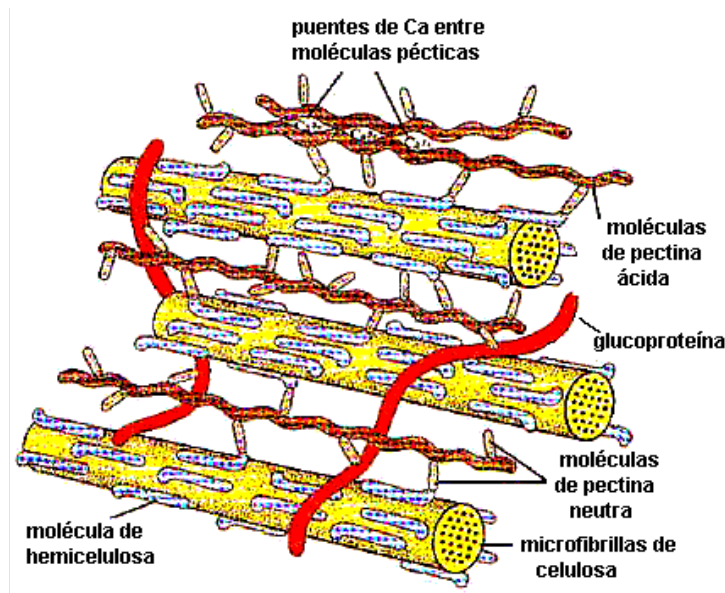


Figura 16. Hemicelulosas, celulosa, glucoproteínas y compuestos pécticos.

La lignina es un polímero de fenilpropanol de variado peso molecular que se encuentra incrustando las paredes de muchos tipos de células. Está presente tanto en las paredes celulares como en la laminilla media, pero la mayor concentración se encuentra en la pared secundaria, donde la polimerización y la formación del material que la compone ocurren a expensas del contenido de agua (Jackman y Stanley, 1995).

Las pectinas y su unión con los cationes Ca²⁺ para formar los pectatos

El grado de esterificación de las pectinas (GE) corresponde al porcentaje de unidades de ácido galacturónico esterificado por cada cien unidades de la cadena. Según su GE se clasifican en dos grupos: pectinas de alto metoxilo (conocidas por sus siglas en inglés, HM), si su GE es mayor al 50 %, y pectinas de bajo metoxilo (conocidas por sus siglas en inglés, LM), si su GE es menor al 50 %. En frutas, la proporción de metilación varía según la especie, variedad y grado de madurez entre otros factores, siendo los siguientes algunos de los valores promedio: frutilla, 60 %; pera, 51 %; manzana, 72 % y mango 78 %. Según su GE, las pectinas poseen la propiedad de formar geles bajo distintas condiciones. Las pectinas HM gelifican en un medio con alto contenido de sólidos solubles, usualmente azúcar en concentraciones > 50 % p/p, y en un rango de pH entre 2,0 y 3,5: si su GE es del 100%, formará geles con la sola presencia de azúcar. En cambio, las pectinas LM forman geles estables en ausencia de azúcar, pero requieren la presencia de cationes divalentes, como el calcio, para formar entrecruzamientos moleculares. Sin embargo, el agregado de 10-20% de sacarosa proporciona geles con mejores características de textura, más rígidos. Estas pectinas son menos sensibles a los cambios de pH.

La mayoría del Ca^{2+} presente en los tejidos vegetales se localiza extracelularmente en la pared celular, en los pectatos de la laminilla media, en las membranas y, en menor medida, en algunos orgánulos celulares del tejido parenquimático como la vacuola. En el interior de la célula, el calcio se encuentra en las vacuolas donde, dado el pH ácido de las mismas, puede precipitar como sales de oxalato, fosfato, carbonato, sulfato, etc., según las especies.

La conservación de la estructura de la pared celular depende particularmente del enlace del calcio con los componentes pécticos de la lámina media. Cuando se impregna con iones calcio en exceso, las moléculas de polipectatos forman dímeros en una conformación de “caja de huevo” en las cuales el calcio interactúa y se combina con los oxígenos de dos cadenas adyacentes formando los puentes de Ca^{2+} (Figura 17), neutralizando en un 50 % los grupos carboxilos. Cuando el grado de metilación de las pectinas es bajo, el calcio es un efectivo agente para mejorar la firmeza del tejido vegetal, formando en estas condiciones complejos insolubles. En presencia de este ion existe una tendencia al incremento de formación de gel cuando el GE decrece. Las uniones de calcio incluyen a otros grupos funcionales además del grupo carbonilo. Existe, por ejemplo, una fuerte interacción entre los iones Ca^{2+} y otros átomos de oxígeno de las pectinas; también forma complejos con azúcares neutros y con los ácidos orgánicos presentes naturalmente en la fruta (Casim, 2011).

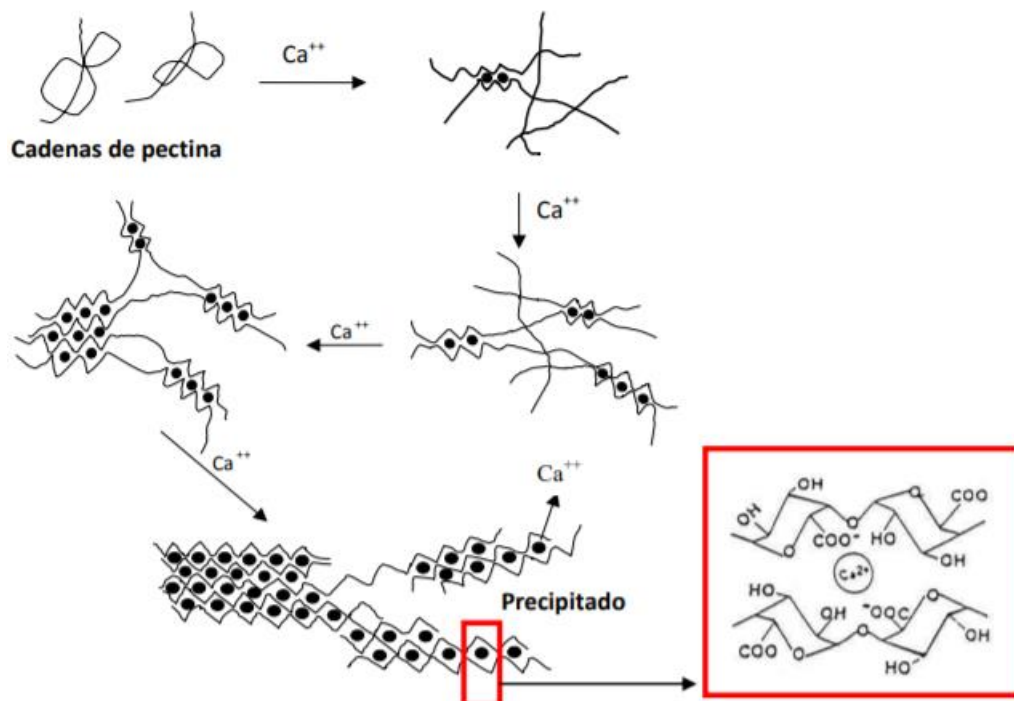


Figura 17. Formación de pectatos de calcio (Casim, 2011).

Propiedades biológicas de las pectinas

Las pectinas exhiben la propiedad de unirse a los cationes de metales pesados a través del mecanismo de “caja de huevo” (Figura 18). De esta forma, actúan como agentes desintoxicantes importantes y permiten la eliminación de metales, como mercurio, plomo, cadmio del tracto gastrointestinal (Miceli-García, 2014), por vía urinaria o fecal.

Este fenómeno sucede cuando las pectinas son de bajo peso molecular y de reducida esterificación, puesto que se facilita la unión a dichos cationes (Muñoz Labrador, 2016).

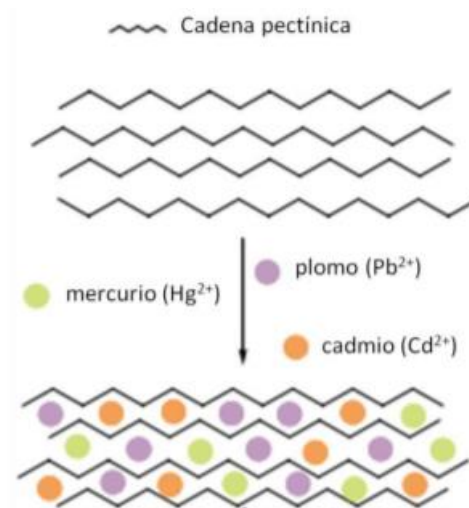


Figura 18. Estructura de caja de huevo (Eliaz, 2007).

II.5 Deshidratación osmótica

La deshidratación osmótica (DO) es un proceso natural de difusión a través de las membranas celulares que no destruye los tejidos del alimento (Torreggiani, 1995). Es un método que se emplea desde hace mucho tiempo. Actualmente, se continúa mejorando y adecuando a las necesidades actuales y a las de cada matriz alimentaria (Vicente, 2016).

La DO consiste en la inmersión de un alimento sólido entero o en piezas en soluciones acuosas de alta concentración de solutos, un determinado tiempo y a una temperatura específica, por lo general menor a 50 °C. Las membranas de los alimentos son semipermeables, entonces, podemos considerar que dos flujos principales a contracorriente se generan: el flujo de agua desde el interior del alimento hacia la solución para intentar equilibrar el potencial químico del agua a ambos lados de la membrana y de forma similar se produce el flujo de solutos de la solución al alimento. En el modelado, se puede suponer sólo estos dos flujos y considerar despreciable a los efectos de la transferencia de masa relacionado con el flujo de solutos (azúcares, sales minerales, ácidos orgánicos y vitaminas) que son arrastrados desde el alimento a la solución por el agua. Sin

embargo, este egreso de solutos desde el alimento puede tener alguna importancia a nivel nutricional u organoléptico (Della Rocca y col., 2013). La eficacia de los solutos como agentes deshidratantes depende de su efecto depresor en la actividad del agua. Los solutos son más eficaces cuando presentan mayores interacciones con el agua y su fracción molar en la solución se incrementa.

El producto, en este caso las peras pierden agua sin ningún cambio de fase, lo que implica, en el caso de los sistemas biológicos, una preservación de las estructuras celulares (Raoult-Wack, 1994). Además, ofrece la posibilidad de introducir la cantidad deseada de un soluto adecuado, por ejemplo, solutos de interés sensorial, antipardeantes o sales de minerales que en algunos casos permiten mejorar la textura y/o el valor nutricional.

En relación con los factores más importantes que controlan el proceso de deshidratación osmótica, se los puede clasificar en dos grandes grupos, los factores que dependen de la naturaleza del producto mismo y las variables tecnológicas del proceso (Barat et al., 1998). Entre los factores intrínsecos se pueden mencionar la humedad inicial del producto y composición, la estructura del material a deshidratar, el tamaño y geometría de la muestra, la madurez del fruto; y entre los factores tecnológicos la composición de la solución, la naturaleza de los solutos, la concentración y la agitación de la solución osmótica, la temperatura del baño osmótico, la presión aplicada y el tiempo del proceso (Bellocq, 2012).

El estado de madurez tiene un efecto relevante sobre la estructura del tejido vegetal en términos de estructura de la membrana celular, espacios intracelulares, compactación del tejido, aire ocluido, cantidad de sólidos insolubles, entre otros. Un ejemplo de la influencia del tipo de tejido, es el estudio realizado por Lazarides et al. (1997) al comparar tejidos de manzana y de papa durante el proceso de DO en el cual se encontraron diferencias significativas debido a la alta porosidad intracelular del tejido de manzana comparado con el tejido de papa.

Las geometrías de alimentos que ofrecen una mayor relación superficie/volumen son las más eficaces en el proceso de DO, pues presentan una mayor superficie expuesta de contacto para la difusión.

La interacción de los solutos con el agua y la matriz sólida del alimento dependerá de la naturaleza y propiedades físicas del agente osmótico (viscosidad, poder depresor de la actividad acuosa). La ganancia de sólidos se ve favorecida por los solutos de bajo peso molecular, lo que facilita su penetración.

La concentración de la solución osmótica afecta en gran medida a la velocidad del proceso, ya que define la fuerza impulsora para la transferencia de materia. Esta fuerza impulsora para la

transferencia de masa aumenta al bajar la actividad de agua de la solución y al incrementarse la concentración del soluto.

El incremento de la temperatura del proceso ocasiona un aumento de la velocidad de transferencia de masa, tanto en lo que se refiere a la salida de agua como a la entrada de sólidos solubles. La dependencia entre la difusividad efectiva del agua o de los solutos (D_{ef}) con la temperatura (T) puede ser determinada mediante una ecuación del tipo de Arrhenius.

$$D_{ef} = D_0 e^{-\frac{EaR}{T}}$$

donde D_0 es el coeficiente pre exponencial, Ea es la energía de activación y R es la constante universal de los gases ($0.0820562 \text{ atm L mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$), T en (K). La energía de activación se puede determinar de la pendiente de la recta que se obtienen al representar $\ln D_{ef}$ frente a $1/T$.

Asimismo, la difusión de aromas de la fruta hacia la solución, así como posibles daños en la estructura y en parámetros determinantes de la calidad de la fruta como color, sabor y textura, así como también variaciones en su valor nutritivo (vitaminas termolábiles) pueden afectarse ante un aumento de la temperatura (Rodríguez, 2013).

Para la mayoría de las especies vegetales, el rango de temperatura al cual las membranas de las células se modifican es entre los 50° C y 55° C aproximadamente.

En cuanto a la presión de operación, el proceso se favorece cuando se lleva a cabo la Deshidratación Osmótica en Vacío (DOV), ya que se incrementa el proceso de transferencia de agua al permitir retirar primero los gases ocluidos en los espacios intracelulares y ser ocupados luego por la solución osmótica.

Una mejora del proceso de DO puede lograrse mediante la agitación de la solución ya que permite homogeneizar la temperatura y la concentración de soluto. Como consecuencia, aumenta la velocidad de deshidratación ya que constantemente la fruta está en contacto con una solución de alta concentración y de temperatura uniforme.

En la medida en que aumenta el tiempo de procesamiento, se produce una mayor pérdida de agua y una mayor ganancia de sólidos, sin embargo, no conviene deshidratar más allá de una pérdida del 50% del peso pues la tasa osmótica disminuye en el tiempo. La principal pérdida de agua ocurre durante las dos primeras horas y la mayor ganancia de sólidos durante los primeros 30 minutos (Pointing et al, 1966; Raoult Wack et al 1994, Tepper Monti, 1996).

Algunos investigadores como Dalla Rosa et al., (1999) y Gianotti et al. (2000) han apreciado resultados interesantes sobre la reducción en la velocidad del crecimiento microbiano ocasionado

por un tratamiento osmótico de corto tiempo en kiwi, aunque los valores de actividad de agua (a_w) alcanzados fueron de 0.99-0.98 y no fueron suficiente para inhibir el crecimiento microbiano. Este hecho podría relacionarse con la impregnación superficial de las peras con la solución osmótica, que ocasionó un aumento de la viscosidad del sistema, pero con un efecto despreciable en la actividad de agua (Gianotti et al., 2001).

Las principales ventajas del proceso de deshidratación osmótica como primera etapa de un método combinado de secado de frutihortícolas son (Bellocq, 2012):

- Las características organolépticas del alimento (color, olor, sabor y textura) sufren modificaciones mínimas.
- Posibilidad de agregar minerales o vitaminas en el alimento de forma tal de fortificarlo (Silva Paz, 2015; Ariza et al., 2017; Mendoza Sarmiento et al., 2018; Bosco et al, 2018; Della Rocca et al., 2018 y Della Rocca, et al., 2019).
- La estructura del alimento sufre un daño mínimo debido a las temperaturas moderadas involucradas en el proceso.
- El pardeamiento del alimento se puede minimizar naturalmente sin requerir un tratamiento previo, debido a que el mismo se encuentra sumergido en la solución sin contacto con el oxígeno del aire. Asimismo, se puede adicionar a la solución osmótica agentes antipardeantes como los ácidos ascórbico y cítrico que ejercen una favorable acción sinérgica.
- Contribuye a la estabilidad del alimento, debido a la disminución de la actividad del agua en el mismo.
- Retiene la mayoría de los nutrientes del alimento (Torregianni, 1993).
- Aumenta la relación azúcar/ácido en el alimento (Pointing, 1973).
- Disminuye los costos de empaque y distribución debido a la reducción de peso y volumen que se logra en el producto osmodeshidratado.
- Mínimo requerimiento energético ya que se realiza a bajas temperaturas y sin cambios de fase (Della Rocca, 2010).
- Contribuye a que los tiempos de secado o congelado posteriores al proceso de DO, para alcanzar la estabilidad final del producto sean menores debido a la reducción inicial de su contenido de humedad.

Sin embargo, el proceso de deshidratación osmótica puede presentar ciertas desventajas:

- Contaminación microbiana de la solución osmótica si se reutiliza varias veces.
- La alta viscosidad de la solución al inicio del proceso que puede dificultar el proceso de difusión de los componentes de la solución.
- La alta concentración de la solución al inicio del proceso.
- Aparición de sabores indeseables en el alimento procesado.
- Posibles roturas del alimento durante el proceso por el uso de niveles de agitación muy altos.

Las frutas deshidratadas osmóticamente no son estables para su conservación. Sin embargo, luego de tratamientos tradicionales como secado, congelación, etc., los productos finales resultan de buena calidad organoléptica, con mínimos daños por calor y menor decoloración, con retención de volátiles y pigmentos, mejoras en la calidad textural de los productos rehidratados y disminución en el contenido de agua en los procesos subsiguientes (Le Maguer & Yao, 1995).

Una reducción del pH inhibe o reduce el pardeamiento enzimático y el crecimiento bacteriano y mejora la acción de los antimicrobianos (Alzamora, Tapia & Welti-Chanes, 1993; Alzamora & Salvatori, 2006). Si estos productos se someten luego a un proceso de deshidratación posterior como secado o liofilización es posible obtener productos deshidratados de características de calidad mejorada (Sette, 2015).

El mecanismo de mantenimiento de la firmeza debido a la reducción del pH ha sido escasamente estudiado en comparación con el mecanismo de actuación del calcio que reacciona con las pectinas de la laminilla media formando pectatos que mantienen la rigidez de las paredes celulares (Stanley et al., 1995). Los datos disponibles indican que el ablandamiento de los tejidos vegetales es muy rápido en medios neutros y en medios muy ácidos, encontrándose un mínimo de pérdida de firmeza y rigidez en la región de pH alrededor de 4 (Doesburg, 1961).

El calcio solo o en combinación con otros aditivos como ácido cítrico, ácido ascórbico o cisteína preservan la firmeza de rodajas de pera y frutilla (Rosen & Kader, 1989). Sin embargo, durante el almacenamiento de lechuga troceada (Bolin et al., 1977). o cortada (Krahn, 1977, Luna Riquelme, 2012) la prolongación en la vida útil se redujo notablemente por el agregado de calcio. El melón mínimamente procesado en agua clorada con propionato de calcio demostró una excelente resistencia al ataque microbiano, además de prevenir la translucidez durante 7 días a 10°C. Los análisis de calidad demostraron que los tratamientos con propionato de calcio disminuyen la tasa de respiración y la producción de etileno, mantienen la firmeza del tejido, conservan el brillo y la luminosidad de las superficies. Asimismo, conservan el aroma y la calidad visual durante su almacenamiento. Cabe destacar, que el propionato de calcio no impartió o indujo ningún aroma o

sabor característico. También, en rodajas de calabacín mínimamente procesadas los efectos beneficiosos del calcio fueron reforzados por la adición de 100 ppm de hipoclorito, mostrando un efecto sinérgico (Izumi & Watada,1994).

El calcio no sólo actúa como agente preservante de la firmeza de los tejidos vegetales, sino que también contribuye a la disminución del pardeamiento enzimático y del crecimiento microbiano en el tejido, dependiendo del tipo de sal utilizada. El fortalecimiento de las paredes y de las membranas celulares permite una menor liberación de la enzima polifenoloxidasas y de los sustratos a la superficie de la fruta osmodeshidratada. Rosen y Kader (1989) apreciaron la reducción del pardeamiento enzimático en peras. Asimismo, el refuerzo de las paredes celulares por el calcio intensificó la resistencia del tejido celular a los ataques bacterianos (Bolin y Huxsoll, 1989).

Entonces, la utilización de la deshidratación osmótica como pretratamiento antes de un proceso de secado, además de disminuir el consumo energético reduciendo el tiempo de secado (Jayamaran y Das Gupta, 1992; Karathanos et al., 1995; Park et al., 2003), puede llegar a mejorar la calidad sensorial y nutricional del producto final. La preconcentración que tuvo lugar durante la DO limita el daño causado por las elevadas temperaturas, mejora la calidad textural, la retención de vitaminas, el mantenimiento de sabor y aroma y estabiliza el color (Bolin y Huxsoll, 1983; Krokida et al., 2001 a); Riva et al., 2001).

En cuanto a los agentes antipardeantes, el ácido cítrico es el acidulante más comúnmente utilizado, debido a su capacidad de modificación del pH. De esta manera, modificado el intervalo de pH se logra inhibir la actividad enzimática.

Por otra parte, la adición de compuestos reductores promueve la transformación de las o-quinonas (compuestos pardos) en o-difenoles (compuestos incoloros), permitiendo de esta manera retardar o impedir el pardeamiento enzimático y otras reacciones oxidativas. El ácido ascórbico (Figura 19) posee propiedades reductoras y antioxidantes excelentes, además de su función como nutriente.

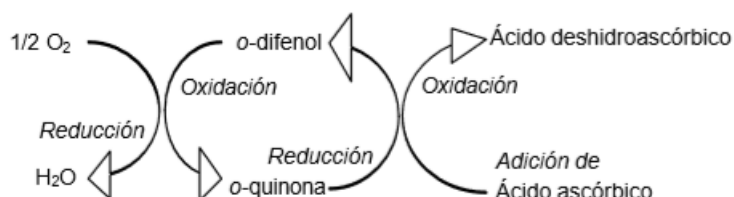


Figura 19. Esquema de la acción del ácido ascórbico como antipardeante.

Modificaciones de la célula vegetal durante el proceso de deshidratación osmótica

En una solución hipertónica, la célula vegetal pierde agua. Su citoplasma se encoge y su membrana celular se separa de la pared celular (Figura 20 a)).

Los interespacios entre las células aumentan y se llenan con solución, Además se produce la solubilización de las pectinas, la deformación de las paredes y el encogimiento celular.

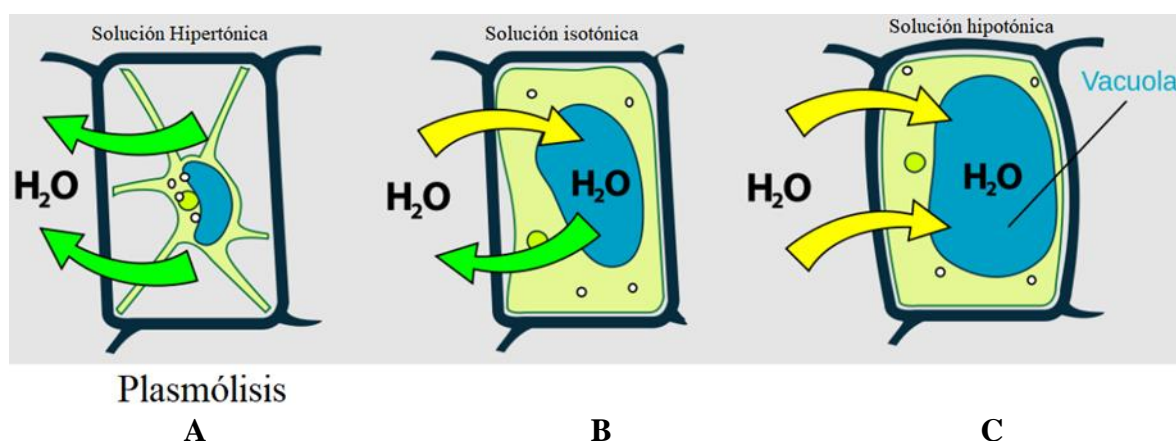


Figura 20. Plasmólisis de una célula vegetal.

A Célula vegetal en solución hipertónica: pierde agua hacia la solución que la rodea y, en consecuencia, su citoplasma se encoge y su membrana se separa de la pared celular. En este caso, la célula está plasmolizada.

B Célula vegetal en solución isotónica: preserva su turgencia,

C Célula vegetal en solución hipotónica. La vacuola central es hipertónica con respecto al fluido que lo rodea y de esta forma toma agua. La expansión de la célula es contenida por la pared celular.

II.6 Diseño de productos vegetales funcionales: Impregnación con componentes fisiológicamente activos (componentes bioactivos) como ciertos minerales importantes para la salud

La fortificación de tejidos vegetales con componentes bioactivos mediante métodos de impregnación permite el desarrollo de alimentos funcionales sin modificar prácticamente la estructura de la matriz original. El método impregnación es útil en el diseño de productos que poseen poros internos, en los que puede penetrar el componente bioactivo a través de procesos de impregnación (Fito y Chiralt, 2000; Fito et al., 2001). La impregnación puede realizarse a presión atmosférica, impregnación a vacío o mediante una combinación de impregnación a vacío seguida por largos períodos de impregnación a presión atmosférica. La presión de operación es uno de los factores que afecta la composición y las características estructurales del producto final.

En los procesos de impregnación a presión atmosférica se produce una transferencia del biocomponente desde la solución hacia la fruta debido al gradiente de potencial químico entre el medio y el tejido celular vegetal. La impregnación a presión atmosférica se efectúa a través de un mecanismo de difusión en la que la estructura celular de la planta actúa como una membrana semipermeable (Torreggiani, 1993; Torreggiani y Bertolo, 2001). En los procesos de impregnación

al vacío la solución ingresa a los poros (espacios intercelulares) de la matriz vegetal por capilaridad y mediante gradientes de presión. Este fenómeno denominado mecanismo hidrodinámico, en algunos casos permite una mayor velocidad de transferencia de masa, aunque la efectividad de la incorporación de un soluto específico dentro del tejido está limitada por su solubilidad y/o la porosidad de la matriz vegetal. Los tejidos vegetales, debido a sus propiedades funcionales, nutricionales y sensoriales son alimentos ideales para ser fortificados con calcio. Existen diversos estudios que demuestran la viabilidad de las matrices vegetales para incorporar biocomponentes (Betoret et al., 2003; Fito et al, 2001; Gras et al., 2003; Anino et al., 2006). Los productos impregnados pueden ser comercializados directamente como productos mínimamente procesados o pueden ser secados para obtener mayor estabilidad (Fito et al., 2001).

II.7 Tecnologías de conservación convencionales y emergentes

Entre los tratamientos de conservación de alimentos sólidos, podemos realizar una clasificación en:

Métodos convencionales

- Refrigeración
- Congelación
- Secado:
 - Convección con aire caliente
 - Al vacío
 - Fritura
 - Liofilización

Métodos emergentes

El desarrollo de estos métodos se debe principalmente a que, en la actualidad, el consumidor exige alimentos conservados que contengan las mismas características que los frescos y también demandan nuevos productos con características novedosas.

Dentro de ese grupo, se pueden clasificar a su vez en:

Tecnologías emergentes térmicas

- **Calentamiento óhmico** consiste en el pasaje de una corriente eléctrica a través del alimento que actúa como resistencia y, por consiguiente, incrementa su temperatura. El calentamiento se realiza por efecto Joule y. es del tipo directo.
- **Radiofrecuencia**
- **Microondas**
- **Infrarroja**

La interacción de la radiación electromagnética de cierta longitud de onda con el alimento produce vibración, o rotación de las moléculas, lo que produce disipación de energía térmica, que es absorbida por el alimento. La radiación tanto de microondas (300MHz-300GHz) como por radiofrecuencia (1-100MHz) tiene mayor poder de penetración que la infrarroja que es una radiación de baja penetración, que produce un efecto más superficial.

Tecnologías emergentes no térmicas

Los enfoques convencionales para procesar alimentos han demostrado ofrecer productos muy seguros, pero, en algunos casos, la calidad del producto final es significativamente inferior a la original y el impacto en el medio ambiente podría ser de gran preocupación. El procesamiento excesivo implica seguridad, pero a un alto costo en términos de nutrientes y la calidad sensorial del producto. El procesamiento no térmico de alimentos se ha convertido en una alternativa viable al procesamiento convencional (Barbosa-Cánovas, 2019).

- **Altas presiones hidrostáticas** Se basa en la aplicación de presiones entre 100 y 900 MPa por tiempos cortos a alimentos envasados que posteriormente se conservan bajo refrigeración. Produce efectos mínimos sobre los atributos sensoriales y las propiedades nutricionales de los alimentos.
- **Pulsos eléctricos** Esta tecnología consiste en la aplicación de campos eléctricos de alta intensidad, generalmente en el intervalo de 20-80 kV/cm, aplicados en forma de pulso cortos (μ s) (Señorans et al., 2003). El alimento se sitúa entre dos electrodos en la cámara de tratamiento del equipo. El campo eléctrico se utiliza para inactivar microorganismos patógenos y causantes del deterioro de los alimentos. La inactivación se produce por ruptura dieléctrica y electroporación de la membrana celular.
- **Pulsos luminosos** Consiste en la aplicación de pulsos lumínicos de alta energía sobre el alimento. Para ello, se produce la descarga controlada de pulsos eléctricos de alta intensidad (1-5 kV) y corta duración (100-400 μ s) en una o varias lámparas de gas Xenón instaladas donde se sitúa el producto a tratar. La ionización de este gas provoca un flash o pulso lumínico de alta intensidad y ancho espectro de emisión, desde los 200 nm (UV) hasta los 1.000 nm (infrarrojo cercano) y de alta capacidad bactericida (Lasagabaster, 2009).
- **Irradiación** Las radiaciones ionizantes son aquellas emitidas por un rango del espectro electromagnético que producen la ionización del material al cual se exponen, sin producir un incremento significativo en la temperatura. Dentro de ese rango se encuentran los denominados rayos X y rayos gamma. En vegetales se aplica fundamentalmente para

retardar la maduración de frutas tropicales como banana, papaya y mango, y para la senescencia de vegetales y hongos frescos, como espárragos y champiñones.

- **Ultrasonido** La energía es generada por ondas sonoras iguales o superiores a las 20000 vibraciones por segundo.
- **Campos magnéticos** Los campos magnéticos pueden ser estáticos u oscilantes. En el campo magnético estático la intensidad del campo magnético es constante con el tiempo, mientras que en un campo magnético oscilante se aplica en forma de pulsos. La carga de los pulsos es inversa en cada pulso. El campo magnético puede ser homogéneo o heterogéneo. Los campos magnéticos oscilantes, aplicados en forma de pulsos, invierten la carga en cada pulso, pero también la intensidad de cada pulso disminuye con el tiempo en un 10% de la intensidad inicial. Un simple pulso de intensidad de 5 a 10 tesla (T) y frecuencia de 5 a 500 kHz se aplica generalmente para reducir el número de microorganismos por lo mínimo en dos ciclos logarítmicos (Barbosa-Cánovas et al., 1998).
- **Plasma frío** Se trata de un tratamiento en fase gaseosa a baja temperatura que consiste en la excitación de un gas mediante exposición a un campo eléctrico.

Los tratamientos de conservación de frutas que emplean condiciones de temperatura elevada y tiempos largos dañan el potencial bioactivo de los productos frescos (Oms-Oliu et al, 2012). Por ello, tanto las condiciones de los pretratamientos previos a las que son sometidos los alimentos como el escaldado, la deshidratación osmótica, como los tratamientos posteriores de conservación deben ser cuidadosamente seleccionados para no incurrir en pérdidas excesivas de sus propiedades nutritivas y organolépticas.

Cuando las frutas se someten a altas temperaturas durante tiempos largos de tratamiento se incrementan las pérdidas de azúcares, vitaminas (entre ellas la vitamina C por su alta labilidad), compuestos antioxidantes (polifenoles, β -caroteno, antocianinas), compuestos volátiles, entre otros, que modifican la calidad global de los alimentos (Soria y Villamiel, 2010; Gamboa-Santos et al., 2013 a) y b)). Asimismo, se producen alteraciones muy importantes en la textura, aspecto y palatabilidad que afectan a los caracteres organolépticos e influyen en la calidad del producto. (Agcam, et al., 2014).

II.8 Secado

El secado es una operación unitaria cuyo objetivo principal es extender la vida útil de los alimentos. El secado al sol de frutas, granos, vegetales, carnes y pescados ha sido ampliamente utilizado desde los albores de la humanidad proporcionando al hombre la posibilidad de subsistencia en épocas de carencia (Fito et al., 2001). El secado involucra una serie de cambios físicos, químicos y sensoriales en el alimento que dependen de su composición, así como de la severidad del método

de secado. Ejemplos de algunas de estas modificaciones son: encogimiento, cristalización, despolimerización, variación de color, sabor, textura, viscosidad, velocidad de rehidratación, valor nutritivo y estabilidad en el almacenamiento. La mayoría de estos factores están íntimamente relacionados con la calidad del producto. Por ello, la importancia de diseñar procesos que provoquen un mínimo daño al alimento.

Todavía hay desafíos pendientes para mejorar este proceso como: reducir el tiempo de secado, las temperaturas alcanzadas por el producto sometido a secado, conservar los compuestos bioactivos, los componentes relacionados con el sabor y el aroma, los nutrientes y disminuir el consumo de energía del proceso. De esta manera, se puede mejorar la calidad del producto en cuanto a sus características sensoriales y nutritivas y ahorrar en energía (Rojas y Esteves Duarte, 2019).

El secado es un proceso que consiste en eliminar del alimento el agua libre, de manera tal de impedir cualquier actividad microbiana o enzimática. Además, la eliminación de agua permite reducir considerablemente el peso y el volumen de los alimentos, facilitando el almacenaje y el transporte. La reducción de agua en procesos donde el producto a deshidratar alcanza muy altas temperaturas puede generar algunos problemas como:

- Alteración de la calidad nutritiva por pérdida de algunas vitaminas.
- Modificación de los atributos organolépticos por la eliminación de volátiles que contribuyen al sabor y aroma y por la formación de una costra superficial de textura, color y sabor desagradables.
- Cambios en la estructura del vegetal que dificulten la posterior rehidratación.
- Consumo excesivo de energía.

Como todo tratamiento térmico, el secado puede provocar reacciones de pardeamiento, insolubilización de proteínas, pérdidas de volátiles (aromas), etc. Este último efecto puede reducirse sensiblemente empleando temperaturas bajas como las usadas en procesos como la liofilización y deshidratación osmótica o con tiempos cortos de tratamiento (secado por atomización o spray). La liofilización y el secado spray son métodos que, si bien ofrecen excelentes resultados son costosos, mientras que la deshidratación osmótica no.

Secado por microondas

Mientras que los métodos convencionales de secado dependen del calentamiento desde la superficie del material hacia su interior debido a un gradiente de temperatura, el calentamiento con

microondas (y con radiofrecuencia) es un calentamiento global debido a la interacción del campo electromagnético con el material como un todo.

Con la generación interna de calor, la transferencia de masa es fundamentalmente debida al gradiente total de presión, establecido a causa de la rápida generación de vapor dentro del material. La mayor parte del agua es vaporizada antes de abandonar la muestra. Tiene lugar una especie de bombeo líquido forzando el agua hacia la superficie, frecuentemente como vapor. Esto contribuye a un secado muy rápido sin necesidad de sobrecalentar la muestra.

La calidad de los productos puede ser mejorada dado que no se generan elevadas temperaturas en la superficie, no tienen lugar sobrecalentamientos puntuales y encostramientos tan frecuentes como en los métodos convencionales.

Los cambios en el sabor y aroma de los productos deshidratados se deben fundamentalmente a la pérdida de componentes volátiles durante el proceso, así como el desarrollo de sabores y aromas típicos de los productos cocidos provocados por las altas temperaturas. Estos cambios son mayores cuanto más altas son las temperaturas utilizadas y/o cuanto más prolongado es el tiempo de secado. En el secado con microondas las temperaturas alcanzadas y el tiempo de secado son inferiores. El calentamiento uniforme de la masa húmeda reduce la migración de solutos. En cambio, en el secado convencional los gradientes de temperatura producen la migración de solutos hacia la superficie, contribuyendo a la formación de la costra superficial.

Las microondas se clasifican dentro del espectro electromagnético como ondas de baja energía. Se encuentran en el rango de longitud de onda entre 0.1 y 1m en el aire, correspondiente a frecuencias entre 300 y 3000MHz (Arballo, 2013). Las microondas, como cualquier otra radiación, son en parte reflejadas, en parte transmitidas y en parte absorbidas. La fracción absorbida promueve el calentamiento a partir de la interacción de los alimentos con las microondas. A diferencia de la radiación infrarroja, sin embargo, las microondas penetran profundamente en los productos. En el calentamiento con microondas, el calor es generado volumétricamente dentro del material irradiado y la velocidad de la entrada de energía no depende de la conductividad térmica ni de la resistencia de la superficie. La consecuencia más marcada del poder de penetración de las microondas es la rapidez excepcional del calentamiento (Berk, 2009). A diferencia de la radiación térmica, el calor generado con microondas depende fuertemente de la composición química del material a ser irradiado. Las microondas interactúan principalmente con las moléculas polares y las partículas cargadas. El componente más importante en esta interacción son las moléculas de agua del alimento (Ryynänen, 1995; Fellows, 2000; Berk, 2009). La energía electromagnética es transformada en calor dentro del alimento como resultado de la interacción con las moléculas polares presentes. Mientras el campo magnético alterna a alta frecuencia, los dipolos formados dentro del material rotan en su interior tratando de alinearse con el campo. Entre los mecanismos

a escala molecular pueden mencionarse la conducción iónica y la rotación dipolar. Los materiales dieléctricos están compuestos por un núcleo atómico positivo envuelto en electrones negativos. Cuando un campo eléctrico es aplicado las cargas negativas son desplazadas con respecto al núcleo y son inducidos los momentos dipolares produciendo el fenómeno de polarización electrónica (Jones, 1986). Dicho fenómeno genera que las cargas locales se muevan en consonancia con el campo eléctrico aplicado. La energía de microondas a través de los campos eléctricos y magnéticos influye en las muestras, las moléculas polares e iónicas presentes tratan de alinearse con el campo eléctrico oscilante, lo que genera calor por fricción debido a que los gradientes iónicos cambian constantemente y las partículas colisionan. Este movimiento produce la generación de calor. En consecuencia, el calor es generado dentro del material fruto de la penetración de las microondas a través de él. Este fenómeno involucra dos características del material dieléctrico. Una asociada a la concentración de las moléculas polares que implica la capacidad del producto de almacenar energía (constante dieléctrica) y la otra relacionada a la fracción de energía de las microondas que es convertida en calor (factor de pérdida dieléctrica). De esta manera estas características llamadas también propiedades dieléctricas influyen sobre la manera que el material dieléctrico se calienta (Berk, 2009). En consecuencia, la potencia volumétrica generada por las microondas dentro del alimento dependerá necesariamente de estas propiedades, que a su vez son función de la frecuencia y de la intensidad del campo eléctrico. El calentamiento con microondas es usado principalmente en hornos hogareños y de servicios de catering y alimentación (restaurantes, aerolíneas, etc.), para descongelar productos congelados, para cocinar, para hornear y también para hervir agua. Las microondas introducidas en los años 1950 se han convertido actualmente en el principal dispositivo para el calentamiento de alimentos en hogares y en muchos establecimientos de servicio de alimentos (Datta y Anantheswaran, 2001). Por consiguiente, la industria de procesamiento de alimentos dedica considerable esfuerzo para desarrollar productos y empaques compatibles con las capacidades y las limitaciones de los hornos de microondas. En cuanto a las aplicaciones industriales, el uso del calentamiento con microondas en industria de la alimentación es todavía limitado a un número pequeño de casos donde este método ofrece claras ventajas tecnológicas y económicas en relación con los sistemas de calentamiento convencional. Una de las aplicaciones industriales más exitosas del calentamiento con microondas es la descongelación parcial de carne congelada y pescado antes del corte (Schiffmann, 2001).

La constante dieléctrica representa la capacidad de un material de almacenar energía eléctrica y el factor de pérdida dieléctrica indica la capacidad del alimento de disipar la energía acumulada en forma de calor.

Esta interacción genera calor en el material y se inicia el proceso de deshidratación a velocidades muy superiores a las obtenidas en los métodos tradicionales de secado. La disminución de los tiempos de procesamiento es una de las principales ventajas del secado por microondas y en la actualidad, se están implementando diversas aplicaciones a nivel industrial para secado de pasta, de alimentos fluidos viscosos, horneado, concentración, precocción y cocción, pasteurización e inactivación enzimática (escaldado o blanqueado). En muchos casos, se utilizan equipos continuos de cinta, que pueden procesar grandes volúmenes de producto.

Estos equipos constan de tres componentes principales:

- El magnetrón que genera los campos electromagnéticos productores de microondas.
- Un tubo de aluminio denominado guía en el que, en su interior, la energía se va reflejando y va siendo conducida hasta la cámara de calentamiento.
- Una cámara de calentamiento donde se dispone el alimento para ser calentado.

Las frutas y vegetales son susceptibles al secado por microondas debido a su importante contenido de agua (50-97%) y absorben energía electromagnética proporcionalmente a este contenido de humedad (Wais, 2005).

Durante un proceso de secado por microondas es posible diferenciar tres etapas (Zhang et al., 2006):

1. Un **período de precalentamiento** durante el cual la energía electromagnética se convierte en energía térmica dentro del producto, y, en consecuencia, aumenta la temperatura del alimento con el tiempo. Una vez que la presión de vapor de agua en el alimento es mayor que la del medio, el material comienza a perder humedad, pero a una velocidad relativamente baja.

2. Una **etapa de secado rápido** en el que la temperatura permanece estable y la energía térmica obtenida a partir de las microondas se usa para la evaporación de agua.

3. Un **período de velocidad de secado decreciente**, cuando la humedad local se reduce hasta un punto en el cual la energía térmica obtenida de las microondas es menor a la necesaria para la evaporación. Por esta razón, la temperatura local podría crecer por encima de la temperatura de ebullición del agua, y así este sobrecalentamiento comprometería la calidad del producto. Los factores de pérdida de los materiales alimenticios disminuyen con la reducción del contenido de agua, Cuando este fenómeno sucede la temperatura del producto puede incrementarse hasta alcanzar un sobrecalentamiento o carbonización de los alimentos (Rodríguez, 2014).

Secado por convección con aire caliente

En el secado por convección forzada, se utiliza una corriente de aire tanto para suministrar el calor requerido para la evaporación como para eliminar la humedad de la superficie (Berk, 2018).

Este método de secado es uno de los más utilizado en frutas y verduras. Esta técnica se basa en el desarrollo de un gradiente interno de humedad, por lo que para reducir los largos tiempos de proceso (más aún cuando se buscan valores bajos de actividad de agua) se hacen necesarias temperaturas relativamente altas (60-80°C) (Wais, 2011).

La utilización del secado por aire caliente como tratamiento térmico único, en todas sus variantes, permite procesar cualquier producto alimenticio para la obtención de un producto final estable. Sin embargo, como ya se ha dicho, produce en los alimentos algunas transformaciones que pueden afectar con su calidad final.

La producción de frutas deshidratadas con características atractivas para el consumidor sigue siendo un desafío tanto para los investigadores como para los industriales (Laurindo, 2019). A pesar de existir numerosos métodos de secado, preservar la calidad de los productos deshidratados, manteniendo las características organolépticas y texturales, continúa siendo una tarea difícil.

Secado combinado

El secado combinado emplea diferentes métodos que incluyen dos o más opciones entre algunas de las siguientes:

- Secado convectivo con aire caliente.
- Secado a presión reducida.
- Deshidratación osmótica.
- Secado por microondas.
- Secado por radio frecuencia.
- Secado por pulsos de vacío.
- Secado por ultrasonidos.

El objetivo del uso de métodos combinados de secado: por ejemplo, el secado por microondas junto con convección con aire caliente o con vacío en vez de secado por convección con aire caliente solo, se centra en tres aspectos fundamentales (Della Rocca y Mascheroni, 2011):

1. Mejora de la calidad caracterizada por una o más de las siguientes propiedades:

- Mínima degradación química.
- Cambios de estructura y textura poco significativos.
- Mínima variación de sabor y aroma.
- Obtención del color deseado.
- Control preciso del contenido de humedad.

2. Protección del medio ambiente encarada a través de:

- Minimización del uso de energía en el proceso.
- Reducción de las pérdidas de producto en las corrientes de efluentes.

3. Consideraciones económicas entre las que se incluyen:

- Reducción de costos.
- Desarrollo de equipos simples, confiables y que requieren poca mano de obra.
- Minimización de la proporción de productos fuera de especificación.
- Desarrollo de procesos estables capaces de operar en forma continua.

II.9 Análisis sensorial

El análisis sensorial es una ciencia que surge durante la Segunda Guerra Mundial. El gran auge se produce cuando la industria alimenticia comienza a preparar las raciones alimentarias para los soldados. Es en ese momento cuando se desarrollan distintas técnicas y se avanza sobre la normalización y el conocimiento de la percepción humana.

La Industria de los alimentos precisa métodos de estudio que le permitan competir en el mercado ofreciendo productos de calidad y de acuerdo con las demandas de los consumidores. El análisis sensorial aporta una valiosa información, que permite un conocimiento más completo de las características de los alimentos, que posibilita su adecuada elaboración con objeto de satisfacer el gusto de los consumidores a los que se destinan.

El sabor se puede definir como la experiencia sensorial que se produce en la boca al degustar un alimento. La detección del sabor depende de la interacción tanto del sentido del gusto como del olfato, además de la combinación con otros atributos sensoriales tales como la textura, el color y la temperatura (Breslin y Spector, 2008). Clásicamente se distinguen 5 tipos de sabores fundamentales: dulce (como el de los carbohidratos simples), salado (proveniente de sales de sodio y otras sales catiónicas), ácido (ej. ácido cítrico, ácido ascórbico, etc.), amargo (las aguas tónicas por su quinina o vegetales como las aceitunas, por ejemplo, cuando no se curan.) y umami (como el del glutamato monosódico). Aunque actualmente permanece en discusión la existencia de otros sabores fundamentales, que, según algunos autores, deberían ser incluidos; los sabores metálicos y de ácidos grasos (Mattes, 2011). La detección de los distintos sabores se lleva a cabo por las células gustativas localizadas en unas estructuras especializadas llamadas botones gustativos presentes en las papilas gustativas de la lengua, paladar blando y la parte superior de la faringe. La capacidad de distinguir los distintos sabores depende de receptores específicos localizados en estas papilas. Las sustancias químicas disueltas en líquido acuoso (saliva) y parcialmente digeridas por

enzimas orales tales como la amilasa, lipasa y proteasa se unen a los receptores papilares produciendo una señal que se transmite al cerebro. La detección por medio del sentido del olfato de sustancias volátiles junto con la información procedente de las papilas gustativas y los demás atributos mencionados con anterioridad (textura, color y temperatura) se integran en una señal que se dirige al cerebro y produce la sensación que se experimenta cuando se ingieren los alimentos.

Los instrumentos de medición sensorial en muchos casos son efectivos, sin embargo, no pueden medir ni reemplazar la percepción sensorial. Por ejemplo, hay ingredientes y procesos que tienen efecto sinérgico que no pueden medirse con un instrumento. En el momento que una porción de alimento se contempla, se huele y se introduce en la boca se desencadenan una serie de efectos que están relacionados entre sí y que dependen de la intensidad y calidad del estímulo que provoca, de las características de los receptores sensoriales y de la atención y conocimientos básicos del individuo a la sensación percibida. Cuando la producción de un alimento está bien definida, tanto en términos instrumentales como sensoriales, la calidad del producto es más completa, tendiendo a los modernos conceptos de la calidad total (Carter y Risky, 1990).

Los métodos sensoriales pueden emplearse para:

- 1) Analizar, describir y cuantificar las características de aspecto, textura, aroma y sabor del producto, o evaluar diferencias entre productos.
- 2) Establecer las reacciones de los consumidores a los productos que presentan características previamente definidas. Entre estas reacciones se miden dos aspectos fundamentales: aceptabilidad y preferencia, las cuales son denominadas pruebas afectivas (Watts et al., 1992). En ellas intervienen componentes derivados de la propia fisiología individual, sensaciones que experimenta el individuo en contacto con el alimento, condicionamientos culturales, disponibilidad y factores económicos. Por consiguiente, deben realizarse exclusivamente con consumidores y no con evaluadores entrenados como es el caso de la primera situación. En estas pruebas afectivas, el consumidor expresa su grado de aceptación por una muestra a través de una encuesta cerrada, cuyos atributos son evaluados en una escala ordinal. En este sentido, el test hedónico de 9 puntos es una de las técnicas utilizadas para llevar a cabo pruebas afectivas (Peryam y Pilgrim, 1957; Pearson et al., 1993). Este tipo de evaluaciones es ampliamente utilizado para el desarrollo de nuevos productos y para la reformulación de alimentos ya existentes en el mercado, así como también para el análisis de líneas de producción y para control de calidad.

PARTE EXPERIMENTAL

III.1 MATERIALES

III.1.1 Materia Prima

La pera Packham's Triumph fue la materia prima utilizada. Esta variedad se consiguió en el mercado desde el mes de abril hasta el mes de septiembre. Se eligió trabajar con la misma debido a que, por su grado de madurez, permite que la fruta pueda mantener su estructura celular íntegra, luego de ser sometida a diferentes tiempos de deshidratación osmótica y además es una variedad de consumo habitual en nuestro país. Asimismo, cabe destacar que en ocasiones esta variedad posee una textura más arenosa y menor dulzor que otras variedades como la Williams, también muy consumida en nuestro país, especialmente como pera fresca. Por ello, esta variedad es excelente para utilizarla en la elaboración de un snack, cuyo tratamiento además de mejorar sus propiedades organolépticas y nutricionales, extiende su vida útil.



Figura 21. Peras Packham's Triumph.

III. 1.2. Caracterización de las muestras de peras

Las peras (Figura 21) se seleccionaron por tamaño y calidad. Se obtuvieron del Mercado Central, siempre con el mismo proveedor (Dimimax Argentina).

III. 1.3. Solución deshidratante/impregnación

Para realizar la solución deshidratante se utilizó agua destilada y los siguientes solutos:

- Sacarosa: sacarosa comercial, marca Ledesma.
- Lactato de calcio: marca Merck, grado alimenticio. El lactato de calcio posee una buena solubilidad en agua a 25 °C (9,3 g/L) y su sabor es ligeramente dulce. La fruta deshidratada

osmóticamente en soluciones con lactato de calcio muestra una buena aceptación sensorial (Yadav y Singh, 2014).

- Ácido ascórbico: marca Biopack, grado farmacéutico y alimenticio (USP) (United States Pharmacopea).
- Ácido cítrico: marca Centralchem, anhidro, grado alimenticio.
- Acetato de zinc: marca Biopack, grado analítico. El acetato de zinc se presenta como un polvo cristalino blanco plateado y es fácilmente soluble en agua (Puerto Galán, 2016). Existen algunas sugerencias de que el gluconato de zinc es más eficaz, sin embargo, podría provocar ciertas intolerancias digestivas (Penny, 2013).

III. 1.4. Equipo utilizado

- Agitador orbital con cámara termostatazada.
- Balanza analítica (Marca OHAUS CLSERIES 201) cuya precisión es de 0,01 g.
- Refractómetro de mano ABBE: marca Misco. Rango de 0 a 56 grados Brix.
- Penetrómetro manual marca Geotech. Mod.:GY-3.
- Equipo de microondas: marca De Longhi, potencia máxima 1000W, capacidad 25 litros; frecuencia: 2450 MHz. Este equipo permite trabajar en un modo de secado combinado (microondas y convección con aire simultáneamente).
- Estufa de convección con aire caliente, marca Thermical.
- Microscopio electrónico de barrido (MEB): marca Phillips, modelo 505, acoplado con energía dispersiva de rayos X.
- Espectrofotómetro de absorción atómica Perkin Elmer Analyst 400, con llama de aire-acetileno, Software WinLab32AA y lámparas de cátodo hueco para cada elemento.
- Equipo ICP-OES Agilent 720.

III.2 MÉTODOS

III. 2.1 Determinación de humedad

El contenido de humedad inicial de la pera se determinó según el método estándar (AOAC, 1996) por secado en estufa hasta alcanzar peso constante.

III. 2.2 Determinación de sólidos solubles

El contenido inicial de sólidos solubles de la pera fresca se determinó con refractómetro Abbe (precisión ± 0.01).

Las ecuaciones para determinar la humedad en base húmeda (H(b.h)), los sólidos totales (ST), la pérdida de peso (PP), la pérdida de agua (PA) y la ganancia de sólidos (GS) se detallan a continuación:

Humedad en base húmeda (H(bh)):

$$H (bh)(\%) = \frac{(m_0 - m_s)}{m_0} \times 100(1)$$

Sólidos totales (ST)

$$ST (\%) = \frac{m_s}{m_0} \times 100 \quad (2)$$

Pérdida de peso (PP)

$$PP (\%) = \frac{(m_i - m_f)}{m_i} \times 100 \quad (3)$$

Pérdida de agua (PA)

$$PA (\%) = \left[\left(1 - \frac{ST^0}{100} \right) - \left(1 - \frac{ST}{100} \right) \left(1 - \frac{PP}{100} \right) \right] \times 100 \quad (4)$$

Ganancia de sólidos (GS)

$$GS (\%) = \left[\left(1 - \frac{PP}{100} \right) \frac{ST}{100} - \frac{ST^0}{100} \right] \times 100 \quad (5)$$

Donde:

m_i , masa inicial de muestra de pera (al iniciar la experiencia de deshidratación osmótica);

m_f , masa de muestra deshidratada osmóticamente a tiempo t ;

m_s , masa de muestra seca (luego de estar en la estufa y alcanzar masa constante);

m_0 , masa de muestra en estado fresco para el caso de la humedad inicial o la masa de muestra extraída a cada tiempo t del recipiente para calcular la humedad a cada tiempo t ,

H (%), porcentaje de humedad;

ST° y ST, contenido de sólidos totales iniciales y en el tiempo, respectivamente.

III. 2.3 Determinación de la firmeza de la pulpa

La firmeza se determinó mediante un penetrómetro manual marca Geotech. Mod.:GY-3 (ensayo destructivo) que consiste en un dinamómetro acoplado a un vástago que se introduce 8 mm. en la pulpa de la fruta después de quitar la piel. El elemento penetrante de forma cilíndrica que se utiliza para peras tiene un diámetro de 5/16 pulgadas. En la Figura 22 se presenta el penetrómetro.

Se realizó en muestras de 10 unidades



Figura 22. Penetrómetro.

III. 2.4 Determinación de la acidez titulable.

Para la determinación de la acidez titulable, unos 400 g de la pera fresca se redujeron a pulpa fina mediante una procesadora y se mezclaron bien. Se tuvo especial cuidado de no moler las semillas. Luego, se tomaron 300 g de la muestra triturada y homogeneizada, la cual se transfirió a un vaso de precipitados de 1500 a 2000 ml, se agregó aproximadamente 800 ml de agua y se calentó a una temperatura máxima de 70°C durante una hora. Se filtró mediante un papel de filtro y se lavó el residuo con agua caliente, neutralizada. filtrada y las aguas de lavado se transfirieron a un matraz aforado de 2000 ml, se enfriaron a temperatura ambiente, se completó el volumen y se agitó perfectamente antes de tomar la alícuota para el análisis. Se calibró el potenciómetro con las soluciones tampón. Se lavaron varias veces los electrodos con agua, hasta que la lectura en agua recién hervida y enfriada fuera aproximadamente de pH 6.0. Posteriormente, se tomaron 25 ml de la muestra preparada y diluida. La muestra medida se transfirió a un vaso de precipitados de 400 ml y se diluyó aproximadamente a 50 ml con agua recién hervida, enfriada y neutralizada. Los electrodos perfectamente lavados se introdujeron en la muestra agitando con moderación y se agregó rápidamente la solución 0.1N de hidróxido de sodio hasta alcanzar un pH cercano a 6.0,

luego se continuó agregando lentamente la solución de hidróxido de sodio hasta alcanzar un pH de 7.0. Después de que se alcanzó este valor de pH, se terminó la titulación agregando el hidróxido de sodio en porciones de 4 gotas a la vez hasta lograr un pH 8.3; se anotó la lectura del pH y el volumen total de hidróxido de sodio gastado después de cada adición.

La expresión de los resultados se deduce por interpolación del volumen exacto de solución 0.1N de hidróxido de sodio correspondiente al valor de pH 8.3, promediando los resultados obtenidos por duplicado. Los resultados se expresan en mililitros de solución 0.1N de hidróxido de sodio por cada 100 g o 100 ml de producto o bien en gramos del ácido predominante del producto por cada 100 g o 100 ml de éste. Se considera que 1 ml de la solución 0.1N de hidróxido de sodio equivale a: 0.006404 g de ácido cítrico anhidro o a 0.006704 g de ácido málico anhidro (AOAC, 1975).

III. 2.5 Experiencias de deshidratación osmótica/impregnación (DO/I) con minerales

Preparación de la solución deshidratante/impregnación

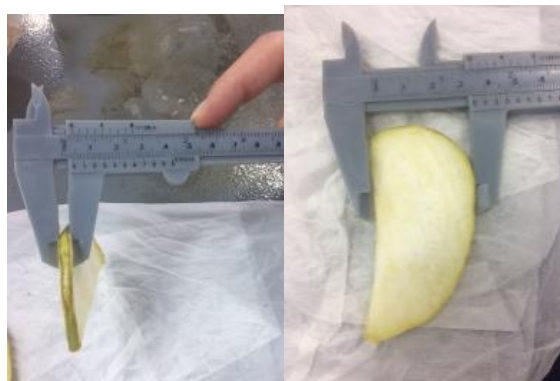
Para realizar la deshidratación osmótica, se preparó una solución acuosa utilizando agua destilada, y se emplearon las siguientes concentraciones de solutos:

- Sacarosa: 40% m/m
- Lactato de calcio: 5% m/m
- Ácido ascórbico: 5% m/m
- Ácido cítrico: 1% m/m
- Acetato de zinc: 0,1% m/m

III.2.6 Preparación de las muestras de pera

Las peras se lavaron y secaron con papel absorbente. Posteriormente, se descorazonaron y finalmente se cortaron manualmente con ayuda de una mandolina en rodajas de 5 mm de espesor (Figura 23). Se les dejó la piel. Las medidas de las rodajas se midieron con un calibre (Figura 24)



Figura 23. Extracción del corazón y corte de las peras en rodajas.**Figura 24.** Medición del espesor de las rodajas con calibre.

III. 2.7 Determinación de las condiciones durante la deshidratación osmótica/impregnación DO/I

Inicialmente, en el proceso de deshidratación osmótica/impregnación con minerales, se llevó a cabo la búsqueda de las concentraciones de soluto adecuadas a utilizar en la solución deshidratante (lactato de calcio y acetato de zinc) para lograr una concentración de minerales adecuadas en el producto. Es decir, una concentración que permitiera cubrir por lo menos un 20-25 % de la dosis diaria recomendada de calcio y zinc en 25 g del producto, considerando esta cantidad adecuada para una porción de un tentempié.

Para evitar el pardeamiento enzimático se agregó ácido L ascórbico y ácido cítrico.

Se empleó una concentración de sacarosa de 40 % m/m, basándose en las experiencias realizadas por Della Rocca, 2010 y Bellocq, 2012.

En la Figura 25 se muestra la preparación de la solución de deshidratación/impregnación.

Se extrajeron muestras a distintos tiempos durante el proceso de deshidratación osmótica/impregnación para evaluar la humedad del producto y así luego poder modelar la cinética del proceso (concentración de humedad en función del tiempo). También se determinó la variación de la concentración sólidos ganados y de minerales (Ca y Zn) durante el tiempo de la impregnación del producto.

III.2.8 Condiciones finales de trabajo en las experiencias de deshidratación osmótica/impregnación de minerales

Las rodajas de peras de 5 mm de espesor se sumergieron en una solución acuosa de 40% m/m de sacarosa, 5% m/m de lactato de calcio, 5% m/m de ácido ascórbico, 1% m/m de ácido cítrico y 0,1 % m/m de acetato de zinc (49 °Brix) a una temperatura de 40°C. Se empleó una relación masa de

solución/masa de peras de 4:1. El recipiente contenedor de las peras (Figura 26) con la solución deshidratante se colocó en un agitador orbital con cámara termostatazada (Figura 27) a 40 °C con un nivel de agitación de 120 rpm. La boca del recipiente se cubrió con papel metálico para evitar la contaminación y la posible pérdida de componentes volátiles. Tanto la temperatura como la relación de masa de solución a masa de producto (peras) empleada se basó en experiencias de deshidratación osmótica anteriores realizadas por Bellocq, 2012, Bosco et al, 2018; y Della Rocca, 2010.



Figura 25. Preparación de la solución de deshidratación/impregnación.



Figura 26. Recipiente contenedor del sistema peras-solución.



Figura 27. Equipo de deshidratación osmótica: agitador orbital y sistema solución-pera en su interior.

III.2.9 Determinación de peso de las muestras

Las muestras fueron pesadas en una balanza analítica (Marca OHAUS CLSERIES 201) cuya precisión es de 0,01 g.

III.2.10 Determinación de humedad de las muestras

El contenido de humedad se determinó a través de la pérdida de peso por desecación en estufa hasta alcanzar un peso constante. Durante 2 h se las secó a 70 °C y luego a 104 °C por 72 h más. Al principio el secado se realizó a menor temperatura para evitar la pérdida abrupta de agua y la pérdida de material por proyección.

III.2.11 Determinación de sólidos solubles en la solución y en la fruta

La determinación de sólidos solubles en la solución y en la fruta se realizó con un refractómetro, de mano ABBE marca Misco. Rango de 0 a 56 grados Brix (Figura 28). La concentración de sólidos solubles se expresó como °Brix ($\pm 0,1$). Las determinaciones se realizaron por triplicado y se informan los valores promedio



Figura 28. Refractómetro digital empleado para las determinaciones de grados Brix.

III.2.12 Curvas de deshidratación osmótica/impregnación

Curvas de humedad

Durante las experiencias de deshidratación osmótica/impregnación de las peras se retiró muestra a la primera media hora y luego cada hora hasta completar las 6 horas totales y posteriormente se determinó la humedad de estas muestras. Para cada tiempo, las muestras que continuaron en la experiencia se extrajeron y se enjuagaron con agua (a temperatura ambiente, tres veces en forma intermitente). Posteriormente, se secaron suavemente con papel absorbente y se registró el peso del producto osmodeshidratado/impregnado para cada tiempo. Finalmente, se grafica la humedad en función del tiempo de proceso.

Se realizaron los ensayos de deshidratación osmótica/impregnación por triplicado para cada tiempo y se empleó el valor promedio.

Curvas de impregnación con calcio y zinc

Se analizó la impregnación de minerales (calcio y zinc) durante el tiempo: a 30 min, 1h, 2h, 3h y 4h. La concentración de las muestras a cada tiempo se midió por espectrofotometría de absorción atómica en el caso del calcio y por ICP-OES en el caso del zinc, ambas por duplicado y se tomaron los valores promedios para construir las curvas de impregnación.

Las concentraciones de calcio y de zinc a los diferentes tiempos de impregnación se informaron en la Tabla XIV del Anexo y se representaron en la Figura 42 del capítulo Resultados.

Determinación de calcio y potasio de las muestras tratadas por deshidratación osmótica/impregnación por espectrometría de absorción atómica.

Los minerales calcio y potasio de las muestras de pera pretratadas por deshidratación osmótica/impregnación se analizaron por espectrometría de absorción atómica. A continuación se detalla el procedimiento.

Preparación de la muestra

Se pesó la muestra de 300-400 mg y se colocó en un tubo de digestión. El procedimiento se llevó a cabo por duplicado. Luego se agregó 5 mL de ácido nítrico concentrado en el tubo. Posteriormente, se colocaron los tubos con muestras y reactivo (blanco) en el bloque de digestión. Se encendió el equipo de digestión (marca Parr) y se calentó a 175 ° C para iniciar la predigestión. Se agitaron las muestras suavemente una o dos veces durante la predigestión con ácido nítrico. Se retiraron los tubos del equipo de digestión cuando el gas marrón comenzó a eluir (o cuando la

solución comenzó a vaporizarse, si no hay gas marrón). Se dejó enfriar durante 30 minutos. Se agregó 4 mL de peróxido de hidrógeno al 30% a cada tubo. Luego, se colocó en el equipo de digestión a 175 °C nuevamente. Los tubos se retiraron del equipo cuando se inició la reacción. Para el análisis de potasio se añadieron a los estándares y a las muestras, cloruro de cesio y para el análisis de calcio se añadió a los estándares y a las muestras cloruro de lantano en cantidad adecuada (6500 ppm), para evitar interferencias.

Para el análisis de minerales se utilizó un espectrofotómetro de absorción atómica Perkin Elmer Analyst 400, con llama de aire-acetileno, Software WinLab32AA y lámparas de cátodo hueco para cada elemento.

Luego del mineralizado, las muestras se llevaron a un volumen de 10 mL y se realizó la medición a $\lambda=766.5$ nm y $\lambda=422,7$ nm, para el potasio y el calcio, respectivamente.

Determinación de zinc de las muestras tratadas por deshidratación osmótica/impregnación

La determinación de zinc de las muestras se realizó por Espectroscopía de Emisión Atómica con Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP-OES).

III.2.13 Secado combinado (microondas y convección con aire caliente) y comparación con secado convencional solo por convección con aire caliente de las muestras deshidratadas/impregnadas.

Posterior a la deshidratación osmótica/impregnación se realizó el secado simultáneo en microondas y convección con aire caliente. Se trabajó en un equipo de microondas marca De Longhi, que permite trabajar en un modo de secado combinado (microondas y convección con aire simultáneamente). En las experiencias de secado combinado se colocó una masa de pera pretratada por deshidratación osmótica/impregnación con minerales de 270 g en el microondas. Las peras se distribuyeron de manera concéntrica y dejando un espacio en el centro (formando una especie de corona) sobre la bandeja. En la Figura 29 se puede apreciar una foto del equipo.

Posteriormente, se comparó este secado combinado con el secado en estufa sólo por convección con aire caliente (Figura 30) a las siguientes temperaturas: 90 °C, 120 °C y 160 °C. Se seleccionó la temperatura más adecuada, teniendo en cuenta las características organolépticas del producto obtenido: sabor, color y textura.

Durante esta etapa se elaboraron las curvas de humedad del producto en función del tiempo de secado para luego poder modelar matemáticamente estos dos procesos de secado diferentes.

En el secado combinado, también se buscaron las potencias de microondas y los tiempos adecuados de microondas con los cuales trabajar para alcanzar los parámetros de calidad deseables

(sabor, color, textura y microestructura). Se trabajó en un rango de potencias de (40-80 % de la potencia máxima del microondas, 1000W) y en un rango de tiempos de (10-20 min).



Figura 29. Equipo de secado combinado (microondas y convección con aire caliente). En su interior se puede observar la disposición de las rodajas de peras.



(a)



(b)

Figura 30. (a) Estufa de convección con aire caliente. (b) Rodajas de peras secándose por convección con aire caliente.

Determinación de calcio, potasio y de zinc de las muestras sometidas a secado combinado, por espectrometría de absorción atómica y por ICP/OES

La concentración del contenido de los minerales (Ca, Zn y K) del producto final, luego de todo el proceso de secado, se midió a través de Espectrometría de Absorción Atómica (EAA) en el caso del calcio y potasio, cuya metodología fue detallada anteriormente, y mediante un equipo de ICP-OES en el caso del zinc.

III.2.13.1 Curvas de secado combinado y de secado solo con convección con aire caliente

Luego de seleccionar las potencias de microondas adecuadas para el secado (500W y 600 W) y los tiempos de cocción y de reposo entre cocciones, se realizaron las curvas de secado (humedad en función del tiempo). Se tomaron las muestras para determinar humedad cada 1 min.

Asimismo, las peras se colocaron en la estufa de convección a una temperatura de 90 °C y se extrajeron muestras a determinados tiempos de 0.5 h, 1 h, 2 h, 3 h, 4 h y 5 h para determinar humedad para cada tiempo y de esta manera construir la curva de secado convectivo (humedad en función del tiempo).

Las curvas de secado combinado se compararon con las curvas de secado convencional con aire caliente solo.

III.2.14 Modelos matemáticos

III.2.14.1 Modelado del proceso de deshidratación osmótica

Se utilizaron los siguientes modelos para ajustar los datos experimentales de relación de humedades, RH y su relación con el tiempo.

$$RH = \frac{H_t - H_e}{H_0 - H_e} \quad (6)$$

1- Modelo de Page (1949)

$$\frac{(H_t - H_e)}{(H_0 - H_e)} = e^{-k t^N} \quad (7)$$

H: Porcentaje de humedad

t: Tiempo

K y N: parámetros del modelo

Subíndices: t: a un determinado tiempo

e: en el equilibrio

0: inicial

2- Modelo de Page modificado

$$\frac{(H_t - H_e)}{(H_0 - H_e)} = A e^{-K t^N} \quad (8)$$

Se agrega el parámetro A

3- Modelo de Henderson y Pabis (1961)

$$\frac{(H_t - H_e)}{(H_0 - H_e)} = A * e^{-K t} \quad (9)$$

A y K: parámetros del modelo

4- Modelo de Midilli et al. (2002)

$$\frac{(H_t - H_e)}{(H_0 - H_e)} = A * e^{-K t^N} + B * t \quad (10)$$

A, K, N y B: parámetros del modelo.

Estos modelos empíricos (1, 2, 3 y 4) derivan de una relación directa entre el contenido de humedad promedio y el tiempo de secado. Son muy útiles en la industria para estimar tiempos rápidamente en condiciones de operación similares a las empleadas para determinar los parámetros.

El más usado de ellos es el de Page cuyo parámetro k puede ser considerado como una medida de la velocidad de pérdida de humedad cuando se comparan experiencias con idénticos valores de N.

Muchos investigadores como Borsini et al., 2016; Guevara Guerrero y López Rodríguez, 2013 encontraron que el parámetro k se incrementa con la temperatura.

5- Modelo de Crank

La velocidad de difusión del agua y sólidos solubles puede estimarse mediante la 2° ley de Fick (Conway y col., 1983):

$$\frac{dC}{dt} = \nabla (D \nabla C) \quad (11)$$

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

Esta ecuación puede resolverse tanto numérica como analíticamente dependiendo de las suposiciones que se establezcan y de las condiciones iniciales y de contorno que se presenten para cada caso.

Considerando el alimento como una placa plana (difusión unidimensional) y coeficiente de difusión de agua y soluto constante en todo el dominio espacial la ecuación de Fick puede expresarse como:

$$\frac{dC}{dt} = D \frac{d^2C}{dx^2} \quad (12)$$

x : dimensión en la que se produce la difusión, distancia desde el centro de la placa.

C : Concentración

t : tiempo

Para las siguientes suposiciones y condiciones límite:

$$C = C_0 \quad \text{para } t = 0 \quad -L/2 < x < +L/2$$

donde L es el espesor de la placa y C_0 es la concentración inicial.

$$C = C_1 \quad \text{para } t > 0 \quad x = \pm L/2$$

donde C_1 : la concentración en el seno del fluido.

Las rodajas de peras se pueden considerar como una placa plana semiinfinita ya que el espesor es muy pequeño respecto de las otras dos dimensiones. Como el coeficiente de difusividad o de difusión, en la mayoría de los casos no se puede considerar constante, varía con las condiciones de la experiencia reemplazamos a D como la Difusividad efectiva del agua, D_{ef} .

Para estimar la difusividad efectiva del agua y del soluto se empleó este modelo, en el que se consideran las siguientes hipótesis:

- 1) la transferencia de masa es unidireccional

- 2) se considera solamente el mecanismo difusional de eliminación de agua
- 3) no se considera la interacción entre flujos
- 4) se desprecia el encogimiento y la resistencia externa a la transferencia de masa
- 5) se considera que la rodaja de pera es una placa plana equivalente de espesor $2L$
- 6) se supone un sistema con alta agitación, lo que implica que la concentración de soluto en la superficie de la rodaja es igual a la del seno de la solución

El coeficiente de difusión (D) depende de las especies moleculares que difunden, del medio en el cual se encuentran y de la temperatura. Es una medida de la velocidad a la cual las sustancias difunden unas en otras.

Para un volumen de solución de deshidratación osmótica/impregnación muy bien agitada y con un volumen limitado o acotado, las ecuaciones que permiten estimar los valores de coeficiente de difusividad efectiva tanto para el agua como para los solutos son las siguientes (Rastogi et al., 2002):

$$\frac{(C_t - C_e)}{(C_0 - C_e)} = \sum_{n=1}^{\infty} C_n \exp[-q_n^2 D_{ef} t / a^2] \quad (13)$$

Donde C puede convertirse en H la humedad en la ecuación para el agua y en C_s la concentración del sólido en la ecuación que describe el comportamiento de los sólidos y $a = L/2$ es el semiespesor de la rodaja. Los subíndices 0, t y e indican la concentración a tiempo 0, inicial; a un tiempo cualquiera, t, y en condiciones de equilibrio ($t \rightarrow \infty$), respectivamente. D_{ef} es el coeficiente de difusividad efectiva que puede ser el del agua, w o el coeficiente de difusividad de los solutos, s, según de que ecuación se trate.

El coeficiente C_n está dado por:

$$C_n = \frac{2R(1+R)}{(1+R+R^2q_n^2)} \quad (14)$$

Donde R es la relación entre el volumen de la solución y el volumen de la muestra de pera. Los coeficientes q_n son las raíces positivas no nulas de la siguiente función trascendente:

$$\tan(q_n) = -Rq_n \quad (15)$$

N toma valores enteros como 1, 2, 3, etc.

Experimentalmente, se puede considerar el primer término de la ecuación (13) cuando

$F_{oa} = D_{ew} t/a^2$ satisface $F_{oa} \geq 0.1$. En ese caso, para la difusión del agua la ecuación tiene la siguiente expresión luego de aplicar \ln a ambos miembros.

$$\ln \left(\frac{H_t - H_e}{H_0 - H_e} \right) = \ln C_1 - \frac{q_1^2 D_{ew} t}{a^2} \quad (16)$$

Si se grafica el primer miembro de la ecuación (16) en función del tiempo, de la ordenada al origen se puede extraer el valor de C_1 y de la pendiente $\frac{q_1^2 D_{ew}}{a^2}$ se puede obtener el coeficiente de difusión o de difusividad.

III.2.14.2 Modelado del proceso de secado combinado (simultáneo con microondas y convección con aire caliente) y secado convectivo (con aire caliente)

Se ajustaron los datos experimentales de humedad en función del tiempo a distintos modelos de bibliografía: modelo de Page (1949), Crank (1975) y Wang y Singh (2002).

El modelo de Page se desarrolló en el punto III.2.14.1.

1. Modelo de Crank (1975)

Este modelo para una placa plana semiinfinita en un volumen muy bien agitado ilimitado se puede expresar por las ecuaciones que se hallan a continuación.

La solución de Crank para la concentración promedio en las láminas planas semiinfinitas se presenta en la siguiente ecuación:

$$\frac{C_t - C_e}{C_0 - C_e} = \sum_{n:0}^{\infty} \frac{8}{(2n+1)^2 \pi^2} \exp \left[-(2n+1)^2 \pi^2 \frac{D_{ef}}{L^2} t \right] \quad (17)$$

Para tiempos largos el modelo se puede simplificar usando solo el primer término de la ecuación anterior, la expresión resulta:

$$\frac{C_t - C_e}{C_0 - C_e} = \frac{8}{\pi^2} \exp \left[-(2n+1)^2 \pi^2 \frac{D_{ef}}{L^2} t \right] \quad (18)$$

Al aplicar logaritmo neperiano en ambos miembros de la ecuación, se obtiene la siguiente expresión:

$$\ln\left(\frac{C_t - C_e}{C_0 - C_e}\right) = \ln\left(\frac{8}{\pi^2} - \frac{\pi^2 D_{ef}}{4 L^2} t\right) \quad (19)$$

Donde C es la concentración a tiempo t, C₀ es la concentración inicial, C_e es la concentración de equilibrio, L es el semiespesor

2. Modelo de Wang y Singh (2002)

$$\frac{H_t - H_e}{H_0 - H_e} = A.t^2 + B.t + C \quad (20)$$

A, B y C: Parámetros del modelo.

La ventaja de los modelos empíricos como los de Page, Midilli et al. Henderson y Pabis, Wang y Singh es que no tienen en cuenta el tamaño, la forma o la estructura del alimento y permiten alcanzar una solución cuando no se conocen en profundidad los mecanismos de transferencia. No obstante, al ser modelos derivados de resultados experimentales, no pueden utilizarse con confianza por fuera del rango de condiciones operativas estudiadas

La ecuación de la razón de humedad se simplificó a H(t)/H₀ porque H_e es relativamente pequeña comparada con H(t) o H₀ (Doymaz, 2004; Rodríguez, 2014).

Tratamiento estadístico aplicado a los datos experimentales

El ajuste de los modelos cinéticos a los datos experimentales se realizó mediante regresión no lineal, con la aplicación Excel 2010 por el método de mínimos cuadrados y la herramienta Solver. Para evaluar la bondad del ajuste del modelo a los datos, se tuvo en cuenta el coeficiente de determinación, R²

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (V_{pred\ i} - V)^2}{\sum_{i=1}^N (V_{exp\ i} - V)^2} \quad (21)$$

V = promedio de todos los N datos experimentales

N = número de datos experimentales

Subíndices

pred: indica valor predicho por el modelo

exp: indica valor experimental

i: valor iésimo, cada uno de los N valores

Optimización final del proceso combinado y del producto obtenido

Se optimizó el proceso en función de distintos objetivos (mejora de la calidad final, menores costos, ahorro de energía, etc.).

Para reducir las características adherentes al tacto del producto se sometió a un secado final convectivo con aire caliente a 50 °C durante 10 min y se observaron mejoras en sus características texturales macroscópicamente mediante ensayos de percepción táctil.

III.2.15 Microscopía electrónica de barrido, MEB (acrónimo en inglés: SEM, *Scanning Electron Microscopy*)

Se tomaron microfotografías de las rodajas de peras con piel. Las secciones para analizar fueron cubos de 5 mm de arista. En la Figura 31 se puede apreciar en las zonas donde se realizaron los cortes de los cubos: parte externa de la pulpa, cercana a la piel; parte interna, lejos de la piel y también se hicieron cortes de cubos en la piel.

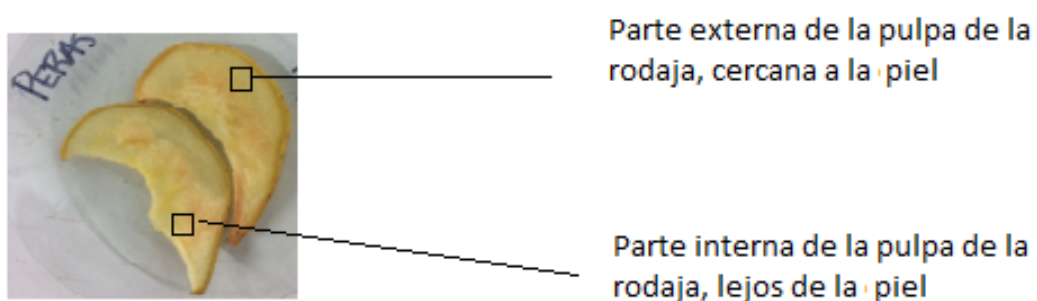


Figura 31. Imagen que señala las partes en las que se seccionaron los cubos para analizar con el microscopio electrónico de barrido, acoplado con energía dispersiva de rayos X.

Previamente, las muestras se montaron sobre papel metalizado y se cubrieron con una delgada película de Au (600 Å), en atmósfera de argón.

El microscopio electrónico de barrido utilizado se aprecia en la figura 32.



Figura 32. Foto de microscopio electrónico de barrido, marca Philips 505. Cortesía INTI Mecánica.

III.2.16 Análisis sensorial

El análisis sensorial se llevó a cabo mediante una prueba de consumidores. Se realizó con un panel no entrenado, en el que intervinieron 47 personas, estudiantes de la carrera de enfermería y de nutrición de la Universidad del Salvador.

Para la prueba se seleccionaron dos muestras de las peras experimentales por sus mejores características sensoriales y se contrastaron con una muestra comercial sin fortificación de nutrientes. Las muestras fueron colocadas en vasos de plástico descartables, previamente sanitizados, y se rotularon con diferentes números de tres dígitos elegidos de manera aleatoria. A cada consumidor se le entregó un vaso de cada muestra (Figura 33) para realizar el análisis sensorial mediante una encuesta de evaluación sensorial.



Figura 33. Rodajas de peras en vasos listas para evaluación sensorial.

A continuación, se presenta la encuesta realizada a estudiantes de la carrera de enfermería y de nutrición de la Universidad del Salvador:

Encuesta de evaluación sensorial: “Rodajas de peras desecadas”

1) Se pretende evaluar la aceptación del producto como un snack o refrigerio. Por favor, pruebe las muestras de peras de a una, indicando su nivel de agrado para cada una de ellas. Se sugiere, luego de cada degustación beber agua. Coloque una **X** donde crea que mejor se describe el producto:

Muestra 176	Aroma	Color	Textura	Sabor
Me gusta				
No me gusta ni me Disgusta				
Me disgusta				

Aceptabilidad Total:

1	2	3	4	5

No me gusta

Me gusta mucho

Comentarios:

.....

Muestra 231	Aroma	Color	Textura	Sabor
Me gusta				
No me gusta ni me Disgusta				
Me disgusta				

Aceptabilidad Total:

1	2	3	4	5

No me gusta

Me gusta mucho

Comentarios:

Muestra 487	Aroma	Color	Textura	Sabor
Me gusta				
No me gusta ni me disgusta				
Me disgusta				

Aceptabilidad Total:

1	2	3	4	5

No me gusta

Me gusta mucho

Comentarios:

2) Por favor, a continuación, compare las muestras y responda las siguientes preguntas, colocando el número de muestra:

- **¿Cuál es la más dulce?:**
- **¿Cuál es la más amarga?:**
- **¿Cuál es la más ácida?:**
- **¿Cuál es la menos ácida?:**
- **¿Cuál tiene mayor aroma a cítrico?:**
- **¿Cuál tiene menor aroma a cítrico?:**

- **¿Cuál tiene mayor aroma a caramelo?:**
- **¿Cuál tiene menor aroma a caramelo?:**

MUCHAS GRACIAS POR SU TIEMPO

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

IV.1 Caracterización de las peras en estado fresco

En la Tabla IV se informan los resultados obtenidos de la caracterización de las peras Packham 's Triumph en estado fresco

Tabla IV. Resultados de la caracterización de la pera en estado fresco

Contenido de humedad (bh) (%)	85.15 ± 0.62
Contenido inicial de sólidos solubles (°Brix)	13.3 ± 1.3
Firmeza de la pulpa (lbf/pulg ²)	14,9 ± 1.5
Acidez titulable (g/L)	3.8 ± 0.4

Al inicio de la cosecha, Benitez (2001) informa valores de firmeza de (17,2 ± 1,8) lbf/pulg² y de sólidos solubles (10 -11) °Brix. Estos valores se modifican a medida que la pera madura. Los sólidos solubles aumentan y la firmeza de la pulpa disminuye. Los valores hallados (Tabla IV) están en concordancia con una mayor maduración de la pera al encontrarse en el mercado

IV.2 Deshidratación osmótica/impregnación de las peras (DO/I)

En la Figura 34 se presentan los datos experimentales de humedad de la pera en base húmeda (b.h.) en función del tiempo de deshidratación osmótica. Los datos experimentales correspondientes a los triplicados se hallan en el Anexo. Se graficaron los promedios de los triplicados.

La pérdida de humedad es significativa en las primeras dos horas donde se produce una variación de humedad del 12 %, aproximadamente la mitad del total de variación de humedad producida durante las 6 horas totales de tratamiento por deshidratación osmótica. Por consiguiente, la velocidad de deshidratación es superior en las primeras dos horas de deshidratación osmótica y luego decae más lentamente. Este fenómeno se puede apreciar en la Figura 35 que exhibe la variación de la velocidad de deshidratación osmótica de la pera en función del tiempo.

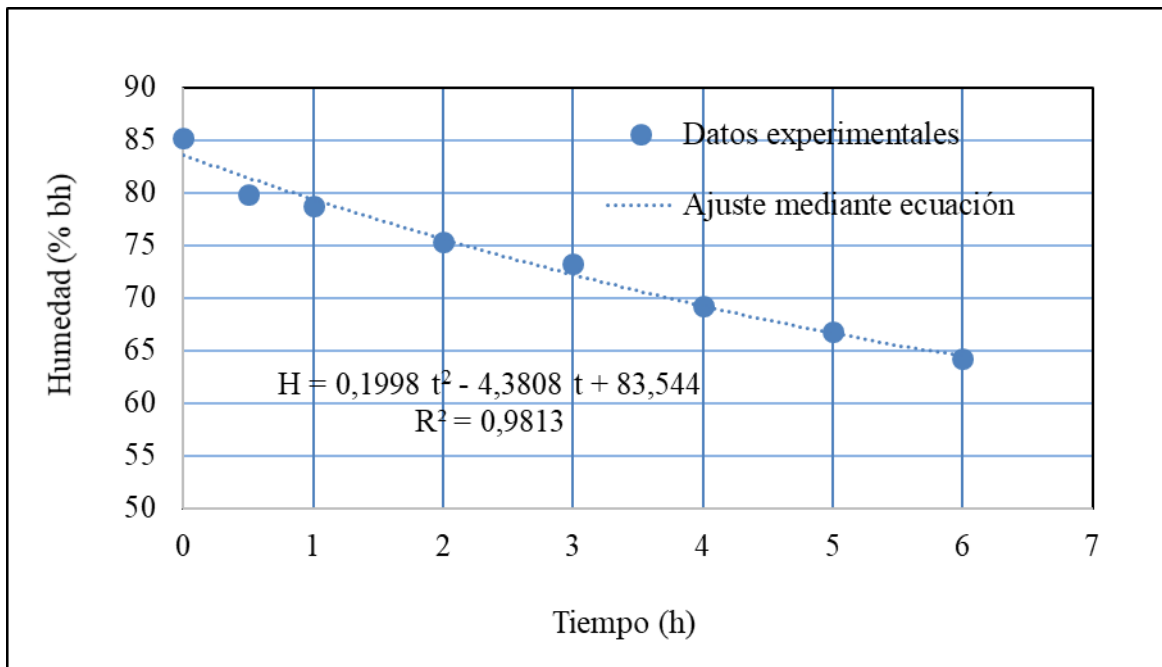


Figura 34. Humedad de la pera en función del tiempo de deshidratación osmótica.

Gómez et al. (2005); Della Rocca (2010), Bellocq (2012) y Rodríguez (2013) encontraron también que la mayor transferencia de agua tiene lugar en las primeras dos horas del proceso de deshidratación osmótica. Es decir, que la velocidad es mayor en este período y luego disminuye en el tiempo hasta alcanzar una velocidad menor y prácticamente constante.

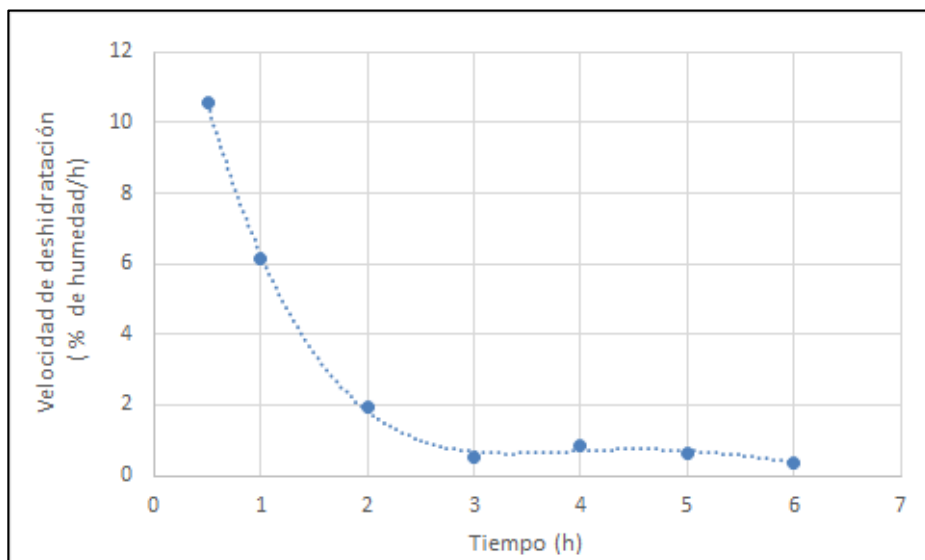


Figura 35. Velocidad de deshidratación osmótica de la pera en función del tiempo.

Los datos experimentales de humedad en base húmeda se correlacionaron en función del tiempo con una ecuación de segundo grado. La expresión de la ecuación es:

$$H = 0.1998 t^2 - 4.3808 t + 83.544$$

cuyo coeficiente de determinación, R^2 es de 0.981. La curva correspondiente a la ecuación que ajusta los datos experimentales promedio se halla en la Figura 83.

El flujo de materia que se produce en el interior del tejido del fruto en el proceso de deshidratación osmótica es un fenómeno de alta complejidad en el que la estructura del tejido tiene un protagonismo muy importante (Vicente, 2016). La pérdida de agua se relaciona con las condiciones de operación y las características propias del tejido celular del vegetal (Torreggiani et al., 1986 a y b; 1988; Islam y Flink, 1982; Lerici et al., 1985). La disminución de la humedad del fruto durante el proceso depende significativamente de su porosidad, característica intrínseca de cada especie. La porosidad de la pera se halla comprendida entre 4 -7 % (Madiouli et al., 2012) es bastante menor que la del zapallo (Cucurbita pepo L.), 10-18 % (Mayor et al., 2011). Esta característica estructural explica la menor pérdida de humedad obtenida en la pera (14 %) que en la calabacita (30 %) para un mismo tiempo de deshidratación osmótica (4 h) en una solución deshidratante similar. Los datos de pérdida de humedad de la calabacita se obtuvieron a partir del trabajo de Bellocq, 2012.

En la Figura 36 se muestran las rodajas de peras luego del tratamiento por deshidratación osmótica/impregnación a diferentes tiempos.



Figura 36. Rodajas de peras luego del tratamiento de deshidratación osmótica/impregnación a diferentes tiempos.

Cabe destacar que, simultáneamente a la deshidratación osmótica ocurre el proceso de impregnación del fruto con solutos provenientes en la solución.

En la Figura 37 se puede observar las variaciones de los grados Brix de la solución deshidratante y de la pera durante el tiempo de deshidratación osmótica/impregnación. En la solución se produce la caída de los grados Brix por el pasaje de agua a la solución. Tal como se señaló anteriormente, la máxima pérdida de agua de las peras se produce en las primeras dos horas. Este fenómeno produce una dilución de la solución deshidratante que coincide con la disminución de grados Brix de la solución que se produce en las primeras dos horas. En el caso de los grados Brix de la pera se observa un rápido aumento a las dos horas y luego un paulatino incremento hasta alcanzar un valor similar al correspondiente a la solución a las 6 horas de transcurrido el proceso de deshidratación osmótica/impregnación.

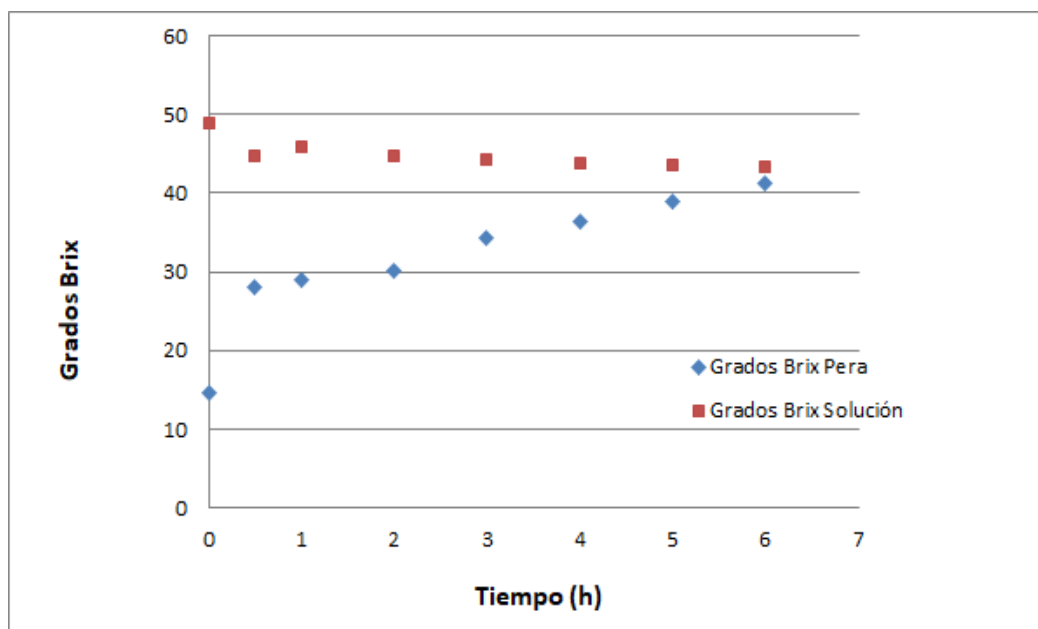


Figura 37. Grados Brix de las peras y de la solución deshidratante durante el proceso de deshidratación osmótica/impregnación.

IV.2.1 Modelado matemático del proceso de deshidratación osmótico/impregnación.

En la Tabla V se presentan los resultados obtenidos al ajustar los modelos matemáticos que describen los datos experimentales correspondientes a la variación de la humedad en función del tiempo durante el proceso de deshidratación osmótica/impregnación con minerales. Estos modelos (Page (1949), Page modificado, Henderson y Pabis (1961) y Midilli et al. (2002)) son empíricos, permiten obtener los parámetros que contribuyen a la interpretación del proceso físico, pero sus valores son válidos en condiciones similares a las de las experiencias realizadas.

Tabla V. Parámetros de las ecuaciones de los modelos y bondades del ajuste (R^2).

Modelo	A	K (h^{-N})	N	B (h⁻¹)	R²
Page (1949)		0.493	0.777		0.989
Page modificado	0.759	0.073	2,0		0.981
Henderson y Pabis (1961)	1.039	0.383			0.928
Midilli et al. (2002)	0.984	0.219	0.982	-0.034	0.959

Los modelos de Page y de Midilli et al. presentan valores de N, cercanos a 1; el de Henderson y Pabis considera orden 1 y el de Page modificado ajusta con valor 2.

Los resultados obtenidos con el modelo de Midilli et al. están comprendidos en el rango de los obtenidos por Rodríguez (2014) en procesos de deshidratación osmótica de frutos del bosque. La constante A presentó valores entre 0.687144 y 1.280851, mientras que K se mantuvo entre (0.0036 y 47.56 h⁻¹), N entre 0.458610 y 1.326325 y, por último, la constante B estuvo comprendida entre (-0.0576 y 0.0216 h⁻¹).

A continuación, se presentan los gráficos correspondientes de los diferentes modelos aplicados a los datos experimentales de variación de la humedad en función del tiempo. Los valores de humedad, graficados corresponden a los promedios de las experiencias realizadas por triplicado. Las Figuras 38, 39, 40 y 41 muestran los valores experimentales y el ajuste del modelo de Page, Page modificado, Henderson y Pabis y Midilli et al., respectivamente.

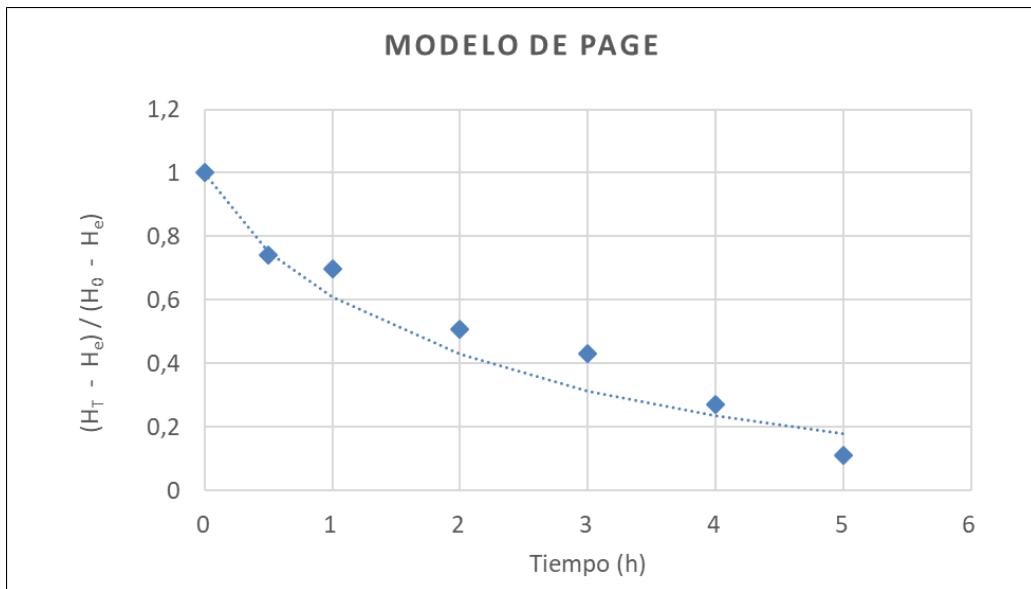


Figura 38. Datos experimentales del proceso de deshidratación osmótica/impregnación y ajuste del modelo de Page.

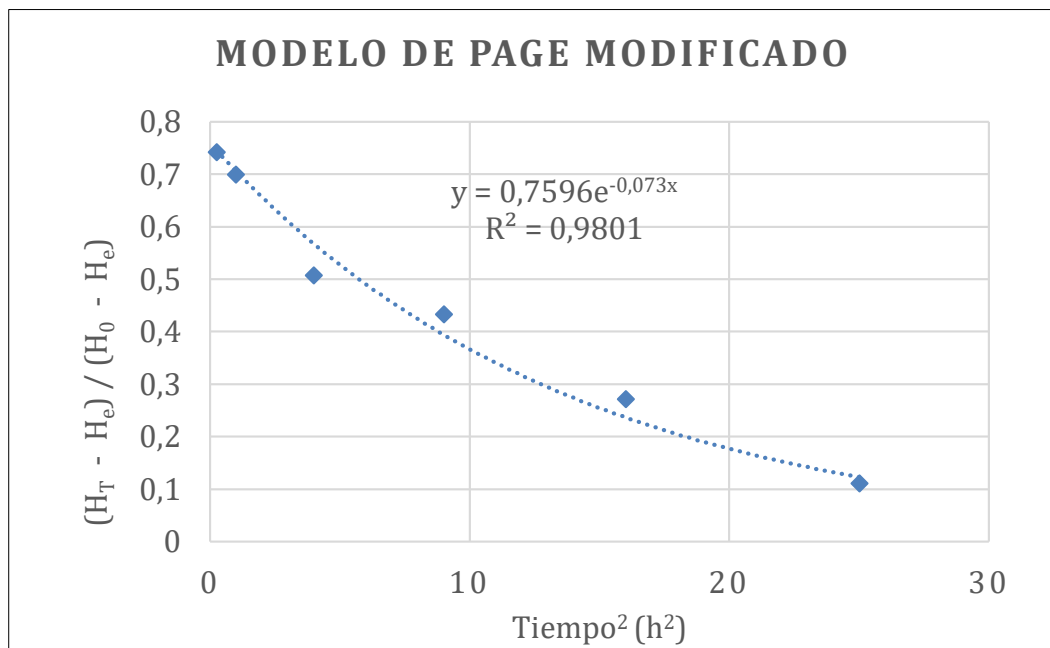


Figura 39. Datos experimentales del proceso de deshidratación osmótica/impregnación y ajuste del modelo de Page modificado.

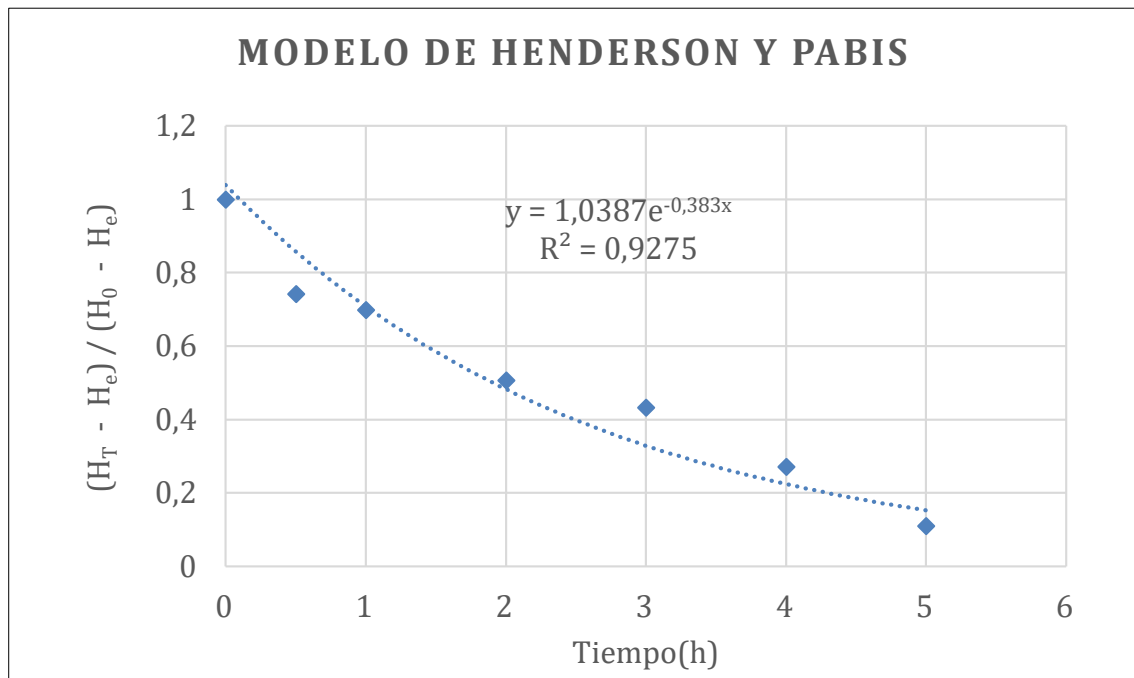


Figura 40. Datos experimentales del proceso de deshidratación osmótica/impregnación y ajuste del modelo de Henderson y Pabis.

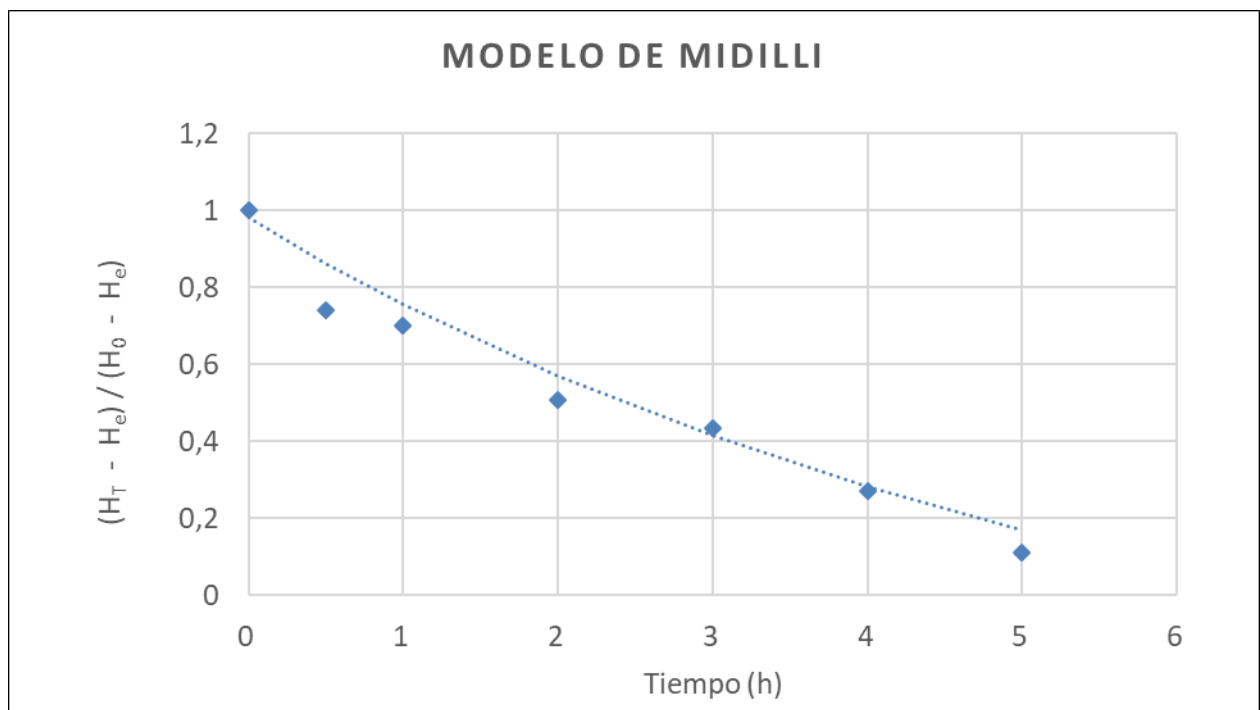


Figura 41. Datos experimentales del proceso de deshidratación osmótica/impregnación y ajuste del modelo de Midilli et al.

El modelo de Page fue el que ajustó más satisfactoriamente los datos experimentales. Esto puede verificarse por sus valores de R^2 .

Los valores de los parámetros correspondientes a las ecuaciones de Page (1949) son función de las condiciones de proceso y también del valor considerado para la humedad de equilibrio.

La ecuación de Page presenta la ventaja de su reducido número de parámetro y por consiguiente su simplicidad matemática. Se puede afirmar que, desde el punto de vista ingenieril estos modelos permiten una correcta simulación del proceso.

Las ecuaciones de los modelos empíricos con sus respectivos parámetros se presentan en la Tabla VI.

Tabla VI. Ecuaciones matemáticas utilizadas para el ajuste de las cinéticas de peras osmodeshidratadas/impregnadas.

Modelos	Ecuaciones
Page	$RH = e^{-0.493 t^{0.777}}$
Page modificado	$RH = 0.759 * e^{(-0.073 t^2)}$
Henderson y Pabis	$RH = 1.039 * e^{-0.383 t}$
Midilli et al.	$RH = 0.984 \times e^{(-0.219 t^{0.982})} - 0.034 \times t$

Curvas de absorción de calcio y zinc en el proceso de impregnación de las peras

Es importante destacar que la impregnación se llevó a cabo a presión atmosférica. Es decir, se tuvieron en cuenta los resultados de Casim, 2011 que sugiere que para obtener productos más crocantes, porosos y poco fuertes, similares a un producto “snack”, el pretratamiento de impregnación debe llevarse a cabo a presión atmosférica ya que la impregnación al vacío da lugar a productos más resistentes a la ruptura, similares a un caramelo duro.

En la Figura 42 se presentan las curvas de absorción de calcio y de zinc durante la deshidratación osmótica/impregnación. En la pera fresca, sin tratamiento la concentración de calcio y de zinc es de 204 mg/kg y de 2,1 mg/kg, respectivamente. Durante la primera hora de DO la absorción de calcio y de zinc es de 2250 mg/kg y de 326,44 mg/kg, respectivamente (Tabla XIV del Anexo). Como puede apreciarse en este gráfico, la velocidad de absorción para el calcio y para el zinc es máxima en la primera hora de impregnación. Posteriormente, disminuye gradualmente con el tiempo. Después de las dos horas, el incremento en la absorción tanto del calcio como del zinc continúa, pero se realiza muy paulatinamente. Después de un tratamiento de impregnación durante 1 hora, 1 kg de pera absorbe calcio en un valor 2,25 veces superior a la ingesta recomendada diaria para un adulto (1000 mg/día) y en el caso del zinc un valor 30 veces mayor a la ingesta recomendada diaria para un adulto (11 mg/día), cuando la pera se sumergió en una solución de las

características indicadas en el punto III.2.3 (Experiencias de deshidratación osmótica/impregnación (DO/I) con minerales).

Debido a que los valores absorbidos del mineral zinc por las peras fueron muy elevados se debió corregir la concentración del zinc en la solución de osmodeshidratación/impregnación. Por consiguiente, se disminuyó la concentración de acetato de zinc en la solución de impregnación 6 veces, con el fin de llegar a cubrir un % de la IDR que sea adecuado a la porción que se consume en un tentempié (25g/día). Respecto del calcio el contenido es adecuado, teniendo en cuenta que 25 g de producto aportan 56,25 mg de calcio, permitiendo cubrir un 6-7% de la IDR (800-1100mg/día). Cabe destacar que estas muestras en el proceso posterior de secado pierden agua y se concentrarán los minerales, así como también podría producirse alguna pérdida de ellos (pero en un menor porcentaje).

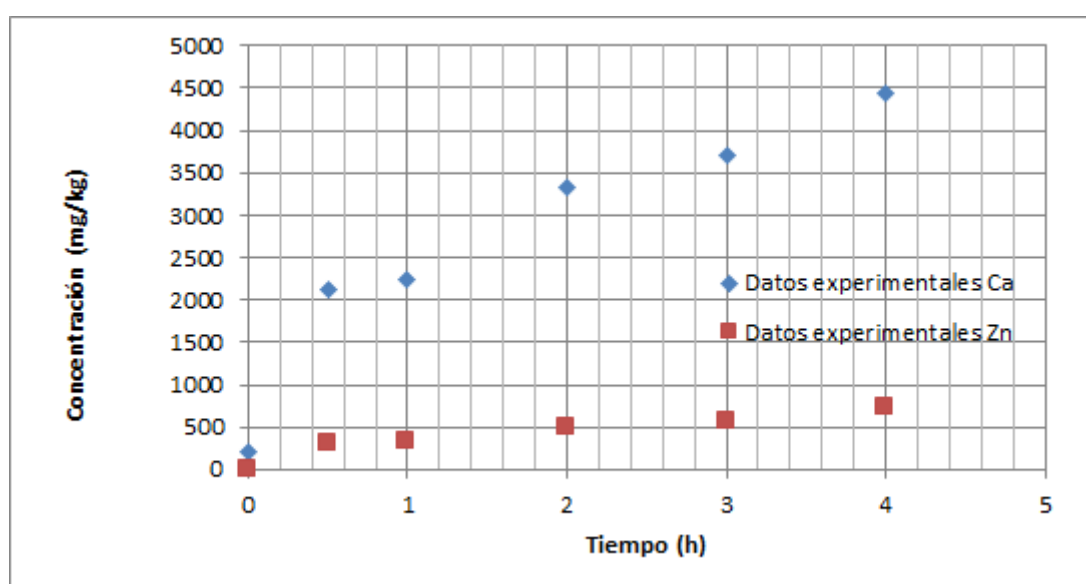


Figura 42. Concentración del Ca y del Zn en la pera a diferentes tiempos de deshidratación osmótica/impregnación.

IV.2.2 Estimación de los coeficientes de difusividad efectiva mediante el modelo de Crank

Coefficiente de difusividad efectiva del agua

Para la estimación de los coeficientes de difusividad o de difusión efectivos o aparentes para el transporte del agua durante la deshidratación osmótica se aplicó el modelo de Crank, para el caso de geometría de láminas semi-infinitas. En la Figura 43 se presenta el $\ln [(H_t - H_e) / (H_0 - H_e)]$ versus el tiempo. A partir del valor de la pendiente de la recta se obtuvo el coeficiente de difusividad efectiva del agua, cuyo valor fue de $2.18 \pm 0.6 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$. Este valor se halla aproximadamente entre los encontrados en la literatura para peras. Garrote et al. (1992) informó valores promedios de $1 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ en soluciones de 67,5 ° Brix a 25 °C y Park et al. (2002) reportó un rango de (3,5

10^{-10} - $1,92 \cdot 10^{-9}$) m^2/s en condiciones de temperatura de (40 – 60 °C) y soluciones de (40-70 °Brix).

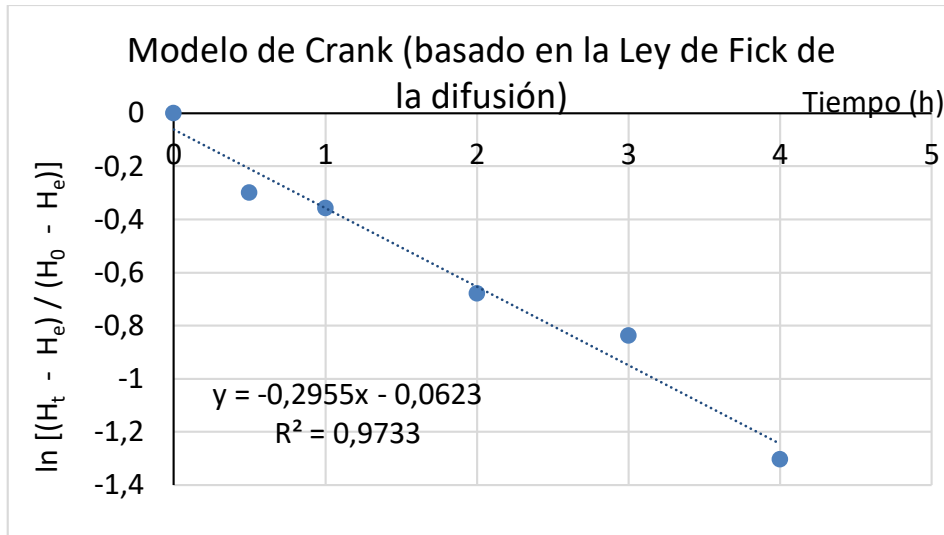


Figura 43. Datos experimentales del proceso de deshidratación osmótica/impregnación y regresión lineal del modelo de Crank.

Coefficiente de difusividad efectiva del calcio

En la Figura 44 se puede apreciar como el modelo de Crank ajusta los datos experimentales de absorción de calcio de las peras con el tiempo durante el proceso de deshidratación osmótica/impregnación con minerales. El coeficiente de difusividad efectiva del calcio estimado fue de $1,35 \cdot 10^{-13} m^2/s$.

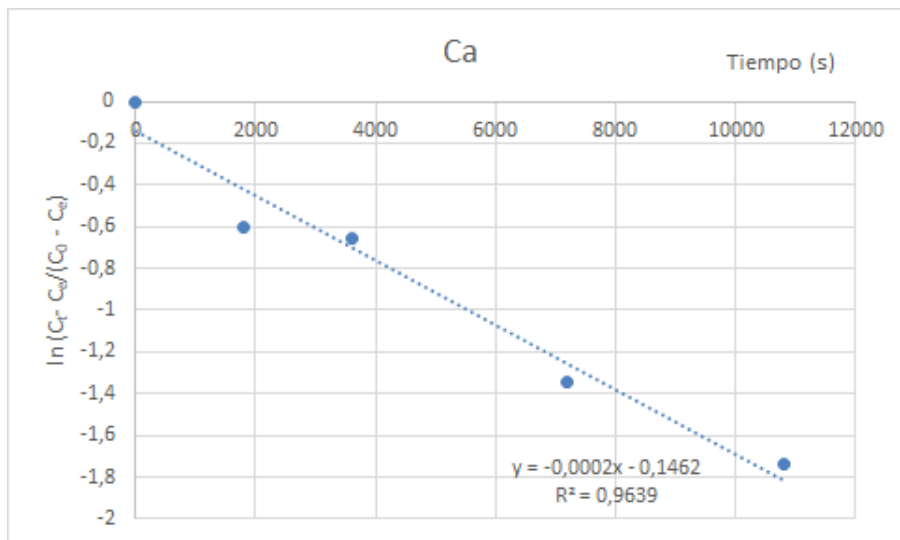


Figura 44. Datos experimentales del proceso de deshidratación osmótica/impregnación con calcio y regresión lineal del modelo de Crank.

Coefficiente de difusividad efectiva del zinc

En la Figura 45 se puede apreciar como el modelo de Crank ajusta los datos experimentales de difusión del zinc en las peras con el tiempo. El coeficiente de difusión aparente del zinc estimado es de $6,78 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{s}$.

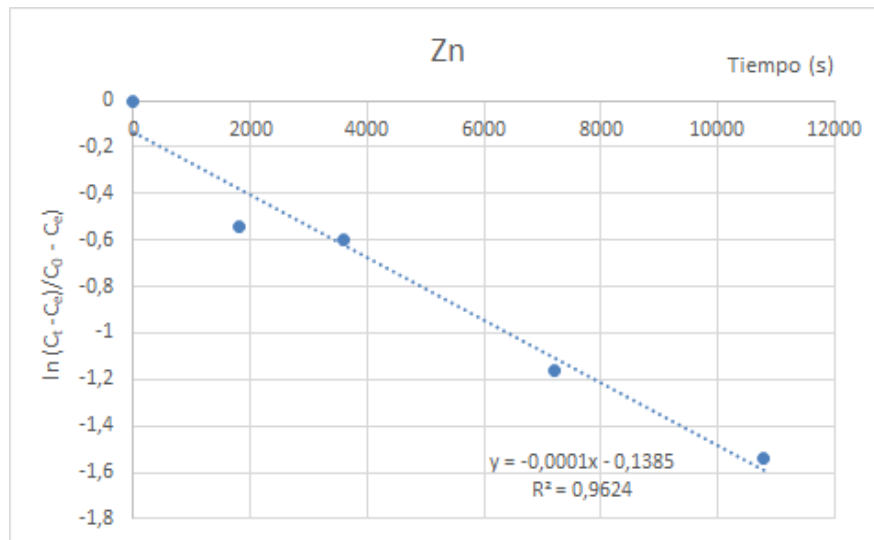


Figura 45. Datos experimentales del proceso de deshidratación osmótica/impregnación con zinc y regresión lineal del modelo de Crank.

Cabe resaltar que, si bien en el proceso de osmodeshidratación/impregnación se produce un encogimiento del producto debido a la pérdida de agua, la impregnación con solutos provenientes de la solución pareció contrarrestar bastante esa variación de volumen. En el apéndice se detallan los valores medidos del espesor de las rodajas luego de la osmodehidratación/impregnación, en que se puede apreciar que la variación de volumen es bastante moderada, es del orden del 26 %.

IV.3 Secado combinado (secado por microondas y convección con aire caliente), posterior al pretratamiento por deshidratación osmótica/impregnación con minerales

Secado combinado (Microondas a 400 W)

En la Figura 46 se presenta una foto de las peras sometidas a un secado combinado (microondas a 400 W) durante 15 min pretratadas por deshidratación osmótica/impregnación en una solución con lactato de calcio durante 1 hora. A continuación (Tabla VII), se describen los resultados de su observación macroscópica y algunas de sus características organolépticas en función del tiempo.

Tabla VII. Resultados de la observación macroscópica y descripción de características organolépticas en función del tiempo de tratamiento de las peras secadas de modo combinado (microondas a 400 W), pretratadas por deshidratación osmótica/impregnación con lactato de calcio durante 1 h.

Tiempo (min)	Descripción
3	Color blanco, transparente
4	Color blanco. Aroma a caramelo
5	Comienza a dorarse
9	Se torna un poco gomosa
15	Color amarillo. Aroma muy agradable. Piel gomosa y de color dorado. Sabor agradable, algo ácido. Textura más crujiente. Se aprecia cierta contracción de volumen.

A medida que se deshidrata el producto, su textura se torna más fuerte y más rígida respecto de la pera en estado fresco, debido a la remoción de agua y al aumento en la concentración de sólidos del producto. Particularmente, el calcio que ingresa de la solución a las peras reacciona con las pectinas de las laminillas medias de las paredes celulares de las peras y rigidiza las muestras. Estas observaciones concuerdan con los resultados obtenidos por otros autores como Casim (2011) y Silva Paz (2015).



Figura 46. Peras sometidas a un secado combinado (microondas a 400 W) durante 15 min pretratadas por deshidratación osmótica/impregnación con lactato de calcio durante 1 hora.

En la Figura 47 se pueden observar las fotos correspondientes a las peras sometidas a un tratamiento en condiciones iguales al caso precedente pero sin lactato de calcio en la solución de deshidratación/impregnación. La Tabla VIII describe sus principales características organolépticas.

Tabla VIII. Resultados de la observación macroscópica y descripción de características organolépticas en función del tiempo de tratamiento de las peras secadas de modo combinado (microondas a 400 W), pretratadas por deshidratación osmótica/impregnación sin lactato de calcio.

Tiempo (min)	Descripción
10	Aroma a caramelo. Aparecen algunos puntos más quemados. La pulpa presenta apariencia húmeda pero la piel se seca.
12	Sin grandes cambios respecto al tiempo de 10 min, están un poco menos húmedas.
14	Comienzan a dorarse
15	Color dorado. Textura crujiente. Algo pegajosa al tacto. Sabor agradable. Se observa una mayor cocción en los bordes.



Figura 47. Fotos peras sometidas a un secado combinado (microondas a 400 W) durante 15 min pretratadas por deshidratación osmótica/impregnación sin lactato de calcio durante 1 hora.

Las muestras sin lactato de calcio presentaron un pardeamiento más acentuado que las que habían sido sumergidas en lactato de calcio. Este fenómeno podría atribuirse a que el calcio también puede colaborar disminuyendo el pardeamiento enzimático al fortalecer las paredes y membranas celulares, y por consiguiente, producir una menor liberación de la polifenoloxidasas o de sus sustratos. Estas observaciones se corresponden también con las halladas por Silva Paz, 2015 en papas secadas luego de un pretratamiento de impregnación con calcio.

También, se observó que secando las muestras a 400 W se necesitaban tiempos de secado largos y empezaban a aparecer puntos de quemado como se puede apreciar en la Figura 47.

Secado combinado (Microondas a 500 W)

En la Figura 48 se puede apreciar la foto correspondiente a las peras sometidas a un secado combinado (microondas a 500 W) durante 10 min pretratadas por deshidratación osmótica/impregnación sin lactato de calcio (a) y con lactato de calcio (b) durante 1 hora.

En ambos casos se observan muy cocidas con puntos más quemados. Por ello se decidió cocinar rotando las muestras y tomando tiempos de descanso entre las rotaciones de manera tal que durante el reposo continúe la cocción y se logre una textura más homogénea similar a la de un snack y sin puntos de quemado. Sin embargo, cabe destacar que su sabor y aroma eran agradables.

También se puede apreciar un mayor pardeamiento enzimático en las muestras sin lactato de calcio.



(a)



(b)

Figura 48. Peras sometidas a un secado combinado (microondas a 500 W) durante 10 min pretratadas por deshidratación osmótica/impregnación sin lactato de calcio (a) y con lactato de calcio (b) durante 1 hora.

Asimismo, a la potencia de 500 W se trabajaron con otros tiempos de cocción y de descanso, pero tampoco se alcanzaron resultados favorables.

Cuando se realizó el secado solo por microondas a las diferentes potencias estudiadas 400W, 500W y 600 W, la textura no resultó agradable y también quedaron algo pegajosas o adherentes al tacto. En la Figura 49 se puede observar su apariencia macroscópica para el caso de 600 W.



Figura 49. Peras secadas solo por microondas a una potencia de 600 W, pretratadas por deshidratación osmótica/impregnación con lactato de calcio durante 1 h.

Entre las peras que resultaron con mejor apariencia y características organolépticas se encontraron aquellas que se secaron de manera combinada a 500W de potencia de microondas, de un lado durante 6 min, luego se dejaron reposar por 1min y se rotaron para secarlas del otro lado por 5 min más. En la Figura 50 puede apreciarse su apariencia. Esta muestra se eligió y se le dio el número 487 para reconocerla durante el análisis sensorial.



Figura 50. Peras secadas de modo combinado (microondas 500 W) durante 6 min de un lado, reposo de 1 min y luego secado durante 5 min del otro lado, pretratadas por deshidratación osmótica/impregnación con lactato de calcio durante 1h.

Secado combinado (Microondas a 600 W)

Asimismo, las peras secadas de manera combinada (microondas a 600 W) durante 4 min de un lado, 4 min del otro lado y 4 min nuevamente del primer lado, con reposo de 5,5 min entre tiempos de cocción y pretratadas por deshidratación osmótica/impregnación con lactato de calcio durante 1 h fueron las preferidas por sus características organolépticas. Estas se muestran en la Figura 51. Presentan una apariencia y características organolépticas muy agradables, Sin embargo, son algo ácidas. Esta muestra de peras también se eligió y se le dio la denominación 176 para el análisis sensorial.

Se analizó la concentración de calcio y zinc en estas peras y se obtuvieron los siguientes resultados: 891,90 mg de calcio y 28,30 mg de Zn por cada 100 g. de producto. El contenido de potasio también fue estudiado y su valor fue 193,00 mg por cada 100 g de producto. Este último se analizó con el fin de analizar si este mineral, que se encuentra entre los nutrientes más predominantes en la pera fresca, continuaba encontrándose en concentraciones similares en el producto final, luego de todo el proceso de secado.

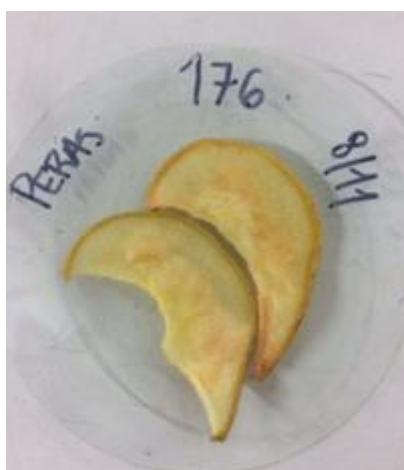


Figura 51. Peras secadas de modo combinado (microondas 600 W) durante 4 min de un lado, reposo de 5.5 min, 4 min del otro lado, reposo de 5.5 min y 4 min nuevamente del primer lado, pretratadas por deshidratación osmótica/impregnación con lactato de calcio durante 1 h.

IV.3.1 Modelado matemático del secado combinado

En la Figura 52 se presenta la variación de la humedad en función del tiempo para el proceso de secado combinado (secado por microondas a 500 W de potencia y con convección con aire caliente simultáneamente). Los datos experimentales obtenidos por duplicado se correlacionaron mediante una recta, cuya expresión es:

$$H (bh) = -2.6076 * t (\text{min}) + 83.731$$

En el gráfico se graficaron los valores promedio.

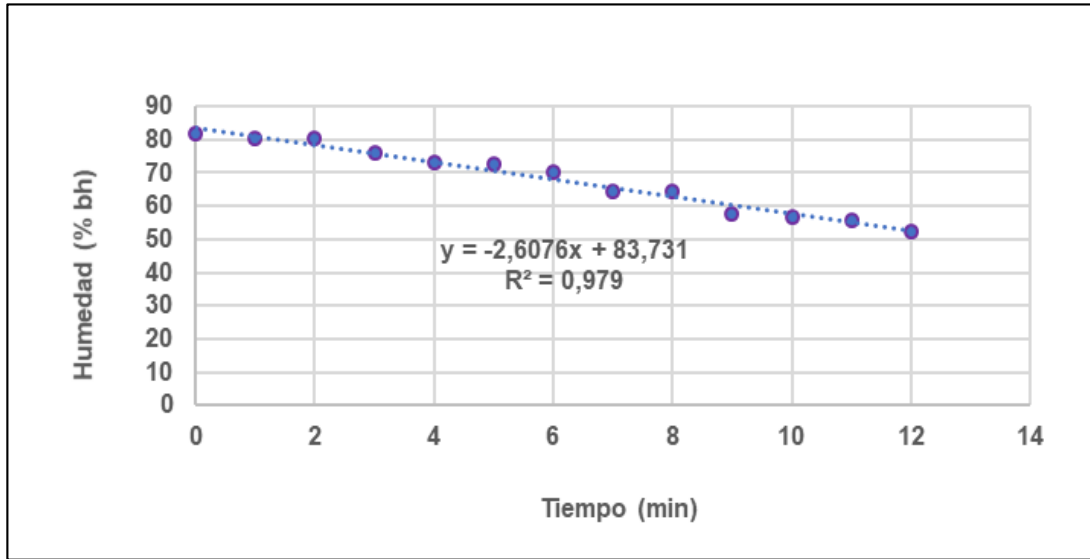


Figura 52. Datos experimentales de humedad en función del tiempo durante el proceso de secado combinado (microondas a potencia de 500 W con convección con aire caliente).

Los modelos empíricos de Page y Wang y Singh ajustaron bastante satisfactoriamente los datos experimentales, tal como puede apreciarse en las Figuras 53 y 54, respectivamente.

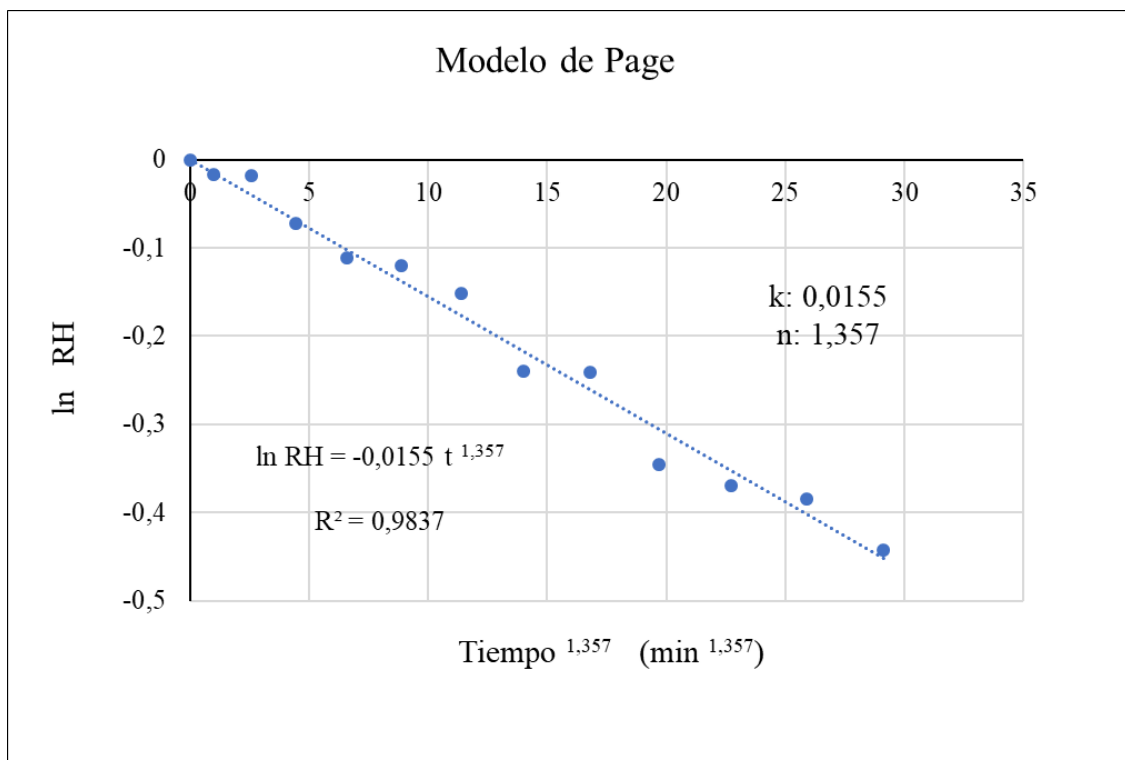


Figura 53. Modelo de Page aplicado a los datos experimentales de relación de humedades (RH) durante el secado combinado (microondas 500W con convección con aire caliente).

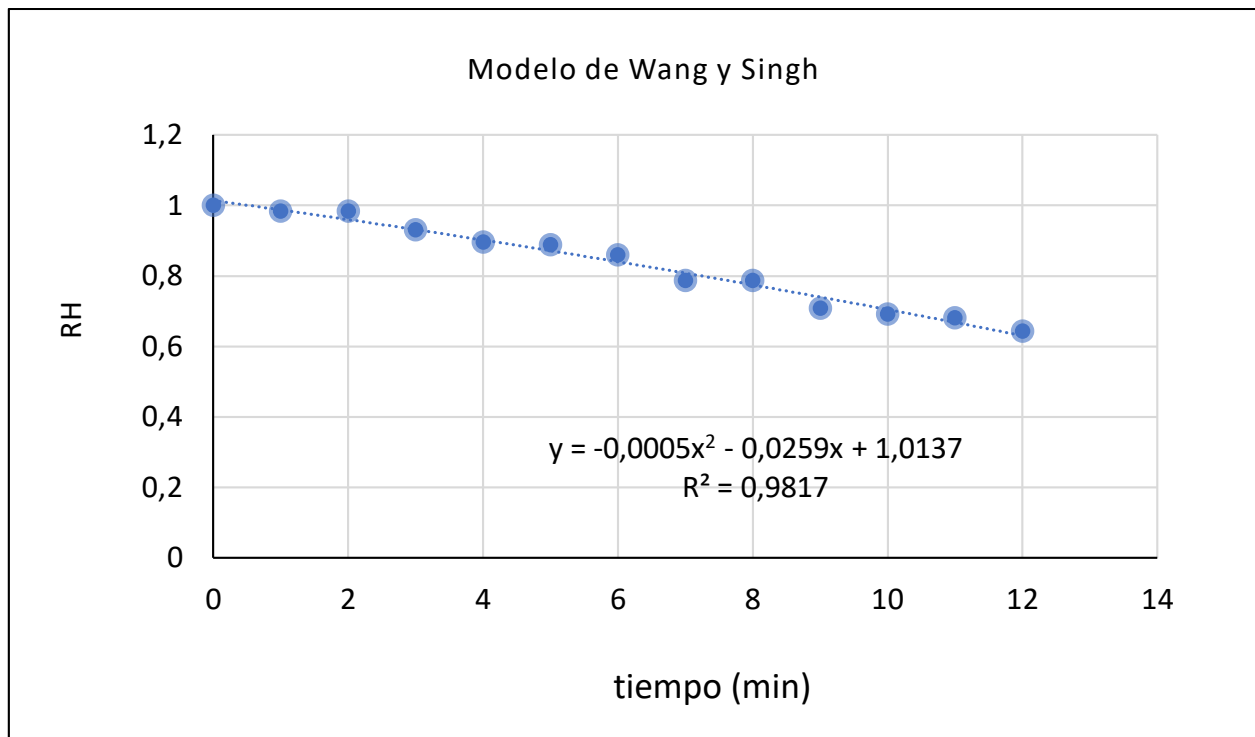


Figura 54. Ajuste del Modelo de Wang y Singh a los datos experimentales de humedad durante el secado combinado (microondas 500 W con convección con aire caliente).

Cálculo del coeficiente de difusión efectivo del agua

Cabe recordar que se trata de un coeficiente de difusión efectivo (que podría considerarse empírico) ya que se tuvieron en cuenta numerosas suposiciones: la resistencia externa a la transferencia de masa es despreciable, el contenido de humedad inicial de la muestra es uniforme, no se produce contracción de volumen de las muestras y el proceso es isotérmico. Sin embargo, durante el proceso de secado se producen variaciones de temperatura y el coeficiente es fuertemente dependiente de la temperatura. Por consiguiente, el coeficiente varía con el tiempo. Con esto se pretende decir que se simplifica demasiado un proceso extremadamente complejo como es el de secado combinado que además podría incluir también otros procesos además de la difusión como puede ser el fenómeno de capilaridad, los gradientes de presión y el efecto de movimiento del agua por contracción del sólido. Por consiguiente, se quiere hacer hincapié en que se simplifica demasiado el fenómeno al considerar un coeficiente constante durante todo el proceso.

En la Figura 55 se presenta el ajuste de este modelo a los datos experimentales.

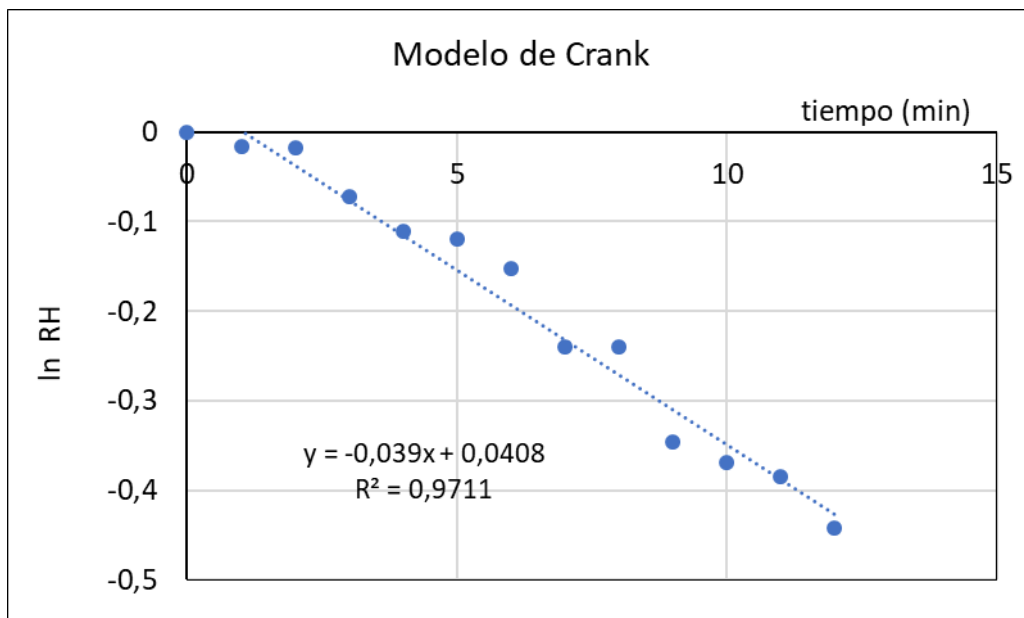


Figura 55. Modelo de Crank aplicado a los datos experimentales de relación de humedades (RH) durante el secado combinado (microondas 500W con convección con aire caliente).

Se obtuvo un valor para el coeficiente de difusividad efectivo de $4.12 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$.

IV.4 Secado por convección con aire caliente solamente

Las peras secadas a 160°C durante 10 min se quemaron, quedaron de color marrón. Se produjo reacción de Maillard y caramelización. Estas quedaron de una textura crujiente, pero no de muy buen sabor. Sin embargo, el aroma era agradable, presentaba olor a caramelo.

Las peras que se secaron a 120°C durante 30 min presentaron la formación de una costra. Respecto del sabor, las peras estaban muy ácidas. Se observó que la acidez disminuye a medida que aumenta la cocción. A los 50 min de cocción el sabor mejoró, pero la textura no. A los 60 min la muestra no llegó a ser crocante, sino que la pera se rigidizó demasiado.

Se disminuyó la temperatura de trabajo a 90°C . En este caso, la apariencia del producto mejoró notablemente. En la Figura 56 se exhiben las peras pretratadas por deshidratación osmótica durante 1 hora y secadas por convección con aire caliente, SC, a 90°C a diferentes tiempos: a 1 h, 1,5 h, 2 h, 3h, 4h y 4,5 h. El color de las muestras para los diferentes tiempos es agradable, pero en cuanto a la textura las peras secadas durante 1 h parecen ser las mejores.

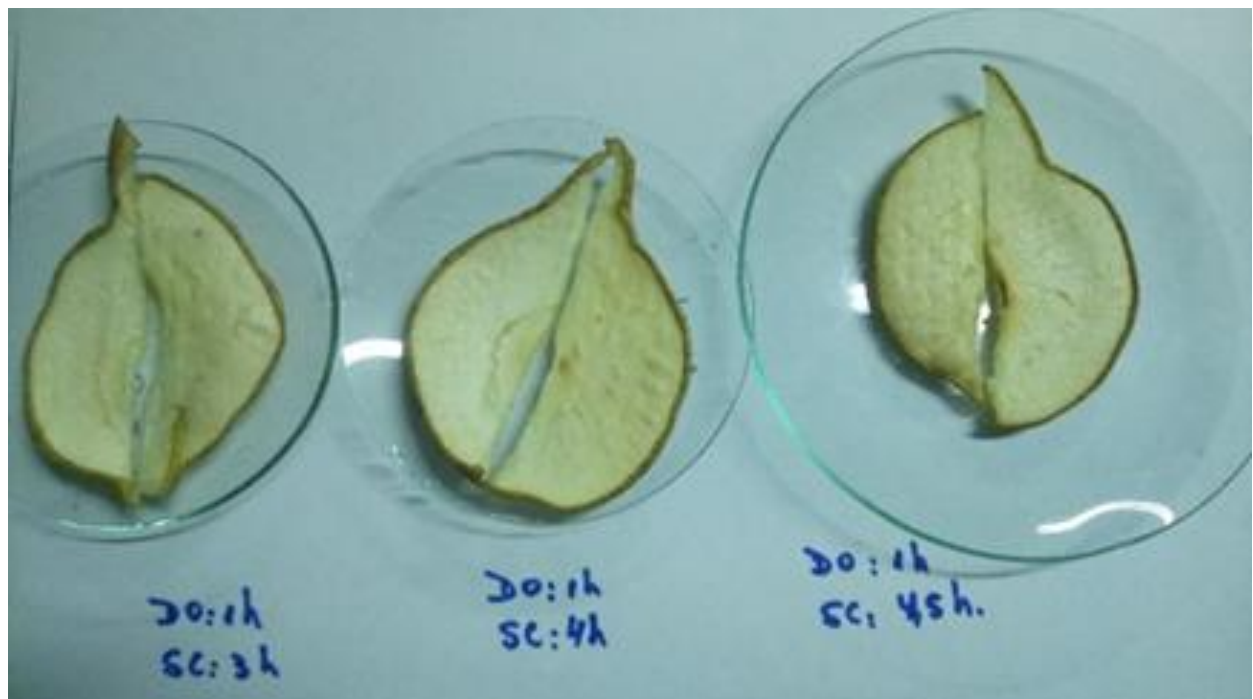


Figura 56. Peras pretratadas por deshidratación osmótica durante 1 hora y secadas por convección con aire caliente, SC, a 90 °C a diferentes tiempos: a 1 h, 1,5 h y 2 h, 3h, 4h y 4,5 h.

A continuación, se presenta la Figura 57 con los datos experimentales de humedades de peras durante el tiempo de secado convectivo con aire caliente a una temperatura de 90 °C. Si comparamos este método con el de secado combinado, se advierte que un valor de humedad en base húmeda en la pera del 50 % se alcanza en 60 min mientras que con el secado combinado (microondas 500 W y convección con aire caliente) se tarda solo 12 min, 5 veces menos. Esto demuestra el ahorro de energía que se puede lograr con el secado combinado debido a los inferiores

tiempos de cocción. Martín Esparza, 2002 encontró también que los tiempos disminuyen entre un (70-90 %) con el secado combinado, lo que permite obtener mejores aromas en el producto, así como también lograr mejorar las condiciones de rehidratación en los casos que fuera necesario. En esta tesis se alcanzó una disminución del 80 % en el tiempo de secado.

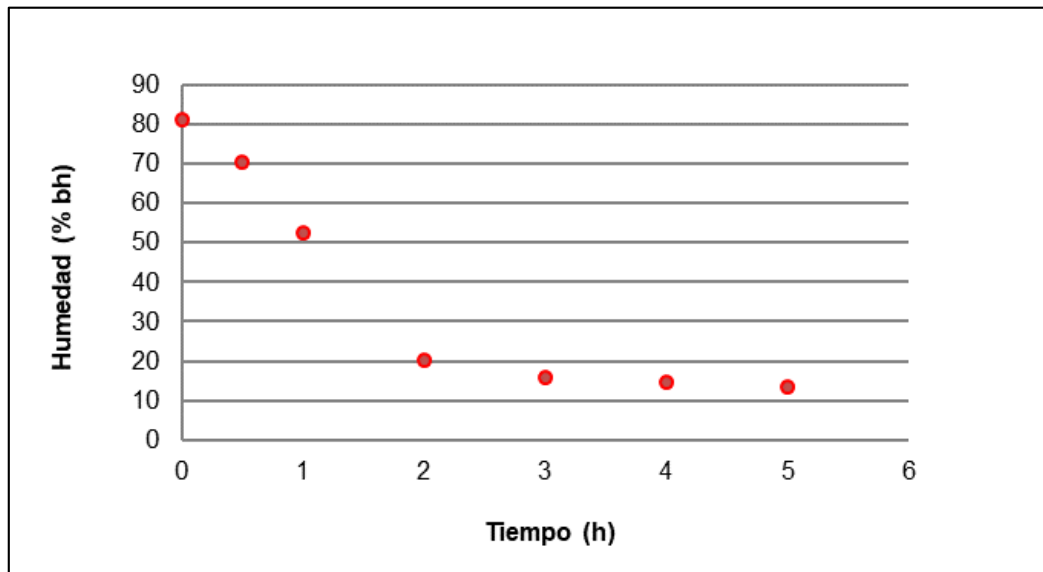


Figura 57. Humedad en base húmeda en función del tiempo para el secado por convección con aire caliente solamente a una temperatura de 90 °C.

La reducción del tiempo en los tratamientos de secado combinado (microonda y convección con aire caliente simultáneo) respecto al secado por convección con aire caliente solamente se atribuye a la energía adicional de las microondas, la rápida penetración de calor y la expulsión forzada del vapor de agua (Martín Esparza, 2002) que se puede lograr en las frutas con alto contenido de agua e impregnadas con iones. Cabe recordar, que la rotación de las moléculas dipolares de agua y la polarización iónica que se produce en el interior del material produce energía de fricción que se convierte en calor. Por ello, la importancia de las características dieléctricas del alimento que se calienta. Además, los huecos que se forman en el tejido celular vegetal permiten la evaporación y salida rápida del agua del producto (Maskan e Ibanoglu, 1998; Maskan, 2000).

El aumento de la velocidad de evaporación disminuye la temperatura superficial de las muestras asegurando la calidad del producto puesto que no se quema (Gunasekeran, 1999), En las experiencias de secado combinado realizadas, el registro de temperaturas superficiales fue siempre igual o inferior a 65 °C. Las bajas temperaturas preservan los antioxidantes típicos de las frutas, la mayoría de los cuales son muy termolábiles.

IV.4.1 Modelado matemático del secado por convección con aire caliente y comparación con el secado combinado

La Tabla IX resume los valores de los parámetros de los modelos aplicados a los datos experimentales en el proceso de secado convectivo con aire caliente a 90 °C solamente y en el secado combinado (microondas 500 W con convección con aire caliente).

Tabla IX. Parámetros de los modelos aplicados a los datos experimentales en el proceso de secado convectivo con aire caliente y en el secado combinado.

Modelos	Secado Convectivo	Secado Combinado
Page	K: 0,0067 min ^{-N} N: 1,125 R ² : 0,918	K: 0,0155 min ^{-N} N: 1,357 R ² : 0,984
Crank	D _{ef} : 8,59 10 ⁻¹¹ m ² /s R ² : 0,90	D _{ef} : 4,12 10 ⁻¹⁰ m ² /s R ² : 0,973
Wang y Singh	At ² + B t + C Unidades de tiempo en h A: 0,0596 B: -0,4646 C: 1,029 R ² : 0,977	At ² + B t + C Unidades de tiempo en min A: -0,0005 B: -0,0259 C: 1,014 R ² : 0,9817

El parámetro K de Page que indica la velocidad de pérdida de humedad resultó menor en el secado convectivo por aire caliente solamente que en el combinado. Este resultado concuerda con una más lenta pérdida de agua en el secado convectivo.

Los coeficientes de difusividad efectiva del agua fueron de 4,12 10⁻¹⁰ m²/s y de 8,59 10⁻¹¹ m²/s, para el secado combinado y convectivo con aire caliente, respectivamente. Para el secado combinado el coeficiente de difusión es superior lo que indica que el proceso de difusión se produce a una velocidad mayor que la correspondiente para el secado convectivo solamente. Estos resultados concuerdan con un tiempo de secado requerido inferior para alcanzar una determinada humedad durante el proceso de secado combinado.

Cabe destacar, que los coeficientes de difusión obtenidos para procesos de secado en los que se realizó un pretratamiento previo por deshidratación osmótica son generalmente menores a los correspondientes a procesos sin pretratamiento. La velocidad de secado disminuye al aplicar pretratamientos por deshidratación osmótica (Lazarides et al., 1999). Este fenómeno puede explicarse por la presencia de una capa superficial de células colapsadas por efecto del tratamiento osmótico en la muestra, que contribuye a aumentar la resistencia al transporte de agua cerca de la interfase en todos los experimentos de secado posteriores (Xue, 2004).

Xue, 2004 encontró para el caso de peras secadas por convección con aire caliente previamente tratadas por deshidratación osmótica valores de coeficiente de difusividad que oscilan entre $6,5 \cdot 10^{-12}$ y $5,8 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$. Con los datos experimentales propios se calculó un valor promedio de $8,59 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$ que se halla dentro del rango informado por este investigador.

En la Figura 58 se muestra el ajuste del modelo de Wang y Singh a los datos de relación de humedad, RH en función del tiempo para el secado convectivo con aire caliente a 90°C . Este último ajustó mejor los datos experimentales que el modelo de Page.

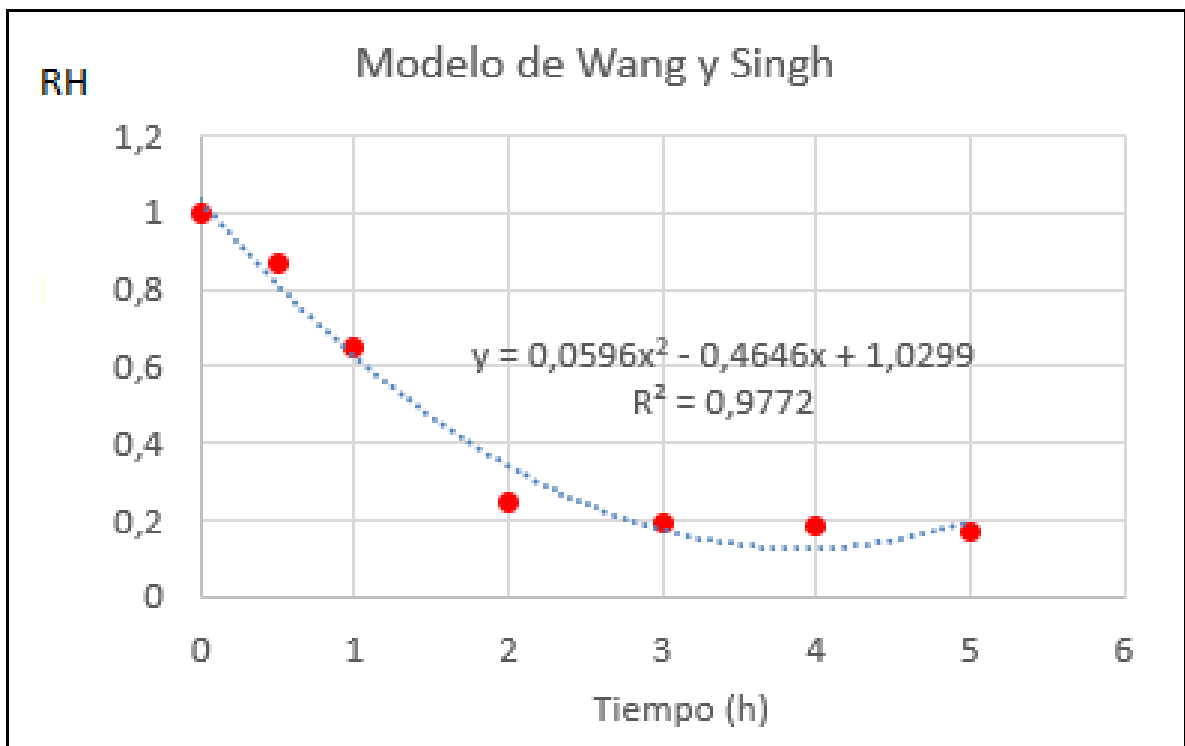


Figura 58. Ajuste del modelo de Wang y Singh a los datos experimentales de humedad en el proceso de secado convectivo con aire caliente a 90°C .

En la Figura 57 (curva de humedad en función del tiempo para secado convectivo) se pueden observar los distintos períodos de velocidad de secado, si se trazan mentalmente las pendientes de las curvas de secado en cada período para los datos experimentales. Se puede apreciar que el

período de velocidad de secado constante dura hasta aproximadamente las primeras dos horas. Luego, le sigue el período de velocidad de secado decreciente ya que las pendientes van disminuyendo con el tiempo y son menores siempre a la correspondiente a la de velocidad de secado constante. La velocidad de secado durante el segundo período (de velocidad decreciente) es controlada por el gradiente de concentración de humedad dentro de la matriz del alimento. El movimiento interno de la humedad es el resultado de numerosos mecanismos tales como la difusión del líquido, flujo capilar, flujos debido a la contracción de la matriz vegetal y gradientes de presión (Nguyen y Price, 2007).

Como el período de velocidad decreciente es el que puede asimilarse principalmente al fenómeno de difusión, se consideró mejor tomar los últimos datos experimentales para calcular la difusividad efectiva del agua. Si bien se obtuvo un coeficiente de difusividad efectiva para todo el proceso cabe destacar que este coeficiente varía con la humedad, la temperatura y el tiempo. En la Figura 59 se presentan los datos experimentales y la aplicación del modelo de Crank tomando en consideración todos los datos y solo los correspondientes al período de velocidad de secado decreciente

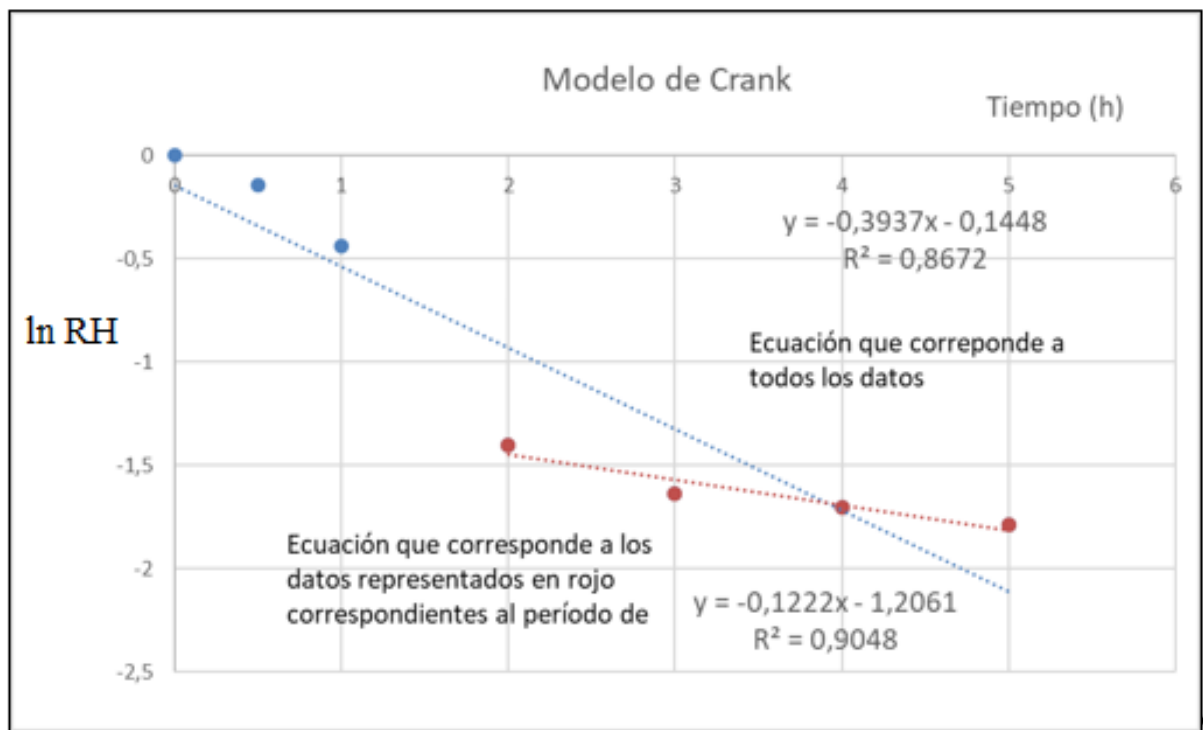


Figura 59. Ajuste del modelo de Crank a los datos experimentales de humedad en el proceso de secado convectivo con aire caliente a 90 °C.

IV.5 Análisis de la microestructura de la pera fresca y de la pera pretratada por deshidratación osmótica

Peras frescas

En las Figuras 60, 61, 62 y 63 se pueden apreciar las imágenes obtenidas por microscopía electrónica de barrido correspondientes a las peras frescas. En la Figura 60 se observa el tejido parenquimático de la pulpa de las peras integrado por células poligonales isodiamétricas. En la Figura 61 se presenta la región interna de la pulpa y en la Figura 62, una imagen más detallada de 200 aumentos en la que se puede apreciar un cúmulo de esclereidas o células pétreas lignificadas que constituyen el tejido primario denominado esclerénquima y que suele encontrarse cerca del endocarpio. Se observa el engrosamiento de sus paredes que poseen gran contenido de lignina y por lo tanto son impermeables al agua. Se caracterizan por un lumen reducido y en ocasiones la pared puede ser tan gruesa que llena todo el lumen celular. Este tipo de células son las que otorgan la textura arenosa a la pulpa del fruto. Se pueden hallar en cualquier órgano de la planta. Se las encuentra también en las semillas. Estas células pétreas se hallan distribuidas en la pulpa de la pera constituyendo un modelo de mosaico con estas células dispersas en el parénquima.

A su vez, se destaca la turgencia de las células isodiamétricas, más grandes en la región externa de la pulpa. La línea de fractura involucra la ruptura de la pared celular (lo que se ve con particular claridad en las figuras 60 y 61). Casi no se observan gránulos de almidón intracelulares (figura 60), lo que significa que la hidrólisis del almidón prácticamente se ha completado. Los espacios intercelulares son escasos, marcadamente definidos, y prevalentes en las áreas en que más de dos células son colindantes. La región de la pared celular aparece intacta, sin dilatación. La integridad de la lámina media se pone de manifiesto a través de la elevada densidad electrónica existente entre las paredes celulares (Figuras 60 y 61).

En la Figura 62 se muestran imágenes de células pétreas obtenidas por microscopía de fluorescencia confocal. Zhao y col, 2018 estudiaron el proceso de lignificación de las células durante la madurez del fruto a través de técnicas de microscopía de fluorescencia confocal. Estos autores observaron que la lignificación comienza en las capas más externas de las paredes celulares y avanzan hacia las paredes secundarias.

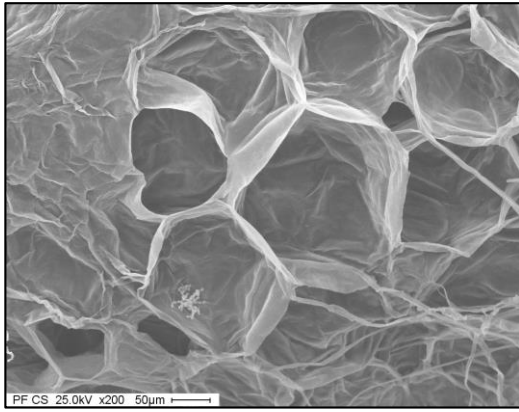


Fig. 60. Pera fresca (región externa de la pulpa, cerca de la piel).

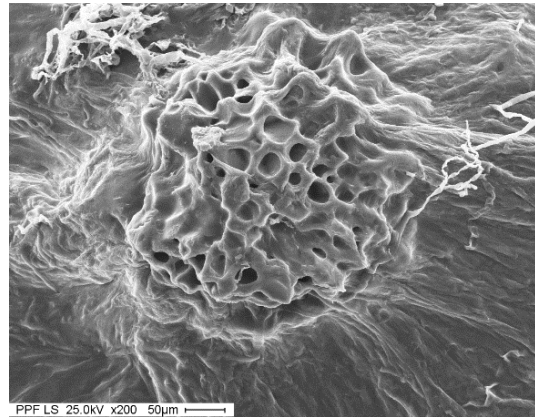


Fig. 62. Pera fresca (región interna, cúmulo de células pétreas).

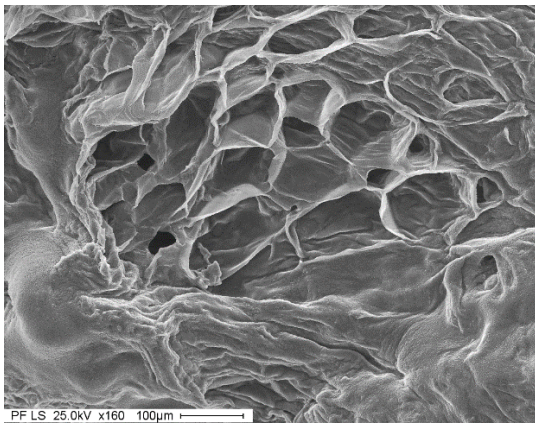


Figura 61. Pera fresca (región interna de la pulpa).

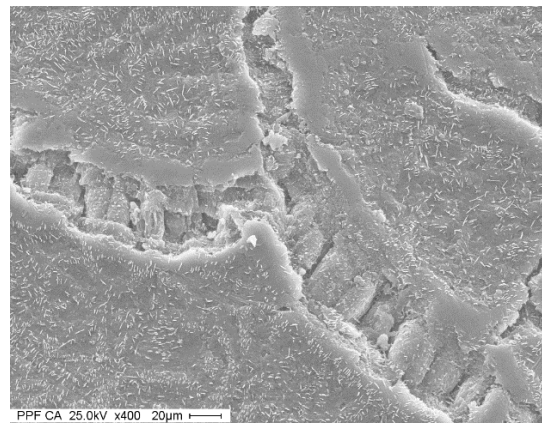


Figura 63. Pera fresca piel

En la Figura 64 se observa la piel de la pera fresca en la que se puede apreciar la red de microfibras correspondientes a la capa de cera y numerosos cristales de cera. También se observan las lenticelas responsables del intercambio de gases durante la respiración.

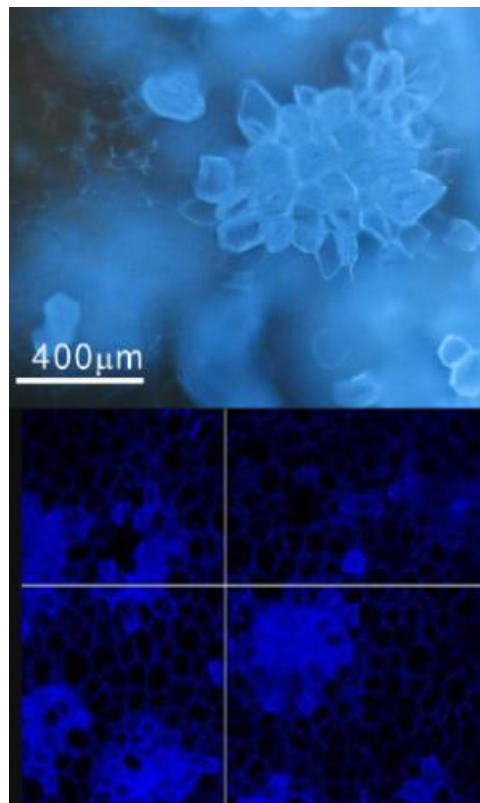


Figura 64. Imágenes de células pétreas (cúmulos o clusters) por fluorescencia. Fuente: Tao et al., 2009.

El análisis del contenido mineral superficial se obtuvo por espectroscopía de energía dispersiva de rayos X. Por medio de este método se puede inferir la distribución de minerales en la superficie de la rodaja. En todas las muestras se detectaron como elementos mayoritarios al carbono (primer pico) y el oxígeno (segundo pico), propios de los materiales biológicos y oro por ser el recubrimiento empleado en la preparación de la muestra.

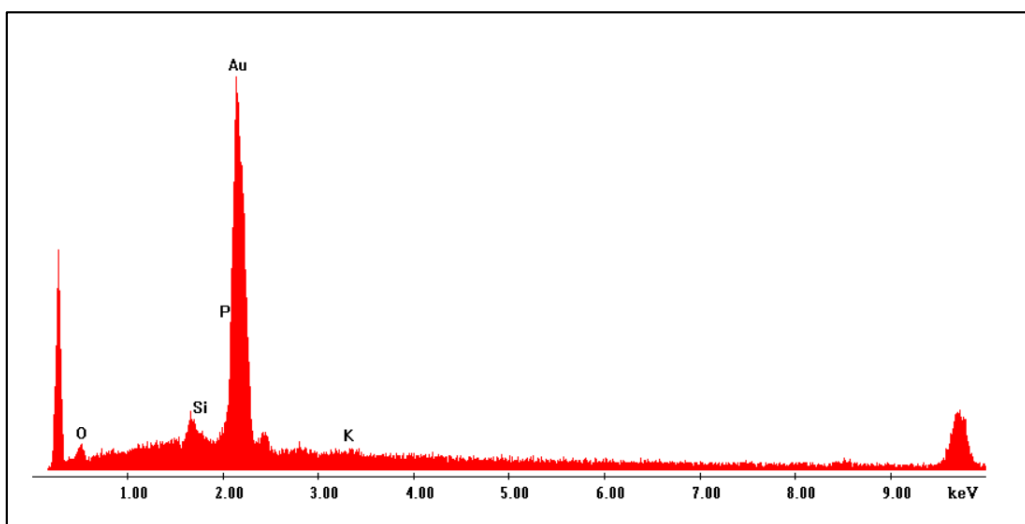


Figura 65. Peras Packham ́s Triumph frescas zona piel.

En la pera fresca, en la zona de la piel (Figura 65) se encuentra potasio y fósforo principalmente. El silicio puede provenir de algún resto de polvo en la superficie de la piel.

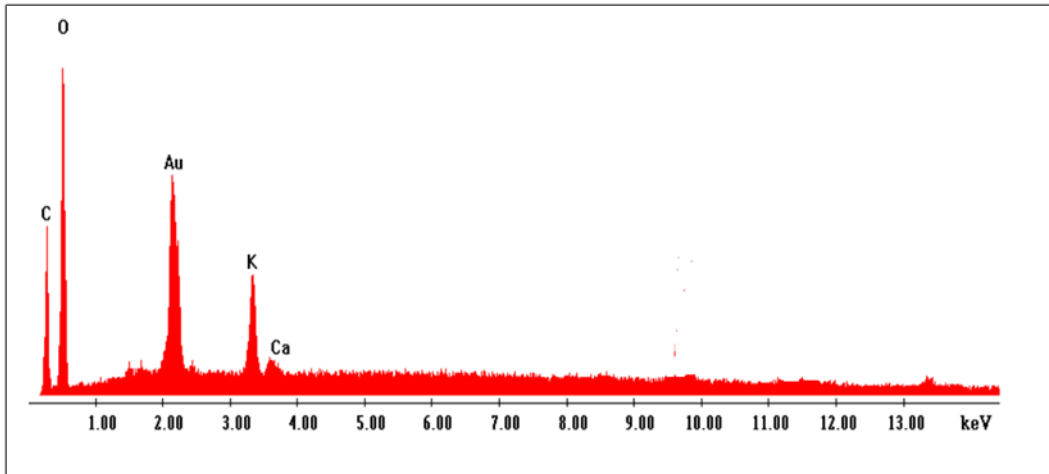


Figura 66. Peras Packham 's Triumph frescas, región interna de la pulpa.

En la pera fresca en la región interna de la pulpa (Figura 66), cerca del endocarpio se encuentra potasio, K, en un 61,22 % y calcio, Ca: 38,78 %. La relación K/Ca es de 1,6 en esta zona.

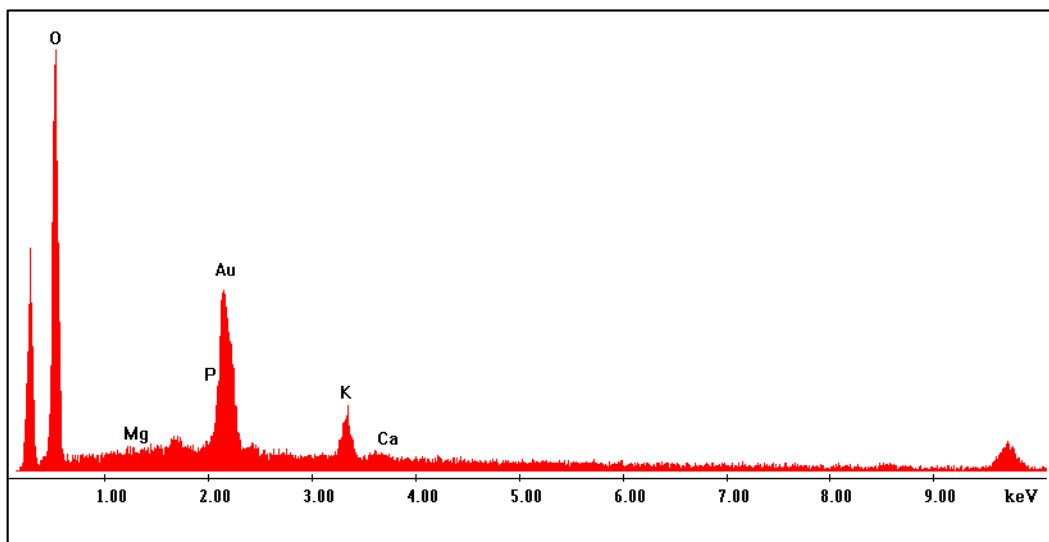


Figura 67. Peras Packham 's Triumph frescas, región externa de la pulpa.

En la pulpa de la pera fresca en la región externa (Figura 67), cerca de la piel se halla además del potasio y del fósforo, los elementos calcio y magnesio. La concentración de K, P, Ca y Mg fue de 64.1 mg %, 13.2 mg%, 13.4 mg% y 9.5 mg%, respectivamente. El contenido de K es aproximadamente 5 veces superior al de Ca.

Peras tratadas por deshidratación osmótica/impregnación con minerales

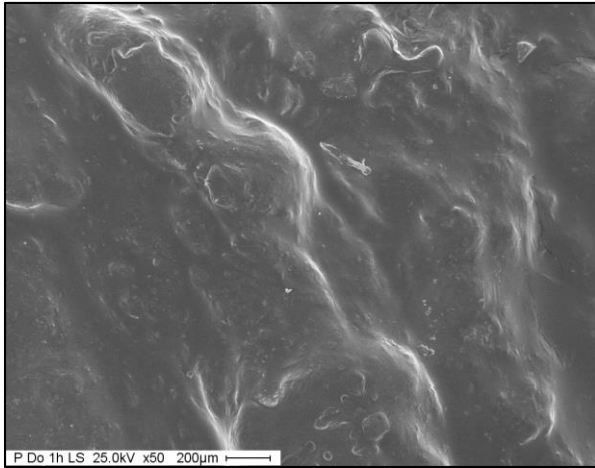


Figura 68. Peras deshidratadas osmóticamente (50x).

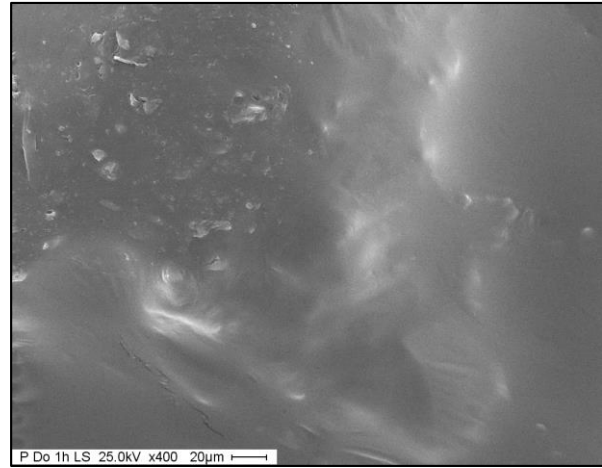


Figura 69. Peras deshidratadas osmóticamente(400x).

Las imágenes de las Figuras 68 y 69 exhiben la microestructura de la pera después del pretratamiento por deshidratación osmótica/impregnación con minerales.

Después de la deshidratación, las principales modificaciones observadas fueron la contracción de las células, la plasmólisis y el plegamiento de la pared celular. Estos cambios conducen a una disminución del área celular, del diámetro equivalente y a una variación en la densidad.

Se produce la plasmólisis de las células vegetales, en la que el citoplasma se encoge y se produce la separación del citoplasma de la pared celular debido a la pérdida de agua cuando las células se hallan en una solución hipertónica. De esta forma, queda un espacio vacío entre la membrana y la pared celular. El grado de plasmólisis depende de la concentración de la solución osmótica. Las células cercanas a la interfase pera-solución hipertónica están más plasmolizadas que las más alejadas. Durante la deshidratación osmótica de las peras frescas, los solutos difunden en el volumen extracelular y, dependiendo de sus características, pueden o no atravesar la membrana celular e ingresar al volumen intracelular. La diferencia de potencial químico a través de la membrana celular provoca un flujo de agua desde el interior de la célula hacia el volumen extracelular y un flujo de solutos de la solución al interior de la célula.

Por otra parte, en las figuras 68 y 69, las células se encuentran literalmente colapsadas, con paredes celulares onduladas a plegadas. Las células muestran separación masiva, con disolución e hinchamiento de la pared celular y formación de espacios intercelulares. A diferencia de lo verificado en frutos frescos durante los estadios iniciales e intermedios de maduración, el corte de los tejidos para microscopía electrónica de barrido no generó una ruptura de las células, sino una separación celular a lo largo del plano de la lámina media.

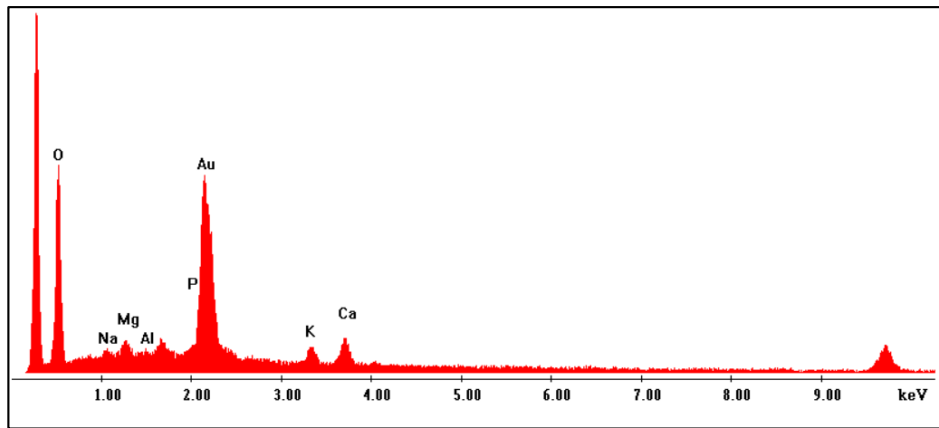


Figura 70. Pera osmodeshidratada/impregnada (parte interna de la rodaja, lejos de la piel).

En la zona más interna de las rodajas de pera osmodeshidratada/impregnada, lejos de la piel (Figura 70), la concentración de Ca es superior a la de potasio debido a la impregnación con este mineral y la simultánea deshidratación osmótica, que produce un incremento de la concentración. La relación potasio-calcio es aproximadamente 0,6. Es decir, en este caso, se encontró una concentración superficial de Ca casi 2 veces superior a la de K, debido al tratamiento. Las concentraciones fueron: Al: 17,05 %; Na: 5,02 %; Mg: 28,79 %; P: 12,9 %; K: 13,47 %; Ca: 22,76%.

En esta zona aparece el Al, su hallazgo podría atribuirse proveniente de la platina. Asimismo, se encuentra sodio, pero en una muy baja concentración a pesar de la deshidratación osmótica que podría incrementar su concentración. Es de importancia destacar que para un tentempié saludable se requiere un bajo contenido en este mineral.

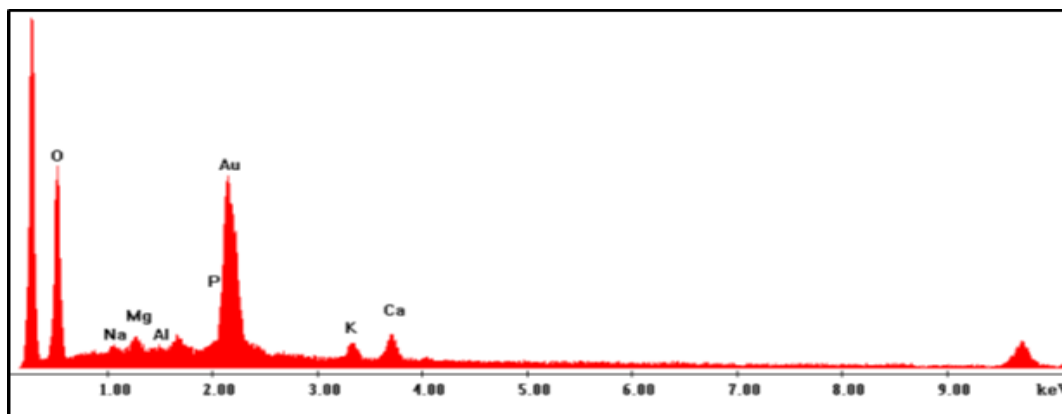


Figura 71. Pera osmodeshidratada/impregnada (parte externa de la rodaja, cercana a la piel).

En las células de la parte externa de la pulpa de la pera osmodeshidratada/impregnada (Figura 71) se encuentran las siguientes concentraciones: Ca: 29,76 % seguida por Mg 22,83 %, K: 17,18 %

P: 13,03%, Al:12,79 % y Na: 4,42 %. La relación Ca/K es de 1,7, aproximadamente 2. Se mantiene en un valor bajo el sodio.

La concentración de Zn en las rodajas de peras sometidas al proceso de impregnación/deshidratación osmótica no se detectó por este análisis, ya que la impregnación fue muy baja dada los requerimientos de dosis diaria necesarios, los cuales son significativamente menores a los de calcio.

Peras sometidas a secado combinado a distintas potencias de microondas y pretratadas por deshidratación osmótica/impregnación con minerales durante 1 hora

Las microfotografías de peras tratadas por secado combinado (microondas a 500 W y convección con aire caliente) durante 6 min de un lado y 5 min del otro, pretratadas por deshidratación osmótica/impregnación con minerales durante 1 hora se presentan en la Figuras 72 (parte externa de la rodaja) y en la Figura 73 (parte interna de la rodaja).

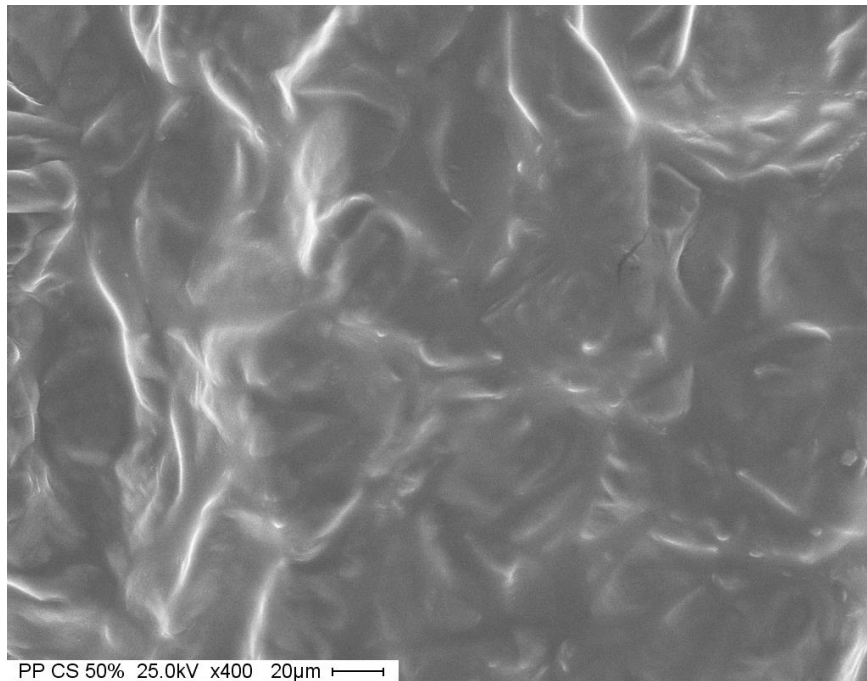


Figura 72. Pera secada de forma combinada (500 W) pretratada por osmodeshidratación/impregnación. Parte externa de la rodaja, cercana a la piel.

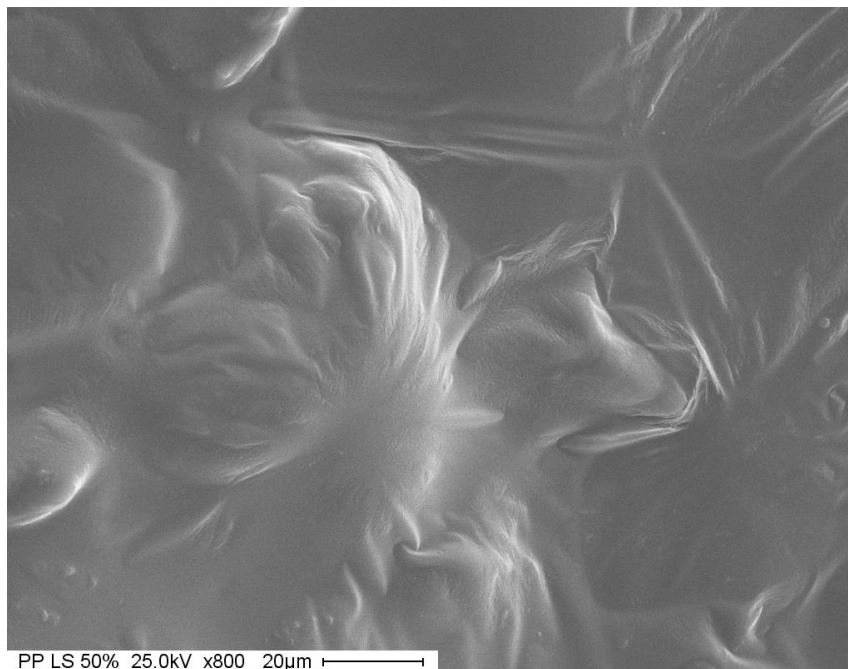


Figura 73. Pera secada de forma combinada (500 W) pretratada por osmodeshidratación/impregnación. Parte interna de la rodaja, lejana a la piel.

Las microfotografías de peras tratadas por secado combinado (microondas a 600 W y convección con aire caliente) durante 4 min de un lado, 4 min del otro y 4 min del primer lado de nuevo se presentan en las Figuras 74 y 75. Estas imágenes corresponden a la parte interna de las rodajas, lejos

de la piel. La Figura 75 muestra más en detalle la microestructura que se puede observar en la Figura 74, ya que posee un aumento de 800x.

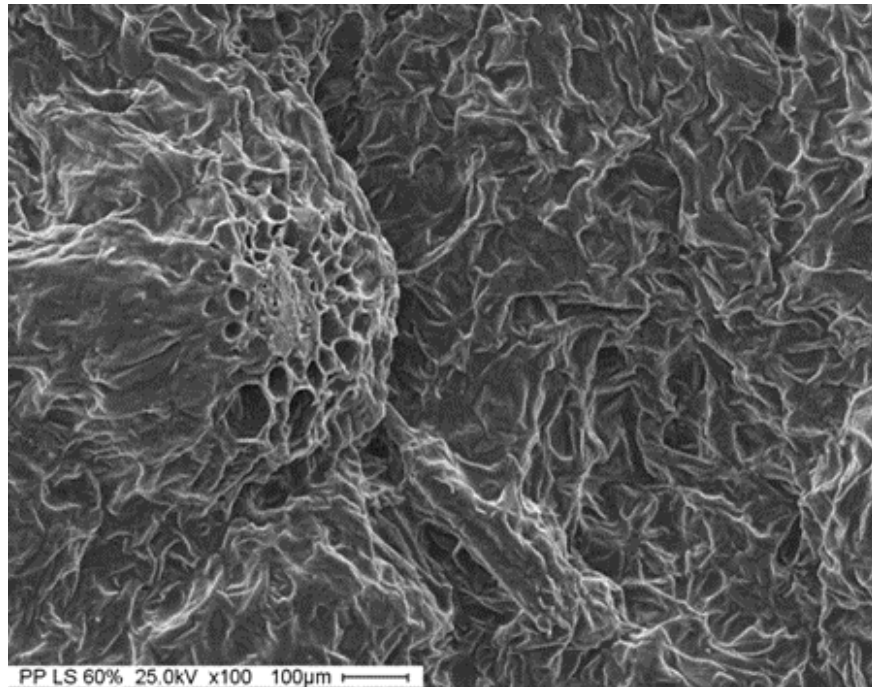


Figura 74. Pera secada de forma combinada (600 W) pretratada por osmodeshidratación/impregnación. Parte interna de la rodaja (100x).

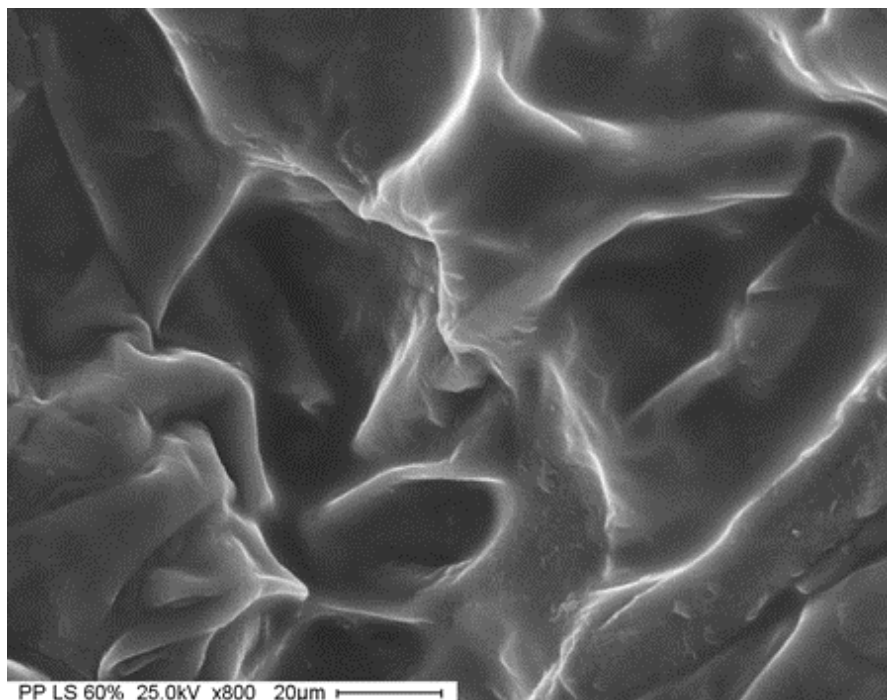


Figura 75. Pera secada de forma combinada (600 W) pretratada por osmodeshidratación/impregnación. Parte interna de la rodaja (800x).

Las Figuras 76 y 77 muestran la parte externa de las rodajas, cerca de la piel. La Figura 87 corresponde a un aumento 4 veces mayor al de la Figura 86.

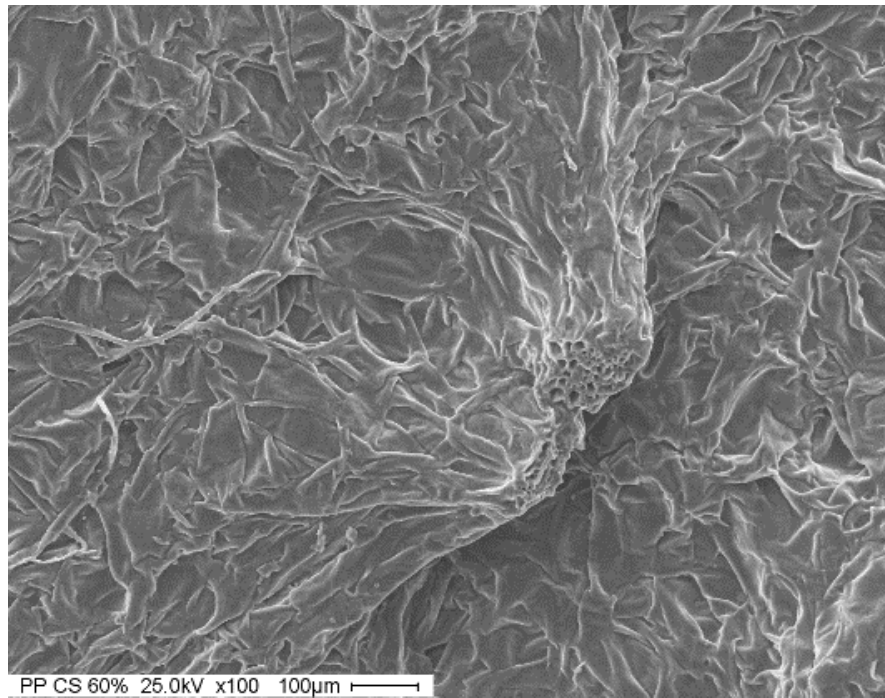


Figura 76. Pera secada de forma combinada (600 W) pretratada por osmodeshidratación/impregnación. Parte externa de la rodaja (100x).

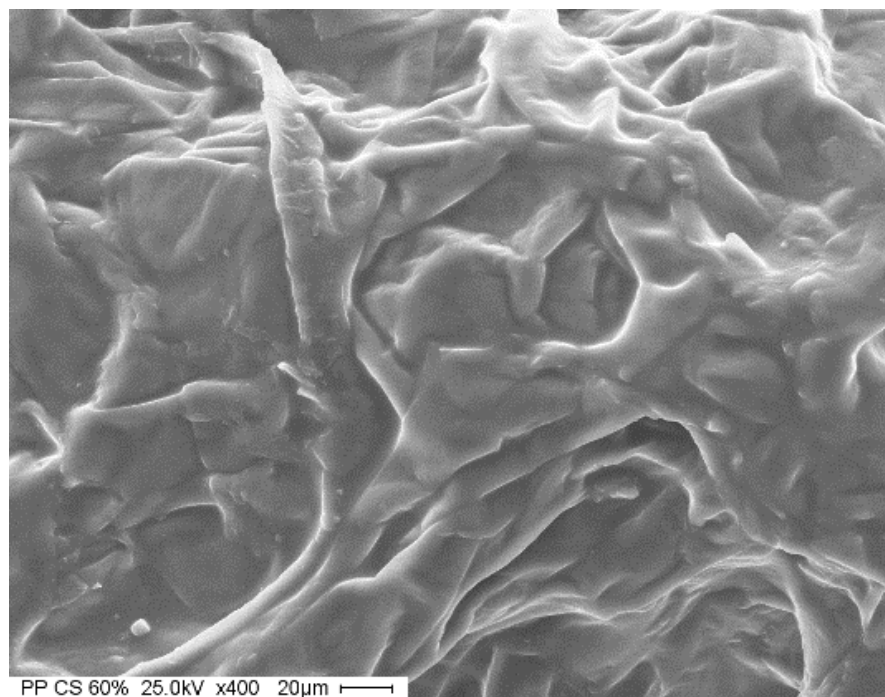


Figura 77. Pera secada de forma combinada (600 W) pretratada por osmodeshidratación/impregnación. Parte externa de la rodaja (400x).

En estas imágenes se puede apreciar que después del secado combinado, para las dos potencias de microondas aplicadas, se evidencia una disminución de la adhesión intercelular, carácter asociado con ciertos cambios cualitativos ocurridos en los polisacáridos: la solubilización de pectinas, la permanencia de la fracción celulósica y de su entramado con los glicanos, y la distribución de la lignina a través de la pared celular.

Las concentraciones relativas porcentuales obtenidas en la parte externa de la rodaja para los distintos tratamientos fueron:

Tratamiento combinado (600W) Ca 50.5 %, K 25,4 %, P 12,9 % y Al 11.2 % Relación Ca/K: 2.

Tratamiento combinado (500W) Ca 43.5 %, K 24.9 %, P 22.4 % y Al 9.2 % Relación Ca/K: 1,7.

Entonces, la relación calcio a potasio luego del secado combinado se matuvo aproximadamente igual a 2 como la hallada en la pera osmodeshidratada/impregnada. Es importante resaltar que luego del secado combinado no se halló presencia de Na.

IV.6 Análisis sensorial evaluado por panel no entrenado

Como se detalló en el capítulo III, las muestras deshidratadas y secadas de forma combinada elegidas se analizaron sensorialmente mediante una prueba de 47 consumidores, contrastando sus características organolépticas con una pera desecada comprada en el mercado local.

Las características de las muestras se informan a continuación:

- Muestra 487: corresponde a un secado combinado con microondas a una potencia del 500 W y un total de tiempo de secado de 11 minutos, 6 min de secado de un lado y 5 min de su otro lado con un reposo entre secado de 1 min.
- Muestra 176: corresponde a un secado combinado con microondas a una potencia de 600 W y tiempo de secado total de 12 min. Se secó durante los primeros 4min de un lado, luego se dejó enfriar 5,5 min y se dieron vuelta. Posteriormente, se secaron 4 min más y se enfriaron 5,5 min y se dieron finalmente vuelta y se secaron por 4 min más.
- Muestra 231: es la muestra del mercado, comprada en la dietética Grandiet. Estas peras no estaban fortificadas con calcio y zinc.

Se realizó un análisis de varianza, donde se encontró un efecto significativo para los atributos de aroma, textura y sabor, sin embargo, el color no presentó diferencias significativas ($p > 0.05$). El detalle del tratamiento estadístico se halla en el Anexo, pág. 159. Esto puede atribuirse a que las dos muestras diseñadas y la muestra comprada eran muy similares en cuanto a su coloración. En la Tabla X se presenta el análisis estadístico de los atributos para cada muestra.

Tabla X. Análisis estadístico de los atributos de las muestras.

Muestras	Aroma	Color	Textura	Sabor	Aceptabilidad
231	2.15 ^b	2.7	2.47 ^a	2.21 ^a	3.32 ^a
176	2.51 ^a	2.64	2.28 ^b	2.13 ^{ab}	3.04 ^b
487	2.26 ^b	2.64	2.21 ^b	2.00 ^b	2.94 ^b
p-value	0.03	>0.05	<0.05	0.005	<0.05
r ²	70.69	55.04	90.86	89.88	91.16

A partir de los resultados se puede inferir que las tres muestras tienen una aceptabilidad bastante similar, aunque la más aceptable fue la muestra 231, seguida por la 176 y la 487, en ese orden.

Análisis de componentes principales

El análisis de componentes principales presentó la formación de dos grupos: un grupo formado por las dos muestras diseñadas de características muy similares (muestras 487 y 176) y bastante diferente al otro constituido por la muestra 231, peras compradas. Estas afirmaciones coinciden con los grupos formados que se pueden apreciar en la Figura 78.

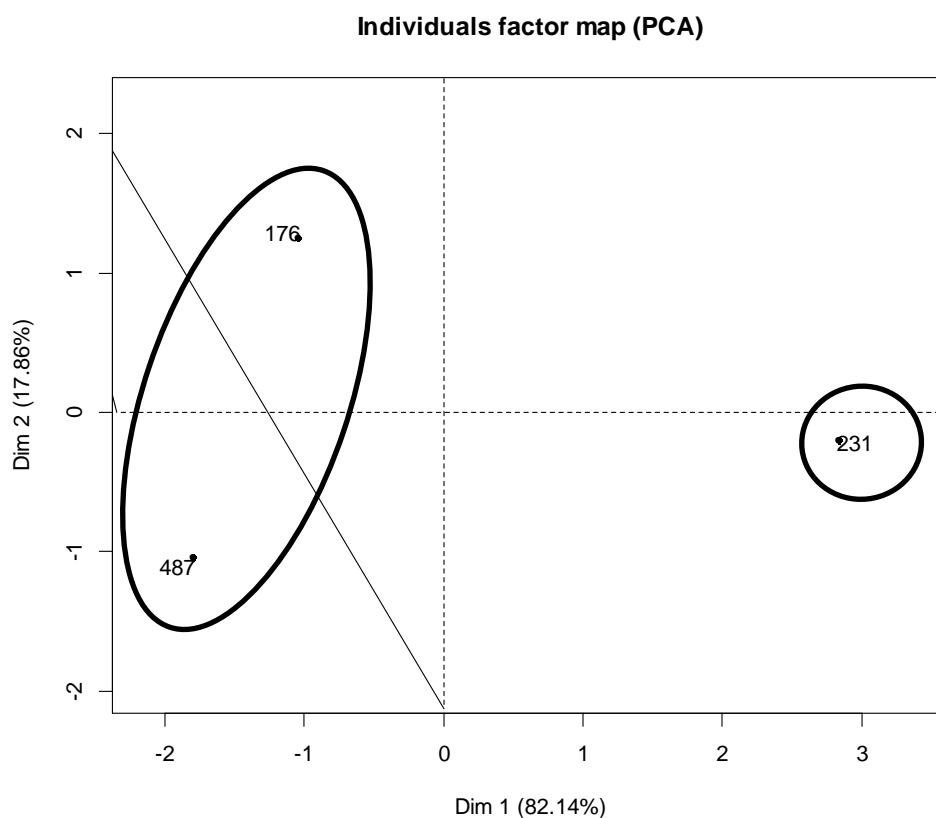


Figura 78. Análisis de componentes principales.

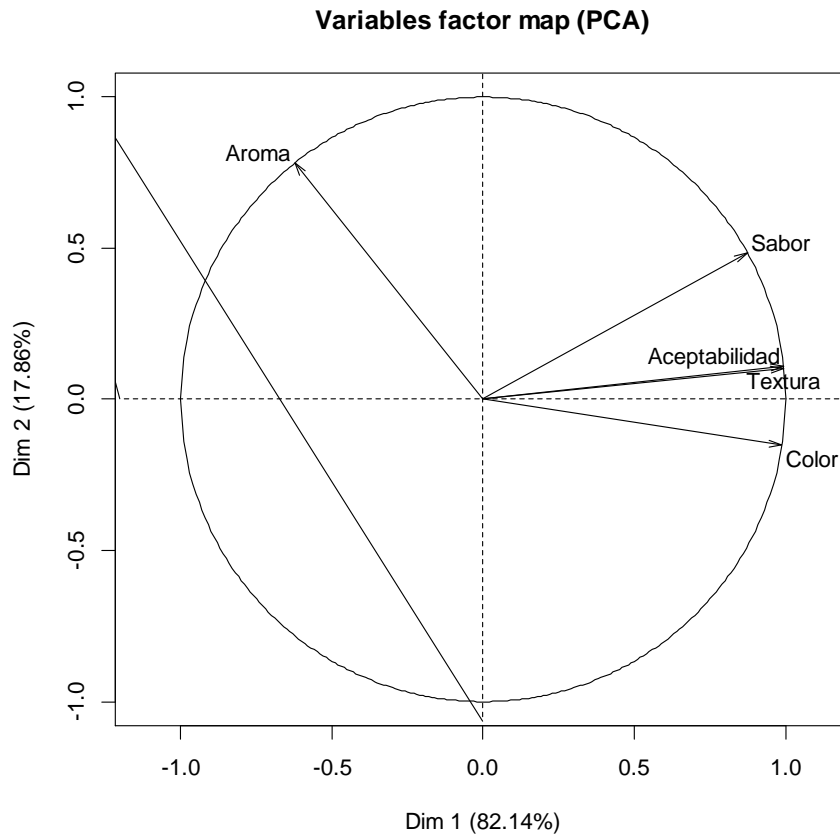


Figura 79. Representación Biplot.

Luego se realizó un análisis de correspondencia para los términos utilizados por los consumidores. La muestra 231 fue descrita como la más dulce, de menor acidez y de bajo aroma cítrico. Las muestras 176 y 487 presentaron mayor aroma cítrico y acidez, mediano dulzor y mayor aroma a caramelo (Figuras 79 y 80). Estos resultados concuerdan con el tratamiento recibido por las muestras, agregado de ácido ascórbico y cítrico, para evitar el pardeamiento enzimático y también extender su vida útil. Asimismo, el olor a caramelo está relacionado con el agregado de azúcar en la solución de impregnación. Sin embargo, podemos decir que su acidez es mucho menor a la de un caramelo ácido, según lo expresado por los consumidores.

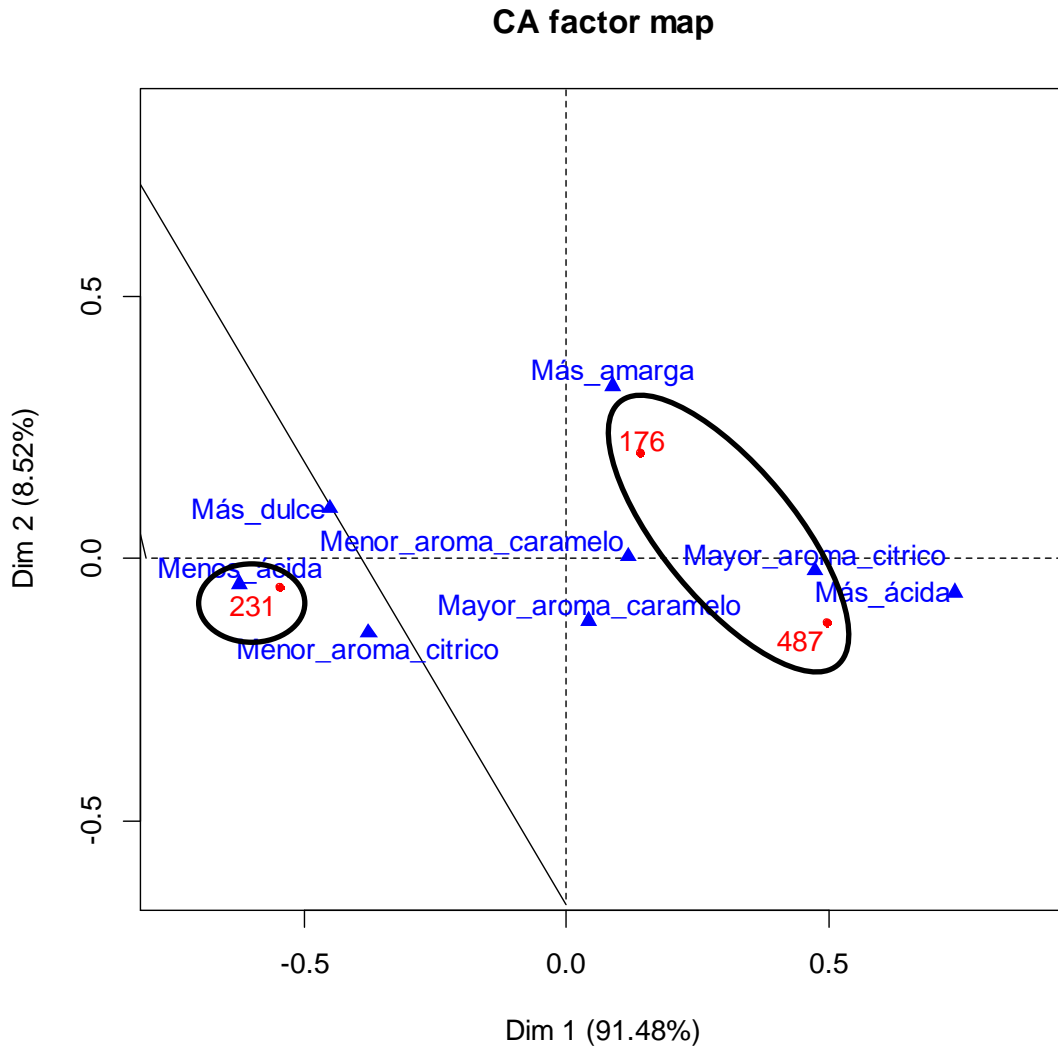


Figura 80. Agrupamiento de las muestras según sus atributos característicos en un diagrama Biplot.

Mejora de las características texturales del producto final

En este ítem se describen los resultados de percepción táctil de las muestras luego de ser sometidas a una prueba de secado por convección en aire caliente a 50 °C durante 30 min totales. El propósito fue reducir sus características de adherencia y cohesividad.

La Tabla XI. presenta la descripción de las modificaciones experimentadas por la muestra a diferentes tiempos de tratamiento

Tabla XI. Modificaciones de la muestra sometida a secado convectivo con aire caliente a 50 °C en el tiempo.

Tiempo de tratamiento (min)	Descripción modificaciones
5	Sin cambios
10	Más secas y menos pegajosas.
20	No hay cambios significativos.
30	Se secan levemente un poco más, pero no llega a ser un cambio significativo respecto a 10 minutos de secado.

La Figura 81 muestra el aspecto final de las muestras 487 y 176 luego del secado convectivo a 50 °C.

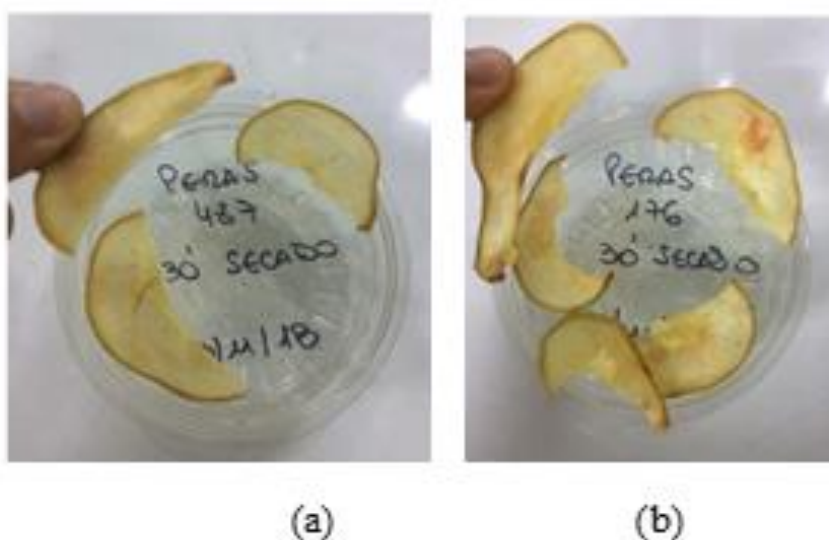


Figura 81. Fotos de las muestras 487 (a) y 176 (b) con secado final convectivo a 50 °C.

V. CONCLUSIONES

- La deshidratación osmótica/impregnación con minerales mejora las características del producto a nivel:
 - Nutricional, ya que se incorporan iones calcio y zinc a la pera desde la solución.
 - De coloración, puesto que el ácido ascórbico y el ácido cítrico actúan de forma sinérgica evitando el pardeamiento enzimático y protegen de posteriores pardeamientos durante secados subsiguientes.
 - De textura, ya que se conserva bastante la microestructura de las frutas porque los iones calcio incorporados reaccionan con las pectinas de la laminilla media, otorgando rigidez a las paredes celulares.
- Se aplicó el modelo de Crank basado en la segunda ley de Fick de la difusión para calcular el coeficiente de difusión efectivo del agua, de los sólidos solubles y de los iones Ca y Zn, para en el proceso de deshidratación osmótica y la del agua en el proceso de secado combinado y en el secado convectivo con aire caliente.
- Los modelos empíricos de Page, de Henderson y Pabis y de Midilli et al. ajustaron los datos experimentales satisfactoriamente para el proceso de deshidratación osmótica.
- La deshidratación osmótica si bien requiere un posterior secado para extender la vida útil final del producto, es un proceso que ahorra energía ya que permite la deshidratación del producto sin que el agua pase de estado líquido a vapor y mejora la calidad del producto final. La deshidratación se efectúa de manera simultánea a la impregnación con minerales. Se puede aplicar a variedades de frutas para producir snacks o chips de frutas.
- Durante las últimas tres décadas, se ha trabajado mucho en la deshidratación osmótica y se descubrió que es uno de los mejores métodos de conservación puesto que son mínimas las

modificaciones de color, sabor, textura, etc y puede mejorarse las características nutricionales por agregado de minerales u otros compuestos nutricionales de interés.

- El proceso de deshidratación osmótica/impregnación de minerales es un tratamiento no térmico ya que se trabaja a temperaturas menores o iguales a 40 °C, generalmente. Por ello, resulta muy económico.
- La deshidratación osmótica presenta la ventaja de disminuir las pérdidas posteriores a la cosecha de frutas y verduras. De esta manera, se puede aprovechar esta fruta obteniendo un producto con alto valor agregado y evitar pérdidas importantes de alimentos.
- El secado combinado (microondas junto con convección con aire caliente) y pretratamiento por deshidratación osmótica/impregnación con minerales permite alcanzar una humedad deseada que extiende la vida útil del producto final (tentempié).
- El secado combinado permite concentrar el potasio hallado en la pera en estado fresco. El potasio en el producto final, luego del proceso de secado fue 193,00 mg cada 100g de producto. De esta forma, el producto posee un mayor contenido de este mineral, tan importante por participar en el mantenimiento del balance hídrico y el equilibrio ácido-base, contribuir a la contractibilidad muscular y a la transmisión de impulsos nerviosos. Así como también, favorecer el mantenimiento de la presión arterial normal.
- Otra de las ventajas del secado combinado es que las temperaturas alcanzadas en la superficie del producto son moderadas (60-65 °C). De esta manera, la superficie del producto no se afecta, no se forman costras o zonas quemadas. Asimismo, se reduce la contracción de volumen del producto, ya que los vapores generados en el interior del producto por la penetración de las microondas desarrollan un gradiente de presión interno que fuerza el agua al exterior y evita que la estructura se contraiga y se cierre. Sin embargo, en el secado convectivo por aire caliente solamente, la difusión limitada del agua reduce el contenido de humedad superficial y genera la aparición de costras superficiales indeseables en el producto.
- Se obtuvieron dos posibles productos: uno tratado por secado combinado con microondas a una potencia de 600 W durante 12 min (4 min +4min +4 min) (muestra 176) y otro a 500 W por 11 min (6 min +5 min) (muestra 487). Las muestras se dejaron reposar entre tiempos

de cocción: 5.5 min la de 600 W y 1 min la de 500 W. Se analizaron sensorialmente mediante una prueba de consumidores (47 personas) y se contrastaron con una muestra similar de pera comprada en el mercado local. Esta última no poseía fortificación de minerales y había sido deshidratada por convección con aire caliente. Ambos productos diseñados fueron aceptados, aunque tuvo mayor aceptabilidad el producto de mercado por ser menos ácido. Por ello, si se quisiera lanzar al mercado debería reducirse su acidez. El producto de mayor aceptación entre los diseñados fue la muestra 176 (600 W y tiempo de cocción total de 12 min).

- El producto final (muestra 176) posee 891,90 mg de calcio y 28,30 mg de Zn por cada 100 g. de producto, luego de todo el proceso de secado.
- Para una dieta de 2000 Kcal se recomienda una porción diaria de fruta deshidratada de 25 g. Esta cantidad de producto (muestra 176) cubre un 22% del calcio y un 64 % del zinc recomendado diario para cada mineral. El valor del zinc sugiere que debemos continuar ajustando su concentración en la solución de impregnación.
- Se puede decir que el producto final es un alimento fortificado, ya que el mismo alcanza entre el 20-50% de los requerimientos diarios de los minerales calcio y zinc por porción, como lo exige el Artículo 1363 de CAA.
- El secado combinado empleando microondas permite alcanzar calentamientos más rápidos y altas eficiencias energéticas, respecto del secado convencional por aire caliente solamente. Este tipo de secado presenta la ventaja de retener el color, el sabor, el aroma y el valor nutricional del producto. También es bastante eficaz en la destrucción de patógenos e inactivación de enzimas.
- Las muestras con mejor aceptación fueron aquellas que se dejaron reposar entre períodos de secado, ya que después de que la cocción del microondas termina, los alimentos siguen el proceso de secado durante el tiempo de reposo. Este tiempo de descanso favorece la cocción de los alimentos de manera más uniforme. La cantidad de tiempo de reposo depende de la densidad del alimento.

- Los modelos empíricos de Page y de Wang y Singh describieron de manera adecuada los datos experimentales de humedad obtenidos durante el proceso de secado combinado y durante el secado convectivo por aire caliente a 90 °C.
- En el secado combinado, las microondas producen el calentamiento desde el interior del producto y cuando llega el agua a la superficie, la masa de aire caliente arrastra el vapor de agua y de esta manera ambos métodos se complementan para favorecer el secado.
- Este producto fortificado con minerales puede consumirse como tentempié (*snack*) y además se podría considerar como un alimento funcional debido a su contenido mineral mejorado.
- Cabe destacar que luego del secado combinado, la concentración superficial de sodio hallada en el tentempié no pudo detectarse (por análisis de dispersión de rayos X). Si bien se debería corroborar con un análisis de determinación de este mineral por espectrofotometría de absorción atómica se podría decir en principio que se trata de un *snack* con bajo contenido de sodio.
- También, estas frutas deshidratadas y fortificadas pueden agregarse a los cereales para desayuno, a las barras de cereales, a los yogures y a algunos productos de pastelería (bollería) o panadería.
- Este tentempié (*snack*) es un producto novedoso, práctico para su consumo y almacenamiento, puesto que no requiere ser rehidratado ni refrigerado y posee una vida útil extendida mediante procesos que preservan los nutrientes del vegetal, casi no modifican sus características organolépticas y no contiene conservantes sintéticos.
- La fruta deshidratada es una alternativa para conservar la producción de los fruticultores. Se calcula que aproximadamente (35-45) % de las cosechas se dañan por las condiciones climáticas o por pérdidas durante el transporte. Generalmente, la fruta con algún tipo de daño se utiliza para la elaboración de productos como mermeladas. Actualmente, son pocas las empresas que encuentran en la deshidratación de frutas una forma de recuperar parte de esas pérdidas y que vislumbran la posibilidad de ofrecer nuevos productos, con valor

agregado. En nuestro país, la mayoría de las empresas que se dedican a la deshidratación de frutas son de elaboración artesanal y de baja producción.

- El tema de esta tesis podría promover a que la población (especialmente los niños y los jóvenes) consuma frutas, a través de un producto de consumo directo que no requiere previa limpieza y pelado. También se espera que un mayor consumo pueda traducirse en una mayor producción atendiendo los requerimientos actuales de protección de los cultivos para evitar plagas y los desastres del cambio climático que los afecta. Actualmente existen fábricas de cultivo artificiales de algunos vegetales en Japón y en Dinamarca en la que se puede plantar grandes cantidades de especies en una superficie muy pequeña en invernaderos con condiciones óptimas de crecimiento con la administración de nutrientes, agua y luz controladas automáticamente.

Figura 82. Fábricas verticales de vegetales con luz artificial. Agricultura sostenible (Fuente INFOBAE, 2019)



VI. Recomendaciones o consideraciones para el futuro

1. Estudiar la factibilidad de elaboración de tentempiés '*snacks*' a partir de otras variedades de frutas que no posean un buen sabor y/o aroma en estado fresco. Analizar la posibilidad de mejorar sus características organolépticas mediante tratamientos por impregnación. Algunos ejemplos de frutas y variedades pueden ser: durazno, variedad Sweet September de muy bajo aroma y escasa acidez o ciruelas de las variedades: Howard Sun, de escaso desarrollo de aroma y sabor o la variedad Fortune de sabor mediocre y escaso aroma. De esta manera, se podría consumir frutas con valor agregado aprovechando las variedades menos requeridas por los consumidores por sus inadecuadas características sensoriales en estado en fresco.
2. Realizar ajustes en las concentraciones de la solución de osmodeshidratación/impregnación para alcanzar dosis menores de zinc en el producto final.
3. Estudiar la posible pérdida de antioxidantes en los diferentes procesos de tratamiento (deshidratación osmótica, secados por diferentes métodos, etc.).
4. Realizar ensayos de vida útil del producto con diferentes materiales de envase y en distintas atmósferas.
5. Llevar a cabo un análisis económico (costo/beneficio) para poder determinar la factibilidad de negocio para empresarios o emprendedores de industrias nacionales.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Agcam, E., Akyıldız, A., Akdemir, E. G. (2014). Comparison of phenolic compounds of orange juice processed by pulsed electric fields PEF and conventional thermal pasteurization. *Food Chem*, 143, 354-361. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.07.115>.
2. Alzamora, S. M., Tapia, M. S., Welti-Chanes, J. (1993). Application of combined methods technology in minimally process fruits. *Food Research International*, 26: 125–130.
3. Alzamora, S. M., Gerschenson, L. N., Vidales, S. L., Nieto, A. B. (1996). Structural changes in the minimal of fruits: some effects of blanching and sugar impregnation. *Food Engineering 2000*. P. Fito E. Ortega –Rodríguez & G.V. Barbosa –Canovas (Eds) NY: Chapman and Hall. 117-139.
4. Alzamora, S. M., Salvatori, D. M., Tapia, M. S., López-Malo, A., Welti-Chanes, J., Fito, P. (2005). Novel functional foods from vegetable matrices impregnated with biologically active compounds. *Journal of Food Engineering*, 67 (1-2), 205-214.
5. Alzamora, S. M., Salvatori, D. M. (2006). Minimal processing foods. En *Handbook of Food Technology and Food Engineering*; Taylor & Francis Books; CRC Press: Boca Raton, USA; 118/1 – 118/16. Revisar agree 22 diciembre
6. Anino, S. V., Salvatori, D. M., Alzamora, S. M. (2006). Changes in calcium level and mechanical properties of apple tissue due to impregnation with calcium salts. *Food Research International*, 39, 154-164.
7. AOAC-Oficial Methods of Analysis of the Association of Oficial Analytical Chemists. (1975) 12a. edición. Washington D.C.
8. Association of Official Analytical Chemists (A.O.A.C). 1996. *Official Methods of Analysis*, 12° Ed. AOAC, Washington, DC. pp. 829.
9. Arballo, J. R. (2013). Modelado y simulación de la deshidratación combinada osmótica-microondas de frutihortícolas. Tesis doctoral. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de la Plata, UNLP.
10. Ariza, L., Della Rocca, P. A., Roche, L. A., Mascheroni, R. H. (2017). Osmotic dehydration of banana species *Musa Paradisiaca* and *Musa Cavendish*, *International Conference of Food Innovation*, FoodInnova, Italy.
11. Azuara, E., Beristain, C. I., García, H. S. (1992). Development of a mathematical model to predict kinetics of osmotic dehydration. *International Journal of Food Science and Technology*, 29 (4), 239-242.
12. Baduñ Dergal, S. (2006). *Química de los Alimentos*. Pearson Education. 4 ° Edición. México. 715 p.
13. Barat, J. M., Grau, A., Fito, P. (1998). *Deshidratación osmótica de los alimentos*. Ed. Servicio de publicaciones. Universidad Politécnica de Valencia. España.
14. Barbosa-Cánovas, G. V., Góngora-Nieto, M. M., Swanson, B. G. (1998). Nonthermal electrical methods in food preservation. *Food Sci. Technol. Int.* 4(5):363-370.
15. Barbosa-Cánovas, G. V. (2019). Nonthermal technologies, a new dimensión in food processing. XII Congreso iberoamericano de Ingeniería de los Alimentos, CIBIA, 2019, 1-4 de julio de 2019. (Presentación: conferencia plenaria).
16. Beaudry, C., Raghavan, G., Rennie, T. (2003). Microwave finish drying of osmotically dehydrated cranberries. *Drying Technology*, 21 (9), 1797-1810.
17. Belitz, H., Grosch, W., Schieberle, P. (2011). *Química de los Alimentos*. Editorial Acribia. 3° Edición. Zaragoza, España.
18. Belloq, E. (2012). *Deshidrocongelación de Zapallo Anco*, tesis de maestría, UTN., FRBA
19. Benítez, C. (2001). *Cosecha y poscosecha de peras y manzanas en los valles irrigados de la Patagonia*, Libro INTA, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
20. Berk, Z. (2009). *Food process engineering and technology*. Ed. Academic Press, MA, USA.

21. Berk, Z. (2018). Dehydration. Chapter 22. En “Food Process Engineering and Technology”. 3rd Edition. Food Science and Technology. Academic Press. Pages 513-566.
22. Betoret, N., Puente, L., Díaz, M. J., Pagán, M. J., García, M. J., Gras, M. L., Martínez-Monzó, J. & Fito, P. (2003). Development of probiotic-enriched dried fruits by vacuum impregnation. *Journal of Food Engineering*, 56, 273–277.
23. Biswal, R., Bozorgmehr, K., Tompkins, F. D., Liu, X. (1991). Osmotic concentration of green beans prior to freezing. *Journal of Food Science*, 56, 1008-1012.
24. Bolin, H. R., Stafford, A. E., King Jr, A. D., Hixsoll, C. C. (1977). Factors affecting the storage stability of shredded lettuce. *Journal of Food Science*. 42 (5). 1319-1321.
25. Bolin, H. R., Huxoll, C. C., Jackson, A., Ngk, C. (1983). Effect of osmotic agents and concentration on fruit quality. *Journal of Food Science*, 48, 202-205.
26. Bolin, H. R., Huxoll, C. C. (1989). Storage stability of minimally processed fruit. *Journal of Food Processing and Preservation*, 13,192–281.
27. Borsini, A.A., Albani, O.A., Ramallo, L.A. (2016). “Aplicación de diferentes técnicas de secado en frutas de Diospyros kaki var. “Fuyus”. *Revista de Ciencia y Tecnología, RECYT*. 18 (1). 65-70.
28. Bosco, D., Roche, L., Della Rocca, P. A., Mascheroni, R. (2018). *Revista del Laboratorio Tecnológico del Uruguay, INNOTEC 2018*, Osmodehidrocongelación de batata fortificada con Zinc y Calcio, ISSN 688-6593, N° 15 (23-31). DOI 10.26461/15.05.
29. Botes, A., Kawhena, T., Fortuin, V., Ruiters, H. (2017). In depth solution to superficial scald. *Container and Cold-storage Technology and Post-harvest Physiology*. Disponible en: <https://postharvestinnovation.org.za/wp-content/uploads/2017/06/In-depth-solution-to-superficial-scald-PHI-Pear-and-Apple-Project-2017.pdf> (p 97-99).
30. Bouraqui, M., Richard, P., & Durance, T. (1994). Microwave and convective drying of potato slices. *Journal of Food Process Engineering*, 17, 353-363.
31. Breslin, P., & Spector, A. (2008). Mammalian taste perception. *Curr. Biol.*, 18(4):148-55.
32. Bruemmer, J. H. (1987). Stability of prepared carrot sticks in storage. *Horticultural Society*, 100: 36- 38.
33. Calvo, G. (2016). El escaldado superficial en pera “Beurré d’Anjou”: etiología y desarrollo de sistemas de control, Tesis de Doctorado, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires.
34. Calvo, G., Candan, A. P. (2013). Guía para la identificación de fisiopatías en manzanas y peras Área Poscosecha – INTA Alto Valle. Colección Divulgación.
35. Carter, K., Risky, D. (1990). The role of sensory research in bringing a product to a market. *Food technology* 43(11): 160-162.
36. Casim, S. M. (2011). Enriquecimiento de manzana con calcio: efecto en las propiedades físico-químicas y estructurales durante el secado en corriente de aire, Tesis doctoral Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.
37. Conway, J., Castaigne, F., Picard G. & Vovan, X. (1983). Mass transfer considerations in the osmotic dehydration of apples. *Can. Inst. Food Sci. Technol. J.*, 16, 25–29.
38. Cousins, R. J. (1997). Zinc. Capítulo 29. En “Conocimientos actuales sobre nutrición”. E.E. Ziegler y L.J.Filer, Jr Ed. 7° Edition.
40. Chen, P. M., Varga, D. M., Mielke, E. A., Facticeau, T. J., Drake, S. R. (1990). Control of superficial scald on “Beurré d’Anjou” pears by ethoxyquin oxidation of α farnesene and its cultivars during long-term storage. *Food Chemistry* 80, 303-307.
41. Crank, J. (1975). *The mathematics of diffusion*, Second Edition, UK, Clarendon Press.
42. Dalla-Rosa, M., Mastrocola, D., Maltini, E., Sacchetti, G. (1999). La trasformazione industriale dell’actinidia: le possibilità per un utilizzo alternativo dei frutti. *Frutticoltura*, 12: 45-51.
43. Datta, A. K. (2001a). *Mathematical modeling of microwave processing of foods: an overview, Food processing operations modelling, design and analysis*. J. Irudayaraj Editor, Pennsylvania.

44. Datta, A. K. & Anantheswaran, R. C. (2001b). Handbook of microwave technology for food applications. Marcel Dekker, USA.
45. De Angelis, V., Calvo, P., Raffo, D., & Menni, M. F. (2015). Comportamiento productivo de diferentes combinaciones cultivar-portainjerto de perales en el Alto Valle de Río Negro y Neuquén. *Revista de investigaciones Agropecuario, RIA*. Vol. 41, N°1.
46. Defilippi, B., Torres, C., Hernández, O. (2015). Maduración en peras: calidad y condición postcosecha. *Boletín informativo Pomáceas*. Volumen 15, N° 1, Enero. ISSN 0717-6910.
47. De Girolami, D., González Infantino, C. (2010). Clínica y terapéutica en la nutrición del adulto. Editorial El Ateneo. ISBN 978-950-02-0139-1.
48. Della Rocca, P. A. (2010). Secado de alimentos por métodos combinados: deshidratación osmótica y secado por microondas y aire caliente, Tesis de maestría, UTN., FRBA.
49. Della Rocca, P., Mascheroni, R., (2011). Deshidratación de papas por métodos combinados de secado: deshidratación osmótica, secado por microondas y convección con aire caliente. *Proyecciones* 9 (2): 11-26.
50. Della Rocca, P. A., Roche, L. A., Mascheroni, R. H. (2013). Estudio de la transferencia de agua durante la deshidratación osmótica de zanahoria. *Proyecciones*. 81-91. ISSN 1853-6352.
51. Della Rocca, P. A., Ariza, L., Bruno, E., Roche, L., Campañone, L. (2018). Solar drying of banana fortified with calcium by osmotic dehydration. 5th International ISEKI Food Conference, Universidad de Hohenheim, Stuttgart, Alemania. Flash presentation. *Advances in innovative and emerging technologies*. Page 178.
52. Della Rocca, P. A., Bosco, D., Roche, L., Silva Paz, R. (2019). Tratamiento por microondas y convección con aire caliente de peras fortificadas con Ca y Zn. XII Congreso iberoamericano de Ingeniería de los Alimentos, CIBIA, 2019, 1-4 de julio de 2019. (Presentación: exposición oral).
53. Doesburg, J. J. (1961). Relation between the behaviour of pectic substances and changes in firmness of the horticultural products during heating. *Qual. Plant. Mater. Veg.* 8 :1 15-129.
54. Doymaz, I. (2004). Effect of pre-treatments using potassium metabisulphide and alkaline ethyl oleate on the drying kinetics of apricots. *Biosystems Engineering* 89: 281–287.
55. Eliaz, I., Weil, E., Wilk, B. (2007). "Integrative Medicine and the Role of Modified Citrus Pectin/Alginates in Heavy Metal Chelation and Detoxification – Five Case Reports." *Forsch Komplementärmed* 14: 358-364.
56. Esau, K. (1982). Anatomía de las Plantas con Semilla. Editorial Hemisferio Sur SA, Buenos Aires, Argentina.
57. Fahh, A. (1985). Plant Anatomy. Editorial Pirámide S.A. Madrid.
58. FAO/WHO (2002). Calcium. En: Human vitamin and mineral requirements (Report of a joint FAO/WHO expert consultation). Chap. 11: 151-179. [On line]. FAO Corporate Document Repository. Dirección URL.
59. Fellows, P. J. (2000). Food processing technology, principles and practice. Ed. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, England
60. Fernández-Molina, J. J., Barbosa-Cánovas, G. V., Swanson, B. G. (2001). Tecnologías emergentes para la conservación de alimentos sin calor *Arbor* CLXVIII, 661, 155-170.
61. Fito Mapouey, P., Chiralt, A. (2000). Vacuum impregnation of plant tissues. In Alzamora, S.M., Tapia, M.S. y López Malo, A. (Eds). *Minimally processed fruits and vegetables*. Gaithersburg, MD: Aspen Publishers, Inc., 189-204.
62. Fito Mapouey, P. F., Andrés Graw, A. M., Barat Baviera, J. M., Albors Soralla, A. M. (2001). Introducción al secado de alimentos por aire caliente (Primera Edición Ed.). Valencia, España: Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia. 211 p.
63. Gamboa-Santos, J., Soria, A. C., Villamiel, M., Montilla, A. (2013a). Quality parameters in convective dehydrated carrots blanched by ultrasound and conventional treatment. *Food Chem*, 141(1), 616-624. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.03.028>.

64. Gamboa-Santos, J., Soria, A. C., Pérez-Mateos, M., Carrasco, J. A., Montilla, A., Villamiel, M. (2013b). Vitamin C and sensorial properties of dehydrated carrots blanched conventionally or by ultrasound. *Food Chem*, 136(2), 782-788. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.07.122>.
65. Gamboa-Santos, J., Rodríguez, J., Carvajal, G., Pilamal, A. (2016). Aplicación de tecnologías emergentes al procesamiento de frutas con elevada calidad nutricional. Una revisión. *Revista Colombiana de Investigaciones. Agroindustriales*. 57-75. ISSN 2422-0582 e- ISSN 2422-445.
66. García, A., Iglesias, O., Roques, M., Bueno, J. (1992). Microwave drying of agar gels: kinetics parameters. In *Drying '92*, Mujumdar A.S., Ed., Elsevier Science Publishers: NY, 595-606.
67. García Breijo, F. J. (2012). Biovegetal Disponible en: <http://biovegetal.es/docencia-publicaciones/>
68. Garrote, R. L., Silva, E. R., Bertone, R. A. (1992). Osmotic concentration at 5 °C and 25 °C of pear and apple cubes and strawberry halves. *Lebensm. -Wiss. u-Technol*. 25:133-138.
69. Gaspar, T. V., Del Pozo de la Calle, S., Ruiz Moreno, E., Ávila Torres, J. M., & Varela Moreiras, G. (2009). “Determinación de macronutrientes y micronutrientes en el despiece de carne de las principales especies de abasto”. Fen-fedecarne.
70. Gergoff Grozeff, G. E. (2007). Portainjertos para peral. Trabajo de la Cátedra de Floricultura. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. UNLP. La Plata.
71. Gergoff Grozeff, G. E. (2016). Maduración e índices de cosecha. Aspectos fisiológicos y determinación de estados de madurez de frutos. Trabajo de la Cátedra de Fruticultura. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. UNLP. La Plata.
72. Gianotti, A., Sacchetti, G., Pinnavaia, G. G., Dalla-Rosa, M. (2000). Microbial aspects on short-time osmotic treatment of fruit: preliminary trials on minimally processed kiwifruit slices. En M. Dalla-Rosa; W. E. L. SpieB (Eds) *Industrial application of osmotic dehydration treatments of food*, Udine, I: Forum: 71-75.
73. Gianotti, A., Sacchetti, G., Guerzoni, M. E., Dalla-Rosa, M. (2001). Microbial aspects on short-time osmotic treatment of kiwifruit. *Journal of Food Engineering*, 49(2/3): 265-270.
74. Goldstein, J., Newbury, D., Michael, J. R., Ritchie, N. W. M., Scott, J. H. J., & Joy, D. C. (2018). *Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis*, 4 th Edition. Springer, New York. USA.
75. Grass M, Vidal-Brotons D, Betoret N, Chiralt A, Fito P. (2003) Calcium fortification of vegetables by vacuum impregnation Interactions with cellular matrix. *Journal of Food Engineering*. 56(2 Pt 3): 279-284.
76. Guevara Guerrero, S., López Rodríguez, J. (2013). Tesis de grado de la Universidad del Valle. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería de los Alimentos. Santiago de Cali. Colombia.
77. Gunasekaran, S. (1999). Pulsed microwave -vacuumdrying of food materials. *Drying Technology*. 17. 395-412.
78. Guzmán Salas, J. (2000). El cultivo del peral (*Pyrus communis*) y sus principales plagas y enfermedades. Monografía. México.
79. Henderson, S. M., Pabis, S. (1961). Grain drying theory. En: *I. Agric. Eng. Res.*, 6(3), pp.169-174.
80. Huxsoll, C. (1982). Reducing the refrigeration load by partial concentration of foods prior to freezing. *Food Technology*, 35 (11), 98-102.
81. Ipohorski, M., Bozzano, P. (2013). Microscopía electrónica de barrido en la caracterización de materiales. *Revista Ciencia e Investigación, CEI*, Tomo 63 N° 3.
82. Islam, M., & Flink, J. (1982). Dehydration of potato II. Osmotic concentration and its effect on air drying behaviour. *J. Food Technol.* (17), 387-403.
83. Izumi, H., Watada, A. E. (1994). Calcium treatments affect storage quality of shredded carrots. *Journal of Food Science*, 59, 106-109.
84. Jackman, R. L., Stanley, D. W. (1995). Perspectives in the textural evaluation of plant food. *Trends in Food Science and Technology*, 6, 187-194.

85. Jarayaman, K. S., Das Gupta, D. K. (1992). Dehydration of fruits and vegetables: recent developments in principles and techniques. *Drying Technology*, 10, 1-50.
86. Jones, P. L. (1986). High frequency dielectric heating in paper making. *Drying Technology*, 4(2), 103-107.
87. Kadam, P., Dhumal, S.A., Shinde, N.N. (1995). *Fruit Science and Technology. Production, Composition, Storage, and Processing*. En: Pear. Marcel Dekker (Ed). New York, Basel, Hong Kong.11:183-202.
88. Karathanos, V. T., Kostaropoulos, A. E., Saravacos, G. D. (1995). Air drying of osmotically dehydrated fruits. *Drying Technology*, 13, 1503-1521.
89. Krahn, T. R. (1977). Improving the keeping quality of cut head lettuce. *Acta Hort.* 62., 79-92.
90. Krokida, M., Maroulis, Z., Saravacos, G. (2001a). The effect of the method of drying on the colour of dehydrated products. *International Journal of Food Science and Technology*, 36, 53-59.
91. Krokida, M., Maroulis, Z. (2001b). Structural properties of dehydrated products during rehydration. *International Journal of Food Science and Technology*, 36, 529-538.
92. Lasagabaster, A. (2009). Factores que determinan la eficacia de la tecnología de luz pulsada para la inactivación de microorganismos de origen alimentario. Tesis Doctoral. Universidad del País Vasco.
93. Laurindo, J. (2019). New possibilities for the drying of fruits and vegetables. XII Congreso iberoamericano de Ingeniería de los Alimentos, CIBIA, 2019, 1-4 de julio de 2019. (Presentación: conferencia plenaria).
94. Lazarides, H. N., Gekas, V., Mavroudis, N. (1997). Apparent mass diffusivities in fruit and vegetable tissues undergoing osmotic processing. *Journal of Food Engineering*, 31(3): 315-324.
95. Lazarides, H. N., Fito, P., Chiralt, A., Gekas, V., Lenart, A. (1999). Advances in osmotic dehydration. En: *Minimal Processing of Food and Process Optimization*. Singh, R.P. y Oliveira, F.A.R. (Eds.), CRC Press, Boca-Ratón, 175-200.
96. Le Maguer, M. (1988). Osmotic dehydration: review and future directions. En: *Proceeding of the international Symposium of Progress. Food Preservation Process*, 1: 283-309.
97. Le Maguer, M., Yao, Z. M. (1995). Mass transfer during osmotic dehydration at the cellular level. En: *Food Preservation by Moisture Control. Fundamentals and Applications*. Eds.: Barbosa-Cánovas, G.
98. Lericci, C., Pinnavaia, G., Rosa, M. D., Bartolucci, L. (1985). Osmotic dehydration of fruit: influence of osmotic agent on drying behaviour and product quality. *Journal of Food Science*, 50, 1217-1219.
99. Li, Q., Cheng, C., Zhang, X., Wang, C., Yang, S. (2020). Preharvest bagging and postharvest calcium treatment affects superficial scald incidence and calcium nutrition during storage of 'Chili' pear (*Pyrus bretschneideri*) fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 163, 111149.
100. López González, A. A., Grases, F., Costa-Bauzá, A., Monroy, N., Vicente Herrero, M. T., Jaume, M. A. (2009). Fitato y su utilidad en la práctica clínica. *Medicina Balear*. 24 (2), 39-46.
101. Lovera, N. N. (2016). Estudio del efecto de la impregnación con calcio en la preservación de papaya. Tesis de Doctorado Universidad Nacional de la Plata, UNLP.
102. Luna Riquelme, M. C. (2012) Influencia de los factores pre y postcosecha en la calidad de la lechuga IV Gama. Tesis de Doctorado de la Universidad de Murcia.
103. Lurie, S., Watkins, C. B. (2012). Superficial scald, its etiology and control, *Postharvest Biology and Technology* 65, 44-60.

104. Madiouli, J., Sghaier, J., Lecomte, D., & Sammouda, H. (2012). Determination of porosity change from shrinkage curves during drying of food material. *Food and Bioproducts Processing*, 90(1), 43–51. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2010.12.002>
105. Mahiuddin, M., Khan, M. I. H., Duc Pham, N., & Karim, M. A. (2018). Development of fractional viscoelastic model for characterizing viscoelastic properties of food material during drying. *Food Bioscience*, 23, 45–53.
106. Marcotte, M., Toupin, C., Le Maguer, M. (1991). Mass transfer in cellular tissues. Part I: the mathematical model. *Journal of Food Engineering*, 13, 199-220.
107. Martín Esparza, M.E. (2002). Utilización de microondas en el secado por aire caliente de manzana (var. Granny Smith). Influencia del pretratamiento por impregnación a vacío. Tesis de Doctorado la Universidad de Valencia.
108. Mascheroni, R. H. (2002). Estudios y desarrollos en deshidratación por métodos combinados. IX Congreso Argentino de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Buenos Aires, 7-9 Agosto de 2002. Simposio “Avances Tecnológicos en los medios tradicionales de conservación”.
109. Maskan, M. (2000). Microwave/air and microwave finish drying of banana. *Journal of Food Engineering*, 44, 71-78.
110. Maskan, M.; Ibanoglu, S. (1998). Drying behaviour of infrared dried tarhana dough. En: *Proceeding of Food Engineering Congress*, 171-177.
111. Mattes, R. D. (2011). Accumulating evidence supports a taste component for free fatty acids in humans. *Physiol. Behav.* 104, 624–631.
112. Mayor, L., Sereno, A. M. (2004). Modelling shrinkage during convective drying of food materials: A review. *Journal of Food Engineering*, 61(3), 373–386. [https://doi.org/10.1016/s0260-8774\(03\)00144-](https://doi.org/10.1016/s0260-8774(03)00144-)
113. Mayor, L., Moreira, R., Sereno, A. M. (2011a). Shrinkage, density, porosity and shape changes during dehydration of pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) fruits. *Journal of Food Engineering*, 103, 29–37.
114. Mayor, L., Moreira, R., Sereno, A. M. (2011b). Shrinkage, density, porosity and shape changes during dehydration of pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) fruits. *Journal of Food Engineering*, 103, 29–37.
115. Medina Andía, L. F. (2018). Factores que afectan en la evaluación sensorial de los alimentos. Tesis de Ingeniería. Universidad Nacional de San Agustín. Perú.
116. Mendoza Sarmiento, J., Juarez, F., Zerpa, V., Roche, L., Della Rocca, P. A. (2018). Fried plattains, *Musa Paradisiaca*, fortified with calcium and with low lipid content. 5th International ISEKI Food Conference, Universidad de Hohenheim, Stuttgart, Alemania. Session 2: Research and Innovation Across Boundaries- Poster. Book of abstracts. Page 190.
117. Miceli-Garcia, L. G. (2014). "Pectin from Apple Pomace: Extraction, Characterization and Utilization in Encapsulating AlphaTocopherol Acetate. MS Thesis, University of Nebraska-Lincoln.
118. Midilli, A., Kucuk, H., Yapar, Z. (2002). A new model for single-layer drying. *Drying Technology*, 20(7), 1503-1513.
119. Moreiras, O. (2013). Pera.
Disponible en: <http://www.fen.org.es/mercadoFen/pdfs/pera.pdf>.
120. Muñoz Labrador, A. (2016). Caracterización de pectinas industriales de cítricos y su aplicación como recubrimientos de fresas. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Madrid.
121. Nguyen, M., Price, W. E. (2007). Air-drying of banana: Influence of experimental parameters, slab thickness, banana maturity and harvesting season. *Journal of Food Engineering* 79:200–207.
122. Oms-Oliu, G., Odriozola-Serrano, I., Soliva-Fortuny, R., Elez-Martínez, P., Martín-Belloso, O. (2012). Stability of health-related compounds in plant foods through the

- application of non thermal processes. *Trends Food Sci Technol*, 23(2), 111-123. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2011.10.004>.
123. Page, G. E. (1949). Factors influencing the maximum of air drying shelled corn in thin layer. Thesis- (M.SCc.), Purdue University, Indiana, USA.
 124. Panagiotou, N., Karathanos, V., Maroulis, Z. (1998). Mass transfer modelling of the osmotic dehydration of some fruits. *International Journal of Food Science and Technology*, 33, 267-284.
 125. Park, K.J., Bin, A., Reis Brod, F.P., Brandini Park T.H.K. (2002). Osmotic dehydration kinetics of pear D'Anjou (*Pyrus communis* L.). *J. Food Eng.* 52 (3): 293-308.
 126. Park, K. J., Bin, A., Reis Brod, F. P. (2003). Drying of pear d'Anjou with and without osmotic dehydration. *Journal of Food Engineering*, 56 (1): 97-103.
 127. Pearson, D., Pearson, F., Romero, C., Miranda, J., Suso, J. (1993). *Técnicas de laboratorio para el análisis de alimentos*. 3ª edición. Zaragoza. Editorial Acribia. pp. 331
 128. Penny, M. E. (2013). Usos de complementos de zinc en salud pública. *Annals of Nutrition and Metabolism*, 62 (1), 31.
 129. Peryam, D. R., Pilgrim, F. J. (1957). Hedonic scale method of measuring food preferentes. *Food Technology*, 1(9): 9-14.
 130. Pitt, R. E. (1992). Viscoelastic properties of fruits and vegetables. En: *Viscoelastic properties of foods*. M: A. Rao y J.F. Steff (Eds) (49-76). London and NY: Elsevier Applied Science.
 131. Pointing, J. D., Watters, G. G., Forrey, R. R., Jackson, R., Stanley, W. L. (1966). Osmotic dehydration of fruits. *Food Technology*, 20, 125-128.
 132. Pointing, J. D. (1973). Osmotic dehydration of fruits - Recent modifications and applications, *Process Biochemistry* 8 18-20.
 133. Portela, M. L. (2015). Aspectos nutricionales de vitaminas y minerales en el siglo XXI. 1ª Edición, AATA, Asociación Argentina de Tecnólogos Alimentarios.
 134. Prothon, F., Ahrné, L. M., Funebo, T., Kidman, S., Langton, M., Sjöholm, I. (2001). Effects of combined osmotic and microwave dehydration of apple on texture, microstructure and rehydration characteristics. *LWT, Food Science and Technology*, 34, 95-101.
 135. Puerto Galán, M. D. (2016). Sistema flotante de retención gástrica de acetato de zinc: influencia del agente efervescente y del tipo de excipiente hidrófilo, trabajo fin de grado, Facultad de Farmacia, Universidad de Sevilla. España.
 136. Purvis, A. C., Gegogine, J. W. (2003). Diphenylamine inhibits respiration of green bell peppers. *Journal of American Society of Horticulture Science* 128, 924-929.
 137. Rahman, S., Perera, C. (1996). Osmotic dehydration: a pretreatment for fruit and vegetables to improve quality and process efficiency. *The Food Technologist*, 25, 144-147.
 138. Raoult-Wack, A. L. (1994). Recent advances in the osmotic dehydration of foods. *Trends in Food Science and Technology*, 5(8): 255-260.
 139. Rapparini, F., Predieri, S. (2003). Pear fruit volatiles. *Hortic. Rev.* 28, 237-324.
 140. Rastogi, N. K., Niranjana, K. (1998). Enhanced mass transfer during osmotic dehydration of high pressure treated pineapple. *Journal of Food Science*, 63, 508-511.
 141. Rastogi N., Raghavarao K., Niranjana K. Y Knorr D., 2002, Recent developments in osmotic dehydration: methods to enhance mass transfer, *Trends in Food Science and Technology*, 13, 48-59.
 142. Raven, P. H., Evert, R. F., Eichhorn, S. E. (1992). *Biología de las Plantas*. Editorial Reverté S.A. 4ta edición, capítulo 20.
 143. Riva, M., Cortellino, G., Maestrelli, A., Torreggiani, D. (2001). Structure collapse and colour changes in osmo-air-dehydrated peach cubes. *Food Science and Biotechnology*, 10: 598- 601.

144. Rodríguez, A. (2014). Comparación de métodos combinados (ósmosis directa-microondas y secado convectivo por aire caliente-microondas) para la deshidratación de frutos del bosque. Tesis de doctorado de la Universidad Nacional de La Plata.
145. Rodríguez, M. M. (2013). Obtención de frutos deshidratados de calidad diferenciada mediante aplicación de técnicas combinadas. Tesis de doctorado de la Universidad Nacional de La Plata.
146. Rojas, M., Esteves Duarte, A. P. (2019). Pre-treatments to improve drying of food, XII Iberoamerican Congress of Food Engineering, University of Algarve, Faro, Portugal.
147. Rosen, J. C., Kader, A. A. (1989). Postharvest physiology and quality maintenance of sliced pear and strawberry fruits. *Journal of Food Science*, 54(3): 656-659.
148. Rynnänen, S. (1995). The electromagnetic properties of food materials: A review of basic principles. *Journal of Food Engineering*, 26, 409-429.
149. Saquet, A. A., Streif, J., Almeida, D. P. (2019). Mineral composition and distribution within 'Rocha' pear in relation to internal storage disorders', *Postharvest Biology and Technology* 158, 111002, Amsterdam, Netherlands.
150. Schiffmann, R. F. (2001). Microwave processes for the food industry. In *Handbook of Microwave Technology for Food Applications*, Eds. Datta, A.K. y Ananteswaran, R.C. Marcel Dekker, New York.
151. SENASA. 2012. Anuario estadístico 2012. Centro Regional Patagonia Norte. Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria. pp. 83.
152. Señorans, F. J., Ibáñez, E., Cifuentes, A. (2003). New trends in food processing. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 43 (5): 507-526.
153. Sette, P. A. (2015). Tecnologías combinadas para el desarrollo de productos de frambuesa deshidratados. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UBA.
154. Sharma, S. K., Muvaney, S. J., Rizvi, S. S. (2003). *Ingeniería de Alimentos, Operaciones unitarias y prácticas de laboratorio*. Ed. Limusa Wiley, Mexico, DF.
155. Silva Paz, R. (2015). Osmodehidrocongelación de papa (*Solanum Tuberosum*) impregnada con vitamina C y calcio envasada en atmósfera modificada. Tesis de doctorado, Universidad Nacional de Entre Ríos., UNER.
156. Soria, A. C., Villamiel, M. (2010). Effect of ultrasound on the Technological properties and bioactivity in foods: A review. *Trends Food Sci Technol*, 21(7), 323-331. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2010.04.003>
157. Sozzi, G. (2007). *Árboles frutales (Ecofisiología, cultivo y aprovechamiento)*. Ciudad de Buenos Aires: Editorial Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires.
158. Spiazzi, E., Mascheroni, R. H. (1997). Mass transfer model for osmotic dehydration of fruits and vegetables I. Development of the simulation model. *Journal of Food Engineering*, 34, 387-410.
159. Spiazzi, E., Raggio Z., Bignone K., Mascheroni R. H. (1998). Experiments in dehydrofreezing of fruits and vegetables: mass transfer and quality factors. IIR Proceedings Series "Refrigeration Science and Technology", Sofia, Bulgaria.
160. Stanley, D. W., Bourne, M. C., Stone, A. P., Wismer, W. V. (1995). Low temperature blanching effects on chemistry, firmness and structure of canned green beans and carrots. *Journal of Food Science*, 60(2): 327-333.
161. Storti, L. (2016). Informes de cadenas de valor. Frutihortícola: Manzana y pera. Disponible en: https://www.economia.gob.ar/peconomica/docs/Complejo_fruta_pepita.pdf. ISSN 25250221.
162. Tao, S., Khanizadeh, S., Zhang, H., Zhang, S. (2009). Anatomy, ultrastructure and lignin distribution of stone cells in two *Pyrus* species. *Plant Science*. 176, 413-419.
163. Tepper Monti, P. A. (1996). Transferencia de masa durante la deshidratación osmótica de palta cv Fuerte. Tesis de doctorado de la Universidad de Chile. Facultad de ciencias agrarias y forestales.

164. Themelin, A., Lebert, A., Danzart, M. (1994). Optimisation of food processes combining dewatering and impregnation soaking with air drying. Proceedings of the International Agricultural Engineering Conference, Bangkok, Thailand.
165. Torregiani D., Giangiaco, R. Bertolo, G., Abbo, E. (1986a). Ricerche sulla disidratazione osmotica della frutta I. Idoneità varietale delle ciliege. *Ind. Conserve* (61), 101-107.
166. Torregiani D., Giangiaco, R., Bertolo, G., Abbo, E. (1986b). Ricerche sulla disidratazione osmotica della frutta II. Idoneità varietale delle albicocche. *Ind. Conserve* (61), 226-232.
167. Torregiani, D., Giangiaco, R., Bertolo, G., Abbo, E. (1988). Ricerche sulla disidratazione osmotica della frutta III. Idoneità varietale delle percoche. *Ind. Conserve* (63), 223-228.
168. Torreggiani, D. (1993). Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing. *Food Research International*, 26, 59-68.
169. Torreggiani, D. (1995). Technological aspects of osmotic dehydration in foods. In *Food Preservation by moisture control: Fundamentals and applications*, G.V. Barbosa- Cánovas and J. Welte-Chanes, eds. Lancaster: Technomic Publishing Co., Inc. 281-304.
170. Torreggiani, D., Bertolo, G. (2001). Osmotic pre-treatments in fruit processing: chemical, physical and structural effects. *Journal of Food Engineering*, 49(2-3), 247-253.
171. Vicente, S. (2016). Deshidratación osmótica de tejido de manzana: influencia de la naturaleza del agente osmótico y de la actividad de agua en la estructura, las propiedades reológicas y la movilidad molecular del agua. Tesis doctoral de la Universidad de Buenos Aires, Argentina.
172. Vijayanand, P., Nagin Chand, Eipeson, W. (1995). Optimización de la deshidratación osmótica de coliflor, 229-241.
173. Villalobos-Acuña, M., Mitcham, E. (2008). Ripening of European pears: The chilling dilemma. *Postharvest biology and Technology. Review*. Vol 49, 187-200.
174. Wais, N. L., Santos, M. V., Marani, C. M., Agnelli, M. E., Mascheroni, R. H. (2004). Osmotic dehydration and combined osmotic dehydration-hot air drying of banana and apples slices. *Mass transfer and quality issues, Drying 2004*, MA Silva and SCS Rocha (Editors), Mujumdar Series, vol. C, 2201.
175. Wais, N. L., Agnelli, M. E., Mascheroni, R. H. (2005). Combined osmotic dehydration-microwave drying of fruits: application to apple cubes, 2^a Mercosur Congress on Chemical Engineering, ENPROMER, Brasil.
176. Wais, N. L. (2011). Secado combinado de frutas. deshidratación osmótica y microondas. Tesis doctoral. Facultad de Ingeniería, Universidad de la Plata, UNLP.
177. Waliszewski, K., Texon, N., Salgado, M., García, M. (1997). Mass transfer in banana chip during osmotic dehydration. *Drying Technology*, 15 (10), 2597-2607.
178. Wang, C. Y, Singh, R. P. (1978) Use of variable equilibrium moisture content in modeling rice drying. *Am Soc Agric Eng. ;Paper No. 6505*.
179. Wang, C. Y, Singh, R. P. (1978) Use of variable equilibrium moisture content in modeling rice drying. *Am Soc Agric Eng. ;Paper No. 6505*.
180. Wang, J., Xiong, Y., Yu, Y. (2004). Microwave drying characteristics of potato and the effect of different microwave powers on the dried quality of potato. *European Food Research Technology*, 219, 500-506.
181. Watkins, C. B., Bramlage, W. J., Cregoe, B. A. (1995). Superficial scald of “Granny Smith” apples is expressed as a typical chilling injury. *Journal of American Society for Horticultural Science* 120, 88-94.
182. Watts, B. M., Ylimanki, G. L., Jeffery, L. E., Elías, L. J. (1992). Métodos Sensoriales Básicos para la Evaluación de Alimentos. Canadá. International Development Centre. pp. 170.

183. Wood, R., Zeng, J. (1995). La suplementación con calcio reduce la absorción intestinal de zinc y el equilibrio en humanos. *FASEB Journal* 9, A1640 [Google Académico](#) Las altas ingestas de calcio en la dieta reducen la absorción y el equilibrio de zinc en humanos. **Artículo (PDF disponible)** en *American Journal of Clinical Nutrition* 65 (6): 1803-9.
184. Xue, K. (2004). Optimización del secado por aire caliente de pera (Variedad Blanquilla). Tesis de Doctorado, Universidad Politécnica de Valencia.
185. Yadav, A.K., Sing, S. V. (2014). Osmotic dehydration of fruits and vegetables: a review. *Journal of Food Science and Technology*. 51 (9). 1654-1673.
186. Zhang, M., Tang, J., Mujumdar, A.S. and Wang, S., (2006). Trends in microwave related drying of fruits and vegetables. *Trends in Food Science and Technology* 17: 524-534.

Consultas electrónicas

1. Atlas de histología vegetal y animal. Disponible en: <https://mmegias.webs.uvigo.es/5-celulas/ampliaciones/2-pared-celular.php>
2. United States Department of Agriculture (USDA). (2016). Bases de datos de composición de alimentos. Estados Unidos. Disponible en: <https://ndb.nal.usda.gov/>
3. Food and Nutrition Board, Institute of Medicine, National Academies (NAS). (2001) Dietary Reference Intakes for Vitamin A, Vitamin K, Arsenic, Boron, Chromium, Copper, Iodine, Iron, Manganese, Molybdenum, Nickel, Silicon, Vanadium, and Zinc. Estados Unidos. Disponible en: <http://www.nationalacademies.org/>
4. Food and Nutrition Board, Institute of Medicine, National Academies (NAS). (2011). Dietary Reference Intakes for Calcium and Vitamin D. Estados Unidos. Disponible en: <http://www.nationalacademies.org/>
5. Alimentos Argentinos. Disponible en: http://www.alimentosargentinos.gob.ar/contenido/revista/html/32/32_06_Frutas_Pera.htm.
6. Diferenciación de variedades de Peras y Manzanas cultivadas en la Nord Patagonia con fines comerciales Universidad Nacional del Comahue - Facultad de Ciencias Agrarias Área PostCosecha - Tecnología de Frutas http://www.redagraria.com/investigacion/fca_unc/tecno_frutas/Peras/Packams_Triumph.html
7. Fábricas de verduras en las ciudades de Japón para reemplazar el campo. (2019). Disponible en: <https://www.infobae.com/americas/agencias/2019/12/31/fabricas-de-verduras-en-las-ciudades-de-japon-para-reemplazar-al-campo/>

VIII. TRANSFERENCIA DE RESULTADOS

Trabajos de formación del tesista en Investigación

Publicación con referato

1. Revista del Laboratorio Tecnológico del Uruguay, INNOTEC 2018, Osmodehidrocongelación de batata fortificada con Zinc y Calcio, ISSN 688-6593, N° 15 (23-31). DOI 10.26461/15.05. Autores: Daniela Bosco, Luis Alberto Roche, Patricia Andrea Della Rocca, Rodolfo Horacio Mascheroni.

Congresos

Internacionales:

1. **INNOVA 2017, el 8° Simposio Internacional de Innovación y Desarrollo de Alimentos, LATU**, Montevideo, Uruguay, 27 al 29 de setiembre de 2017. (Presentación: Exposición oral)
“Modelado de la osmodehidrocongelación de batata fortificada con Zinc”
D. Bosco, L. Roche, P. Della Rocca, R. Mascheroni
2. **XII Congreso Iberoamericano de Ingeniería de los Alimentos, CIBIA**, 2019, 1-4 de julio de 2019. (Presentación: exposición oral)
“Tratamiento por microondas y convección con aire caliente de peras fortificadas con Ca y Zn”
P. Della Rocca, D. Bosco, L. Roche y R. Silva Paz

IX. ANEXO

Datos experimentales de humedad en el proceso de deshidratación osmótica

Tabla XII. Valores de humedad en función del tiempo para tres experiencias.

	Humedad (%)				
Experiencia 1	Experiencia 2	Experiencia 3	Promedio del triplicado	Varianza	
84,4	85,1	86	85,2	0,6	
79,2	79,5	81,5	80,1	1,6	
78,3	78,8	79,1	78,7	0,2	
74,4	74,9	76,5	75,3	1,2	
72,8	73	74,1	73,3	0,5	
69,5	68,4	70,3	69,4	0,9	
66,2	66,8	67,2	66,7	0,2	
64,0	64,2	64,6	64,3	0,1	

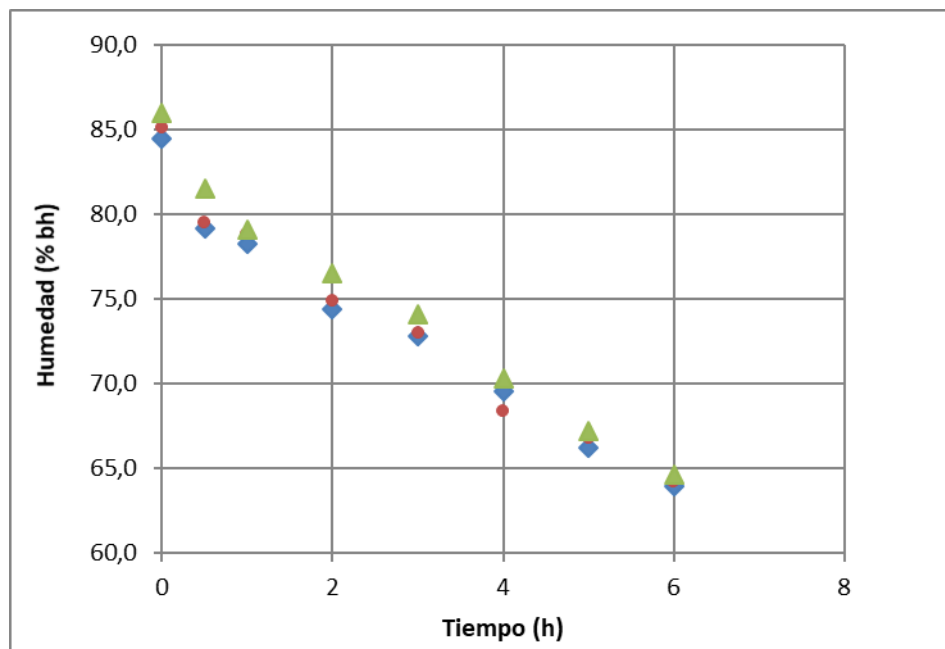


Figura 83. Datos experimentales de humedad en función del tiempo deshidratación osmótica/impregnación para las tres experiencias.

Ensayos de medida de las dimensiones de las rodajas de peras osmodeshidratadas/impregnadas:

Se midieron las dimensiones de las rodajas de 10 peras y se realizó el promedio midiendo con un calibre:

Tabla XIII. Dimensiones de las rodajas de peras.

Espesor (mm)	Largo (cm)	Ancho (cm)
3,8	6,77	3,72
3,2	6,94	3,55
3,8	5,83	3,88
3	6,44	3,38
3,8	6,61	3,44
3,8	7,27	3,88
3,3	5,94	3,51
3,8	8	3,22
3,8	6,16	3,10
3,8	6,22	3,09
PROMEDIO: 3,61	PROMEDIO: 6,62	PROMEDIO: 3,48

Datos experimentales promedios de la absorción de calcio y zinc en diferentes tiempos del proceso de deshidratación osmótica/impregnación.

Tabla XIV. Impregnación de las peras con calcio y zinc en el tiempo.

	DO	Absorción	
	Tiempo (h)	Ca (Mg/Kg)	Zn (Mg/Kg)
Pera Fresca	0	204	2,1
Pera sometida a DO/I	0,5	2114,3	305,1
	1	2250	326,44
	2	3340	498
	3	3700	568
	4	4446	723,3

Datos experimentales de humedad en función del tiempo durante el secado combinado a 500 W para dos experiencias

Tabla XV. Valores de humedad en función del tiempo para dos experiencias de secado combinado a 500 W.

Tiempo (h)	Humedad % (bh)		Promedio	Varianza
	Experiencia 1	Experiencia 2		
0	81,17	82,25	81,71	0,58
1	79,99	80,72	80,36	0,27
2	80,13	80,45	80,29	0,05
3	74,99	76,75	75,87	1,55
4	72,15	74,02	73,09	1,75
5	71,56	73,25	72,41	1,43
6	69,50	71,01	70,26	1,14
7	63,10	65,43	64,27	2,71
8	63,23	64,55	64,27	0,16
9	56,99	58,45	57,72	1,07
10	55,98	56,99	56,49	0,51
11	54,97	55,99	55,48	0,52
12	51,97	52,96	52,47	0,49

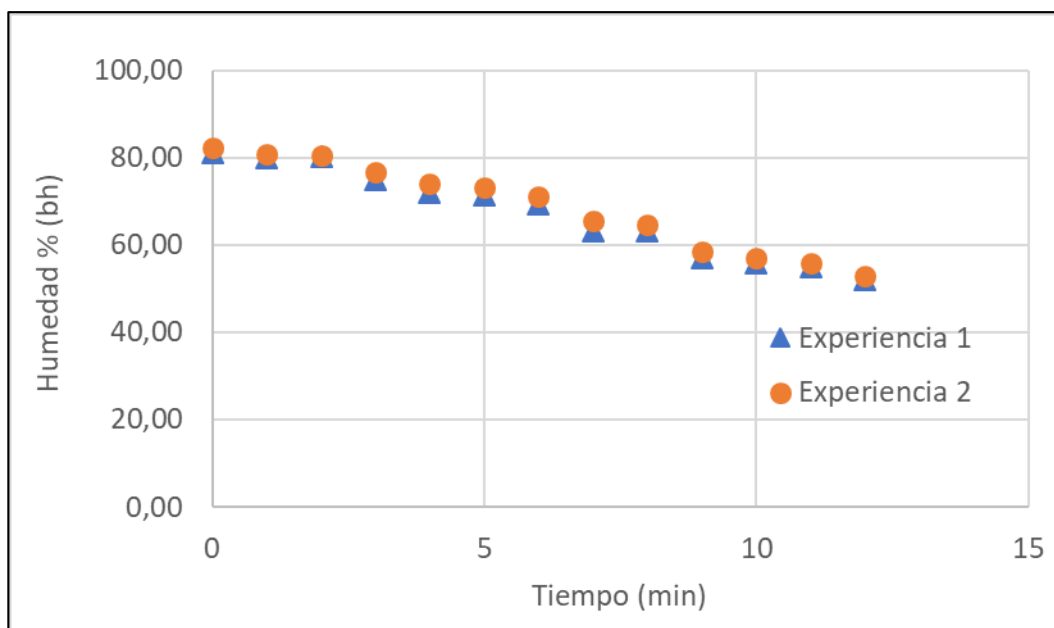


Figura 84. Datos experimentales de humedad en función del tiempo. Secado combinado (microondas 500 W y convección con aire caliente simultáneamente).

Datos experimentales de humedad en función del tiempo de secado por convección con aire caliente a 90 °C

Tabla XVI. Datos de humedad en función del tiempo para dos experiencias de secado por convección con aire caliente a 90 °C.

Tiempo (h)	Humedad (%)		Promedio	Varianza
	Experiencia 1	Experiencia 2		
0	80,42	82,25	81,34	1,67
0,5	69,02	72,09	70,56	4,71
1	50,80	54,21	52,51	5,81
2	18,80	21,15	19,98	2,76
3	14,50	17,01	15,76	3,15
4	13,85	15,78	14,82	1,86
5	12,86	14,35	13,61	1,11

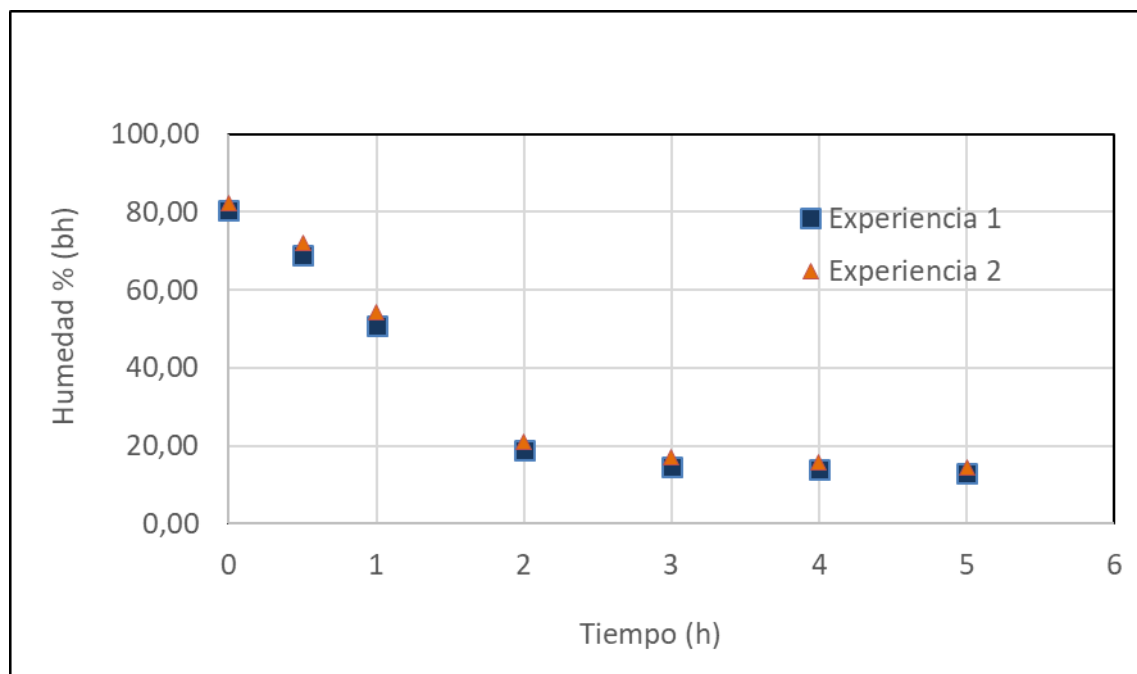


Figura 85. Datos experimentales de humedad en función del tiempo Secado por convección con aire caliente a 90° C.

Datos del análisis sensorial y tratamiento estadístico**Datos de la encuesta sensorial**

Lugar: Universidad del Salvador (USAL)

Fecha: 2/11/2018

N° de personas encuestadas= 47

Punto 1)

Muestra 176	Aroma	Color	Textura	Sabor
Me gusta	27	30	20	15
No me gusta ni me disgusta	17	17	20	23
Me disgusta	3	0	6	9
Observaciones			1 persona contesta= es rugosa	

Aceptabilidad Total:

1	2	3	4	5	Observaciones
5	3	27	9	2	1 persona no contesta

No me gusta

Me gusta mucho

Comentarios**Acerca del sabor:**

Sabor	Es un poco ácida	Es ácida	Es muy ácida	Es muy dulce	Es muy rico el sabor	Es amarga
N° personas	5	3	4	1	2	1

Acerca de la textura:

Textura	Es muy fresco para ser desecado	Mejorar la textura	Es suave	Textura pegajosa	Es blanda
N° personas	2	1	1	1	1

Acerca de la aceptabilidad total:

Aceptabilidad total	No es agradable	Es agradable	Que sea más atractivo a la vista			
N° personas	1	2	1			

Muestra 231	Aroma	Color	Textura	Sabor
Me gusta	19	35	29	20
No me gusta ni me disgusta	13	9	10	16
Me disgusta	12	1	6	9
Observaciones	3 personas no contestaron	2 personas no contestaron	2 personas no contestaron	2 personas no contestaron

Aceptabilidad Total:

1	2	3	4	5	Observaciones
5	7	12	13	8	2 personas no contestaron

No me gusta

Me gusta mucho

Comentarios**Acerca del sabor:**

Es dulce: 3 personas
 Es muy dulce: 1 persona
 Es más amarga que la 176: 1 persona
 Es rica: 3 personas
 Sabor difuso: 1 persona
 Gusto extraño, sabor agrio al final: 1 persona
 Le falta más sabor: 3 personas
 Menos ácida que la 176: 1 persona
 Acidez y dulzor justo: 1 persona
 No le gustó el sabor: 1 persona

Acerca de la textura:

Es pegajosa: 1 persona
 Le gustó la textura: 4 personas

Acerca de la aceptabilidad total:

Le gusta: 1 persona
 Es agradable: 2 personas
 No le gustó nada: 1 persona

Acerca del aroma:

Falta mejorar el aroma: 1 persona

Muestra 487	Aroma	Color	Textura	Sabor
Me gusta	21	32	19	18
No me gusta ni me disgusta	17	13	19	11
Me disgusta	9	2	9	18

Aceptabilidad Total:

1	2	3	4	5
6	12	12	13	4

No me gusta

Me gusta mucho

Comentarios:**Acerca del sabor:**

Sabor	Es ácida	Es muy ácida	Es la más ácida	Tiene sabor a compota de pera	Es amarga
Nº personas	1	8	1	1	1

Acerca de la textura:

Textura	Es agradable al paladar	Le falta firmeza	Mejorar la textura
N° personas	1	1	2

Acerca de la aceptabilidad total:

Hacer la presentación más atractiva: 1 persona

Es muy buena para nuestra salud: 1 persona

Punto 2)**Muestra 176**

- ¿Cuál es la más dulce?: 14 personas
- ¿Cuál es la más amarga?: 18 personas
- ¿Cuál es la más ácida?: 16 personas
- ¿Cuál es la menos ácida?: 10 personas
- ¿Cuál tiene mayor aroma a cítrico?: 15 personas
- ¿Cuál tiene menor aroma a cítrico?: 9 personas
- ¿Cuál tiene mayor aroma a caramelo?: 11 personas
- ¿Cuál tiene menor aroma a caramelo?: 14 personas

Muestra 231

- ¿Cuál es la más dulce? = 26 personas
- ¿Cuál es la más amarga? = 11 personas
- ¿Cuál es la más ácida? = 2 personas
- ¿Cuál es la menos ácida? = 30 personas
- ¿Cuál tiene mayor aroma a cítrico? = 7 personas
- ¿Cuál tiene menor aroma a cítrico? = 25 personas
- ¿Cuál tiene mayor aroma a caramelo? = 16 personas
- ¿Cuál tiene menor aroma a caramelo? = 14 personas

Muestra 487

- ¿Cuál es la más dulce? = 6 personas
- ¿Cuál es la más amarga? = 10 personas
- ¿Cuál es la más ácida? = 28 personas
- ¿Cuál es la menos ácida? = 5 personas
- ¿Cuál tiene mayor aroma a cítrico? = 22 personas
- ¿Cuál tiene menor aroma a cítrico? = 10 personas
- ¿Cuál tiene mayor aroma a caramelo? = 16 personas
- ¿Cuál tiene menor aroma a caramelo? = 16 personas

Observación: no contestaron las siguientes preguntas:

- ¿Cuál es la más dulce? = 1 persona
- ¿Cuál es la más amarga? = 8 personas (de las cuales 3 personas justifican que no contestan porque no hay ninguna que sea amarga)
- ¿Cuál es la más ácida? = 1 persona
- ¿Cuál es la menos ácida? = 2 personas
- ¿Cuál tiene mayor aroma a cítrico? = 3 personas
- ¿Cuál tiene menor aroma a cítrico? = 3 personas
- ¿Cuál tiene mayor aroma a caramelo? = 4 personas
- ¿Cuál tiene menor aroma a caramelo? = 3 personas

Datos estadísticos del análisis sensorial

Muestras	Aroma	Color	Textura	Sabor	Aceptabilidad
231	2.15 ^b	2,7	2.47 ^a	2.21 ^a	3.32 ^a
176	2.51 ^a	2,64	2.28 ^b	2.13 ^{ab}	3.04 ^b
487	2.26 ^b	2,64	2.21 ^b	2.00 ^b	2.94 ^b
p-value	0,03	>0.05	<0.05	0,005	<0.05
r2	70,69	55,04	90,86	89,88	91,16

Jueces	Muestras	Aroma	Color	Textura	Sabor	Aceptabilidad
1	231	3	3	3	3	1
2	231	3	3	3	3	1
3	231	3	3	3	3	1
4	231	3	3	3	3	1
5	231	3	3	3	3	1
6	231	3	3	3	3	2
7	231	3	3	3	3	2
8	231	3	3	3	3	2
9	231	3	3	3	3	2
10	231	3	3	3	3	2
11	231	3	3	3	3	2
12	231	3	3	3	3	2
13	231	3	3	3	3	3
14	231	3	3	3	3	3
15	231	3	3	3	3	3
16	231	3	3	3	3	3
17	231	3	3	3	3	3
18	231	3	3	3	3	3
19	231	3	3	3	3	3

20	231	2	3	3	3	3
21	231	2	3	3	2	3
22	231	2	3	3	2	3
23	231	2	3	3	2	3
24	231	2	3	3	2	3
25	231	2	3	3	2	4
26	231	2	3	3	2	4
27	231	2	3	3	2	4
28	231	2	3	3	2	4
29	231	2	3	3	2	4
30	231	2	3	2	2	4
31	231	2	3	2	2	4
32	231	2	3	2	2	4
33	231	1	3	2	2	4
34	231	1	3	2	2	4
35	231	1	3	2	2	4
36	231	1	2	2	2	4
37	231	1	2	2	1	4
38	231	1	2	2	1	5
39	231	1	2	2	1	5
40	231	1	2	1	1	5
41	231	1	2	1	1	5
42	231	1	2	1	1	5
43	231	1	2	1	1	5
44	231	1	2	1	1	5
45	231	3	1	1	1	5
46	231	2	1	1	1	4
47	231	1	2	2	2	5

Jueces	Muestras	Aroma	Color	Textura	Sabor	Aceptabilidad
1	176	3	3	3	3	1
2	176	3	3	3	3	1
3	176	3	3	3	3	1
4	176	3	3	3	3	1
5	176	3	3	3	3	1
6	176	3	3	3	3	2
7	176	3	3	3	3	2
8	176	3	3	3	3	2
9	176	3	3	3	3	3
10	176	3	3	3	3	3
11	176	3	3	3	3	3
12	176	3	3	3	3	3
13	176	3	3	3	3	3

14	176	3	3	3	3	3
15	176	3	3	3	3	3
16	176	3	3	3	2	3
17	176	3	3	3	2	3
18	176	3	3	3	2	3
19	176	3	3	3	2	3
20	176	3	3	3	2	3
21	176	3	3	2	2	3
22	176	3	3	2	2	3
23	176	3	3	2	2	3
24	176	3	3	2	2	3
25	176	3	3	2	2	3
26	176	3	3	2	2	3
27	176	3	3	2	2	3
28	176	2	3	2	2	3
29	176	2	3	2	2	3
30	176	2	3	2	2	3
31	176	2	2	2	2	3
32	176	2	2	2	2	3
33	176	2	2	2	2	3
34	176	2	2	2	2	3
35	176	2	2	2	2	3
36	176	2	2	2	2	4
37	176	2	2	2	2	4
38	176	2	2	2	2	4
39	176	2	2	2	1	4
40	176	2	2	2	1	4
41	176	2	2	1	1	4
42	176	2	2	1	1	4
43	176	2	2	1	1	4
44	176	2	2	1	1	4
45	176	1	2	1	1	5
46	176	1	2	1	1	5
47	176	1	2	1	1	5

Jueces	Muestras	Aroma	Color	Textura	Sabor	Aceptabilidad
1	487	3	1	3	3	1
2	487	3	1	3	3	1
3	487	3	2	3	3	1
4	487	3	2	3	3	1

5	487	3	2	3	3	1
6	487	3	2	3	3	1
7	487	3	2	3	3	2
8	487	3	2	3	3	2
9	487	3	2	3	3	2
10	487	3	2	3	3	2
11	487	3	2	3	3	2
12	487	3	2	3	3	2
13	487	3	2	3	3	2
14	487	3	2	3	3	2
15	487	3	2	3	3	2
16	487	3	3	3	3	2
17	487	3	3	3	3	2
18	487	3	3	3	3	2
19	487	3	3	3	2	3
20	487	3	3	2	2	3
21	487	3	3	2	2	3
22	487	1	3	2	2	3
23	487	1	3	2	2	3
24	487	1	3	2	2	3
25	487	1	3	2	2	3
26	487	1	3	2	2	3
27	487	1	3	2	2	3
28	487	1	3	2	2	3
29	487	1	3	2	2	3
30	487	1	3	2	1	3
31	487	2	3	2	1	4
32	487	2	3	2	1	4
33	487	2	3	2	1	4
34	487	2	3	2	1	4
35	487	2	3	2	1	4
36	487	2	3	2	1	4
37	487	2	3	2	1	4
38	487	2	3	2	1	4
39	487	2	3	1	1	4
40	487	2	3	1	1	4
41	487	2	3	1	1	4
42	487	2	3	1	1	4
43	487	2	3	1	1	4
44	487	2	3	1	1	5
45	487	2	3	1	1	5
46	487	2	3	1	1	5

47	487	2	3	1	1	5
----	-----	---	---	---	---	---

Muestras	Más dulce	Más amarga	Más ácida	Menos ácida	Mayor Aroma cítrico	Menor Aroma cítrico	Mayor aroma caramelo	Menor aroma caramelo
231	26,00	11,00	2,00	30,00	7,00	25,00	16,00	14,00
176	14,00	18,00	16,00	10,00	15,00	9,00	11,00	14,00
487	6,00	10,00	28,00	5,00	22,00	10,00	16,00	16,00

Aroma

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Jueces	46	53.220	1.1570	4.55	0.000
Muestras	2	3.248	1.6241	6.38	0.003
Error	92	23.418	0.2545		
Total	140	79.887			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.504528	70.69%	55.39%	31.14%

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = Aroma, Término = Muestras

Se agrupa información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%.

Muestras	N	Media	Agrupación
231	47	2.51064	A
176	47	2.25532	B
487	47	2.14894	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Color

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Jueces	46	11.6596	0.25347	0.84	0.745
Muestras	2	0.1277	0.06383	0.21	0.810

Error	92	27.8723	0.30296		
Total	140	39.6596			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.550418	29.72%	0.00%	0.00%

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = Color, Término = Muestras

Se agrupa información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%.

Muestras	N	Media	Agrupación
231	47	2.70213	A
176	47	2.63830	A
487	47	2.63830	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Textura

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Jueces	46	67.972	1.47764	19.40	0.000
Muestras	2	1.660	0.82979	10.89	0.000
Error	92	7.007	0.07616		
Total	140	76.638			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.275978	90.86%	86.09%	78.52%

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = Textura, Término = Muestras

Se agrupa información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%.

Muestras	N	Media	Agrupación
231	47	2.46809	A
176	47	2.27660	B
487	47	2.21277	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Sabor

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Jueces	46	78.184	1.69966	17.53	0.000
Muestras	2	1.078	0.53901	5.56	0.005
Error	92	8.922	0.09698		
Total	140	88.184			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.311413	89.88%	84.60%	76.24%

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = Sabor, Término = Muestras

Se agrupa información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%.

Muestras	N	Media	Agrupación
231	47	2.21277	A
176	47	2.12766	AB
487	47	2.00000	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Aceptabilidad

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Jueces	46	164.610	3.5785	20.17	0.000
Muestras	2	3.674	1.8369	10.35	0.000
Error	92	16.326	0.1775		
Total	140	184.610			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)

0.421259	91.16%	86.54%	79.23%
----------	--------	--------	--------

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = Aceptabilidad, Término = Muestras

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Muestras	N	Media	Agrupación
231	47	3.31915	A
176	47	3.04255	B
487	47	2.93617	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.