



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SANTIAGO DEL ESTERO

Facultad de Agronomía y Agroindustrias

“DESHIDRATADO DE CIRUELAS D’AGEN EN TÚNELES DE CONFIGURACIONES INVERSAS”

**Tesis conforme a los requisitos para obtener el título de
Doctora en Alimentos – Orientación Ingeniería**

Ing (Mg.) Delia Paola Urfalino

SANTIAGO DE ESTERO, marzo 2019

COMISIÓN DE SEGUIMIENTO DE TESIS

Dra. Ing. Alicia Ordoñez

(UNCU FCAI)

Directora de tesis

Dra. Ing. Ana Gabriela Qüesta

(UNSE)

Co-directora de tesis

Dra. Ing. Laura Campañone

(CIDCA)

Comisión de seguimiento

Dra. Ing. María Esther Balanza

(UNCU FCAI)

Comisión de seguimiento

TRIBUNAL EXAMINADOR

Dra. Ing. Laura Campañone

(UNPL)

Dra. Silvia del Carmen Rodriguez

(UNSE)

Dra. María Alejandra Bertuzzi

(UNSa)

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, especialmente a mi esposo e hijos, por su apoyo y acompañamiento a lo largo de esta etapa.

A las integrantes de la comisión de seguimiento y a mis compañeros de trabajo, por sus valiosos aportes en el desarrollo de la tesis.

DEDICATORIA

A mis padres.

RESUMEN

En el presente trabajo se evaluó en planta piloto y en industria el proceso de deshidratación de ciruelas d'Agen en túneles operando a contracorriente (CC) y corriente paralela (CP) a igual temperatura, humedad y velocidad del aire. Los productos obtenidos se caracterizaron por sus propiedades físicas, nutricionales y estabilidad de sus compuestos antioxidantes. Para poder realizar la comparación de configuraciones primero debió hallarse la temperatura óptima del aire de secado a emplear. Se evaluaron dos temperaturas de corte de quemador, con las cuales se aseguró que la temperatura máxima del aire entre la fruta fuera $80 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$ (T1) y $85 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$ (T2) respectivamente. Al utilizar T2 se redujo el tiempo de proceso sin pérdidas de calidad del producto obtenido. Posteriormente, se compararon las configuraciones CC y CP, utilizando 2,5 m/s de velocidad, $85 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$ de temperatura máxima y $12 \pm 2\%$ de humedad mínima del aire entre la fruta. La variación de temperatura y humedad del aire en el interior del túnel no ocurrió de manera lineal. En CC la temperatura aumentó y la humedad disminuyó de manera sostenida; mientras que en CP la temperatura disminuyó y la humedad aumentó oscilando en pulsos. Los tiempos de residencia, capacidad de producción y el consumo de gas no presentaron diferencias estadísticamente significativas. En ambas configuraciones el modelo empírico de Page fue el de mejor ajuste para los datos experimentales de la tasa de pérdida de humedad de la fruta en función del tiempo. El contenido de humedad crítica fue de 39% aproximadamente para ambas configuraciones. El mismo se alcanzó en un promedio de 14 horas en la configuración a CC y en 11,5 horas a CP, siendo la etapa de control evaporativo menor a CP que a CC. Por otro lado, la difusividad efectiva fue de $8,15 \times 10^{-10}$ para CC y de $5,434 \times 10^{-10}$ m^2/s para CP, siendo la etapa de control difusivo menor a CC que a CP. Los productos obtenidos a CC y a CP no presentaron diferencias significativas en

nutrientes, aspecto y color en pulpa. Por otro lado, en CP se obtuvieron mayores valores de fenoles, flavonoides, antioxidantes totales y color en piel que en CC. Dichos valores disminuyeron durante el almacenamiento manteniendo la diferencia por configuración. La información generada constituye una herramienta para que las empresas elaboradoras de ciruelas deshidratadas puedan tomar decisiones para optimizar y controlar sus procesos y productos.

Palabras claves: *prunus domestica*, secado en CC y CP, capacidad de producción, cinética de secado, calidad del producto final.

ABSTRACT

The present work evaluated d'Agen plums drying in tunnels operating in countercurrent (CC) and parallel current (PC) in a pilot plant and industry, at the same temperature, humidity and air speed. The products obtained were characterized by their physical and nutritional properties and stability of its antioxidant compounds. In order to make the comparison of configurations, the optimal temperature of air-drying must be found. Two burner cut-off temperatures were evaluated, to ensure that the maximum air temperature between the fruit was $80 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$ (T1) and $85 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$ (T2) respectively. Using T2, the process time was reduced without losing quality of the product. Subsequently, CC and PC configurations were compared, using 2,5 m/s air-speed, $85 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$ maximum temperature and $12 \pm 2\%$ minimum air humidity between the fruit. The variation of air temperature and humidity inside the tunnel did not occur in a linear way. In CC temperature increased and humidity decreased steadily, while in PC temperature decreased and humidity increased oscillating in pulses. Residence time, production capacity and gas consumption did not show statistically significant differences. In both configurations, the Page theoretical model was the best fit for the experimental data of fruit moisture loss rate as a function of time. The critical moisture content (39%) was reached in an average of 14 hours in CC configuration and 11,5 hours in PC. The stage of evaporative control was smaller in PC than CC. However, the effective diffusivity was $8,15 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ in CC and $5,434 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ in PC, being the stage of diffusive control smaller in CC than PC. The products obtained in CC and PC did not show significant differences in nutrients, appearance and pulp color. Nevertheless, in PC, higher values of phenols, flavonoids, total antioxidants and skin color were obtained. These values decreased during storage maintaining the difference by configuration. The

generated information is a tool for companies that produce prunes to deliver optimization and control of their processes and products.

Key words: *prunus domestica*, countercurrent and parallel current drying, drying capacity, drying kinetics, product quality.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. PRODUCCIÓN DE CIRUELA DESHIDRATADA.....	1
1.1.1. Situación internacional.....	1
1.1.2. Situación nacional.....	3
1.1.3. Panorama varietal.....	5
1.1.4. Promoción y consumo de ciruela deshidratada	7
1.2. LA CIRUELA D'AGEN	8
1.2.1. Características físicas.....	8
1.2.2. Estructura morfológica	8
1.2.3. Composición nutricional y propiedades funcionales	9
1.2.4. Proceso de elaboración de ciruelas deshidratadas.....	14
1.2.5. Productos comercializados	34
1.3. EL PROCESO DE DESHIDRATACIÓN.....	35
1.3.1. El agua en los alimentos.....	35
1.3.2. Modelado de cinéticas de deshidratación	38
1.3.3. Aspectos energéticos de la deshidratación por aire caliente .	44
1.3.4. Factores de proceso que afectan la calidad de ciruelas deshidratadas.....	46
1.3.5. Configuración de los hornos de deshidratado de ciruelas	50
1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	52
2. OBJETIVOS	55
2.1. OBJETIVO GENERAL.....	55
2.2. OBJETIVOS PARTICULARES	55

3. IDENTIFICACIÓN DE LAS CONDICIONES ÓPTIMAS DE DESHIDRATACIÓN DE CIRUELAS D'AGEN.....	57
3.1. COMPARACIÓN DE TEMPERATURAS DE FUNCIONAMIENTO EN PLANTA PILOTO.....	59
3.1.1. Materiales y métodos.....	59
3.1.2. Resultados y discusión	67
3.1.3. Conclusión	76
3.2. COMPARACIÓN DE TEMPERATURAS DE FUNCIONAMIENTO EN INDUSTRIA.....	77
3.2.1. Materiales y métodos.....	77
3.2.2. Resultados y discusión	82
3.2.3. Conclusión	86
4. EVALUACIÓN DE CAPACIDAD DE PROCESO POR CONFIGURACIÓN.....	88
4.1. COMPARACIÓN ENTRE CONFIGURACIÓN EN PARALELO Y EN CONTRACORRIENTE EN PLANTA PILOTO.....	90
4.1.1. Materiales y métodos.....	90
4.1.2. Resultados y discusión	103
4.1.3. Conclusión	132
4.2. COMPARACIÓN ENTRE CONFIGURACIÓN EN PARALELO Y EN CONTRACORRIENTE EN INDUSTRIA	134
4.2.1. Materiales y métodos.....	134
4.2.2. Resultados y discusión	136
4.2.3. Conclusión	143
5. CONCLUSIONES GENERALES.....	145

6. BIBLIOGRAFÍA.....	150
ANEXO 1: ANÁLISIS DE DATOS INFOSTAT	161
IDENTIFICACIÓN DE CONDICIONES ÓPTIMAS DE TRABAJO EN CONFIGURACIÓN A CONTRA CORRIENTE	161
Comparación entre dos temperaturas de funcionamiento en planta piloto.....	161
Comparación entre dos temperaturas de funcionamiento en industria	164
Efecto del tamañado en hornos industriales	165
EVALUACIÓN DE CAPACIDAD DE PROCESO POR CONFIGURACIÓN	166
Comparación entre configuración en paralelo y en contracorriente en planta piloto	166
Comparación entre configuración en paralelo y en contracorriente en industria.....	186

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1 Composición química de la ciruela deshidratada.....	11
Tabla 1.2 Calibre en función de las unidades de ciruela seca por kilogramo y libra.	34
Tabla 3.1 Esquema de carga y muestreo en horno piloto para comparar dos temperaturas máximas del aire entre la fruta a CC (T1: $80 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$; T2: $85 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$).	65
Tabla 3.2 Tiempos de residencia de carros en planta piloto a dos temperaturas máximas del aire entre la fruta a CC (T1: $80 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$; T2: $85 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$).	67
Tabla 3.3 Actividad acuosa y humedad a dos temperaturas máximas del aire entre la fruta a CC (T1: $80 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$; T2: $85 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$).	73
Tabla 3.4 Color en pulpa a dos temperaturas máximas del aire entre la fruta a CC (T1: $80 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$; T2: $85 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$).	74
Tabla 3.5 Evaluación de aspecto a dos temperaturas máximas del aire entre la fruta a CC (T1: $80 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$; T2: $85 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$).	76
Tabla 3.6 Esquema de carga y muestreo en horno industrial para comparar dos temperaturas máximas del aire entre la fruta a CC (T1: $80 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$; T2: $85 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$).	81
Tabla 4.1 Ventajas y desventajas publicadas por configuración (CC y CP)	89

Tabla 4.2 Esquema de repeticiones y muestreo en horno piloto para comparar configuraciones (CC y CP)	91
Tabla 4.3 Modelos empíricos para ajuste de curvas de deshidratación en capa delgada.	93
Tabla 4.4 Tiempos de residencia de carros en planta piloto a CC y a CP (temperatura máxima de aire entre la fruta $85 \pm 1,5$ °C, velocidad del aire 2,5 m/s)	104
Tabla 4.5 Modelos empíricos para configuración CC (temperatura máxima del aire entre la fruta $85 \pm 1,5$ °C, velocidad 2,5 m/s)	113
Tabla 4.6 Modelos empíricos para configuración CP (temperatura máxima del aire entre la fruta $85 \pm 1,5$ °C, velocidad 2,5 m/s)	115
Tabla 4.7 Evaluación de aspecto en ciruelas deshidratadas obtenidas en planta piloto en configuraciones CC y CP (temperatura máxima del aire entre la fruta $85 \pm 1,5$ °C, velocidad 2,5 m/s)	123
Tabla 4.8 Composición nutricional por 100 gramos de ciruelas d'Agen deshidratadas en planta piloto en configuraciones CC y CP (temperatura máxima del aire entre la fruta $85 \pm 1,5$ °C, velocidad 2,5 m/s)	125
Tabla 4.9 Fenoles, flavonoides y actividad antioxidante total en ciruelas deshidratadas obtenidas en planta piloto en configuraciones CC y CP (temperatura máxima del aire entre la fruta $85 \pm 1,5$ °C, velocidad 2,5 m/s)	127
Tabla 4.10 Color en piel en ciruelas deshidratadas obtenidas en planta piloto en configuraciones CC y CP (temperatura máxima del aire entre la fruta $85 \pm 1,5$ °C, velocidad 2,5 m/s)	130

Tabla 4.11 Color en pulpa en ciruelas deshidratadas obtenidas en planta piloto en configuraciones CC y CP (temperatura máxima del aire entre la fruta $85 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$, velocidad 2,5 m/s)..... 132

Tabla 4.12 Carros extraídos por boca en industria en configuraciones CC y CP (temperatura máxima del aire entre la fruta $85 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$, velocidad 2,5 m/s) 137

Tabla 4.13 Consumo de gas en industria por configuración (temperatura máxima del aire entre la fruta $85 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$, velocidad 2,5 m/s) 138

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Principales países productores de ciruela seca	2
Figura 1.2 Principales países exportadores mundiales.....	3
Figura 1.3 Producción por campaña de ciruela deshidratada, Mendoza, Argentina.	4
Figura 1.4 Mapa de la provincia de Mendoza, superficie implantada con ciruelo para industria.	5
Figura 1.5 Distribución porcentual de variedades de ciruela para industria en la provincia de Mendoza.....	6
Figura 1.6 Esquema de elaboración de ciruelas deshidratadas.....	14
Figura 1.7 Cosecha manual realizada mediante zamarreo de plantas, INTA EEA Rama Caída.	16
Figura 1.8 Cosecha mecánica con sistema de dos máquinas tiradas por tractores a ambos lados de la planta, cultivos en Chile.....	17
Figura 1.9 Recepción de camión con bines con ciruela recién cosechada, PROA S.A.....	18
Figura 1.10 Lavado por inmersión de ciruelas frescas en planta industrial de PROA S.A.....	19
Figura 1.11 Tamañadora de ciruelas frescas en planta industrial de PROA S.A.....	20

Figura 1.12 Ciruelas colocadas en una sola capa en bandejas de álamo, PROA S.A.....	21
Figura 1.13 Carga de ciruelas frescas en tendedores solares, finca Labiano.....	22
Figura 1.14 Tendederos solares con base de tela antigranizo y cobertura de nylon cristal de 100 micrones, finca Labiano.	23
Figura 1.15 Zona de apilado de bandejas e ingreso a los hornos, PROA S.A.....	25
Figura 1.16 Ingreso de carros con ciruela fresca en hornos, funcionamiento a contracorriente, PROA S.A.....	25
Figura 1.17 Zona egreso de carros, ciruela deshidratada en hornos funcionando a contracorriente, PROA S.A.	26
Figura 1.18 Exudación y almacenamiento en parva (lateral izquierdo) y en bines (lateral derecho), PROA S.A.	27
Figura 1.19 Calibradora de ciruelas deshidratadas ALBION S.A. Gentileza O. Dal Pozo.	28
Figura 1.20 Limpieza en zaranda (a) y lavado por aspersion (b) ALBION S.A. Gentileza O.....	28
Figura 1.21 Equipo de tiernizado a vapor, ALBION S.A. Gentileza O. Dal Pozo.	29
Figura 1.22 Descarozadora automática, FADEI S.A. Gentileza J. Carlos Morsucci.	30

Figura 1.23 Equipo de aplicación de sorbato de potasio. Gentileza O. Dal Pozo.	32
Figura 1.24 Clasificación y envasado de ciruelas deshidratadas tiernizadas descarozadas, PROA S. A.	33
Figura 1.25 Envasado de ciruelas deshidratadas tiernizadas descarozadas, PROA S. A.	33
Figura 1.26 Humedad versus a_w en ciruela d'Agen a $22,5 \pm 2,2$ °C. Urfalino y Worlock, 2017.	37
Figura 1.27 Configuración de los hornos de deshidratado de ciruelas	51
Figura 3.1 Horno con un túnel, Planta Piloto de Deshidratado de Frutas EEA Rama Caída.	61
Figura 3.2 Carga de bandejas con ciruela sobre carro con balanza, Planta Piloto de Deshidratado de Frutas EEA Rama Caída.	62
Figura 3.3 Detalle del quemador, Planta Piloto de Deshidratado de Frutas EEA Rama Caída.	62
Figura 3.4 Detalle del ventilador lateral en horno, Planta Piloto de Deshidratado de Frutas EEA Rama Caída.	63
Figura 3.5 Detalle de balanza Balcopan de peso continuo sobre carro, Planta Piloto de Deshidratado de Frutas EEA Rama Caída.	63
Figura 3.6 Temperaturas promedio entre la fruta en planta piloto, registradas en configuración en contracorriente con temperatura máxima entre la fruta T1: $80 \pm 1,5$ °C.	69

Figura 3.7 Temperaturas promedio entre la fruta en planta piloto, registradas en configuración en contracorriente con temperatura máxima entre la fruta T2: $85 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$	69
Figura 3.8 Humedades promedio entre la fruta en planta piloto, registradas en configuración en contracorriente con temperatura máxima entre la fruta T1: $80 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$	70
Figura 3.9 Humedades promedio entre la fruta en planta piloto, registradas en configuración en contracorriente con temperatura máxima entre la fruta T2: $85 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$	70
Figura 3.10 Hornos industriales, PROA S.A.	79
Figura 3.11 Hornos industriales, zona de menor temperatura y mayor humedad, PROA S.A.....	79
Figura 3.12 Hornos industriales, zona de mayor temperatura y menor humedad, PROA S.A.....	80
Figura 3.13 Temperatura entre la fruta durante el proceso de deshidratación en horno industrial a CC con temperatura máxima del aire entre la fruta T1: $80 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$	83
Figura 3.14 Temperatura entre la fruta durante el proceso de deshidratación en horno industrial a CC con temperatura máxima del aire entre la fruta T2: $85 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$	84
Figura 3.15 Humedad entre la fruta durante el proceso de deshidratación en horno industrial a CC con temperatura máxima del aire entre la fruta T1: $80 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$	85

Figura 3.16 Humedad entre la fruta durante el proceso de deshidratación en horno industrial a CC con temperatura máxima del aire entre la fruta $T_2: 85 \pm 1,5^\circ\text{C}$ 85

Figura 4.1 Temperatura entre la fruta durante el deshidratación con configuración en CC (temperatura máxima del aire entre la fruta $85 \pm 1,5^\circ\text{C}$, velocidad 2,5 m/s). 105

Figura 4.2 Temperatura entre la fruta durante el deshidratación con configuración en CP (temperatura máxima del aire entre la fruta $85 \pm 1,5^\circ\text{C}$, velocidad 2,5 m/s). 106

Figura 4.3 Humedad entre la fruta durante el deshidratación con configuración CC (temperatura máxima del aire entre la fruta $85 \pm 1,5^\circ\text{C}$, velocidad 2,5 m/s). 107

Figura 4.4 Humedad entre la fruta durante el deshidratación con configuración en CP (temperatura máxima del aire entre la fruta $85 \pm 1,5^\circ\text{C}$, velocidad 2,5 m/s). 108

Figura 4.5 Evolución del peso en el tiempo en configuración en CC (temperatura máxima del aire entre la fruta $85 \pm 1,5^\circ\text{C}$, velocidad 2,5 m/s). 110

Figura 4.6 Evolución del peso en el tiempo en configuración en CP (temperatura máxima del aire entre la fruta $85 \pm 1,5^\circ\text{C}$, velocidad 2,5 m/s). 111

Figura 4.7 Comportamiento del contenido de humedad de las ciruelas d'Agen durante el proceso de secado en la configuración CC (temperatura máxima del aire entre la fruta $85 \pm 1,5^\circ\text{C}$, velocidad 2,5 m/s). 112

Figura 4.8 Comportamiento del contenido de humedad de las ciruelas d'Agén durante el proceso de secado en la configuración CP (temperatura máxima del aire entre la fruta $85 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$, velocidad 2,5 m/s).	112
Figura 4.9 Comparación entre la tasa de humedad en el tiempo experimental y la predicha utilizando el modelo de Page para configuración CC (temperatura máxima del aire entre la fruta $85 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$, velocidad 2,5 m/s).	114
Figura 4.10 Comparación entre la tasa de humedad en el tiempo experimental y la predicha utilizando el modelo de Page para configuración CP (temperatura máxima del aire entre la fruta $85 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$, velocidad 2,5 m/s).	116
Figura 4.11 Comportamiento de la velocidad de deshidratado promedio versus el contenido de humedad promedio de las ciruelas d'Agén durante el proceso de secado en la configuración CC (temperatura máxima del aire entre la fruta $85 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$, velocidad 2,5 m/s).	117
Figura 4.12 Comportamiento de la velocidad de deshidratado promedio de las ciruelas d'Agén durante el proceso de secado en la configuración CC (temperatura máxima del aire entre la fruta $85 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$, velocidad 2,5 m/s).	118
Figura 4.13 Comportamiento de la velocidad de deshidratado promedio versus el contenido de humedad promedio de las ciruelas d'Agén durante el proceso de secado en la configuración CP (temperatura máxima del aire entre la fruta $85 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$, velocidad 2,5 m/s).	119
Figura 4.14 Comportamiento de la velocidad de deshidratado promedio de las ciruelas d'Agén durante el proceso de secado en la configuración CC (temperatura máxima del aire entre la fruta $85 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$, velocidad 2,5 m/s).	120

Figura 4.15 Determinación de la pendiente para cálculo de la difusividad efectiva en configuración CC (temperatura máxima del aire entre la fruta $85 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$, velocidad 2,5 m/s)..... 121

Figura 4.16 Determinación de la pendiente para cálculo de la difusividad efectiva en configuración CP (temperatura máxima del aire entre la fruta $85 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$, velocidad 2,5 m/s)..... 121

Figura 4.17 Temperatura entre la fruta durante el ensayo realizado en CC a escala industrial (temperatura máxima del aire entre la fruta $85 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$, velocidad 2,5 m/s). 139

Figura 4.18 Temperatura entre la fruta durante el ensayo realizado en CP a escala industrial (temperatura máxima del aire entre la fruta $85 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$, velocidad 2,5 m/s). 140

Figura 4.19 Humedad promedio entre la fruta durante el ensayo realizado en CC a escala industrial (temperatura máxima del aire entre la fruta $85 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$, velocidad 2,5 m/s). 141

Figura 4.20 Humedad promedio entre la fruta durante el ensayo realizado en CP a escala industrial (temperatura máxima del aire entre la fruta $85 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$, velocidad 2,5 m/s). 142

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Producción de ciruela deshidratada

1.1.1. Situación internacional

A nivel mundial, las principales regiones productoras de ciruela deshidratada son California (EEUU), O'Higgins (Chile), Lot-Et-Garonne (Francia) y Mendoza (Argentina). Debido a sus propiedades saludables, es un producto muy demandado por Rusia, Alemania, Brasil y Japón (Instituto de Desarrollo Rural, 2015).

La producción mundial promedio de ciruela deshidratada durante el período 2010-2015 fue de 323.835 toneladas (t). En los últimos años, la producción mundial se ha estabilizado debido a las políticas de regulación de la oferta en los principales países productores (Instituto de Desarrollo Rural, 2015). El principal productor mundial es Estados Unidos, seguido por Chile; en tercer lugar se ubica Francia y en cuarto lugar se encuentra la Argentina (**Figura 1.1**) (UN COMTRADE en Chile Prunes Magazine, 5^{ta} edición).

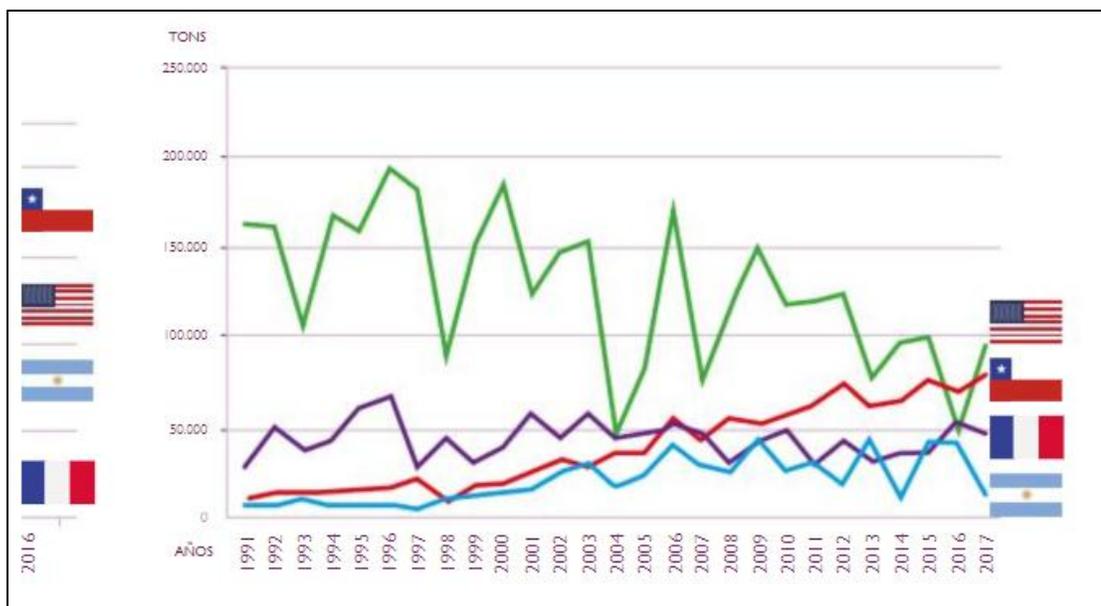


Figura 1.1 Principales países productores de ciruela seca.

Fuente: UN COMTRADE en Chile Prunes Magazine (5ta edición).

Respecto a las exportaciones mundiales, entre el 2004-2014, aumentaron un 11%, con un promedio aproximado de 200.000 t (Instituto de Desarrollo Rural, 2015). Los principales países exportadores son Chile, EEUU, Argentina y Francia (**Figura 1.2**) (UN COMTRADE en Chile Prunes Magazine, 5^{ta} edición). Particularmente, Argentina tiene desventajas en competitividad y calidad frente a sus principales competidores, lo cual no le permite mantener estabilidad en el mercado (Instituto de Desarrollo Rural, 2015).

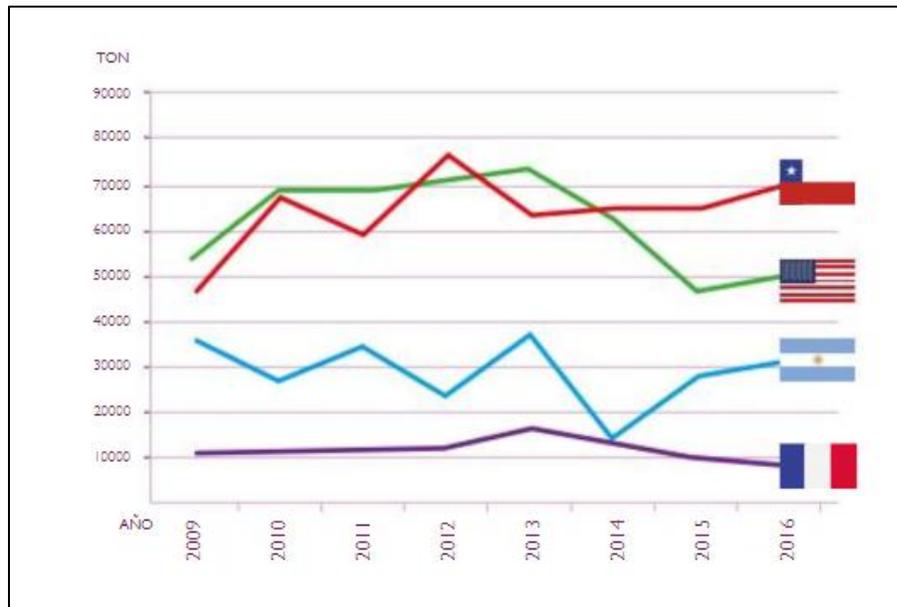


Figura 1.2 Principales países exportadores mundiales.

Fuente: UN COMTRADE en Chile Prunes Magazine (5ta edición).

1.1.2. Situación nacional

En el contexto nacional, Mendoza es la principal provincia productora de ciruela con destino a secado de la Argentina, con una superficie productiva de 15.055 hectáreas (ha), en la campaña 2017/2018 y una producción que oscila entre 10 y 67 mil toneladas (**Figura 1.3**), de las cuales el 95% se exportan (IDR, en Congreso IPA 2018).

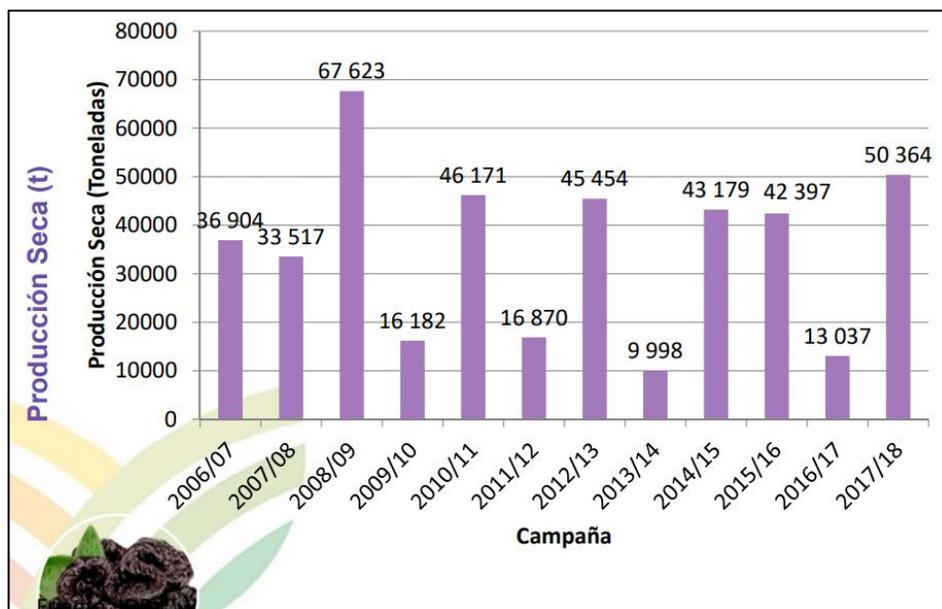


Figura 1.3 Producción por campaña de ciruela deshidratada, Mendoza, Argentina.

Fuente: IDR, en Congreso IPA 2018.

En los últimos tres censos la superficie implantada se ha expandido de 11.536 ha (1992) a 12.090 ha (2002) y a 18.275 ha (2010), concentrándose mayormente en la Región Sur de Mendoza, tal como se muestra en la **Figura 1.4** (Instituto de Desarrollo Rural, 2015).

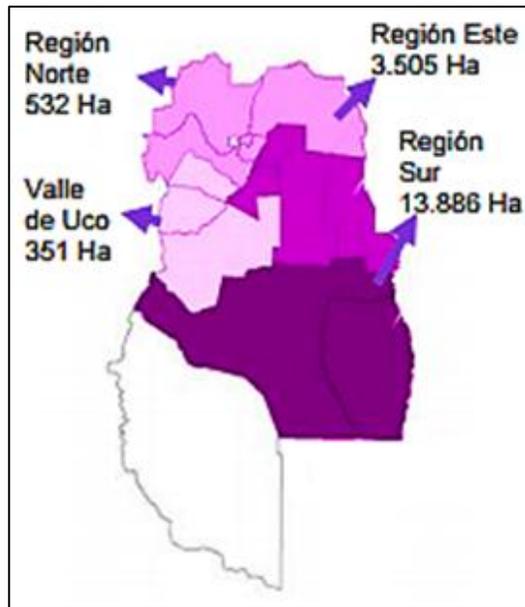


Figura 1.4 Mapa de la provincia de Mendoza, superficie implantada con ciruelo para industria.

Fuente: Instituto de Desarrollo Rural, 2015.

1.1.3. Panorama varietal

El ciruelo es un frutal de carozo ampliamente cultivado, el cual pertenece a la familia de las “Rosáceas”, subfamilia “Prunoida”, género “*Prunus*” y especie “*Prunus domestica*”. La extraordinaria variabilidad genética de las especies de ciruela es causa de la existencia de un gran número de cultivares adaptados a diversos tipos de producciones (consumo en fresco, mermeladas, confituras, ciruelas pasas y destilados) (Cobianchi *et al.*, 1988).

Las variedades de ciruelas utilizadas para deshidratar son aquellas que contienen un alto contenido de sólidos solubles, entre ellas se pueden

mencionar d'Agen, d'Ente (d'Agen 707) y Stanley (Forni *et al.*, 1992; Newman *et al.*, 1996; Somogyi, 2005).

Al respecto, la International Prune Association (IPA) informó que, en el año 2015, la producción internacional de ciruela deshidratada de los principales países productores correspondió en un 98,2% a las variedades d'Agen y d'Agen 707 (clon). Mientras que el 1,8% restante correspondió a la variedad Stanley, la cual representa el 80% de la producción de Serbia (Congreso IPA, 2016).

En Mendoza, Argentina, las variedades d'Agen y d'Agen 707 representan el 98% de la superficie implantada (Instituto de Desarrollo Rural, 2010). En la **Figura 1.5** se observa la distribución porcentual de variedades de ciruela para industria.

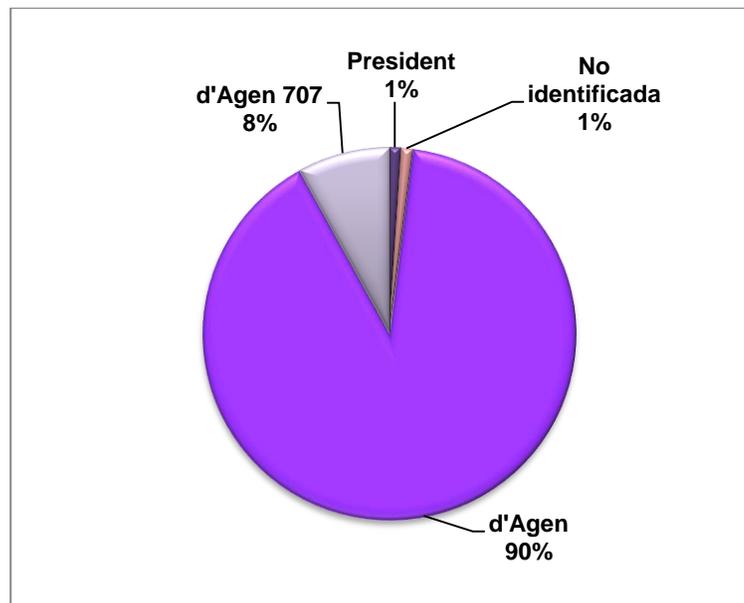


Figura 1.5 Distribución porcentual de variedades de ciruela para industria en la provincia de Mendoza.

Fuente: Censo Frutícola Provincial 2010, Instituto de Desarrollo Rural.

1.1.4. Promoción y consumo de ciruela deshidratada

El consumo mundial de ciruelas pasas es muy dispar de un país a otro, incluso en los países productores. Los principales países consumidores son Francia y Estados Unidos, con promedios de 540 y 330 g por habitante/año respectivamente. En los demás países se observa un consumo medio de 150-200 g por habitante/año (Cadenas Agroalimentarias: ciruela deshidratada. Convenio INTA-IDR, 1999; Sorroche *et al.*, 2007).

En Argentina se consumen aproximadamente 3.500 t anuales (Instituto de Desarrollo Rural, 2015). Esto se debe a que en los hábitos alimentarios argentinos prácticamente no se consume ciruela deshidratada en forma directa, sino en preparaciones como barras energéticas, yogures, galletas, compotas, entre otras (Sorroche *et al.*, 2007).

Los países productores han llevado a cabo distintas estrategias para fomentar el consumo. Francia realizó importantes inversiones para que los consumidores consideren a las ciruelas deshidratadas como una fruta, ubicándola en las góndolas de las frutas frescas y vendiendo productos con carozo. En Estados Unidos consideran a la ciruela como un snack, motivo por el cual orientaron su producción al descarozado, ubicándola como productos energéticos en las góndolas de supermercados. La industria mendocina, atenta a las demandas de los mercados internacionales, produce actualmente ambos tipos de productos; ciruela deshidratada con carozo y ciruela deshidratada descarozada.

El consumo mundial mantiene una leve tendencia creciente, dada la estrategia de presentar el producto como un “alimento natural y sano”,

fundamentalmente debido a las fuertes campañas de promoción que realizan los países miembros de la IPA. El interés que despierta en los consumidores la relación entre la dieta y la salud aumenta la demanda de información sobre el contenido nutricional de los alimentos. Es bien conocido que ciertos alimentos previenen enfermedades crónicas y ayudan a mejorar y mantener la salud. Estos alimentos se clasifican como alimentos funcionales. La ciruela podría encuadrarse dentro de esta categoría debido a que contiene flavonoides y ácidos fenólicos cuya principal función es actuar como antioxidantes naturales y como inhibidores de enfermedades degenerativas. Los compuestos antioxidantes en los alimentos juegan un rol importante y son determinantes de la calidad en productos asociados a la salud.

1.2. La ciruela d’Agen

1.2.1. Características físicas

La variedad francesa o d’Agen, es una fruta de tamaño medio, con forma ovalada y piel de color rojo oscuro a púrpura. La pulpa es de sabor dulce, color amarillo dorado y a veces posee una suave tonalidad verde. El carozo es pequeño, liso, plano y ovalado (U.C.C.A., 1981).

1.2.2. Estructura morfológica

Las ciruelas son drupas que poseen una piel delgada (epicarpio), una pulpa comestible (mesocarpio) y un carozo altamente lignificado (endocarpio). El endocarpio tiene una única semilla con paredes celulares gruesas y lignificadas (esclerénquima) (Weinert *et al.*, 1990). La porción comestible de la fruta está compuesta principalmente por células de parénquima, las cuales tienen la función de almacenar agua y reservar sustancias tales como el almidón (Mohsenin, 1970).

La piel de la ciruela está formada por capas de células alargadas (epidermis) cuya función es proteger el tejido subyacente y permitir el intercambio de metabolitos con el medio ambiente. En la superficie externa de la piel se deposita una capa de cera color gris claro que hace que la piel sea impermeable al agua.

La piel de la ciruela es muy importante en el procesamiento, ya que influye en la velocidad del movimiento del agua durante el secado. En 1967, Bain y McBean investigaron la evolución de la estructura de la capa de cera cuticular y los cambios ocurridos durante la deshidratación. Encontraron una influencia significativa de la capa cerosa en el retraso de la pérdida de agua durante dicho proceso.

1.2.3. Composición nutricional y propiedades funcionales

La ciruela fresca variedad d'Agen, para ser deshidratada con un rendimiento óptimo, debe tener entre 23 y 25% de sólidos solubles (°Brix). En la deshidratación de ciruelas los grados Brix son empleados como un criterio de calidad de la materia prima, las industrias solicitan que las mismas posean más de 20 °Brix con el fin de lograr un rendimiento cercano a 3:1 (kilogramos frescos: kilogramos secos) (Somogyi, 2005; U.C.C.A., 1981).

El azúcar predominante en la fruta fresca es la glucosa con un contenido de 4,10%, siguiendo en importancia el sorbitol con 4,04%, sacarosa con 2,89% y fructosa con 2,48% (Price *et al.*, 1997).

Durante el proceso de deshidratación se producen cambios en las concentraciones de azúcares (Price *et al.*, 1997). Estos cambios implican un incremento de los sólidos solubles presentes y la disminución del contenido de agua libre (Baianu *et al.*, 1993). En la deshidratación de ciruelas d'Agen, así

como en otras matrices alimentarias, existe una correlación inversamente proporcional entre el contenido de sólidos solubles y la actividad acuosa a pH constante (Gabriel, 2008; Urfalino, 2009). En la ciruela seca, los azúcares predominantes son monosacáridos reductores, principalmente glucosa 21%, fructosa 14%, sorbitol 10,6% y el disacárido no reductor sacarosa 0,9% (Price *et al.*, 1997; Somogyi, 2005). El reducido contenido de sacarosa también se atribuye a la presencia de invertasa, que ha sido implicada en su desaparición durante el procesamiento de ciruela (Somogyi, 2005).

El pH de la fruta es uno de los parámetros más importantes que afecta varias reacciones químicas durante el procesado de alimentos. En ciruela d'Agen los valores de pH hallados en pulpa oscilan entre 3,25 y 3,6 y no se ven afectados por el proceso de secado (Barbanti *et al.*, 1994; Wilford *et al.*, 1997; Urfalino, 2009). Estos valores de pH, no se encuentran en el rango óptimo para las reacciones de caramelización ni de Maillard. Sin embargo, los bajos valores de pH y altos contenidos de humedad, presentes en las primeras etapas de la deshidratación favorecen la hidrólisis de la sacarosa, liberando glucosa y fructosa, que luego sufrirán reacciones de Maillard. Por otro lado, la caramelización se podría presentar en las últimas etapas de deshidratación donde la concentración de agua en las ciruelas es muy baja (Wilford *et al.*, 1997).

La ciruela seca es una fuente excepcional de fibra dietaria, aproximadamente un 80% consiste en material soluble, principalmente pectina, hemicelulosa, celulosa, lignina y otros componentes (Somogyi, 2005). Contiene entre 1,2 y 2% de ácidos orgánicos, los cuales son responsables del pH del fruto. Entre ellos el principal es el ácido málico, con trazas de ácido cítrico, benzoico y clorogénico (Somogyi, 2005).

En la **Tabla 1.1** se puede observar la composición química de la ciruela deshidratada. Al igual que en cualquier otro producto natural, pueden ocurrir variaciones en dicha composición debido a diferencias entre cosechas de distintos años y métodos de procesamiento.

Tabla 1.1 Composición química de la ciruela deshidratada.

Nutriente	Unidad	Valor nutricional por cada 100 g
Agua	g	30,92
Energía	kcal	240
Proteínas	g	2,18
Lípidos totales (grasas)	g	0,38
Carbohidratos (por diferencia)	g	63,88
Fibra total dietaria	g	7,1
Azúcares totales	g	38,13
Minerales		
Calcio, Ca	mg	43
Hierro, Fe	mg	0,93
Magnesio, Mg	mg	41
Fósforo, P	mg	69
Potasio, K	mg	732
Sodio, Na	mg	2
Zinc, Zn	mg	0,44
Vitaminas		
Vitamina C, ácido ascórbico total	mg	0,6
Tiamina	mg	0,051
Rivoflavina	mg	0,186
Niacina	mg	1,882
Vitamina B6	mg	0,205
Folato, DFE	µg	4
Vitamina B12	µg	0
Vitamina A, RAE	µg	39
Vitamina A, UI	UI	781
Vitamina E (alfa-tocoferol)	mg	0,43

Tabla 1.1 Composición química de la ciruela deshidratada. Continuación.

Nutriente	Unidad	Valor nutricional por cada 100g
Vitamina D (D2 + D3)	µg	0
Vitamina D	UI	0
Vitamina K (filoquinona)	µg	59,5
Lípidos		
Total de ácidos grasos saturados	g	0,088
Total de ácidos grasos monoinsaturados	g	0,053
Total de ácidos grasos poliinsaturados	g	0,062
Colesterol	mg	0
Otros		
Cafeína	mg	0

Fuente: USDA, 2016.

Numerosos autores han estudiado los aportes benéficos de ciruelas deshidratadas sobre la salud de los consumidores (Tinkler *et al.*, 1991; Stacewicz-Sapuntzakis *et al.*, 2001; Yang y Gallaher, 2005; Hooshmand y Arjmandi, 2009; Chang *et al.*, 2016; Léotoing *et al.*, 2016; Taylor, 2017). Estos se deben principalmente al contenido de flavonoides y ácidos fenólicos que actúan como antioxidantes naturales e inhibidores de ciertas enfermedades degenerativas, y al aporte de otras sustancias beneficiosas tales como:

- Sorbitol: relacionado a la acción laxante de estos frutos, además de proveer una buena fuente de energía en forma de azúcares simples.
- Potasio: mineral benéfico para la salud cardiovascular y ósea
- Boro: importante en la prevención de osteoporosis y cáncer de próstata.
- Fibras: normalizan los niveles de azúcar en sangre, ayudan a la pérdida de peso, disminuyen el colesterol y brindan protección intestinal.

La concentración de fenoles totales, flavonoides totales y la capacidad antioxidante total dependen de la temperatura y del tiempo de secado de la ciruela d'Agen. En ensayos de secado realizados a una temperatura constante de 70°C; el contenido de fenoles totales fue de 3780,53 ± 142,46 mg equivalentes de ácido gálico/kg de muestra, el contenido de flavonoides totales fue de 2134,43 ± 188,76 mg equivalentes de catequina/kg de muestra y la capacidad antioxidante total fue de 3040,4 ± 273 mg equivalentes de ácido clorogénico/kg de muestra. Mientras que, a una temperatura constante de 80°C; el contenido de fenoles totales fue de 4214,16 ± 201,32 mg equivalentes de ácido gálico/kg de muestra, el contenido de flavonoides totales fue de 3179,68 ± 15,39 mg equivalentes de catequina/kg de muestra y la capacidad antioxidante total 4210,66 ± 81,71 mg equivalentes de ácido clorogénico/kg de muestra (Urfalino, 2009).

Se han realizado varias solicitudes para declarar a las ciruelas pasas como alimentos beneficiosos para determinados aspectos de la salud. Estas declaraciones o “reclamos” compilan la siguiente información; caracterización de ciruelas deshidratadas, propósito de los reclamos de salud, población objetivo, evidencia disponible para apoyar el reclamo, condiciones de uso, posibles mecanismos de acción, importancia de su incorporación en una dieta equilibrada, ingesta especificada, importancia comercial del reclamo y las tendencias futuras (Sadler, 2015). En 2012, la EFSA autorizó el reclamo sobre la salud que indica que las ciruelas deshidratadas ayudan a mantener la función intestinal normal en la población en general. La declaración sólo se puede utilizar para alimentos que proporcionan una ingesta diaria de 100 g de ciruelas secas. Otras declaraciones, por ejemplo; las vinculadas a la salud ósea y dental, no han sido autorizadas aún debido a que no hay evidencia suficiente para demostrar causa y efecto (Sadler, 2015; California Prune Research Brochure, 2016).

1.2.4. Proceso de elaboración de ciruelas deshidratadas

El proceso de elaboración de ciruelas deshidratadas consta de una serie de etapas (**Figura 1.6**) las cuales se describen a continuación.

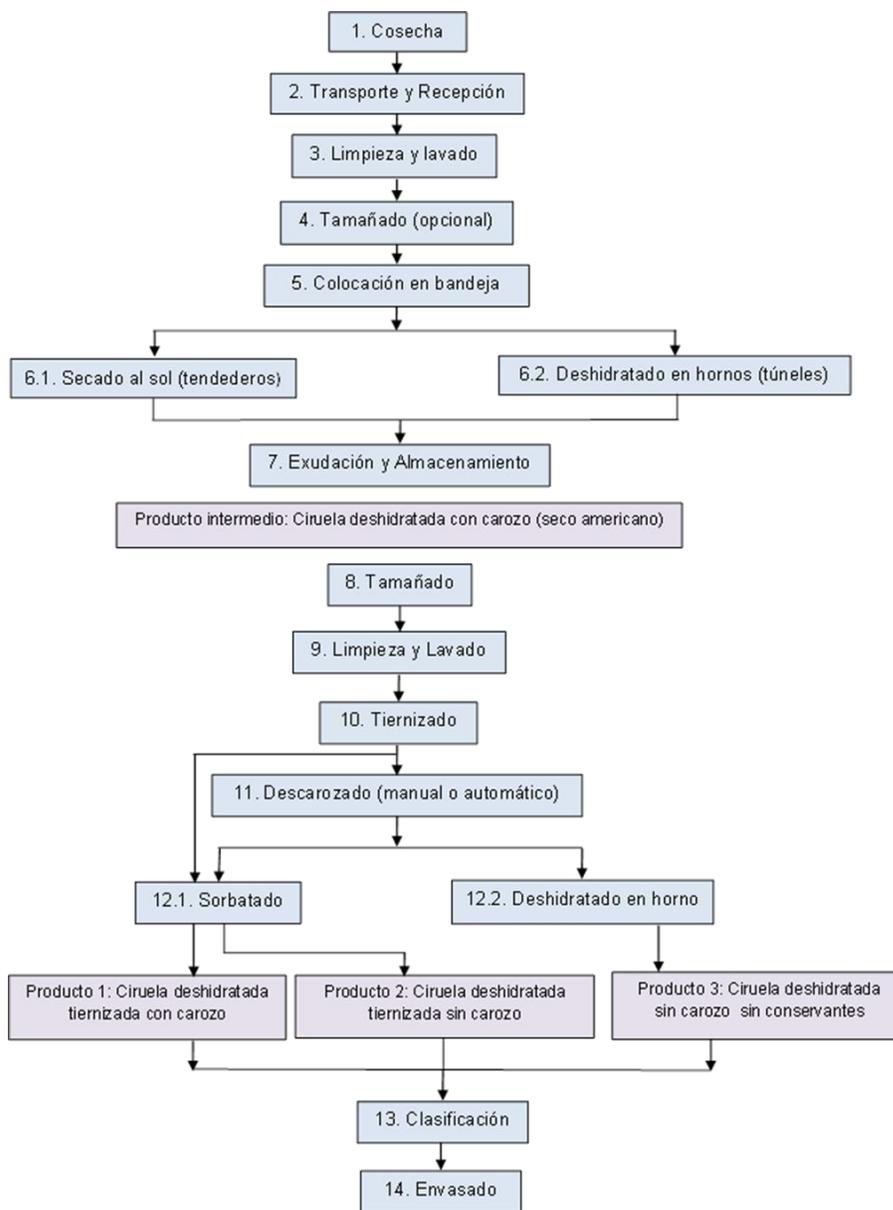


Figura 1.6 Esquema de elaboración de ciruelas deshidratadas.

1.2.4.1. Cosecha

La ciruela apta para la cosecha posee un alto contenido de sólidos solubles, pulpa ligeramente ámbar, piel oscura color azul – morado a morado intenso, brillante y sin manchas (Morales Friette, 1971). Cuando la ciruela alcanza su madurez óptima expresa su mayor calidad organoléptica y el mayor rendimiento de producto seco por hectárea (Marín y Soto Puentes, 2012).

La cosecha debe ser realizada cuidadosamente para obtener un alto porcentaje de fruta sin defecto, bajo porcentaje de desechos, mayor incidencia de calibres altos y elevado contenido de vitaminas C, B1 y B2 (Morales Friette, 1971).

Los índices recomendados para la determinación de la madurez en ciruela son: color de pulpa (amarillo-ámbar), sólidos solubles (mayor a 20 °Brix) y firmeza de pulpa (3-4 libras de presión por pulgada cuadrada) (Gajardo Muñoz, 2003; Somogyi, 2005).

Básicamente existen dos sistemas de cosecha: manual y mecánica.

En la **cosecha manual (Figura 1.7)** se obtiene fruta con una madurez más homogénea, ya que la cosecha normalmente se realiza en dos o tres veces, a medida que la fruta va madurando. Puede realizarse mediante zamarreo manual de plantas o varilla sacudidora y se recoge en tela antigranizo colocada sobre el suelo.



Figura 1.7 Cosecha manual realizada mediante zamarreo de plantas, INTA EEA Rama Caída.

Por otro lado, la **cosecha mecánica** se realiza en un barrido, obteniendo ciruelas heterogéneas en cuanto a madurez. Es por ello, que las mediciones de los índices de cosecha se deben realizar de manera rigurosa y representativa de cada finca, para minimizar la presencia de fruta inmadura. Entre los sistemas mecánicos se pueden mencionar (Barón *et al.*, 2013);

Vibrador manual: sujeta las ramas mediante un garfio vibratorio situado en el extremo de una vara.

Sistema biela manivela: es activado a través de la toma de fuerza del tractor, que acciona un brazo deslizante fijado mediante una pinza al árbol, produciendo una vibración unidireccional.

Vibrador de inercia: mediante una pinza transmite la vibración al árbol originada por el giro de las masas de inercia. Dentro de esta clase de vibradores, existen vibradores orbitales o multidireccionales.

Máquina autopropulsada: única máquina tipo puente.

Máquina autopropulsada: dos máquinas, una por cada lado (“side by side”).

Máquina tirada por tractores: dos máquinas, una por cada lado.

En algunos cultivos se utilizan combinaciones de cosecha manual y mecánica, la elección de un sistema u otro depende fundamentalmente del cultivo considerado, del destino y del tamaño del predio a ser cosechado (Marín y Soto Puentes, 2012).



Figura 1.8 Cosecha mecánica con sistema de dos máquinas tiradas por tractores a ambos lados de la planta, cultivos en Chile

1.2.4.2. Transporte y recepción

El transporte hasta el lugar de procesamiento y la recepción se deben realizar lo más rápido posible, para impedir que la fruta sufra daños o se altere (Usenik *et al.*, 2008). Normalmente la ciruela se coloca en cajones de 20 kg o “bins” de 500 kg (**Figura 1.9**).



Figura 1.9 Recepción de camión con bins con ciruela recién cosechada, PROA S.A.

1.2.4.3. Limpieza y lavado

La limpieza se realiza en forma manual o mecánica para eliminar hojas, tierra, piedras y otras impurezas de gran tamaño.

El lavado se realiza por inmersión (**Figura 1.10**) o por aspersion con agua potable para eliminar restos de tierra, cuerpos extraños, hojas, frutos descompuestos, etc.



Figura 1.10 Lavado por inmersión de ciruelas frescas en planta industrial de PROA S.A.

1.2.4.4. Tamañado

Es una etapa opcional, en la cual la fruta se separa en distintos tamaños para lograr un proceso de secado más uniforme y eficiente (Urfalino y Worlock, 2014).



Figura 1.11 Tamañadora de ciruelas frescas en planta industrial de PROA S.A.

1.2.4.5. Colocación de la fruta en bandejas

La fruta se coloca en una sola capa, sin amontonarla, para que la deshidratación sea uniforme (Urfalino, 2013) tal como se muestra en la **Figura 1.12.**



Figura 1.12 Ciruelas colocadas en una sola capa en bandejas de álamo, PROA S.A.

1.2.4.6. Deshidratado

Empresas y productores utilizan diferentes tecnologías para la deshidratación de ciruela.

Secado al sol (tendederos)

Las estructuras conocidas como “tendederos” se construyen con postes de unos 60-80 cm de altura y alambres tensados sobre los cuales se colocan mallas plásticas tensadas, bandejas (plásticas o de madera de álamo) o esteras de caña. Sobre las mismas se tiende la ciruela (**Figura 1.13**). Una vez colocada la fruta, se suele cubrir con nylon cristal colocado en forma plana (**Figura 1.14**), a dos aguas o en forma de semicírculo o túnel. Esta cobertura constituye una barrera microbiológica, contra insectos, animales y condiciones climáticas

adversas y acelera el proceso de secado. Las coberturas colocadas a dos aguas o en semicírculo o túnel, evitan condensaciones de agua al permitir su escurrimiento, no así en el caso de coberturas planas, que retienen la humedad en forma de gotas de agua. Estas últimas deben levantarse periódicamente para permitir su aireación y secado, como así también el oreado de la fruta (Urfalino, 2013).

La etapa de deshidratación dura entre 7 y 12 días, dependiendo de las condiciones climáticas, hasta alcanzar una humedad inferior a 22% en la fruta.

Cuando se aplican buenas prácticas de manufactura en este tipo de estructuras puede obtenerse ciruela deshidratada de calidad microbiológica similar a la obtenida en túneles de deshidratado (Urfalino *et al.*, 2009).



Figura 1.13 Carga de ciruelas frescas en tendedores solares, finca Labiano.



Figura 1.14 Tendederos solares con base de tela antigranizo y cobertura de nylon cristal de 100 micrones, finca Labiano.

Deshidratado en hornos

La fruta puede secarse en hornos deshidratadores (**Figuras 1.15 a 1.17**) para reducir el tiempo de secado y optimizar la calidad del producto. Tradicionalmente se utilizan hornos de dos túneles dotados de un quemador (generalmente a gas) y un ventilador. Los túneles poseen rieles en su interior para la circulación de los carros, en los cuales se apilan bandejas con ciruelas. La cantidad de carros y de bandejas por carro varía según el diseño del horno; lo usual en hornos industriales, es contar con 10 a 20 carros por túnel con 23 a 27 bandejas apiladas cada uno. Las bandejas pueden ser de álamo o de plástico virgen apto para alta temperatura, siendo la primera opción la habitualmente utilizada en la industria argentina debido a su bajo costo y disponibilidad. Sin embargo, las bandejas plásticas son más recomendables debido a que evitan la

presencia de astillas y clavos en el producto. En ambos casos, las bandejas tienen un periodo de vida útil y deben reemplazarse para evitar deformaciones que generen canalizaciones en el aire de secado, dando lugar al sobresecado de la fruta en algunas zonas y falta de secado en otras.

Los túneles de secado se clasifican por el sentido de ingreso de la fruta y el aire al túnel. En un túnel a “contracorriente”, la fruta ingresa por el extremo que está en contra del flujo de aire, y en uno a “cocorriente o corriente paralela”, en el mismo sentido que la corriente de aire (Geankoplis, 1998). En Argentina habitualmente se utiliza la configuración en contracorriente.

La deshidratación finaliza cuando la ciruela alcanza una humedad entre 18 y 23% y dura, entre 16 y 24 horas dependiendo del calibre y la madurez de la fruta (Somogyi, 2005). Definir el punto de corte de esta etapa es de gran importancia, ya que el sobresecado ocasiona un uso excesivo de energía debido a la mayor duración del secado y a la energía adicional utilizada para evaporar el agua restante. A su vez, una deshidratación excesiva implica una mayor contracción, y puede afectar la calidad del producto en aspectos tales como estructura, textura o sensación en boca, y pérdida de nutrientes, entre otros (Defraeye, 2017).

Generalmente, los pequeños productores una vez que deshidratan la ciruela, la venden a granel, a empresas exportadoras; las que realizan el proceso de calibración y tiernizado según las solicitudes de los clientes (Gajardo Muñoz, 2003).



Figura 1.15 Zona de apilado de bandejas e ingreso a los hornos, PROA S.A.



Figura 1.16 Ingreso de carros con ciruela fresca en hornos, funcionamiento a contracorriente, PROA S.A.



Figura 1.17 Zona egreso de carros, ciruela deshidratada en hornos funcionando a contracorriente, PROA S.A.

1.2.4.7. Exudación y almacenamiento

La humedad residual en la fruta deshidratada debe redistribuirse o difundirse en el entorno ambiental, logrando el “equilibrio ambiental”, originando productos más homogéneos con una actividad de agua que garantice la seguridad de los alimentos (Defraeye, 2017).

Para ello, las ciruelas deshidratadas se trasladan a un ambiente cerrado, ventilado, seco, fresco, oscuro y alejado de fuentes de contaminación. La fruta se coloca a granel en bines o se forman parvas sobre el suelo (**Figura 1.18**), las mismas deben removerse periódicamente con el objetivo de homogeneizar la

humedad. Esta etapa tiene una duración mínima entre 15 y 20 días y una máxima recomendada de 1 año.



Figura 1.18 Exudación y almacenamiento en parva (lateral izquierdo) y en bines (lateral derecho), PROA S.A.

1.2.4.8. Calibrado

En esta etapa se separan las ciruelas deshidratadas por calibre mediante zarandas vibratorias (**Figura 1.19**). El calibre más grande de ciruela posee entre 30 y 40 unidades por libra y el grado industrial o más pequeño, más de 90 unidades por libra.



Figura 1.19 Calibradora de ciruelas deshidratadas ALBION S.A. Gentileza O. Dal Pozo.

1.2.4.9. Limpieza y lavado

Para realizar la limpieza en seco de la fruta se emplea una zaranda, la cual elimina tierra, hojas, tallos y sustancias extrañas. El lavado se efectúa mediante inmersión o aspersion con agua clorada para eliminar las impurezas finas que contengan las ciruelas y a su vez, efectuar una pre-hidratación. En la **Figura 1.20** se observan los equipos utilizados en estas etapas.



(a)

(b)

Figura 1.20 Limpieza en zaranda (a) y lavado por aspersion (b) ALBION S.A. Gentileza O. Dal Pozo.

1.2.4.10. Tiernizado

Consiste en una rehidratación con vapor (durante 30 a 50 minutos) (**Figura 1.21**) o agua caliente hasta alcanzar una humedad del 30-34%. Su objetivo es ablandar la pulpa para descarozarla, adquirir una textura agradable para el consumidor y reducir la carga microbiana (Worlock, 2017).

El tiempo requerido para el tiernizado depende del tamaño de la fruta, del método y equipo utilizado en la deshidratación, de la madurez y de la variedad. El porcentaje de humedad alcanzado por la ciruela en la rehidratación, está determinado por el porcentaje de humedad inicial de la fruta deshidratada. Durante la etapa de tiernizado se produce pardeamiento en la ciruela debido posiblemente a la reacción de caramelización. Este pardeamiento es total e inmediato en el procesamiento con vapor a presión y gradual en el caso de productos rehidratados con agua caliente (Morales Frette, 1971).



Figura 1.21 Equipo de tiernizado a vapor, ALBION S.A. Gentileza O. Dal Pozo.

1.2.4.11. Descarozado

Esta etapa es optativa, ya que en ciertos casos se comercializa la fruta deshidratada tiernizada con carozo (no obstante, es un mercado reducido).

El descarozado puede realizarse en forma manual o por medio de descarozadoras automáticas (**Figura 1.22**). El descarozado automático presenta la ventaja de asegurar una baja recontaminación microbiológica.

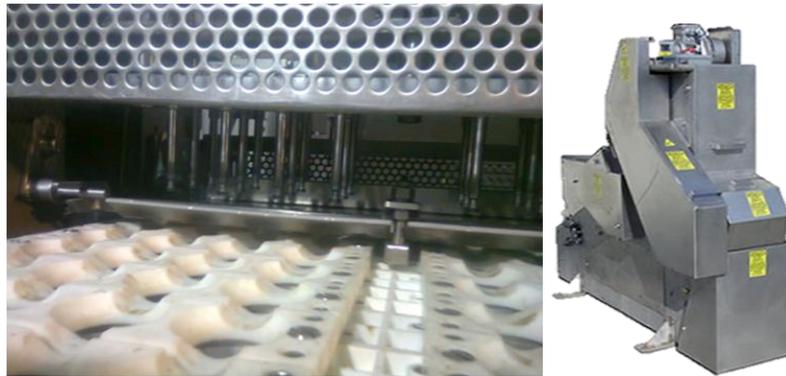


Figura 1.22 Descarozadora automática, FADEI S.A. Gentileza J. Carlos Morsucci.

1.2.4.12. Estabilización del producto tiernizado

Una vez realizado el tiernizado, la ciruela posee una humedad superior al 28%; esto implica que no posee las condiciones necesarias para evitar el desarrollo de hongos y levaduras a temperatura ambiente. Por lo tanto, se puede optar por utilizar sorbato de potasio como conservante o volver a deshidratar el producto para disminuir el contenido de humedad.

Sorbatado

En esta etapa se aplica sorbato de potasio mediante aspersión o inmersión, a temperatura ambiente, con el objetivo de evitar el desarrollo de hongos y levaduras (Morales Frette, 1971).

El método de inmersión, **Figura 1.23 (a)**, consiste en sumergir la ciruela rehidratada en una solución de sorbato de potasio durante un cierto tiempo, a una concentración y temperatura determinada. Este método de aplicación presenta varios inconvenientes tales como; los azúcares contenidos en la ciruela se solubilizan en la solución, la fruta absorbe agua y la solución se calienta, se ensucia y se diluye con el paso del tiempo. Esta situación dificulta la estandarización del contenido de sorbato de potasio de la ciruela. Por lo tanto, la dosis residual puede ser menor a la requerida en el producto, ocasionando el desarrollo de hongos y levaduras con la consiguiente pérdida de calidad.

Con el método “spray” o por aspersión **Figura 1.23 (b)**, el conservante se aplica en forma vaporizada (reducido a gotas muy pequeñas). Este sistema asegura una aplicación del sorbato de potasio en el porcentaje residual requerido ya que no afecta el contenido de humedad de la ciruela (Morales Frette, 1971; Somogyi, 2005; Worlock, 2017) y a su vez, la solución no modifica su concentración, temperatura y carga microbiana.

Generalmente, las concentraciones de las soluciones aplicadas por inmersión o aspersión están comprendidas entre 2% y 5% (Morales Frette, 1971; Bolin y Boyle, 1967).



(a)



(b)

Figura 1.23 Equipo de aplicación de sorbato de potasio. Gentileza O. Dal Pozo.

Deshidratado en horno de cinta

En esta etapa se disminuye el contenido de humedad de la ciruela desde un 28-35% a menos del 25%. Generalmente se realiza en hornos continuos de cinta ya que no se requiere alta temperatura ni tiempo prolongado de proceso.

1.2.4.13. Clasificación y envasado

En la clasificación, se elimina toda aquella ciruela que presente daño, fragmentos de carozo o defectos de calidad (**Figura 1.24**). Se puede realizar en forma manual o automática.

Posteriormente, las ciruelas son envasadas en bolsas de polietileno con una capacidad de 10 kilogramos y se colocan dentro de cajas de cartón (**Figura 1.25**). En ciertas ocasiones se fraccionan en envases de 200 y 500 gramos.



Figura 1.24 Clasificación y envasado de ciruelas deshidratadas tiernizadas descarozadas, PROA S. A.



Figura 1.25 Envasado de ciruelas deshidratadas tiernizadas descarozadas, PROA S. A.

1.2.5. Productos comercializados

La fruta tiernizada posee distintas formas de comercialización, presentándose en el mercado los siguientes productos:

Ciruela con y sin carozo con 20-22% de humedad, sin conservante.

Ciruela con y sin carozo tiernizada con 30-35% de humedad, con conservante.

Según ANMAT, en el Código Alimentario Argentino, (Artículo 906 - Resolución Conjunta SPReI N° 169/2013 y SAGyP N° 230/2013), la ciruela se clasifica en tres grados de selección: superior, elegido y común. En el rotulado de la ciruela desecada debe expresarse el número de unidades contenidas en un kilogramo, de acuerdo a la siguiente escala: 22/44, 44/66, 66/88, 88/110, 110/132, 132/154, 154/176, 176/198, 198/220, 220/242, 242/264 y 264 a más.

Existe otra clasificación efectuada por el Comité de Exportadores de Ciruela de Mendoza (CECIM) para unidades de ciruela seca por kilogramo y por libra (**Tabla 1.2**).

Tabla 1.2 Calibre en función de las unidades de ciruela seca por kilogramo y libra.

Fuente: Comité de Exportadores de ciruela de Mendoza (CECIM).

Unidades de CIRUELA SECA por Kilogramo									
		Grande		Mediana		Chica		Industrial	
Se Denomina		66 - 88	88 - 110	110 - 132	132 - 154	154 - 176	176 - 198	198 - >	un/kg
Se Mide		66 - 87	88 - 109	110 - 131	132 - 153	154 - 175	176 - 197	198 - >	un/kg

Unidades de CIRUELA SECA por Libra									
		Grande		Mediana		Chica		Industrial	
Se Denomina		30 - 40	40 - 50	50 - 60	60 - 70	70 - 80	80 - 90	90 - >	un / lb
Se Mide		30 - 39	40 - 49	50 - 59	60 - 69	70 - 79	80 - 89	90 - >	un / lb

1.3. El proceso de deshidratación

Existe una gran cantidad de literatura disponible sobre los fundamentos teóricos del secado de alimentos, los principales son: Chirife, 1983; Achanta y Okos, 1996; Chen y Mujumdar, 2008; Mujumdar, 2014 y Nema *et al.*, 2015, entre otros. La deshidratación es un proceso complejo que involucra la transferencia simultánea de calor y masa. El secado con aire caliente, es el método más común para la deshidratación de alimentos. El mismo implica la eliminación del agua de una materia prima húmeda induciendo un cambio de fase del agua de líquida a vapor mediante la aplicación de calor. En la mayoría de los casos es un proceso de gran consumo de energía, que conduce a modificaciones en los atributos de calidad del producto debido a la exposición a alta temperatura por un tiempo prolongado (Sabarez, 2016).

1.3.1. El agua en los alimentos

El agua es usualmente el componente mayoritario los alimentos e influye en sus propiedades físicas y en el procesamiento. La unión de moléculas de agua entre sí y con otros compuestos proporciona la base estructural de los alimentos (Badui Dergal, 2006). El contenido de humedad es muy importante en la tecnología de secado y generalmente se infiere a través de la pérdida de masa durante el proceso de deshidratación (Sabarez, 1998).

El contenido de humedad de un alimento es el agua en forma global y está compuesta por “agua ligada” y “agua libre”, las cuales poseen distintas propiedades. El agua ligada no se congela a -20°C , mientras que el agua libre se congela, se volatiliza, se pierde durante el calentamiento y es la principal responsable de la actividad acuosa (a_w) (Badui Dergal, 2006). El agua libre en un alimento se encuentra disponible para el desarrollo de microorganismos e

interviene en transformaciones físicas, químicas y enzimáticas. En el caso del agua ligada, la misma está unida a la superficie sólida y no puede intervenir en dichos fenómenos (Iglesias y Chirife, 2012).

Conociendo la a_w se puede predecir la estabilidad y vida útil de un alimento. La misma refleja el grado de interacción con los constituyentes, la formulación, el control de procesos de deshidratación, rehidratación y la migración de la humedad durante el almacenamiento (Andrade *et al.*, 2011; Defraeye, 2017).

En ciruela d'Agen, el proceso de deshidratación implica la eliminación de agua desde aproximadamente un 75% de humedad inicial hasta 18-20% de humedad final, que corresponde a una actividad acuosa (a_w) de 0,65–0,68. En este rango de a_w se evitan problemas de desarrollo microbiano, transformaciones físicas, químicas y enzimáticas permitiendo almacenar la fruta largos periodos de tiempo (Newman *et al.*, 1996).

En Argentina las industrias procesadoras de ciruelas secas poseen los medios para determinar humedad, a través del método analítico Dean Stark (SENASA, Resolución-88-1965-Ministerio de Agroindustria) o con el equipo de la DFA (Dried Fruit Association) de California (Haff y Young, 2012). Sin embargo; la mayoría de las empresas no cuenta con medidores de a_w , cuyo dato es de gran importancia al momento de tomar decisiones sobre el destino del alimento.

La a_w se relaciona con el contenido de humedad de manera no lineal mediante curvas o isothermas de sorción (adsorción y desorción). La isoterma de adsorción representa la cinética con la que un alimento adsorbe humedad y se hidrata, refleja el comportamiento de los productos deshidratados almacenados en atmósferas húmedas (higroscopicidad). Mientras que, la de desorción equivale al proceso de deshidratación y refleja la pérdida de agua. Con ambas

curvas se diseñan sistemas de almacenamiento, secado y rehidratación (Iglesias y Chirife, 2012). Estos procesos opuestos no son reversibles, fenómeno denominado histéresis. No existe una única isoterma para un producto determinado, los pre-tratamientos, madurez, variedad y cambios químicos influyen la forma de la isoterma. Asimismo, pueden observarse fluctuaciones debido a variabilidades inherentes a los alimentos (Iglesias y Chirife, 2012).

Varios autores (Bolin, 1980; Maroulis *et al.*, 1988; Stencl *et al.*, 1997; 1999; Tsami *et al.*, 1990) han realizado isotermas relacionando la a_w y humedad para ciruelas de diferentes variedades (*Prunus domestica*).

Para estimar la a_w de la ciruela deshidratada variedad d'Agen puede utilizarse un modelo matemático sencillo que vincula este parámetro con el contenido de humedad (**Figura 1.26**). El mismo sólo puede utilizarse en la zona lineal de la curva sigmoide comprendida en humedades entre 5 y 36% (a_w de 0,40 y 0,85) (Urfalino y Worlock, 2017). Los resultados de este modelo son similares a los presentados por Bolin en 1980 para el mismo rango lineal en ciruelas (no especifica variedad).

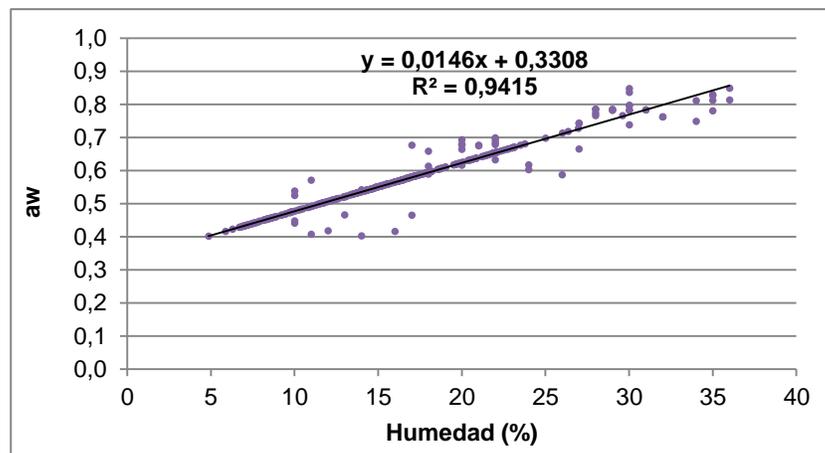


Figura 1.26 Humedad versus a_w en ciruela d'Agen a $22,5 \pm 2,2$ °C. Urfalino y Worlock, 2017.

1.3.2. Modelado de cinéticas de deshidratación

El estudio y modelado de cinéticas de deshidratación de frutas y vegetales ha sido estudiado por numerosos grupos de investigación. Constituye una herramienta fundamental para el conocimiento y manejo del proceso y, por lo tanto, contribuye a mejorar la eficiencia energética (Rahman y Perera, 2003; Defraeye y Verboven, 2017; Castro *et al.*, 2018). Una de las estrategias abordadas para el modelado es considerar el medio de secado como un medio poroso a escala macroscópica y emplear balances de transferencia de calor y de masa para crear modelos matemáticos teóricos (Kowalski, 2007).

En estos modelos suelen evidenciarse dos periodos de pérdida de agua:

Al principio del proceso se presenta un periodo de pérdida constante de agua, denominado periodo de velocidad constante, en el cual se considera que existe una fina película de agua sobre el producto a deshidratar y que no existe resistencia interna ni externa a la transferencia de masa. El período de velocidad constante corresponde a un régimen donde el factor que controla la tasa de pérdida de agua es la máxima velocidad de evaporación de la superficie del fruto. Este se presenta principalmente debido al alto contenido inicial de agua en la fruta. Por lo tanto, la deshidratación está dominada por la transferencia externa de calor.

Posteriormente, se presenta un período de velocidad decreciente en el cual la deshidratación está dominado por la resistencia a la transferencia interna de materia. A contenidos de humedad altos dominan los flujos de líquido provocados por las fuerzas capilares. En el mecanismo capilar la humedad se mueve debido a la fuerza de tensión superficial y no conforme a las leyes de

difusión. A contenidos de humedad decrecientes la cantidad de líquido en los poros también disminuye y se forma una fase gaseosa, causando un descenso en la permeabilidad de los líquidos. Gradualmente, la transferencia de materia va siendo sustituida por una difusión de vapor dentro de una estructura porosa. En el punto de saturación ya no queda líquido disponible en los poros y la transferencia de materia es totalmente sustituida por la difusión de vapor. En el mecanismo de difusión, la fuerza impulsora es el gradiente de concentración (Rahman y Perera, 2003; Ahmed, 2011).

Varios autores han observado este comportamiento durante la deshidratación de frutas y verduras (Karam *et al.*, 2016). Por ejemplo; en el caso de ciruelas d'Agen, Sabarez *et al.*, en 1997, observaron dos periodos con velocidades de deshidratación diferentes (constante y decreciente) durante el proceso llevado a cabo en un horno de laboratorio con ventilación forzada a temperaturas constantes de 70, 80, 90 y 100°C, con 3 niveles de humedad.

Hay varios factores que influyen en la cinética del transporte de humedad durante la deshidratación, los de mayor relevancia involucran características propias del producto a deshidratar (como presencia de piel) y las condiciones del proceso (temperatura, humedad relativa y velocidad del aire de secado) (Sabarez, 1998).

En particular, se ha demostrado que la piel debido a su serosidad natural tiene un significativo efecto moderador sobre la tasa de evaporación por restringir el paso del agua (Bain y McBean, 1967, 1969; Price *et al.*, 1997, 2000). Algunos autores han estudiado la estructura de la capa cerosa de la piel de la ciruela y su influencia como barrera en el proceso de deshidratación (Bain y McBean, 1967, 1969; Price *et al.*, 2000), y han concluido que; a temperaturas mayores a 65°C, la cera se funde permitiendo una mayor tasa de evaporación.

Otros autores han estudiado la influencia de distintos pre-tratamientos de abrasión superficial por medios físicos o con el uso de productos químicos (soluciones alcalinas de metil oleato, etil oleato, hidróxido de potasio, hidróxido de sodio y carbonato de potasio, entre otros), tendientes a eliminar o reducir la serosidad de la piel de la ciruela, como estrategias para incrementar la velocidad de deshidratación (Di Matteo *et al.*, 2002, 2003; Cinquanta *et al.*, 2002 ; Doymaz, 2004 ; Menges y Ertekin, 2006; Goyal *et al.*, 2007; Tarhan, 2007; Jazini y Hatamipour, 2009). En los estudios mencionados, logran disminuir el tiempo de procesado debido al incremento de la permeabilidad de la piel en las variedades Angeleno, Stanley y Empress (algunos trabajos no indican la variedad utilizada). Sin embargo, en ciruela d'Agen, estos tratamientos no son recomendables para la industria ya que, si bien aceleran el proceso de deshidratación, dañan la piel (Bain y McBean, 1967, 1969), haciéndola incapaz de soportar las etapas posteriores de procesado tales como la rehidratación parcial (tiernizado) y descarozado.

Es ampliamente reconocido que el proceso de deshidratación se acelera al incrementar la temperatura del aire de secado. Temperaturas elevadas conducen a un aumento en la velocidad de secado, debido al incremento de la velocidad de transferencia de calor, que genera una mayor tasa de vaporización. Asimismo, si la temperatura aumenta, la humedad relativa del aire a un determinado contenido de humedad, disminuye. Esto aumenta el potencial de secado como consecuencia de una mayor fuerza impulsora para la transferencia de masa del producto a la superficie (Heldman y Hartel, 1997). Por otro lado, temperaturas elevadas también significan una mayor cantidad de energía disponible para la activación de las moléculas de agua dentro de la matriz alimentaria. Este hecho, produce una migración más rápida de las moléculas de agua y un incremento en la velocidad interna de secado. Según Heldman y Hartel (1997), la temperatura elevada incrementa el secado afectando el

transporte de humedad tanto en sus mecanismos internos (periodo de velocidad decreciente) como en los externos (periodo de velocidad constante). Sin embargo, en los alimentos, se requiere precaución al aumentar las temperaturas de proceso, debido a que la utilización de temperaturas extremas puede afectar la composición química, física y la calidad del producto obtenido. Asimismo, la utilización de altas temperaturas implica un mayor consumo de energía. Es por ello, que es de gran importancia determinar la temperatura óptima límite con la cual cada producto alimentario puede ser deshidratado (Sabarez, 1998; Sabarez, 2016).

La humedad relativa del aire es otro de los factores que afecta la velocidad de deshidratación. Generalmente, su mayor efecto está dado en el periodo de velocidad constante de deshidratación. En el cual, disminuir la humedad relativa del aire, incrementa la tasa de secado. Esto se debe a la mayor diferencia en la presión de vapor entre la superficie del producto y el aire de secado, la cual representa la fuerza motriz para la transferencia de masa externa (Sabarez, 2016).

Asimismo, la velocidad del aire de secado presenta un efecto en la cinética de secado el cual es mayor en el periodo de velocidad constante. El aumento del movimiento del aire sobre el producto aumenta la tasa de evaporación como resultado del incremento de la masa convectiva y de la tasa de transferencia de calor (Sabarez, 2016).

Varios investigadores han estudiado el efecto de los parámetros de proceso en la velocidad de deshidratación de ciruelas. Para ello, han evaluado diferentes temperaturas, humedades relativas y velocidades de viento, las cuales se mantuvieron constantes durante todo el proceso. Entre ellos, podemos mencionar a Techaena *et al.* (1991) quienes evaluaron, en ciruela, el efecto de

emplear distintas temperaturas (entre 60 a 100°C), con un contenido de humedad del aire entre 0,008 y 0,089 kg de agua por kg de aire seco y una velocidad del aire entre 0,5 a 2 m/s. En ciruela d' Agen, Newman *et al.* (1996) evaluaron el efecto de emplear distintas temperaturas (entre 70 y 110°C) a una humedad relativa del aire de salida constante (entre 70-80%). Sabarez *et al.* (1997) evaluaron el efecto de emplear distintas temperaturas (entre 70 y 110°C) a tres humedades relativas del aire de salida y una velocidad del aire menor a 0,3m/s. Sabarez *et al.* (1999) evaluaron, tres temperaturas (70, 75 y 80°C) con una humedad relativa del aire de $3 \pm 0,5\%$ y una velocidad del aire de $5 \pm 0,25$ m/s. Sacilik *et al.* (2006), evaluaron en ciruela Üryani, el efecto de utilizar temperaturas entre 50 y 70°C con una velocidad relativa del aire de 0,8 m/s. Goyal *et al.* (2007), evaluaron en la deshidratación de ciruelas Suttlej purple en rodajas, tres temperaturas (55, 60 y 65°C) con una velocidad del aire de 0,004 m/s. Ioannou *et al.* (2011), evaluaron el secado de ciruelas Mirabel congeladas e investigaron los efectos de temperaturas entre 50 y 85° C, con velocidades del aire entre 0,6 y 1,2 m/s. Sabarez en 2012 evaluó, ocho tratamientos, en ciruela d' Agen, combinando dos temperaturas (70 y 80°C) con dos niveles de humedad relativa del aire (15 y 35%) y velocidades del aire entre 1,5 y 7 m/s. Y Muñoz-López *et al.* (2018), evaluaron en rodajas de ciruelas Mexicanas (*Spondias purpurea* L.), tres temperaturas (50, 65 y 80°C) con una velocidad de aire 1 m/s. En todos los casos mencionados, los autores observaron que un incremento controlado de la temperatura y una disminución en la humedad relativa del aire incrementa la velocidad de secado. Asimismo, para cada variedad ensayada, hay una combinación óptima de temperatura, humedad y velocidad del aire, que permite reducir el tiempo de proceso.

Con el objetivo de analizar el efecto de la modificación de estos parámetros durante la deshidratación de ciruelas, se han efectuado distintos modelados matemáticos y de simulación del proceso. En 2016, Hedayatizadeh y

Chaji, realizaron una revisión de la información publicada al respecto, y observaron que la mayoría de los modelos disponibles están basados en la descripción de los fenómenos de transferencia de masa y de calor en un lecho fijo de secado.

En 1990 Weitz *et al.*, emplearon un modelo matemático basado en la teoría del secado de Luikov, para evaluar la influencia de las condiciones climáticas en el tiempo de secado de ciruelas al sol. En 1991 Techaena *et al.*, utilizaron un modelo exponencial para describir la curva de secado en ciruelas en lecho profundo, y balances de calor y humedad en el aire para calcular la temperatura del aire de salida y su contenido de humedad. Para deshidratación de ciruelas d'Agen en 1996 Newman *et al.*, realizaron un modelado sencillo a través de una cinética simple de primer orden. En 1997 Sabarez *et al.*, presentaron un modelo con dos regímenes; debido a que observaron que después de un corto periodo de pre-calentamiento, la ciruela experimentó una tasa constante de pérdida de masa y luego se manifestó un periodo de velocidad decreciente. La mayor discrepancia entre el modelo establecido y los resultados experimentales los hallaron con temperaturas de trabajo de 90°C y superiores, en donde el periodo de velocidad constante fue de menor duración. En 1999, Sabarez *et al.*, desarrollaron un modelo de difusión basado en la segunda ley de Fick, y manifestaron que el mismo se ajustó mejor cuando utilizaron temperaturas de proceso elevadas, ya que aparentemente el periodo de velocidad constante fue lo suficientemente corto como para no tener un efecto tan notorio en el proceso. En 2004, Togrul y Pehlivan estudiaron el secado solar de frutas y evaluaron varios modelos matemáticos, para ciruela el modelo que mejor ajustó fue el de Henderson y Pabis. En 2006, Menges y Ertekin, evaluaron catorce modelos matemáticos para deshidratación de ciruela Stanley con y sin aplicación de pretratamientos, el modelo que mejor ajustó fue el de Midilli *et al.* 2002. En 2006, Sacilik *et al.*, evaluaron cuatro modelos matemáticos para

deshidratación de ciruelas Üryani, el modelo que mejor ajustó fue el que contenía dos términos. En 2007, Goyal *et al.*, evaluaron seis modelos matemáticos para deshidratación en rodajas de ciruela Sutlej purple, el modelo que mejor ajustó fue el logarítmico. En 2011, Ioannou *et al.*, evaluaron cinco modelos para deshidratación de ciruelas Mirabel congeladas, el modelo que mejor ajustó fue el de difusión. En 2012, Sabarez, realizó un modelado computacional para secado de ciruela d'Agen el cual se resolvió numéricamente utilizando el método de elementos finitos acoplado al procedimiento Arbitrario de Lagrange-Eulerian para evaluar el fenómeno de contracción.

Para optimizar el proceso en términos de eficiencia, calidad del producto y poder predecir el curso de los cambios bajo diferentes condiciones de secado, se necesitan modelos que se ajusten lo mejor posible a las condiciones reales de proceso. Si bien existe una vasta cantidad de literatura sobre modelado en deshidratación, no hay un modelo aceptado universalmente debido a la variabilidad en los equipos, condiciones de proceso y a la estructura de los alimentos, la cual es heterogénea y compleja e involucra diversos cambios físicos y químicos durante su procesado (Sabarez, 1998).

1.3.3. Aspectos energéticos de la deshidratación por aire caliente

La energía requerida para la deshidratación de alimentos es alta y depende de múltiples factores, tales como el contenido inicial de humedad, el contenido de humedad final deseado, la temperatura de secado, la humedad relativa y la velocidad del aire (Bureau National Interprofessionnel du Pruneau, 1994, citado en Gajardo Muñoz, 2003).

El incremento de los costes energéticos y la legislación sobre contaminación y tecnologías ambientales, han provocado una gran demanda de

procesos energéticamente eficientes. Por ese motivo, se están evidenciando actualmente nuevas consideraciones en la tecnología de los métodos de deshidratación y en el diseño de los deshidratadores (Rahman y Perera, 2003; Kumar *et al.*, 2013). La industria alimentaria podría ahorrarse mucho dinero con pequeñas mejoras de eficiencia energética. Una mejora de tan solo un 1% podría suponer hasta un 10% de incremento de los beneficios (Beedie, 1995). La eficiencia energética puede incrementarse reduciendo el tiempo de deshidratación o aumentando la capacidad de producción global, evitando las pérdidas de calor y recuperando el calor del gas utilizado (Rahman y Perera, 2003).

En túneles de deshidratado de frutas el uso de técnicas de conservación de energía tales como; minimizar fugas de aire, incrementar la recirculación, aislar adecuadamente los hornos para prevenir fugas de calor, maximizar la cantidad de fruta procesada y distribuir uniformemente el aire son medidas que han resultado significativas en el ahorro energético (Thompson *et al.*, 1980; Adams y Thompson, 1985). Para lograr una mejor distribución del aire de secado se emplean estrategias de desviación de flujos de aire como la utilización de baffles (Adams y Thompson, 1985).

Asimismo, si la humedad del aire en el interior del túnel no es adecuadamente evacuada, pueden obtenerse bajos rendimientos de deshidratación. Esto se debe a que la transferencia de calor durante la deshidratación en túneles es principalmente convectiva, la humedad contenida en la fruta atraviesa la barrera constituida por la piel y pasa a vapor de agua que es arrastrada por la corriente de aire (Bureau National Interprofessionnel du Pruneau, 1994, citado en Gajardo Muñoz, 2003).

1.3.4. Factores de proceso que afectan la calidad de ciruelas deshidratadas

La aceptación y demanda de las frutas deshidratadas depende en gran medida de su calidad en términos de textura, capacidad de rehidratación, aspecto agradable, sabor o aroma, color, y valor nutricional. Todos estos parámetros de calidad pueden verse alterados en la deshidratación por el tiempo de procesado, la temperatura y la humedad del aire de secado.

En el caso de la deshidratación de ciruelas, la contracción es uno de los fenómenos más importantes, afecta en gran medida a la textura y capacidad de rehidratación del producto seco, al reducir su humectabilidad y cambiar su textura. Puesto que las capas exteriores pierden humedad antes que las interiores, la concentración de humedad en estas capas es menor que en el interior, y las capas superficiales se contraen en un núcleo central de volumen constante. Este tipo de contracción provoca un gradiente de humedad, el cual aumenta la resistencia a la transferencia de masa en las proximidades de la superficie. En los casos extremos, la contracción y el descenso de difusividad pueden combinarse, para formar una costra prácticamente impermeable a la humedad, que llega a envolver la mayor parte del producto, encerrándolo e impidiendo la salida de la humedad del interior. Este fenómeno es conocido como endurecimiento o “endurecimiento en caja” (Mc Cabe *et al.*, 1991). La formación de costra (o endurecimiento) es indeseada en la deshidratación de ciruelas debido a que dificulta etapas posteriores de proceso como la rehidratación (tiernizado) y el descaroado. El endurecimiento puede minimizarse reduciendo la velocidad de secado a través del control de la humedad del aire de secado, con lo que se reducen los gradientes del interior del sólido, y se protege toda la pieza de la contracción (Rahman y Perera, 2003).

En cuanto al control de las temperaturas de proceso, éste reviste gran importancia ya que, como se mencionó anteriormente, a temperaturas mayores a 65°C la capa cerosa presente en la piel de la ciruela se funde facilitando el secado; pero, por otro lado, los azúcares de la pulpa pueden caramelizarse a altas temperaturas. A su vez, a medida que la fruta se va deshidratando los azúcares se van concentrando incrementando los riesgos de caramelización. Asimismo, un rápido incremento de la temperatura interna de la ciruela puede provocar una intensa producción de vapor, inflando la ciruela debido a que se interrumpe el flujo entre las capas internas de la pulpa y la piel, evitando la pérdida de humedad y caramelizándose los azúcares que posteriormente se carbonizan.

La temperatura y humedad a la que esté expuesta la fruta dentro del túnel también puede afectar la calidad final de las ciruelas pasas en términos de su valor como alimento funcional (destacadas por sus propiedades antioxidantes). Durante la deshidratación los compuestos fenólicos son susceptibles de sufrir reacciones oxidativas generando compuestos poliméricos responsables del color negro en la piel de las ciruelas desecadas. Esta característica es considerada como un parámetro de calidad (Raynal *et al.*, 1989).

Con el objeto de determinar cómo influye la temperatura de procesado en los compuestos fenólicos de las ciruelas al deshidratarlas, en 1989, Raynal *et al.*, monitorearon los contenidos de polifenoles por HPLC y la actividad de la enzima polifenoloxidasas (PFO) durante la deshidratación de ciruelas D'ente 707 a 95, 75 y 55°C. Estos autores observaron que la degradación de los ácidos neoclorogénico y clorogénico estaba directamente relacionada con la actividad de la PFO. Por lo tanto, estos se veían más degradados cuando la temperatura de deshidratación era menor ya que la PFO no se había desnaturalizado todavía. Asimismo, con respecto a la actividad de la PFO en pulpa observaron

que a las 2 horas de proceso fue de un 85% cuando se deshidrató a 55°C, de un 27% cuando se deshidrató a 75°C y de tan sólo un 14% cuando se deshidrató a 95°C. Por lo tanto, concluyeron que la desnaturalización de la PFO es mucho más rápida a temperaturas entre 75°C y 95°C. Por otro lado, explicaron que los flavonoides no se degradan por el mismo mecanismo que los ácidos fenólicos, debido a que la PFO no actúa directamente en los glucósidos. Las antocianidinas desaparecieron rápidamente en el proceso de desecado, el contenido final de rutina resultó prácticamente independiente de la temperatura de secado y la catequina mostró una cinética similar a los ácidos hidroxicinámicos.

En 2003, Piga *et al.* evaluaron polifenoles y capacidad antioxidante total en ciruela deshidratada a 85°C y a 60°C de las variedades President y Sugar. Observaron que al deshidratar a 60°C se produce una degradación de los ácidos fenólicos predominantes, pero que estos permanecen inalterados con temperaturas de proceso de 85°C. Por otra parte, observaron que el secado degrada las antocianidinas prácticamente en su totalidad y produce una disminución significativa en la rutina, la cual se degrada en mayor proporción a altas temperaturas de proceso. Respecto a la capacidad antioxidante total, observaron que esta aumentó con la deshidratación, duplicándose respecto a la de la ciruela en fresco cuando se deshidrata a 85°C. Concluyeron que este fenómeno pudo deberse a que los polifenoles en una etapa intermedia de oxidación tienen mayor poder antioxidante que inicialmente, y/o a que las altas temperaturas de estabilización produjeron la formación de nuevos compuestos con mayor capacidad antioxidante.

En 2004, Del Caro *et al.* evaluaron el contenido de ácido ascórbico, polifenoles y actividad antioxidante de ciruelas tipo President y Sugar en ciruela deshidratada a 85°C y a 60°C y la evolución de estos compuestos durante un

periodo de almacenamiento de 1 año. El contenido de ácido ascórbico fue mayor en las ciruelas deshidratadas a 60°C para las dos variedades estudiadas, pero disminuyó significativamente durante el periodo de almacenaje. El ácido neoclorogénico disminuyó en la variedad President, mientras que el ácido clorogénico aumentó en ambas variedades. Los antocianos, presentes únicamente en la variedad President se degradaron totalmente en los primeros meses de almacenamiento, y el contenido de flavonoides disminuyó significativamente durante el periodo considerado. La temperatura de deshidratación afectó significativamente a los polifenoles, con distintos efectos en cada tipo de polifenol estudiado. Con respecto a la actividad antioxidante, observaron un aumento significativo al final del periodo de almacenaje siendo mayor en la variedad President deshidratada a mayor temperatura. Este aumento en la actividad antioxidante estaba directamente correlacionado con el aumento en el contenido de hidroximetilfurfural (HMF), por lo cual atribuyeron el aumento de la capacidad antioxidante a la formación de nuevos compuestos generados por la reacción de Maillard.

Por otro lado, en 2009, se observó que en la deshidratación de ciruelas d'Agen a temperaturas constantes de 70 y 80°C, la temperatura y el tiempo de proceso tuvieron un efecto notorio sobre las propiedades relacionadas a la calidad y las características antioxidantes del producto obtenido. La actividad acuosa, los grados Brix, la concentración de fenoles y flavonoides totales y la capacidad antioxidante variaron con la temperatura y el tiempo de procesado durante el secado, mientras que el pH y el color de pulpa fueron independientes del tratamiento efectuado. A mayor temperatura de proceso se observó una menor degradación de compuestos fenólicos, este hecho se asoció a que a temperaturas de proceso más elevadas, la actividad acuosa disminuyó más rápidamente generando un cese en la velocidad de reacción de la oxidación enzimática en los fenoles, por la merma en el transporte de sustratos hacia la

enzima. Por otro lado, la degradación de los flavonoides dependió del tiempo de procesado, a mayor tiempo de procesado mayor degradación. Con respecto a la capacidad antioxidante total, esta fue constante durante todo el proceso de secado cuando se trabajó a 80°C y disminuyó un 30% cuando se deshidrató a 70°C (respecto a la capacidad antioxidante total de la fruta en fresco) (Urfalino, 2009).

1.3.5. Configuración de los hornos de deshidratado de ciruelas

Los hornos de secado pueden clasificarse de acuerdo a su configuración en “hornos de flujo contracorriente” (CC) y en “hornos de flujo paralelo o cocorriente” (CP), dependiendo del sentido de ingreso de la fruta y del aire a los túneles.

La importancia del sentido del ingreso de la fruta y el aire, radica en el hecho de que en un túnel a CC, la fruta alcanza el extremo caliente del túnel prácticamente seca, lo que la hace más sensible a las altas temperaturas del aire. En cambio, en las instalaciones de CP, la fruta, al principio del secado, tiene un alto contenido de agua cuando entra en contacto con el aire caliente y seco (Bureau National Interprofessionnel du Pruneau, 1994 citado en Gajardo Muñoz, 2003; Sabarez H, 2016).

En la configuración de secaderos a CC (**Figura 1.27**) se pueden presentar problemas de sobresecado o quemado en las bandejas superiores cuando está finalizando la deshidratación y se trabaja con temperaturas elevadas (Gentry, 1965). Por otro lado, este sistema presenta la ventaja de que cuando disminuye el ingreso de fruta a la planta elaboradora no es necesario mantener el túnel lleno de carros.

La configuración en CP (**Figura 1.27**) está caracterizada por poseer condiciones de secado muy rápidas en la zona del túnel en donde la fruta se encuentra con alto contenido de humedad. Christie (1926, citado en Miller 1964), observó daños en la piel y pérdidas de jugo de la fruta al utilizar esta configuración de secado en ciruelas Imperial. Sin embargo, Miller (1964) y Gentry (1965), expresaron que el enfriamiento originado por la evaporación de la humedad superficial de la fruta permite utilizar temperaturas elevadas sin dañar el producto. Por otro lado, en la operación de túneles en CP se requiere mantener el túnel lleno de carros, aunque éstos se encuentren sin fruta, lo que requiere a menudo bandejas adicionales y una estricta programación de la distribución de la carga. El régimen de carga en este tipo de hornos debería realizarse de manera automatizada (Gentry, 1965).

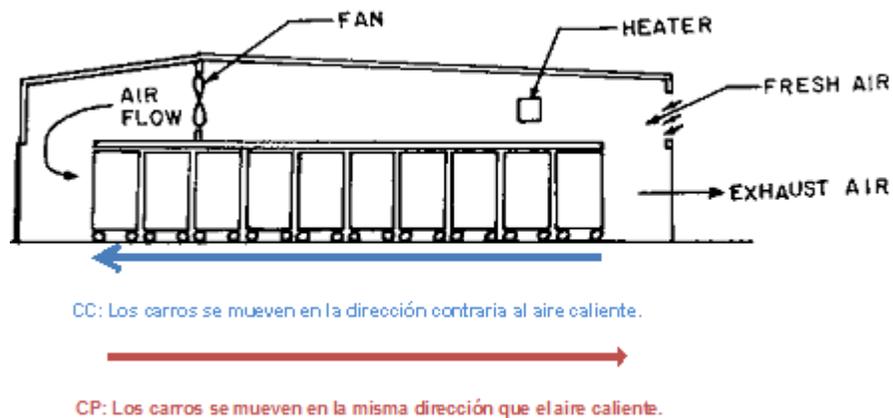


Figura 1.27 Configuración de los hornos de deshidratado de ciruelas

En 1964, Miller comparó un horno operando en CC a temperatura máxima de 74°C (bulbo seco) versus un horno operando en CP a una temperatura máxima de 90°C (bulbo seco). Concluyó que el utilizar la configuración en CP permite un incremento del 37% de su capacidad debido a que el proceso es más rápido pero incrementa el consumo de combustible en un 12%.

Con respecto a las consideraciones de humedad relativa en el interior del túnel, algunos autores han reportado que debe ser en promedio 60% y la del aire de entrada al extremo del túnel entre 18 y 22% (Mrak y Perry, 1948, citado en Gajardo Muñoz, 2003).

1.4. Formulación del problema

Actualmente continúa siendo discutida la eficiencia de la configuración en CC versus en CP. En Argentina la configuración usual de los hornos es en CC, mientras que en E.E.U.U. es en CP. Sin embargo, no se dispone de datos experimentales sobre el tiempo de secado y la calidad del producto obtenido al utilizar túneles con diferentes configuraciones funcionando en las mismas condiciones de temperatura y humedad.

Asimismo, existe desconocimiento sobre la influencia de los parámetros de proceso en la deshidratación de ciruelas. El ajuste de los parámetros en industria se realiza de acuerdo a la experiencia de los “horneros”, personal que regula la entrada y salida de carros, controla la temperatura del quemador y, en algunos casos, la velocidad del flujo de aire. Esto trae aparejado que ante variaciones en la humedad y temperatura ambiental, no se sabe qué decisión tomar respecto a la recirculación de aire y a la temperatura de proceso. Como consecuencia, la calidad del producto obtenido es variable a lo largo de la temporada de proceso, la cual suele durar 45 días aproximadamente.

Los estudios disponibles en los cuales se analizan configuraciones inversas (CC y CP) en deshidratación de ciruelas son anteriores a 1985, y no se realizaron comparaciones utilizando los mismos parámetros de proceso. En cuanto a estudios posteriores a 1985, se han realizado en hornos eléctricos de laboratorio utilizando parámetros que no se asemejan a los de los túneles de secado. En estos casos, el proceso de deshidratación se ha abordado como un sistema de temperatura y humedad constante para simplificar el modelado. No se hallaron antecedentes de modelado en condiciones reales de proceso las cuales son “dinámicas” a lo largo de los túneles. Por otro lado, tampoco se hallaron antecedentes de análisis comparativos de la calidad (aspecto, capacidad de rehidratación, color y valor nutricional) del producto obtenido en condiciones reales de procesado (temperatura y humedad variables).

En el presente trabajo de investigación se evaluaron ambos sistemas funcionando en condiciones equivalentes de proceso en planta piloto e industria, comparando su economía global y su efecto sobre la calidad del producto obtenido.

Para poder realizar la comparación con iguales parámetros de operación (temperatura, humedad y velocidad del aire), primero debió hallarse la temperatura óptima del aire de secado a emplear. En la deshidratación en CP el enfriamiento originado por la evaporación de la humedad superficial de la fruta permite utilizar temperaturas elevadas sin dañar el producto (Miller, 1964; Gentry, 1965). Siendo lo recomendable utilizar temperaturas máximas del aire que no alcancen los 90°C (Sabarez, 1996). Sin embargo, no se han hallado antecedentes que evalúen la máxima temperatura y mínima humedad a las que puede exponerse la ciruela d'Agen en un túnel a CC para acelerar el proceso manteniendo la calidad del producto. Por lo tanto para poder realizar la comparación entre configuraciones a la misma temperatura del aire entre la

fruta, fue necesario identificar la máxima temperatura admisible de trabajo para CC (Capítulo 3). Posteriormente, la combinación obtenida se utilizó como referencia para la comparación de las configuraciones a CC y a CP con idénticas condiciones de proceso (Capítulo 4).

El conocimiento generado por este trabajo brindará herramientas para comprender y predecir el comportamiento de los procesos y las características del producto a obtener. Contribuyendo a la toma de decisiones controladas en la industria, estableciendo los tiempos de residencia adecuados en cada condición, optimizando la economía del proceso y garantizando la calidad del producto final.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

- Evaluar y modelar el proceso de deshidratación de ciruelas d'Agen en túneles de configuraciones inversas (contracorriente y corriente paralela) y caracterizar el producto obtenido por sus propiedades físicas, nutricionales y en la estabilidad de sus compuestos antioxidantes.

2.2. Objetivos particulares

- Identificar las condiciones óptimas de deshidratación de ciruela d'Agen en planta piloto.
- Evaluar en cada configuración el tiempo de secado.
- Medir los perfiles de temperatura y humedad en túnel de deshidratado a CC y CP.
- Modelar cada configuración a través de la simulación del proceso con las condiciones reales detectadas.
- Evaluar en cada configuración la caracterización física y la composición nutricional del producto obtenido.
- Evaluar en cada configuración en la estabilidad de los compuestos antioxidantes del producto final.
- Validar los resultados obtenidos en planta piloto en un túnel de deshidratación industrial.

- Evaluar el gasto energético y la capacidad de producción de cada configuración.

3. IDENTIFICACIÓN DE LAS CONDICIONES ÓPTIMAS DE DESHIDRATACIÓN DE CIRUELAS D'AGEN.

El conocimiento y control de los parámetros de proceso (temperatura, humedad relativa y velocidad del aire) son un factor clave para reducir el tiempo de deshidratación.

Como se mencionó anteriormente, en la deshidratación en CP lo recomendable es utilizar temperaturas máximas del aire que no alcancen 90°C. En 1996, Sabarez observó que la utilización de una temperatura constante de 90°C, con una humedad relativa del 3% y una velocidad del aire de 1 m/s provocó daños severos de ruptura de la piel con sangrado y pérdidas de jugo. Estos daños se observaron durante las primeras horas de secado en al menos el 30% de las ciruelas, por lo cual se estableció como temperatura máxima a partir de la cual se producen cambios indeseables en el producto.

Por otro lado, en deshidratación a CC, en 1964, Miller utilizó temperaturas máximas iguales o inferiores a 74°C. Asimismo, Gentry (1965) y Bain y Mc Bean (1967) afirmaron que la máxima temperatura segura entre la fruta en la deshidratación de ciruelas en túneles a contracorriente era de 75°C. Sin embargo, no realizaron ningún ensayo con temperaturas superiores a 75°C que permitiera confirmar o rechazar dicha aseveración y, a su vez, no informaron la humedad del aire a esa temperatura. Las industrias elaboradoras de nuestro país habitualmente regulan los quemadores para que la temperatura máxima entre la fruta no alcance los 80°C y desconocen el comportamiento de la temperatura y la humedad del aire en el interior de los túneles de secado (donde

los parámetros de proceso son dinámicos), siendo arbitraria la elección de los límites máximos de operación. En ensayos realizados en deshidratación de ciruelas d'Agén a CC en la planta piloto de INTA EEA Rama Caída (no publicados), se registraron problemas de sobresecado y quemado en las bandejas superiores al superar 90°C con una humedad relativa de $5 \pm 1\%$ entre la fruta y una velocidad de aire de 2,5 m/s.

Con respecto a la velocidad del aire (a temperatura y humedad constantes), Sabarez, en 1996, determinó que tiene un efecto significativo en la velocidad inicial de deshidratación. En términos del tiempo total requerido para obtener ciruelas con un 20% de humedad, la velocidad del aire resultó significativa cuando aumentó de 1 a 2 m/s (logrando una reducción de 2 horas en el proceso) y disminuyó cuando se aumentó de 3 a 4 m/s (reducción de 15 minutos en el proceso), y estableció 2,5 m/s como velocidad óptima de proceso. Este comportamiento se debe a que la resistencia externa al transporte de humedad se vuelve insignificante en comparación con la resistencia interna a medida que aumenta la velocidad del aire. La corriente de aire solo facilita el secado al eliminar la humedad que se acumula en la superficie. Por lo tanto, el efecto de la velocidad del aire está limitado a un cierto nivel y un aumento adicional no daría lugar a una reducción considerable de tiempo en el proceso de secado de ciruelas d'Agén. Es por ello que, durante la etapa inicial de secado, cuando hay abundante agua libre en la fruta, una gran cantidad de aire conduce a una rápida deshidratación. A medida que la fruta se seca, la resistencia interna a la transferencia de masa se convierte en el mecanismo de control, siendo más eficiente elevar la temperatura que incrementar el flujo de aire para eliminar la humedad restante.

Por lo tanto, para poder realizar la comparación entre configuraciones a las mismas condiciones de operación, es necesario identificar primero la

temperatura y humedad óptima de trabajo para CC. En el presente capítulo se monitoreó la temperatura y humedad del aire en túneles de deshidratado de ciruelas configurados en CC y se identificó la combinación de máxima temperatura y mínima humedad (a velocidad constante), que permitiese disminuir los tiempos de secado manteniendo la calidad del producto. Posteriormente, la combinación obtenida se utilizó como referencia para la comparación de las configuraciones a CC y a CP con idénticas condiciones de proceso (Capítulo 4).

3.1. Comparación de temperaturas de funcionamiento en planta piloto

Se compararon dos temperaturas de corte del quemador (85°C y 90°C), con las cuales se aseguró que la **temperatura entre la fruta fuera $80 \pm 1,5^\circ\text{C}$ (T1) y $85 \pm 1,5^\circ\text{C}$ (T2)** respectivamente. En ambos casos se utilizó una velocidad de aire constante de 2,5 m/s.

3.1.1. Materiales y métodos

3.1.1.1. Materia prima

Se utilizó ciruela (*Prunus domestica*) variedad d'Agen, proveniente de los montes frutales de la colección de INTA Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Rama Caída, (georreferencia: 34°40'03.93" S 68°23'37.80" O).

La misma se cosechó con un grado de madurez óptimo, correspondiente a un contenido de sólidos solubles mayor a 22 °Brix y 3 a 4 libras de presión por pulgada cuadrada. Estas determinaciones se realizaron tomando muestras aleatorias dentro del lote a cosechar. Los °Brix se midieron con un refractómetro

digital Arcano DBR0045nD, mientras que la firmeza se determinó con un penetrómetro Turoni FT 327. Posteriormente, la fruta se cosechó manualmente y se cargó en cajones de 20 kilogramos.

Las ciruelas se clasificaron por tamaño y se seleccionaron las de calibre mediano (diámetro transversal mayor a 30,5 y menor a 35 mm). Los cajones de fruta permanecieron en la planta piloto a temperatura ambiente por un lapso de tiempo no mayor a un día antes de iniciar su procesado.

Posteriormente, las ciruelas se lavaron (para eliminar restos de tierra y hojas) en una lavadora rotatoria de tambor y se distribuyeron en una sola capa sobre las bandejas, obteniendo un peso aproximado de $12,8 \pm 1$ kg por bandeja. Las mismas se colocaron en pilas de 26 unidades sobre los carros los cuales fueron trasladados en los rieles hacia el horno piloto.

3.1.1.2. Horno piloto

Para realizar los ensayos a escala semi-industrial se utilizó un horno con un túnel perteneciente a la Planta Piloto de Deshidratado de Frutas de la Estación Experimental Agropecuaria (E. E. A.) Rama Caída (**Figura 3.1**).

El horno está construido en un contenedor aislado térmicamente con una capacidad interna de $33,1 \text{ m}^3$ y un potencial de carga máxima aproximada de 2 toneladas de ciruela fresca. El horno posee carros, que circulan por rieles, cada carro puede apilar 26 bandejas, conteniendo aproximadamente 315 ± 15 kg de ciruela fresca (**Figura 3.2**)

El horno piloto cuenta con:

- Un quemador EQA modelo 181 serie 9250 para gas natural (**Figura 3.3**).

- Un sistema automatizado de apertura y cierre de la puerta externa y lateral interna para recirculación de aire, con control automático a distancia desde PC o manual (**Figura 3.3**).
- Un ventilador con regulador de velocidad entre 1 y 5 m/s (**Figura 3.4**).
- Una balanza Balcopan de peso continuo (capacidad máxima de 600 kg), diseñada para alta temperatura, la cual emite una señal a la PC permitiendo registrar el peso en forma continua (**Figura 3.5**).



Figura 3.1 Horno con un túnel, Planta Piloto de Deshidratado de Frutas EEA Rama Caída.



Figura 3.2 Carga de bandejas con ciruela sobre carro con balanza, Planta Piloto de Deshidratado de Frutas EEA Rama Caída.



Figura 3.3 Detalle del quemador, Planta Piloto de Deshidratado de Frutas EEA Rama Caída.



Figura 3.4 Detalle del ventilador lateral en horno, Planta Piloto de Deshidratado de Frutas EEA Rama Caída.



Figura 3.5 Detalle de balanza Balcopan de peso continuo sobre carro, Planta Piloto de Deshidratado de Frutas EEA Rama Caída.

3.1.1.3. Deshidratación

Las temperaturas de corte del quemador se regularon para asegurar que las **temperaturas máximas del aire entre la fruta fueran $80 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$ (T1) y $85 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$ (T2)**, y se empleó una **velocidad constante de aire de 2,5 m/s**.

Para cada temperatura a evaluar (T1 y T2) se colocaron 4 carros en el horno piloto (conteniendo 315 ± 15 kg de ciruelas frescas por carro) y se encendió. El carro que se encontraba en la posición 1 (frente a la salida de aire caliente) fue el primero en eliminar la cantidad de agua necesaria para su conservación. Una vez que las ciruelas alcanzaron una humedad de $20 \pm 2\%$ ($a_w = 0,623 \pm 0,029$), se retiró el carro e ingresó uno nuevo. A partir del carro número 5 se considera que el horno está funcionando en régimen.

Para determinar el **tiempo de residencia** de los carros dentro del horno se registró la hora de ingreso y egreso de los mismos dentro del período de reposición constante (carros 5 al 13, 9 repeticiones).

Para determinar la **máxima temperatura y mínima humedad** a la cual está expuesta la fruta durante el procesado, a partir del carro número 5 se identificó 1 de cada 4 carros que ingresaron al horno (carros 5, 9 y 13, 3 repeticiones). En ellos se colocaron dos sensores de temperatura/humedad tipo i-button (**Tabla 3.1**) adheridos a las bandejas nº 2 y 25 (de arriba hacia abajo). Los mismos registraron estos parámetros, entre la fruta, cada 30 minutos durante todo el proceso de deshidratación.

Asimismo, de la segunda bandeja de los carros 5, 9 y 13, se tomaron muestras representativas (de 500 gramos) de los productos obtenidos en ambas temperaturas ensayadas. Las mismas se dividieron en dos subgrupos y se

colocaron en bolsas individuales de polietileno de alta densidad, a temperatura ambiente, para su posterior análisis y caracterización del producto.

Tabla 3.1 Esquema de carga y muestreo en horno piloto para comparar dos temperaturas máximas del aire entre la fruta a CC (T1: $80 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$; T2: $85 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$).

Nº carro	1	...	4	5	...	9	...	13	...	16	
T1: $80 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$				R1: Con sensores y toma de muestra		R2: Con sensores y toma de muestra		R3: Con sensores y toma de muestra			
T2: $85 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$				R1: Con sensores y toma de muestra		R2: Con sensores y toma de muestra		R3: Con sensores y toma de muestra			
Situación	CARGA INICIAL			HORNO EN RÉGIMEN DE REPOSICIÓN CONSTANTE						DESCARGA	

3.1.1.4. Análisis y caracterización del producto obtenido

Para el **análisis y caracterización del producto** se procedió de acuerdo al siguiente esquema:

Subgrupo A: 30 unidades (aproximadamente 300 g). Se utilizaron para determinar actividad acuosa y humedad.

Subgrupo B: 20 unidades (aproximadamente 200 g). Se utilizaron para determinar color en pulpa y evaluar el aspecto.

Todas las determinaciones analíticas se realizaron por triplicado, los métodos utilizados fueron:

- **Humedad:** se determinó por el método de Dean y Stark, 1920.

El mismo se realizó con 10 g de muestra, por medición del volumen de agua liberado por la misma durante la destilación con tolueno. Los resultados se expresaron en porcentaje de humedad, empleado la fórmula:

$$\text{Humedad (\%)} = V \times 10 \quad \text{(Ecuación 3.1)}$$

Siendo: V = volumen de agua medido en el colector.

- **Actividad acuosa:** se determinó con medidor de actividad acuosa Rotronic Hygropalm.

La muestra se cortó en trozos de aproximadamente 1 cm³ y se colocó en una cápsula plástica PS-40, llenándola hasta la mitad de su altura. La medición se realizó con el programa “a_w quick” a temperatura controlada de 20°C.

- **Color en pulpa:** se determinó con un colorímetro Kónica-Minolta CR 400, utilizando el espacio de color CIEL*a*b*, iluminante C. Cada lectura es resultado de un promedio automático de 3 mediciones.

El equipo se calibró con plato cerámico de color blanco. Las ciruelas se cortaron con bisturí en finas capas (aproximadamente 2 mm) evitando la interferencia de la piel y se tomaron 3 lecturas por lámina.

- **Aspecto:** se evaluó de manera **visual**, identificando que la pulpa se presentara continua y uniforme; y **táctil**, verificando que la piel no fuera quebradiza sino elástica al aplicarle presión manual.

Se realizó un análisis por atributos (P: pasa / NP: no pasa). Se consideró P: pasa, cuando más del 95% de las unidades evaluadas presentaron pulpa continua y uniforme (Visual) y piel elástica (Táctil).

3.1.1.5. Análisis estadístico

Los resultados obtenidos se analizaron mediante el software estadístico InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2016).

La evaluación de los **tiempos de residencia** y de los parámetros de **caracterización de los productos** obtenidos se realizaron mediante pruebas de normalidad de los datos, análisis de la varianza (ANAVA) y comparación de las medias por test Least Significant Difference (LSD) (Balzarini *et al.*, 2011). En todos los análisis efectuados se utilizó un nivel de confianza del 95%.

3.1.2. Resultados y discusión

3.1.2.1. Deshidratación

Los **tiempos de residencia** en el proceso de deshidratación en planta piloto a T1 y T2 se detallan en la **Tabla 3.2**.

Tabla 3.2 Tiempos de residencia de carros en planta piloto a dos temperaturas máximas del aire entre la fruta a CC (T1: 80 ± 1,5°C; T2: 85 ± 1,5°C).

Carro Nº	Tiempo de residencia T1 (horas)	Tiempo de residencia T2 (horas)
5	24	19,5
6	24,5	22
7	25,5	21,5
8	27	20
9	25,5	21
10	24	21,5
11	24,5	21,5
12	24,5	22
13	25,5	20
Promedio	25,0 ± 1,0	21,0 ± 0,94

Los datos presentaron una distribución normal ($p = 0,176$) considerando un nivel de confianza del 95% (test de Shapiro-Wilks modificado). A través de un ANAVA, se comprobó que los tiempos de residencia presentaron una diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,0001$) según la temperatura de proceso utilizada. Asimismo, en el test LSD Fisher se observaron letras distintas indicando diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos con un $\alpha=0,05$ (**Anexo 1**). En la deshidratación a T2 ($85 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$) se logró una reducción estadísticamente significativa del tiempo de deshidratación.

En las **Figuras 3.6 y 3.7** se observa el comportamiento de la **temperatura del aire** entre la fruta en un carro dentro de un horno de deshidratado a CC. La temperatura se incrementa sostenidamente a medida que el carro avanza dentro del túnel alcanzando temperaturas máximas promedio de $80 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$ para T1 (**Figura 3.6**) y de $85 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$ para T2 (**Figura 3.7**).

Por otro lado, la **humedad del aire** entre la fruta disminuye a medida que el carro avanza dentro del túnel alcanzando humedades mínimas promedio entre la fruta de $15 \pm 1\%$ para T1 (**Figura 3.8**) y $12 \pm 2\%$ para T2 (**Figura 3.9**).

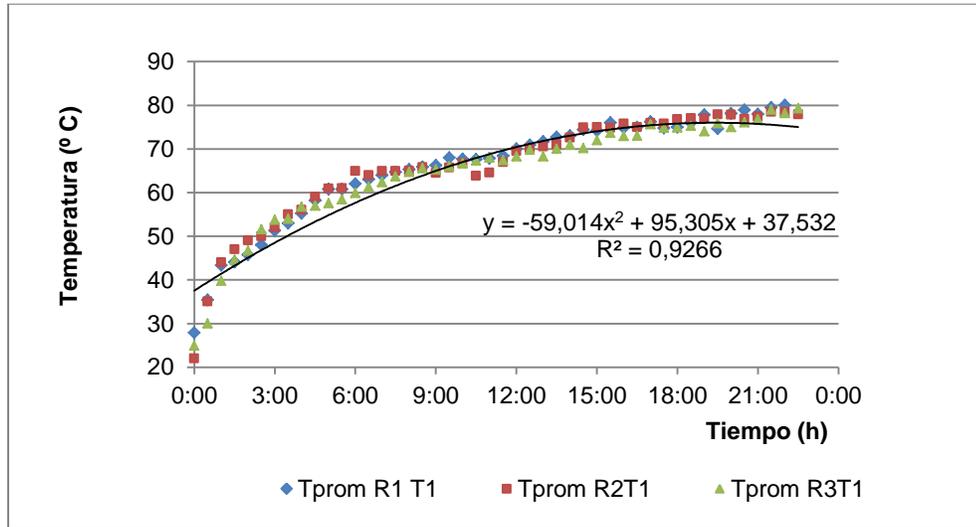


Figura 3.6 Temperaturas promedio entre la fruta en planta piloto, registradas en configuración en contracorriente con temperatura máxima entre la fruta T1: $80 \pm 1,5^\circ\text{C}$.

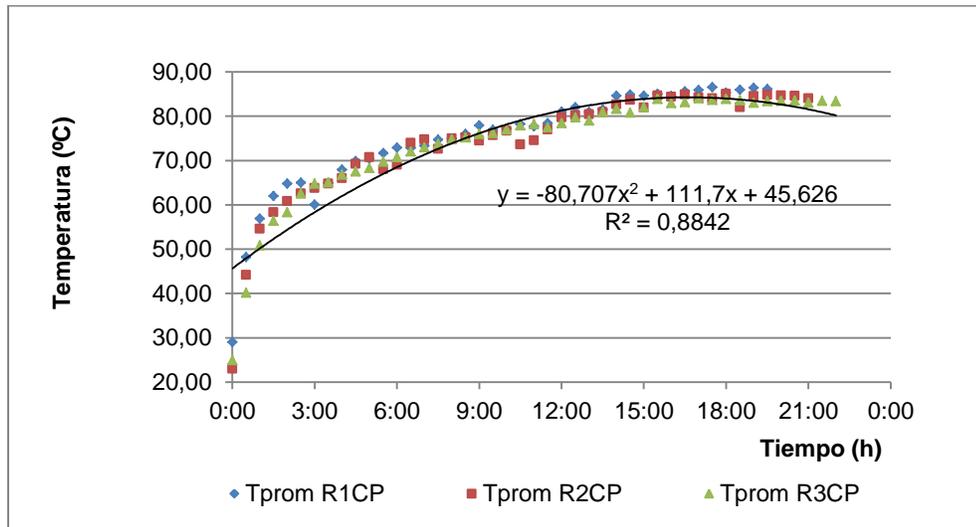


Figura 3.7 Temperaturas promedio entre la fruta en planta piloto, registradas en configuración en contracorriente con temperatura máxima entre la fruta T2: $85 \pm 1,5^\circ\text{C}$.

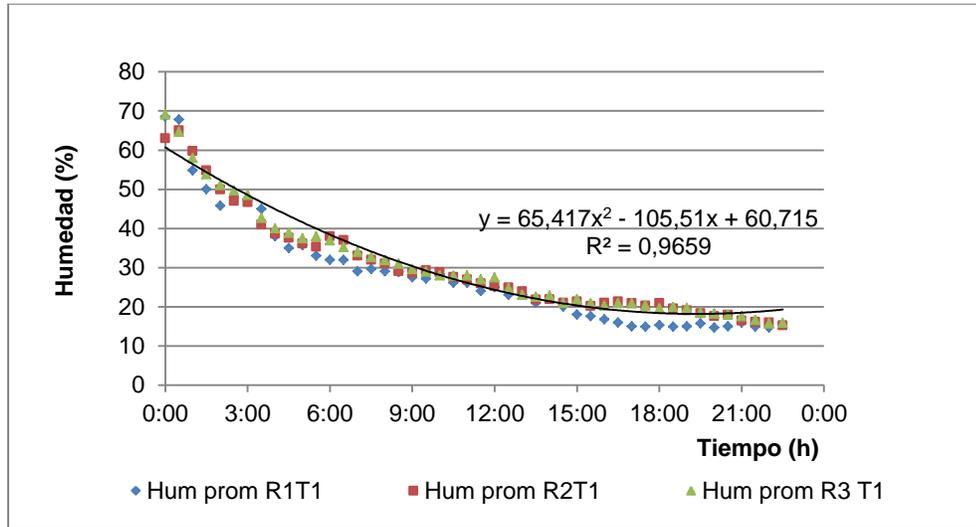


Figura 3.8 Humedades promedio entre la fruta en planta piloto, registradas en configuración en contracorriente con temperatura máxima entre la fruta T1: $80 \pm 1,5^\circ\text{C}$.

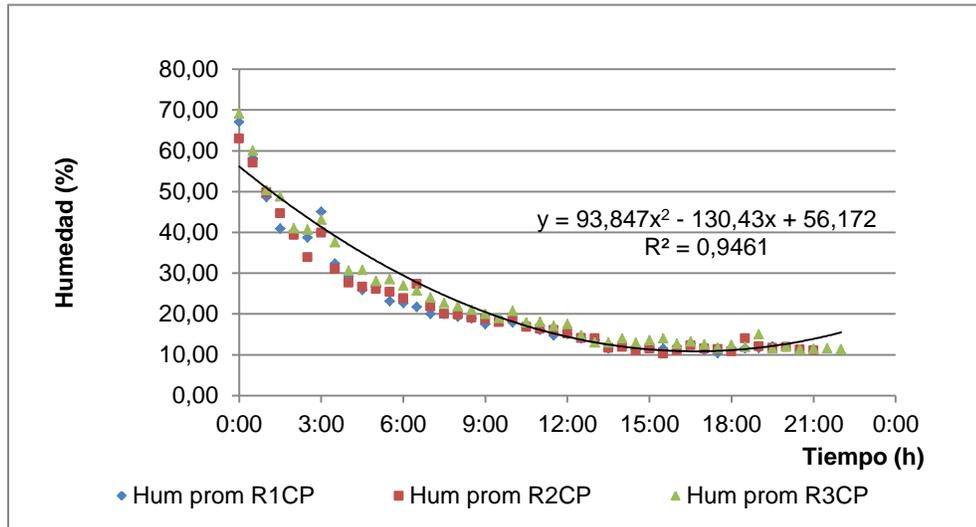


Figura 3.9 Humedades promedio entre la fruta en planta piloto, registradas en configuración en contracorriente con temperatura máxima entre la fruta T2: $85 \pm 1,5^\circ\text{C}$.

A través de los análisis estadísticos realizados, pudo observarse que en la deshidratación a T2 ($85 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$), se obtuvo una humedad mínima entre la fruta de $12 \pm 2\%$ y se logró una reducción (significativa respecto a T1) de 4 horas en promedio del tiempo de deshidratación.

Si bien no hay disponibilidad de estudios científicos similares en los cuales se monitoreen túneles de deshidratado a contracorriente (pudiendo observar los perfiles de temperatura y humedad) con los cuales se pueda contrastar la información generada, hay publicaciones que abordan la deshidratación a diferentes condiciones constantes de temperatura y/o humedad en hornos de laboratorio en las cuales se observan resultados similares.

Respecto a la evaluación de diferentes temperaturas de proceso, varios autores han evaluado temperaturas constantes entre 50 y 110°C con el objetivo de modelar cinéticas de deshidratación (Techaena *et al.*, 1991; Newman *et al.*, 1996; Sabarez *et al.*, 1997; Sabarez *et al.*, 1999; Price *et al.*, 2000; Sacilik *et al.*, 2006; Goyal *et al.*, 2007; Ioannou *et al.*, 2011; Sabarez *et al.*, 2012; Hedayatizadeh y Chaji, 2016; Muñoz-López *et al.*, 2018) y con el objetivo de evaluar la cinéticas de degradación de los compuestos antioxidantes de los productos obtenidos (Urfalino, 2009). En todos los casos, al igual que en el presente estudio, se ha observado que la velocidad de deshidratación se incrementa al aumentar la temperatura de proceso, resultando en una reducción del tiempo total de secado. Este fenómeno es el habitual en productos biológicos (Sabarez, 1998).

Newman *et al.*, en 1996, utilizaron temperaturas de deshidratación de 70 , 80 , 90 y 100°C en ciruela d'Agen, y midieron la pérdida de agua en función de la temperatura, con una velocidad constante de secado de $0,3$ m/s y sin controlar la humedad de proceso. Hallaron un evidente aumento en la tasa de pérdida de

agua al incrementar la temperatura de proceso. En 2009, se observó que al deshidratar ciruelas d'Agén en un horno de laboratorio a temperatura constante de 80°C, el tiempo de deshidratación se redujo 8 horas respecto a la deshidratación a 70°C (Urfalino, 2009). En 2012, Sabarez evaluó la deshidratación a condiciones constantes de 80°C y 15% de humedad observando una reducción del tiempo de proceso de 10 horas respecto al secado a 70°C y 30% de humedad.

Termodinámicamente, la disminución del contenido de humedad relativa en el aire de secado aumenta el potencial del aire para tomar y eliminar la humedad del producto. Esto se debe a que la reducción de la humedad del aire de secado aumenta la fuerza motriz para la transferencia de masa de la superficie de la fruta a la corriente de aire. En ciruela d'Agén, Sabarez en 1998 evaluó el efecto de utilizar tres humedades constantes (46, 28 y 3%) durante el secado a 70°C con una velocidad de aire de 1 m/s, observando una diferencia significativa entre las condiciones extremas ensayadas de 3,5 horas en el tiempo total de proceso.

3.1.2.2. Análisis y caracterización del producto obtenido

Por otro lado, en la **caracterización del producto** obtenido mediante T1 y T2, **la a_w y la humedad** no presentaron diferencias estadísticamente significativas. Esto indica que se obtuvieron productos finales equivalentes en cuanto a su estabilidad en el tiempo, asegura que no hubo sobresecado (que pudiese ocasionar un uso excesivo de energía o una mayor contracción que afectara la calidad del producto) y avala la comparación de los tratamientos en cuanto a los tiempos de residencia.

La actividad acuosa (a_w) y la humedad final promedio del producto obtenido a T1 y T2 se detallan en la **Tabla 3.3**.

Tabla 3.3 Actividad acuosa y humedad a dos temperaturas máximas del aire entre la fruta a CC (T1: $80 \pm 1,5^\circ\text{C}$; T2: $85 \pm 1,5^\circ\text{C}$).

Nº carro / Repetición	T1: $80 \pm 1,5^\circ\text{C}$		T2: $85 \pm 1,5^\circ\text{C}$	
	a_w	Humedad	a_w	Humedad
5 (R1)	0,62	20,0	0,59	18,0
9 (R2)	0,60	18,5	0,66	22,5
13 (R3)	0,65	22,0	0,62	19,5
Promedio	$0,63 \pm 0,03$	$20,2 \pm 1,8$	$0,62 \pm 0,03$	$20,0 \pm 2,3$

Los datos presentaron una distribución normal tanto para la a_w ($p = 0,553$) como para la humedad ($p = 0,416$) considerando un nivel de confianza del 95% (test de Shapiro-Wilks modificado). Posteriormente, se realizó un ANAVA y se comprobó que la a_w y la humedad no presentaron diferencias significativas independientemente de la temperatura de corte del quemador evaluada (T1 y T2) ($p_{a_w} > 0,999$, $p_{humedad} = 0,925$). Asimismo, en los test LSD Fisher se observaron letras iguales indicando que no hay diferencias significativas entre los tratamientos con un $\alpha=0,05$ (**Anexo 1**).

Se pudo observar que con ambos tratamientos se logra actividad acuosa y humedad equivalentes. Sin embargo, la reducción del tiempo de proceso es recomendable para optimizar la economía global del proceso (Rahman y Perera, 2003); y a su vez contribuye a obtener tempranamente bajos valores de actividad acuosa generando productos estables respecto a su calidad microbiológica y química. En consecuencia, si el periodo del proceso para obtener una baja a_w es menor, aumenta la posibilidad de reducir en dicho lapso

la actividad de las enzimas que participan en la degradación de algunos compuestos químicos que otorgan propiedades nutraceuticas al producto (Rockland y Stewart, 1981; Labuza, 1980).

Por otro lado, debido a que la determinación del color es una herramienta que permite interpretar las pérdidas o incrementos de sustancias nutritivas, se realizó el análisis en la pulpa del producto obtenido en los tratamientos estudiados.

Los cambios de color en la fruta deshidratada no están solamente relacionados con el aspecto del producto final sino que cuando estos ocurren son un indicio de que se han producido distintas reacciones, ya sea por pardeamientos enzimáticos o no enzimáticos (Maillard, caramelización), y consecuentemente se producen cambios en sus características nutritivas. Por otro lado, se ha demostrado que la reacción de Maillard puede generar compuestos bioactivos beneficiosos, por ejemplo los que tienen propiedades antioxidantes y algunos tóxicos (Fayle y Gerrad, 2005).

El **color final en pulpa** promedio del producto obtenido a T1 y T2 se detalla en la **Tabla 3.4**.

Tabla 3.4 Color en pulpa a dos temperaturas máximas del aire entre la fruta a CC (T1: 80 ± 1,5°C; T2: 85 ± 1,5°C).

Nºcarro/ Repetición	T1: 80 ± 1,5°C			T2: 85 ± 1,5°C		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*
5 (R1)	50,5	17,9	48,0	52,0	18,1	49
9 (R2)	48,5	16,8	44,0	49,7	16,5	46
13 (R3)	46,9	14,9	38,6	48,2	15,0	40,8
Promedio	48,6 ± 1,5	16,5 ± 1,2	43,5 ± 3,9	50,0 ± 1,6	16,5 ± 1,3	45,3 ± 3,4

Los datos presentaron una distribución normal para L^* ($p = 0,94$) a^* ($p = 0,61$) y b^* ($p = 0,259$) considerando un nivel de confianza del 95% (test de Shapiro-Wilks modificado). A través de un ANAVA se comprobó que L^* , a^* y b^* no presentaron diferencias significativas independientemente de la temperatura de corte del quemador evaluada (T1 y T2) ($p_{L^*} = 0,429$, $p_{a^*} > 0,999$, $p_{b^*} = 0,658$). Asimismo, en los test LSD Fisher se observaron letras iguales indicando que no hay diferencias significativas entre los tratamientos con un $\alpha = 0,05$ (**Anexo 1**).

Este resultado concuerda con los observados en estudios previos para ciruelas d'Agen, en los cuales no se presentaron diferencias estadísticamente significativas en el color de la pulpa cuando se utilizaron temperaturas superiores a 70°C durante todo el proceso de deshidratación (Urfalino, 2009). Este fenómeno podría deberse a que a temperaturas elevadas la enzima polifenoloxidasasa se inactiva más rápidamente, razón por la cual la deshidratación en horno de las ciruelas conserva mayores niveles de antioxidantes y un mejor color de pulpa. A su vez, durante la deshidratación en horno la eliminación de agua de la fruta es más rápida, por lo tanto, cesaría la oxidación por disminución del transporte de los compuestos antioxidantes hacia la enzima que los degrada (Urfalino y Worlock, 2018).

En relación al **aspecto**, todas las muestras analizadas provenientes de ambos tratamientos (T1 y T2) fueron identificadas como P: pasa, o sea que más del 95% de las unidades evaluadas presentaron pulpa continua y uniforme (Visual) y piel elástica (Táctil) (**Tabla 3.5**). En el caso de ciruelas deshidratadas el aspecto tiene un rol fundamental en las etapas de tiernizado (rehidratación parcial) y descaroado, es por ello que se realizó este análisis.

**Tabla 3.5 Evaluación de aspecto a dos temperaturas máximas del aire entre la fruta a CC
(T1: $80 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$; T2: $85 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$).**

Nºcarro/ Repetición	T1: $80 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$		T2: $85 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$	
	Visual (%)	Táctil (%)	Visual (%)	Táctil (%)
5 (R1)	P	P	P	P
9 (R2)	P	P	P	P
13 (R3)	P	P	P	P

3.1.3. Conclusión

El monitoreo y control de los parámetros de proceso (temperatura, humedad y velocidad el aire) posibilitan reducir sustancialmente el tiempo de secado general, aumentando la producción.

En la deshidratación a T2 se obtuvo una humedad mínima entre la fruta de $12 \pm 2\%$ y se logró una reducción (significativa respecto a T1) de 4 horas en promedio del tiempo de deshidratación. Esta reducción de tiempo muestra una clara ventaja en la utilización de la mayor temperatura y menor humedad del aire evaluadas.

Por otro lado, en la caracterización del producto, la a_w , la humedad, el color en pulpa (parámetros L^* , a^* y b^*), y el aspecto no presentaron diferencias estadísticamente significativas independientemente de la temperatura de corte del quemador evaluada (T1 y T2). Esto indica que se obtuvieron productos finales equivalentes en cuanto a su estabilidad en el tiempo y calidad.

Por las razones anteriormente mencionadas, se escogió a T2 (temperatura máxima del aire entre la fruta $85 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$) como condición óptima

límite de funcionamiento para los ensayos posteriores de comparación entre configuraciones en planta piloto, permitiendo incrementar la velocidad de secado sin afectar la calidad del producto obtenido.

Los resultados demuestran la importancia de conocer las condiciones óptimas de operación, así como la necesidad de monitorear y controlar dichas condiciones durante la deshidratación industrial de ciruelas.

3.2. Comparación de temperaturas de funcionamiento en industria

Se compararon dos túneles (de hornos diferentes) funcionando con dos temperaturas de corte del quemador (78°C y 82°C), para asegurar que la **temperatura máxima entre la fruta fuera $80 \pm 1,5^\circ\text{C}$ (T1) y $85 \pm 1,5^\circ\text{C}$ (T2)** respectivamente, en ambos casos se utilizó una velocidad de aire constante de 2,5 m/s. La diferencia entre las temperaturas de corte de los quemadores de industria respecto a las de planta piloto se debe a que los hornos industriales poseen mayor inercia térmica y retardo en el lazo de control.

3.2.1. Materiales y métodos

3.2.1.1. Materia prima

Se utilizó ciruela (*Prunus domestica*) variedad d'Agen, proveniente de los montes frutales de las fincas San Rafael Arcángel y San Francisco pertenecientes a la empresa Productos Andinos S.A.

La misma se cosechó mecánicamente, con un grado de madurez óptimo; correspondiente a un contenido de sólidos solubles mayor a 22 °Brix y 3 a 4

libras de presión por pulgada cuadrada, y se cargó en bines plásticos de aproximadamente 480 kg de capacidad. Los bines permanecieron en la playa de recepción a temperatura ambiente por un lapso de tiempo no mayor a un día antes de iniciar su procesado.

Posteriormente, los bines de ciruela se descargaron en una lavadora de inmersión para eliminar las impurezas presentes y pasaron a través de una cinta tamañadora, en la cual se clasificaron en dos tamaños (pequeñas y grandes, según tamaños menores o mayores a 30 mm). Se llenaron las bandejas y se colocaron en pilas de 23 bandejas sobre los carros (identificados por tamaño) los cuales fueron trasladados por rieles hacia los hornos.

3.2.1.2. Hornos industriales

Para realizar los ensayos a escala industrial se utilizaron hornos pertenecientes a la planta industrial “La Costa” de la empresa Productos Andinos S.A. (**Figuras 3.10 a 3.12**). Cada horno posee un quemador a gas natural, un caudalímetro, un ventilador y 2 túneles o bocas. Cada túnel puede contener un máximo de 16 carros, con 23 bandejas por carro, conteniendo aproximadamente 575 ± 25 kg de ciruela fresca.



Figura 3.10 Hornos industriales, PROA S.A.



Figura 3.11 Hornos industriales, zona de menor temperatura y mayor humedad, PROA S.A.



Figura 3.12 Hornos industriales, zona de mayor temperatura y menor humedad, PROA S.A.

3.2.1.3. Deshidratación

Se emplearon ciruelas de tamaño pequeño (calibres menores a 30 mm). Los hornos se llenaron con 16 carros, cada carro con aproximadamente 575 ± 20 kg de ciruelas frescas, y se encendió. Una vez que las ciruelas del carro 1 alcanzaron el punto deseado de humedad (determinado al tacto por el hornero, aproximadamente 20% de humedad), se retiró el carro y se reemplazó, ingresando un nuevo carro. A partir del carro número 17 se considera que el horno entra en régimen.

Con el objetivo de comparar la capacidad de producción a cada temperatura evaluada se determinó el **tiempo de residencia** de los carros en régimen dentro del horno, registrando la hora de ingreso y egreso de los carros dentro del período de reposición constante (carros 17 al 110, 94 repeticiones).

A partir del carro número 20 se identificó 1 de cada 10 carros que ingresaron a los hornos (Carros 20, 30, 40, 50... y 110, 10 repeticiones). En ellos se colocaron dos sensores de temperatura/humedad tipo i-button adheridos a las bandejas nº 2 y 22 manteniendo siempre el mismo orden (**Tabla 3.2**). Los mismos registraron estos parámetros, entre la fruta, cada 30 minutos durante todo el proceso de deshidratación con el objetivo de identificar la **máxima temperatura y la mínima humedad** a la que estuvo expuesta la fruta durante el procesado.

A su vez, de dichos carros, se extrajo aleatoriamente de la segunda bandeja (de arriba hacia abajo) una muestra de 500 g ciruelas deshidratadas, sobre la cual se realizaron determinaciones de **humedad, a_w y aspecto**, siguiendo la metodología descrita en el apartado 3.1.1.3. Las muestras extraídas se colocaron en bolsas individuales de polietileno de alta densidad identificadas hasta su análisis. Las determinaciones se realizaron por triplicado.

Tabla 3.6 Esquema de carga y muestreo en horno industrial para comparar dos temperaturas máximas del aire entre la fruta a CC (T1: $80 \pm 1,5^\circ\text{C}$; T2: $85 \pm 1,5^\circ\text{C}$).

Nº carro	1	16	17	20	...	30	...	40	...	50	...	110			126
CC a T1 ($80 \pm 1,5^\circ\text{C}$)						*		*		*		*		*			
CC a T2 ($85 \pm 1,5^\circ\text{C}$)						*		*		*		*		*			
Situación	CARGA INICIAL			HORNO EN RÉGIMEN DE REPOSICIÓN CONSTANTE											DESCARGA		

*Con sensores

3.2.1.4. Análisis estadístico

Los resultados obtenidos se analizaron mediante el software estadístico InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2016).

La evaluación de los **tiempos de residencia** y de los parámetros de **caracterización de los productos** obtenidos se realizaron mediante pruebas de normalidad de los datos, análisis de la varianza (ANAVA) y comparación de las medias por test Least Significant Difference (LSD) (Balzarini *et al.*, 2011). En todos los análisis efectuados se utilizó un nivel de confianza del 95%.

3.2.2. Resultados y discusión

3.2.2.1. Deshidratación

Los **tiempos promedio de residencia** en el proceso de deshidratación en industria fueron de $23 \pm 1,03$ horas a T1: $80 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$ y de $20,08 \pm 1,26$ horas a T2: $85 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$. Los datos presentaron una distribución normal ($p = 0,07$) considerando un nivel de confianza del 95% (test de Shapiro-Wilks modificado). Por otro lado, a través de un ANAVA se comprobó que estos tiempos de residencia presentan una diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,0001$) según la temperatura de proceso utilizada. Asimismo, en el test LSD Fisher se observaron letras distintas indicando diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos con un $\alpha=0,05$ (**Anexo 1**).

Con la deshidratación realizada a T2 ($85 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$) se logró una disminución del tiempo de residencia promedio de aproximadamente 3 horas (considerando los carros en régimen, del 17 a 110).

En las **Figuras 3.13 y 3.14** puede observarse que la temperatura del aire entre la fruta por carro tiene una marcada tendencia creciente a medida que se

acercan a la zona de alta temperatura (egreso del túnel) la cual desciende bruscamente al retirar el carro del horno.

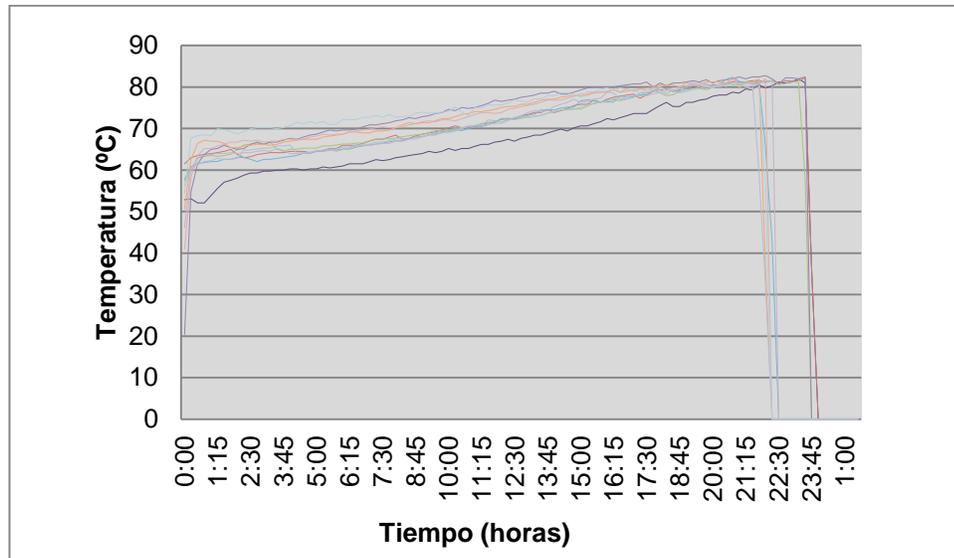


Figura 3.13 Temperatura entre la fruta durante el proceso de deshidratación en horno industrial a CC con temperatura máxima del aire entre la fruta T1: $80 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$.

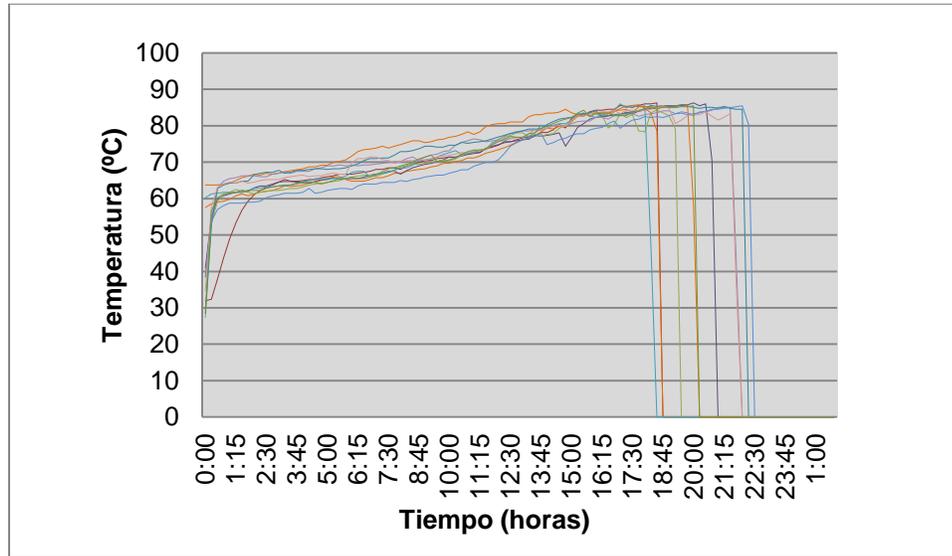


Figura 3.14 Temperatura entre la fruta durante el proceso de deshidratación en horno industrial a CC con temperatura máxima del aire entre la fruta $T_2: 85 \pm 1,5^\circ\text{C}$.

En las **Figuras 3.15 y 3.16** puede observarse que la humedad del aire entre la fruta por carro tiene una marcada tendencia decreciente a medida que se acerca a la zona de alta temperatura (egreso del túnel) la cual asciende bruscamente al retirar el carro del horno.

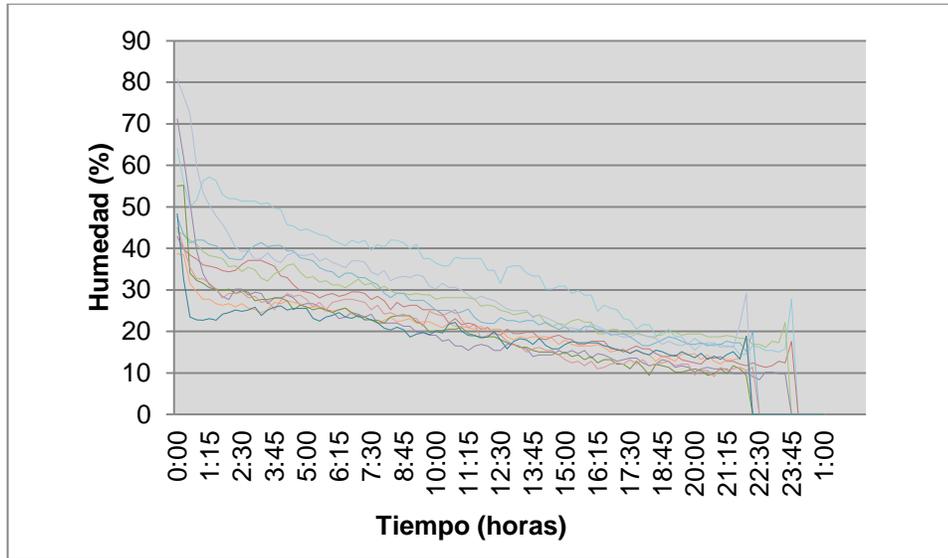


Figura 3.15 Humedad entre la fruta durante el proceso de deshidratación en horno industrial a CC con temperatura máxima del aire entre la fruta $T1: 80 \pm 1,5^\circ\text{C}$.

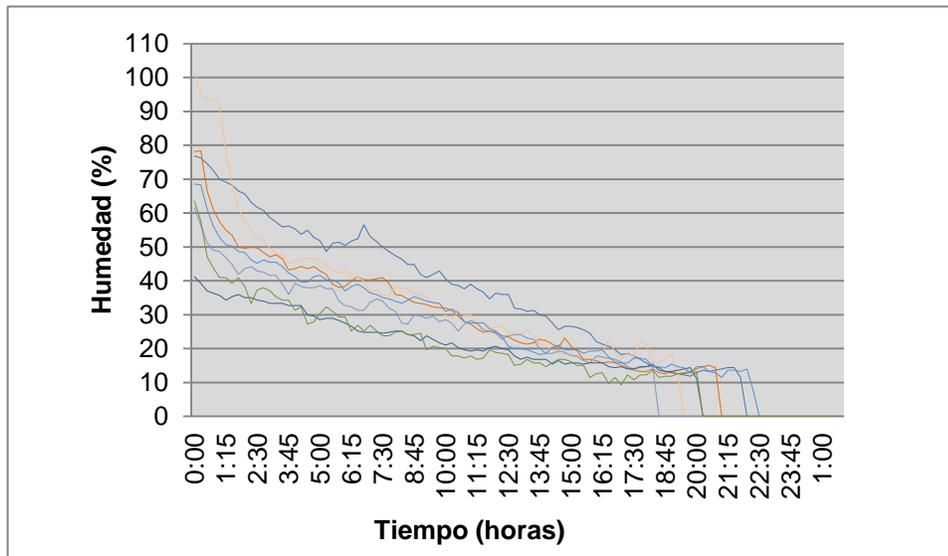


Figura 3.16 Humedad entre la fruta durante el proceso de deshidratación en horno industrial a CC con temperatura máxima del aire entre la fruta $T2: 85 \pm 1,5^\circ\text{C}$.

3.2.2.2. Análisis y caracterización del producto obtenido

En cuanto a la **caracterización del producto** obtenido industrialmente pudo observarse que (al igual que en los ensayos a escala piloto) no hubieron diferencias estadísticamente significativas en ninguno de los parámetros evaluados. Esto indica que se obtuvieron productos finales equivalentes en cuanto a su estabilidad en el tiempo y necesidad industrial y avala la comparación de los tratamientos en cuanto a los tiempos de residencia.

La **humedad** final promedio del producto obtenido fue de $19,80 \pm 2,10\%$ a T1 y de $19,85 \pm 2,16\%$ a T2, mientras que la **actividad acuosa** fue de $0,620 \pm 0,031$ a T1 y de $0,621 \pm 0,032$ a T2. Los datos presentaron una distribución normal tanto para la humedad ($p = 0,067$) como para a_w ($p = 0,073$) considerando un nivel de confianza del 95% (test de Shapiro-Wilks modificado). A través de un ANAVA se comprobó que no hubieron diferencias estadísticamente significativas en humedad ni en a_w independientemente de la temperatura de corte del quemador evaluada ($p_{\text{humedad}} = 0,9592$; $p_{a_w} = 0,9552$). Asimismo, en los test LSD Fisher se observaron letras iguales indicando que no hay diferencias significativas entre los tratamientos con un $\alpha=0,05$ (**Anexo 1**).

En relación al **aspecto** todas las muestras analizadas provenientes de ambos tratamientos (T1 y T2) fueron identificadas como P: pasa. Es decir que más del 95% de las unidades evaluadas presentaron pulpa continua y uniforme (Visual) y piel elástica (Táctil).

3.2.3. Conclusión

Los resultados a nivel industrial fueron predecibles, ya que presentaron el mismo comportamiento que los obtenidos en planta piloto.

En la deshidratación a T2 ($85 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$) se logró una reducción (estadísticamente significativa respecto a T1) de 3 horas en promedio del tiempo de deshidratación. Asimismo, en las condiciones evaluadas no se detectaron diferencias estadísticamente significativas en los parámetros de caracterización del producto obtenido a T2 con respecto a T1.

Al ser la reducción del tiempo de proceso deseable cuando no hay modificaciones de calidad, se escogió como condición óptima de funcionamiento para los ensayos posteriores en industria la T2.

4. EVALUACIÓN DE CAPACIDAD DE PROCESO POR CONFIGURACIÓN

Cuando las industrias que deshidratan ciruela d'Agen en Argentina tienen la posibilidad de ampliar su capacidad de producción o desean optimizarla, comienza la discusión sobre la configuración a emplear en la construcción de nuevos túneles de secado, y sobre la conveniencia de modificar la logística de las plantas procesadoras. Sin embargo, al no disponer de evidencia científica que fundamente el cambio, el cual implica elevados costos, en la mayoría de los casos se continúa con el sistema tradicional.

La información publicada sobre la configuración con mayor capacidad de producción es antigua y carece de sustento técnico y científico, debido a que se han comparado sistemas y realizado sugerencias sin utilizar los mismos parámetros de proceso en ambas configuraciones. Como se mencionó en el capítulo 1, Miller en 1964, comparó un horno a CC operando a temperatura máxima de 74°C versus un horno en CP operando a una temperatura máxima de 90°C y concluyó que el sistema en CP permite un incremento del 37% de su capacidad debido a que el proceso es más rápido pero incrementa el consumo de combustible en un 12%.

Respecto a otras ventajas y desventajas de cada configuración la información disponible, se resume en la **Tabla 4.1**.

Tabla 4.1 Ventajas y desventajas publicadas por configuración (CC y CP)

Configuración	Ventaja	Desventaja
CC	Cuando disminuye el ingreso de fruta a la planta elaboradora no es necesario mantener el túnel lleno de carros (Gentry, 1965)	En el extremo caliente del túnel, se pueden presentar problemas de sobresecado o quemado en las bandejas superiores (Gentry, 1965)
CP	El enfriamiento originado por la evaporación de la humedad superficial de la fruta permite utilizar temperaturas elevadas sin dañar el producto (Miller, 1964; Gentry, 1965).	En el extremo caliente del túnel, se pueden presentar daños en la piel y pérdidas de jugo (Christie, 1926, citado en Miller 1964; Sabarez 1996). Se requiere mantener el túnel lleno de carros, aunque éstos se encuentren sin fruta, lo que requiere bandejas adicionales y estricta programación de la distribución de la carga. El régimen de carga debería realizarse automatizadamente (Gentry, 1965).

Por otro lado, se desconoce el comportamiento real y dinámico de los parámetros de proceso dentro de los túneles, y no hay antecedentes de cómo estos puedan afectar la calidad (aspecto, sabor o aroma, color y valor nutricional).

El presente trabajo de investigación pretende evaluar ambos sistemas (CC y CP) funcionando con la misma combinación de máxima temperatura y mínima humedad del aire entre la fruta, comparando la economía global de cada configuración y su efecto sobre la calidad del producto obtenido. Esta información contribuirá a la toma de decisiones en la industria.

4.1. Comparación entre configuración en paralelo y en contracorriente en planta piloto

Se efectuaron 3 repeticiones por configuración, en corriente paralela (CP) y en contracorriente (CC), regulando en ambos casos el quemador a una temperatura de corte de 90°C (para asegurar que la **temperatura máxima entre la fruta fuera $85 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$**), la velocidad de aire se reguló a flujo constante de 2,5 m/s.

4.1.1. Materiales y métodos

La materia prima y el horno piloto utilizados se describen en el capítulo 3, apartados 3.1.1.1 y 3.1.1.2.

4.1.1.1. Deshidratación

Para evaluar la configuración a CC, el horno piloto se cargó inicialmente con 4 carros. Cuando el carro que se ubicaba frente al quemador alcanzó 1/3 de su peso inicial, se retiró e ingresó en el sistema un nuevo carro (carro N°5), en ese momento se consideró que el horno se hallaba en régimen. Luego, cada vez que se retiró un carro por el extremo de mayor temperatura del horno se repuso un carro con fruta fresca en el extremo de menor temperatura del mismo.

Para la configuración a CP, el horno piloto se cargó inicialmente con un solo carro ubicado frente al quemador, este permaneció en esa posición durante 5 horas. Luego se fueron introduciendo de a un carro (carros N° 2, 3 y 4), cada uno de ellos estuvo 5 horas frente al quemador. Posteriormente, cuando el carro N° 1 alcanzó 1/3 de su peso inicial se repuso un carro con fruta fresca por el extremo de mayor temperatura (carro N° 5), en ese momento se consideró que

el horno se hallaba en régimen. Luego, cada vez que se retiró un carro por el extremo de menor temperatura del horno se repuso un carro con fruta fresca en el extremo de mayor temperatura del mismo.

En cada configuración ensayada (CC y CP) se procedió como se describe a continuación:

Para evaluar la capacidad de producción se determinó el **tiempo de residencia** de los carros en régimen dentro del horno, registrando la hora de ingreso y egreso de los carros dentro del período de reposición constante (carros 5 al 13, 9 repeticiones, **Tabla 4.2**).

Tabla 4.2 Esquema de repeticiones y muestreo en horno piloto para comparar configuraciones (CC y CP)

Nº carro	1	...	4	5	...	9	...	13	14	15	16
CONTRA CORRIENTE				R1: 1er Repetición y muestreo		R2: 2da Repetición y muestreo		R3: 3er Repetición y muestreo			
CORRIENTE PARALELA				R1: 1er Repetición y muestreo		R2: 2da Repetición y muestreo		R3: 3er Repetición y muestreo			
Situación	CARGA INICIAL			HORNOS EN RÉGIMEN					DESCARGA		

Asimismo, en los carros N° 5, 9 y 13, se colocaron sensores i-button de temperatura/humedad entre la fruta en las bandejas 2 y 22 para identificar la **máxima temperatura y mínima humedad** a la que está expuesta la fruta durante el procesado. El proceso finalizó cuando la fruta llegó a 1/3 del peso inicial.

La **pérdida de masa** se registró en forma continua, para ello se colocó una balanza sobre la base de los carros (5, 9 y 13) y se ubicaron sobre la misma las bandejas con fruta. El peso se registró cada treinta minutos.

Se tomaron muestras representativas (aproximadamente 4,5 kilogramos) de la segunda bandeja de los carros 5, 9 y 13 de ambas configuraciones ensayadas. Las mismas se dividieron al azar en subgrupos y se colocaron en bolsas individuales de polietileno de alta densidad, a temperatura ambiente, para su posterior **análisis y caracterización** del producto.

4.1.1.2. Modelado

A partir de los datos de pérdida de masa durante el proceso, se infirió el contenido de humedad cada treinta minutos y se realizaron curvas de secado.

Posteriormente, se calculó la **tasa de pérdida de humedad** mediante la ecuación:

$$H_T = \frac{H - H_E}{H_O - H_E} \quad \text{Ecuación 4.1}$$

Donde: H_T : tasa (proporción) de pérdida humedad (adimensional); H : contenido de humedad en función del tiempo (%); H_E : contenido de humedad en el equilibrio (%); H_O : contenido inicial de humedad (%).

Debido a la fluctuación continua de la humedad relativa del aire de secado durante la deshidratación, H_T puede ser simplificada a H/H_O (Diamente y Munro, 1993).

Con los datos experimentales se graficó la tasa de pérdida de humedad en función del tiempo. Posteriormente, se ajustaron a cuatro modelos empíricos

de deshidratación (Page, Logarítmico, Henderson y Pabis y Aproximación a la difusión) los cuales se describen en la **Tabla 4.3**.

Tabla 4.3 Modelos empíricos para ajuste de curvas de deshidratación en capa delgada.

Nombre del modelo	Modelo	Referencias
Page	$H_T = \exp(-k \cdot t^n)$	Page, 1949; Diamente y Munro, 1993; Doymaz e Ismail, 2011.
Logarítmico	$H_T = a \cdot \exp(-k \cdot t) + c$	Yaldiz <i>et al.</i> , 2001; Lahsasni <i>et al.</i> , 2004.
Henderson y Pabis	$H_T = a \cdot \exp(-k \cdot t)$	Henderson and Pabis, 1961; Ghodake <i>et al.</i> , 2006; Doymaz, 2008.
Aproximación a la difusión	$H_T = a \cdot \exp(-k \cdot t) + (1-a) \exp(-kbt)$	Yaldiz y Ertekin, 2001; Ertekin y Yaldiz, 2004.

Asimismo, se graficó la velocidad de deshidratado en función del contenido de humedad de las ciruelas y la velocidad de deshidratado en función del tiempo. Se determinó el contenido de humedad crítico, el tiempo en el que este se alcanza y se identificaron las etapas de control evaporativo y de control difusivo.

Para la determinación de la **difusividad efectiva** (D_{ef}) se utilizó el modelo de difusión de Fick (segunda ley) para coordenadas esféricas. Asumiendo los supuestos de: migración de humedad por difusión, contracción despreciable y coeficientes de difusión y temperaturas constantes. La ecuación puede expresarse como (Crank, 1975):

$$H_R = \frac{H - H_E}{H_0 - H_E} = \frac{6}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \exp\left(\frac{-n^2 \pi^2 D_{ef} t}{R_e^2}\right) \quad \text{Ecuación 4.2}$$

Para largos períodos de secado, la misma se puede simplificar al primer término de la serie y H_R puede ser simplificado a H/H_0 . Entonces la ecuación, puede escribirse en forma logarítmica como (Sacilik *et al.*, 2006):

$$\ln \frac{H}{H_0} = \ln \left(\frac{6}{\pi^2} \right) - \left(\frac{\pi^2 D_{ef} t}{R_e^2} \right) \text{ Ecuación 4.3}$$

Siendo: R_e : radio equivalente de la ciruela que está siendo deshidratada (m) = 0,16375 m; D_{ef} : difusividad efectiva (m^2/s).

La difusividad efectiva se determinó usando el método de pendientes, trazando los datos experimentales de secado en términos de $\ln (H_R)$ versus el tiempo de secado. Este gráfico proporciona una línea recta con pendiente:

$$\left(\frac{\pi^2 D_{ef}}{R_e^2} \right).$$

4.1.1.3. Análisis y caracterización del producto

Para el **análisis y caracterización del producto** se procedió de acuerdo al siguiente esquema:

Subgrupo A: Se utilizaron 30 unidades (aproximadamente 300 g) para determinar actividad acuosa y aspecto.

Subgrupo B: Se utilizó 1 kg de ciruelas deshidratadas para determinar humedad, cenizas totales, proteínas, fibra dietaria, grasas totales saturadas/trans, hidratos de carbono, azúcares reductores directos, sacarosa, contenido de sodio, valor energético y hidroximetilfurfural (HMF).

Subgrupo C: Se utilizaron 2 kg de ciruelas deshidratadas para determinar fenoles, flavonoides y capacidad antioxidante total. Se utilizó 1 kg para realizar las determinaciones en el mes 1 y 1 kg para el mes 10.

Subgrupo D: Se utilizaron 10 unidades (aproximadamente 100 g) para determinar color en piel, esta determinación se realizó cada 3 meses (4 veces al año).

Subgrupo E: Se utilizó 1 kg de ciruelas deshidratadas, se tomaron 10 unidades por mes para medir color en pulpa del producto final. La determinación se realizó cada 3 meses (4 veces al año).

Todas determinaciones analíticas se realizaron por triplicado, los métodos utilizados fueron:

- **Actividad acuosa:** se determinó con medidor de actividad acuosa Rotronic Hygropalm. Siguiendo la metodología descrita en el Capítulo 3, apartado 3.1.1.4.
- **Aspecto:** se evaluó de manera visual y táctil, siguiendo el procedimiento descrito en el Capítulo 3, apartado 3.1.1.4.
- **Humedad:** se determinó por el método de Dean y Stark, 1920. Siguiendo la metodología descrita en el Capítulo 3, apartado 3.1.1.4.
- **Proteínas (P) (N x 5,75):** se determinaron por Kjeldahl según metodología AOAC 954.0, 2005.

Se utilizaron 3,5 g de muestra. La digestión se efectuó con ácido sulfúrico en presencia de sulfato de cobre y sulfato de potasio. Posteriormente se realizó una titulación con NaOH. Los resultados se expresaron en porcentaje de proteínas, empleado la fórmula:

Proteínas % (p/p) = g% p/p N x 5,75 **Ecuación 4.4**

g% de N p/p = (V1 x N1 - V2 x N2) x mEq N x 100 / FE **Ecuación 4.5**

Siendo: V1: volumen de H₂SO₄ colocado en el recipiente colector; N1: normalidad del H₂SO₄ usado para la recolección del NH₃; V2: volumen de NaOH gastado en la titulación; N2: normalidad exacta de NaOH utilizado en la titulación; mEq N: miliequivalente del nitrógeno (0,014); FE: fracción de ensayo.

- **Cenizas (C):** se determinaron mediante el método de calcinación en mufla a 540°C.

Se utilizaron 5 g de muestra. Los resultados se expresaron en porcentaje de cenizas, empleado la fórmula:

Cenizas Totales (%) = $\frac{P_c}{P_m} \times 100$ **Ecuación 4.6**

Donde: P_c = peso de las cenizas; P_m = peso de la muestra.

- **Grasas totales saturadas/ trans (GT):** se determinaron por el método de Soxhlet según metodología AOAC 920.398, 2005.

Se emplearon 2 g de muestra. Los resultados se expresaron como porcentaje de extracto etéreo, empleando la fórmula:

Extracto etéreo (%) = $\frac{P_G}{P_M} \times 100$ **Ecuación 4.7**

Siendo: P_G = peso de residuo graso seco; P_M = peso de la muestra.

- **Fibra Cruda (FC):** se determinó por el método AOAC 962.09, 2005.

Se utilizaron 3 g de muestra exenta de grasa. Los resultados se expresaron como porcentaje de contenido de fibra, empleando la fórmula:

$$\text{Contenido de fibra (\%)} = \frac{P_2 - P_3}{P_1} \times 100 \quad \text{Ecuación 4.8}$$

Donde: P1 = peso en g de la muestra; P2 = peso en g de la materia insoluble; P3 = peso en g de cenizas.

- **Hidratos de carbono (HC):** se determinaron por diferencia.

$$\text{HC} = 100 - (P + C + \text{GT} + \text{FC}) \quad \text{Ecuación 4.9}$$

- **Azúcares reductores directos (A_r) y totales (A_t):** por Fehling Causse Bonnans.

Se utilizaron 5 g de muestra. Para calcular el contenido de azúcares reductores, se utilizó la siguiente ecuación:

$$A_r = \frac{(0,0410 \times 100 \times 100)}{P_m \times V} \quad \text{Ecuación 4.10}$$

Siendo: A_r = contenido de azúcares reductores, en g % en peso; P_m = peso de la muestra (en g), V = volumen de líquido azucarino defecado y filtrado empleado en la valoración (en cm³).

Para Azúcares totales (A_t), se utilizó la ecuación:

$$A_t = \frac{(0,0410 \times 100 \times 100)}{P_m \times V \times 50} \quad \text{Ecuación 4.11}$$

Siendo: At = contenido de azúcares totales (en g % en peso); Gm = peso de la muestra (en g); V = volumen de líquido azucarino defecado y filtrado empleado en la valoración (en cm³).

- **Sacarosa:** por Fehling Causse Bonnans.

Siendo los azúcares no reductores:

$$A_{nr} = At - A_r \quad \text{Ecuación 4.12}$$

La sacarosa se calcula como A_{nr} por 0,95.

- **Contenido de sodio:** por fotometría de llama previa calcinación en mufla.

Se utilizaron 10 gramos de muestra. Los resultados se expresaron en porcentaje de sodio (g de sodio/por 100 gramos de muestra).

- **Valor energético (VE):** por cálculo.

$$VE: (HC + P) \times 4 \text{ Kcal} + L \times 9 + F \times 2,5 \quad \text{Ecuación 4.13}$$

- **HMF (hidroximetilfurfural):** se determinó mediante el método AOAC 980.23, 2005.

Se utilizaron 5 gramos de muestra, se utilizó la ecuación:

$$HMF \left(\frac{\text{mg}}{100 \text{ g de muestra}} \right) = \frac{(A_{284} - A_{336}) \times 14,97 \times 5}{\text{g de muestra}} \quad \text{Ecuación 4.14}$$

El factor 14,97 resulta = (126 g /16.830) x (1000 X 10 ml / 1000 ml) x (50 ml / 5 ml).

Donde: 126 = PM del HMF (en g); 16.830 = absortividad del HMF a 284 nm; 1000 = reducción de gramos a miligramos; 10 dilución previa a la lectura de A; 5 = peso nominal de la muestra; 100 = g de muestra a los que se refiere al contenido de HMF; $(5 / g \text{ de } M)$ = corrección por pesada distinta de 5,000 g.

- **Color en piel y pulpa:** se determinó con un colorímetro Kónica-Minolta CR 400.

Se utilizó el espacio de color CIEL*a*b*, iluminante C. Cada lectura fue resultado de un promedio automático de 3 mediciones. El equipo se calibró con plato cerámico de color blanco. Se tomaron 3 lecturas por ciruela sobre la piel y posteriormente se cortaron con bisturí obteniendo una capa de pulpa (feta) de aproximadamente 2 mm, sin piel, sobre la cual se tomaron 3 lecturas más.

Preparación de extractos para la posterior determinación de fenoles, flavonoides y antioxidantes totales: Las muestras se cortaron en trozos de aproximadamente 2 mm, se agregó nitrógeno líquido y se molió manualmente con mortero hasta transformar en polvo.

Posteriormente se pesó 1 gramo del polvo en frasco de vidrio forrado con papel aluminio, se agregaron 10 ml de metanol y se cerró con tapa a rosca. Se agitó 30 minutos en agitador magnético. Se dejó 1 minuto sin agitar, se tomaron 8 ml del sobrenadante y se centrifugó 30 minutos a 6000 rpm (a 20°C). Se colocaron 5 ml de sobrenadante en un matraz de 10 ml y se enrasó con agua pura. Se dejó 1 hora en freezer y luego se centrifugó 15 minutos. El sobrenadante se utilizó como extracto para la determinación de fenoles y flavonoides totales.

Por otro lado, se pesaron 2 gramos de polvo en frasco de vidrio forrado con papel aluminio, se agregaron 10 ml de metanol y se cerró con tapa a rosca.

Se agitó 30 minutos en agitador magnético. Se dejó 1 minuto sin agitar, se tomaron 8 ml del sobrenadante y se centrifugó 30 minutos a 6000 rpm (a 20°C). Se colocaron 5 ml de sobrenadante en un matraz de 10 ml y se enrasó con metanol. Se dejó 2 horas en freezer y luego se centrifugó 15 minutos. El sobrenadante se utilizó como extracto para la determinación antioxidantes totales.

- **Fenoles totales:** se determinaron utilizando el reactivo Folin & Ciocalteu's según el método descrito por Singleton y Rossi, 1965, con algunas modificaciones (Urfalino, 2011).

La curva de calibración se realizó con ácido gálico en concentraciones de 11, 33, 55, 77, 99 y 121 ppm. Para cada determinación se tomaron 320 μl de la solución de ácido gálico en un matraz de 10 ml tapado con papel aluminio, con 3700 μl de agua destilada deionizada (ddH_2O). Se agregaron 640 μl de reactivo de Folin & Ciocalteu's y se agitó 5 minutos manualmente. Se agregaron 4ml de CO_3Na_2 al 7% y se enrasó a 10 ml con ddH_2O . Se mezcló y se dejó en reposo (a temperatura ambiente y oscuridad) durante 2 horas. La absorbancia se leyó a 765 nm. Se preparó un blanco usando 320 μl ddH_2O en vez de 320 μl de la solución de ácido gálico siguiendo el resto del procedimiento descrito. El contenido de fenoles totales se expresó en forma de ácido gálico, en $\text{mg}\cdot\text{kg}_M^{-1}$. Cada punto de calibración se realizó por sextuplicado.

Con las lecturas de absorbancia obtenidas se hizo el estudio de regresión. El modelo ajustado es un modelo lineal, descrito por la siguiente ecuación:

$$A = - 0,0041 + 0,038 \times C_{\text{teo}} \quad \text{Ecuación 4.15}$$

Donde: A = absorbancia; C_{teo} = Concentración teórica ($\text{mg}_{\text{AG}}\cdot\text{kg}_M^{-1}$)

Para cada extracto a analizar se tomaron 320 μl y se realizó el mismo procedimiento de reacción que se describió para las soluciones patrón.

- **Flavonoides totales:** se determinaron según ensayo colorimétrico de Zhisen *et al.*, 1999, con algunas modificaciones (Urfalino, 2011).

La curva de calibración se realizó con soluciones de catequina de 11, 33, 55, 77, 99 y 121 ppm. Para cada determinación se tomó 1 ml de la solución en matraz de 10 ml envuelto en papel aluminio con 4 ml de ddH₂O. Se añadieron 0,3 ml de NaNO₂ al 5% y se dejó en reposo 5 minutos. Se agregaron 0,3 ml de AlCl₃ al 10% y se dejó en reposo 6 minutos. Se agregaron 2 ml de NaOH 1 M y 2,4 ml de ddH₂O, se agitó y se midió a 500 nm. Se preparó un blanco usando 1 ml de ddH₂O en lugar de la solución de catequina, siguiendo el resto del procedimiento como se describió anteriormente. El contenido total de flavonoides se expresó como mg_{CAT}·kg_M⁻¹. Cada punto de calibración se realizó por sextuplicado.

Con las lecturas de absorbancia obtenidas se hizo el estudio de regresión, el modelo ajustado es un modelo lineal, descrito por la siguiente ecuación:

$$A = 0,0010 + 0,0031 \times C_{\text{teo}} \quad \text{Ecuación 4.16}$$

Donde: A = absorbancia; C_{teo} = Concentración teórica (mg_{CAT}·kg_M⁻¹)

Para cada extracto a analizar se tomó 1ml y se realizó el mismo procedimiento de reacción que se describió para las soluciones patrón.

- **Actividad Antioxidante Total (AAO):** se determinó utilizando el radical DPPH en solución metanólica según el método de Brand-Williams *et al.*, 1995, con algunas modificaciones (Urfalino, 2011).

La curva de calibración se realizó con soluciones de ácido clorogénico de 60, 100, 140, 220, 260 y 300 ppm. Para cada determinación se colocaron en una cubeta 1800 μl de DPPH 25 ppm y se le adicionan 30 μl de la solución de ácido clorogénico la mezcla reaccionante se mantuvo protegida de la luz a 20°C. Se dejó reaccionar en reposo 1 hora y se leyó la absorbancia a 515 nm. Se preparó un blanco usando ddH₂O en lugar de la solución de ácido clorogénico, siguiendo el resto del procedimiento como se describió anteriormente. El contenido total de antioxidantes se expresó como $\text{mg}_{\text{CLO}} \cdot \text{kg}_{\text{M}}^{-1}$. Cada punto de calibración se realizó por sextuplicado.

Con las lecturas de absorbancia obtenidas se hizo el estudio de regresión, el modelo ajustado es un modelo lineal, la ecuación que lo describe es:

$$A = 0,011 - 0,0016 \times C_{\text{teo}} \quad \text{Ecuación 4.17}$$

Donde: A = absorbancia; C_{teo} = Concentración teórica ($\text{mg}_{\text{CLO}} \cdot \text{kg}_{\text{M}}^{-1}$)

Para cada extracto a analizar se tomaron 30 μl y se realizó el mismo procedimiento de reacción que se describió para las soluciones patrón.

4.1.1.4. Análisis estadístico

Los resultados obtenidos se analizaron mediante el software estadístico InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2016).

La evaluación de los **tiempos de residencia** y los parámetros de **caracterización de los productos** obtenidos se realizaron mediante pruebas de normalidad de los datos, análisis de la varianza (ANAVA) y comparación de las medias por test Least Significant Difference (LSD) (Balzarini *et al.*, 2011). En todos los análisis efectuados se utilizó un nivel de confianza del 95%.

La evaluación del **ajuste de los modelos** empíricos respecto a las cinéticas experimentales de deshidratación se realizó mediante el método de regresión no lineal. InfoStat aborda el problema en dos fases. La primer fase utiliza el método downhill simplex propuesto por Nelder y Mead (1965), mientras que la segunda fase implementa el método de Levenberg-Marquardt, partiendo de la solución anterior (Balzarini *et al.*, 2008).

4.1.2. Resultados y discusión

4.1.2.1. Deshidratación

Los **tiempos promedio de residencia** en el proceso de deshidratación en planta piloto a CC y a CP se detallan en la **Tabla 4.4**. Los datos presentaron una distribución normal ($p = 0,5654$) considerando un nivel de confianza del 95% (test de Shapiro-Wilks modificado). A CC el tiempo de residencia promedio fue $21,06 \pm 1,53$ horas y en el caso de la configuración a CP fue $20,72 \pm 2,50$ horas. Mediante un ANAVA se comprobó que los tiempos de residencia no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre las medias de ambos tratamientos según la configuración empleada ($p = 0,7375$). Asimismo, en el test LSD Fisher se observaron letras iguales indicando que no hay diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos con un $\alpha=0,05$ (**Anexo 1**).

Tabla 4.4 Tiempos de residencia de carros en planta piloto a CC y a CP (temperatura máxima de aire entre la fruta $85 \pm 1,5$ °C, velocidad del aire 2,5 m/s)

Carro Nº	Tiempo de residencia T1CC (horas)	Tiempo de residencia CP (horas)
5	19,5	19
6	21,5	19,5
7	20,5	23
8	20	22,5
9	22	18
10	21	16,5
11	24	22
12	19	23
13	22	23
Promedio	21,06 ± 1,53	20,72 ± 2,5

En la **Figura 4.1** se observa el comportamiento de la **temperatura del aire** entre la fruta en un carro en el interior de un horno de deshidratación a **CC**. La temperatura se incrementa sostenidamente a medida que el carro avanza dentro del túnel.

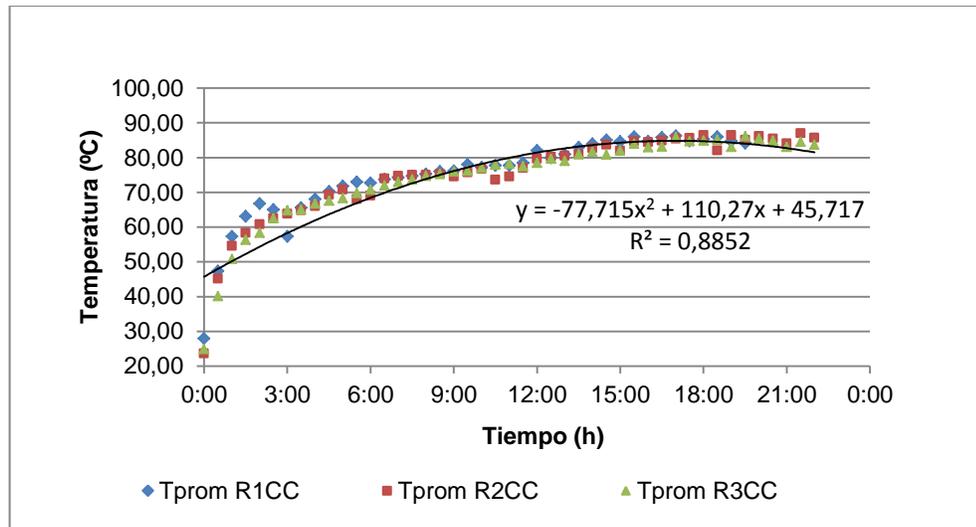


Figura 4.1 Temperatura entre la fruta durante el deshidratación con configuración en CC (temperatura máxima del aire entre la fruta $85 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$, velocidad 2,5 m/s).

Por otro lado, en el caso de la configuración en **CP**, se pueden observar distintas etapas (o pulsos), en las cuales la **temperatura** va incrementándose y luego baja abruptamente con el ingreso de un nuevo carro en el sistema (**Figura 4.2**).

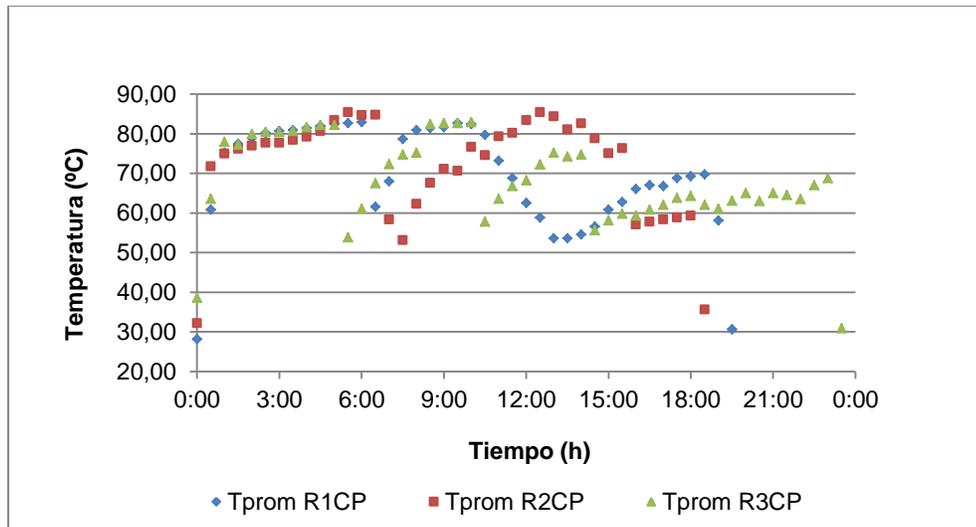


Figura 4.2 Temperatura entre la fruta durante el deshidratación con configuración en CP (temperatura máxima del aire entre la fruta $85 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$, velocidad $2,5 \text{ m/s}$).

Respecto a la **humedad del aire** entre la fruta, en la configuración a **CC**, esta disminuye a medida que el carro avanza dentro del túnel alcanzando humedades mínimas promedio entre la fruta de $12 \pm 2\%$ (**Figura 4.3**).

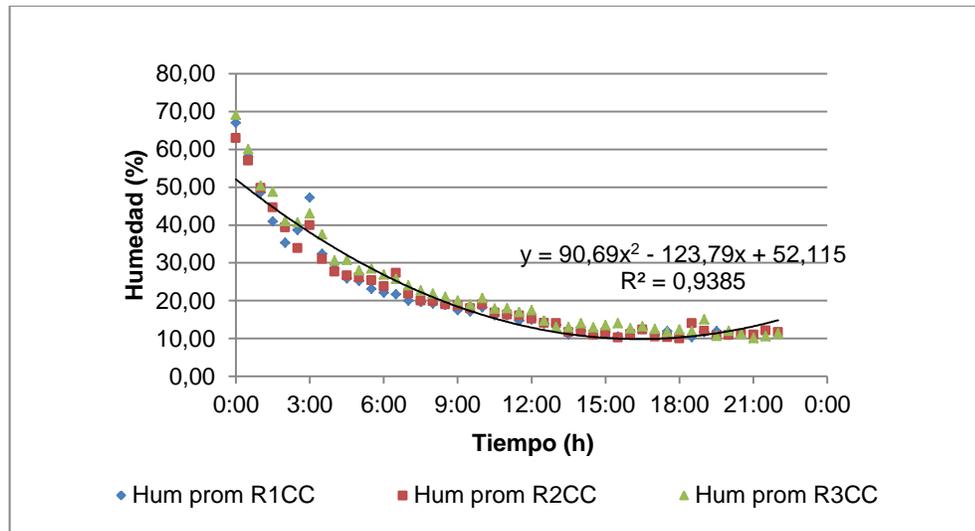


Figura 4.3 Humedad entre la fruta durante el deshidratación con configuración CC (temperatura máxima del aire entre la fruta $85 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$, velocidad 2,5 m/s).

En el caso de la configuración **CP**, la **humedad del aire** entre la fruta presenta un comportamiento por pulsos, disminuyendo al aumentar la temperatura y aumentando con el ingreso de un nuevo carro con fruta fresca en el sistema (**Figura 4.4**). Las humedades mínimas promedio entre la fruta son de $12,5 \pm 2,5\%$.

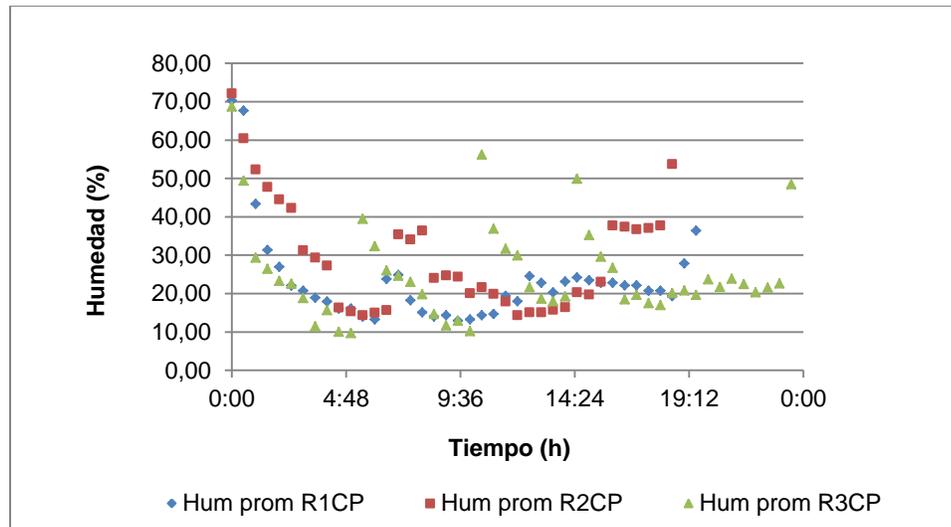


Figura 4.4 Humedad entre la fruta durante el deshidratación con configuración en CP (temperatura máxima del aire entre la fruta $85 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$, velocidad 2,5 m/s).

En el presente ensayo se observó que al evaluar la deshidratación a CC versus CP, con temperatura máxima del aire inferior a 90°C y velocidad constante de 2,5 m/s; no hubieron diferencias estadísticamente significativas entre los tiempos de residencia de los carros dentro de los túneles. Por lo tanto, ambas configuraciones poseen la misma capacidad de secado. Este resultado es contrario a la afirmación realizada por Miller M. W. en 1964, quien concluyó que el utilizar una configuración a CP permite un incremento del 37% de su capacidad debido a que el proceso es más rápido (menor tiempo de residencia), pero incrementa el consumo de combustible en un 12%. A partir de esta publicación, en E.E.U.U se recomendó el cambio de configuración en los hornos de deshidratado de ciruelas de CC a CP. Sin embargo, la comparación que realizó Miller no fue correctamente planteada ya que comparó un horno a CC operando a temperatura máxima de 74°C versus un horno en CP operando a una temperatura máxima de 90°C . El resultado del incremento en la velocidad de

deshidratación hallado por Miller no puede atribuirse al cambio de configuración, si no al incremento de la temperatura. Lo cual no justificaría un cambio en la configuración, sino un aumento controlado de la temperatura de corte del quemador.

Por otro lado, en 2012 Sabarez realizó un modelado computacional en el cual simuló un horno funcionando a CP y uno funcionando a CC, con el objetivo de comparar la eficiencia de ambos sistemas. Los ensayos se realizaron en un horno de laboratorio, sin realizar ensayos en planta piloto, ni en industria debido a los costos y dificultades logísticas asociadas. Con dicho modelado se obtuvo un tiempo promedio de residencia de 17,4 horas para CP y de 18,6 horas para CC. Lo cual implica una diferencia de los tiempos de residencia menor al 6,5%. Para la realización de este modelado se supuso que en CP la temperatura del aire de secado era inicialmente de 85°C y decrecía linealmente hasta llegar a 70°C, mientras que la humedad relativa del aire aumentaba de 15% a 30% (también de manera lineal); mientras que en CC el proceso era inverso.

En el presente ensayo pudo observarse que la variación de temperatura y humedad en el interior del túnel no ocurre de manera lineal, y que los comportamientos de estos parámetros en la configuración a CC y a CP no son exactamente inversos (**Figuras 4.1 a 4.4**). En el caso de CC, la temperatura aumenta y la humedad disminuye, de manera sostenida (no lineal). Mientras que, en el caso de CP, la temperatura y la humedad oscilan en pulsos. Los tiempos de residencia no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre las medias de ambos tratamientos según la configuración empleada. Por lo tanto, podría inferirse que, la diferencia de 6,5% hallada por Sabarez en 2012 podría atribuirse a los supuestos del modelado más que a una diferencia real entre los tiempos promedio de residencia según la configuración.

El **peso** registrado cada 30 minutos se presenta en las **Figuras 4.5 y 4.6** para cada configuración ensayada. En las mismas puede apreciarse que la pérdida de peso inicial es más rápida en la configuración en CP. Cuando se parte de un peso inicial promedio de 300 kg por carro, éste se reduce a la mitad en 12,36 horas en la caso de la configuración en CC y en 9,48 horas en CP. Sin embargo, la reducción final deseada o sea 1/3 del peso inicial se logra en tiempos de residencia similares, ya que esta velocidad disminuye en el tiempo, por lo cual no influiría en la economía global del proceso en las condiciones evaluadas.

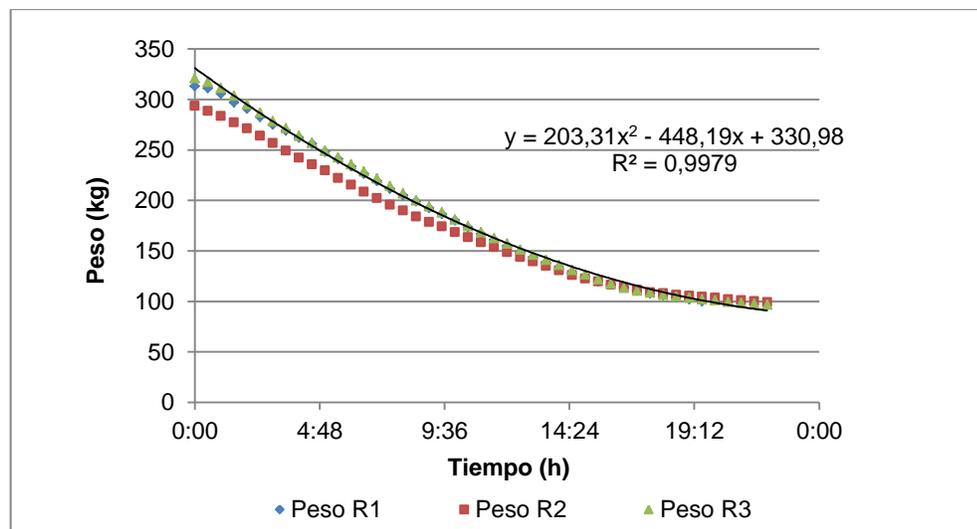


Figura 4.5 Evolución del peso en el tiempo en configuración en CC (temperatura máxima del aire entre la fruta $85 \pm 1,5^\circ\text{C}$, velocidad 2,5 m/s).

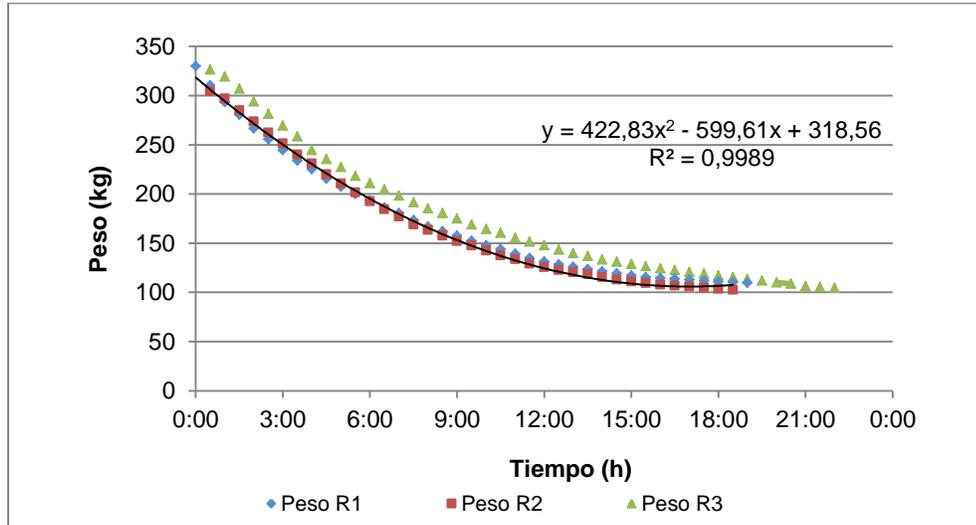


Figura 4.6 Evolución del peso en el tiempo en configuración en CP (temperatura máxima del aire entre la fruta $85 \pm 1,5^\circ\text{C}$, velocidad 2,5 m/s).

4.1.2.2. Modelado

Las Figuras 4.7 y 4.8 muestran el comportamiento del contenido de humedad de las ciruelas d'Agen durante el proceso de secado en las configuraciones a CC y en CP respectivamente.

Las muestras presentan una humedad inicial de $74 \pm 0,5\%$ y son deshidratadas hasta un contenido de humedad de $20 \pm 2\%$.

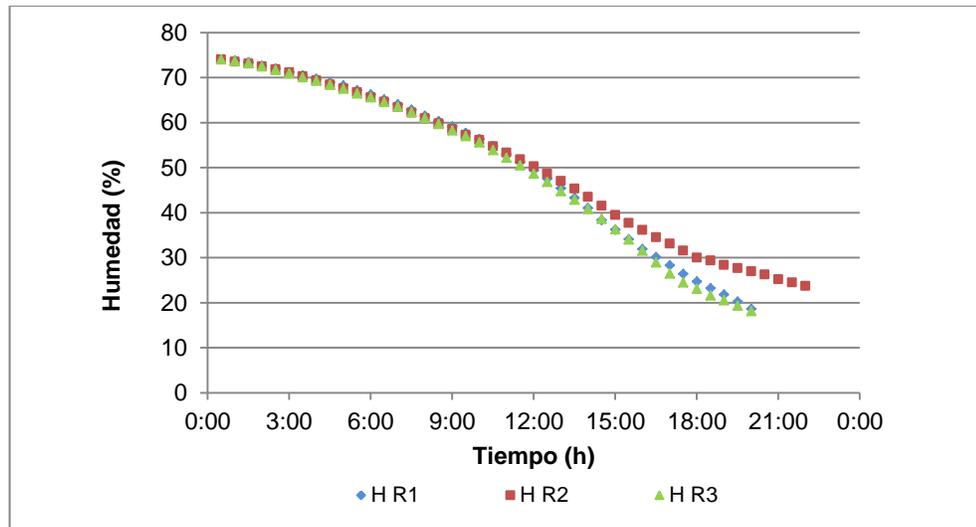


Figura 4.7 Comportamiento del contenido de humedad de las ciruelas d'Agén durante el proceso de secado en la configuración CC (temperatura máxima del aire entre la fruta $85 \pm 1,5^\circ\text{C}$, velocidad $2,5 \text{ m/s}$).

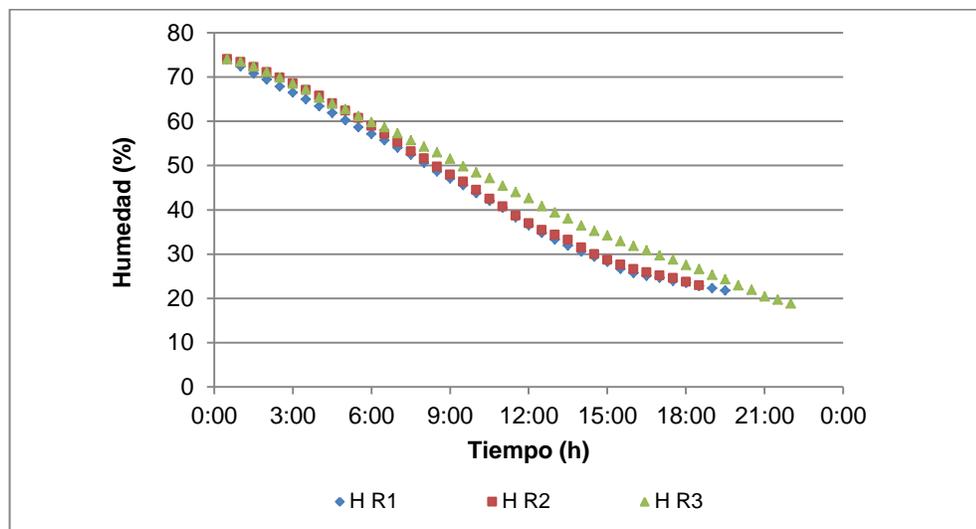


Figura 4.8 Comportamiento del contenido de humedad de las ciruelas d'Agén durante el proceso de secado en la configuración CP (temperatura máxima del aire entre la fruta $85 \pm 1,5^\circ\text{C}$, velocidad $2,5 \text{ m/s}$).

Los datos obtenidos experimentalmente de la tasa de pérdida de humedad en función del tiempo, se ajustaron a cuatro **modelos empíricos** de deshidratación (Page, Logarítmico, Henderson y Pabis y Aproximación a la difusión). Estos modelos se ajustaron mediante un análisis de regresión no lineal realizado con el software InfoStat, el cual se detalla en el **Anexo 1**.

En la **Tabla 4.5**, se resumen los modelos con las estimaciones de cada uno de sus parámetros para la configuración en CC.

Tabla 4.5 Modelos empíricos para configuración CC (temperatura máxima del aire entre la fruta $85 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$, velocidad 2,5 m/s)

Nombre del modelo	Modelo	Valores estimados	p valor	EE	CME
Page	$H_T = \exp(-k \cdot t^m)$	$k = 3,6 \times 10^{-3}$ $m = 1,96$	$<0,0001$ $<0,0001$	$3,6 \times 10^{-4}$ 0,04	$9,9 \times 10^{-4}$
Logarítmico	$H_T = a \cdot \exp(-k \cdot t) + c$	$a = 35,17$ $k = 1,1 \times 10^{-3}$ $c = -34,09$	0,8399 0,8418 0,8448	173,79 0,01 173,8	$2,1 \times 10^{-3}$
Henderson y Pabis	$H_T = a \cdot \exp(-k \cdot t)$	$a = 1,13$ $k = 0,06$	$<0,0001$ $<0,0001$	0,02 $1,7 \times 10^{-3}$	0,01
Aproximación a la difusión	$H_T = a \cdot \exp(-k \cdot t) + (1-a) \cdot \exp(-k \cdot b \cdot t)$	$a = -17,70$ $k = 0,13$ $b = 0,94$	0,9891 0,6696 0,8267	1288,74 0,31 4,27	$1,6 \times 10^{-3}$

De los modelos analizados, en el de Page y Henderson y Pabis todos los términos de los modelos realizan una contribución significativa (p valores $< 0,0001$).

En los 4 modelos analizados el cuadrado medio del error (CME) es menor a 0,01, siendo el de menor CME el modelo de Page.

Los modelos con los menores errores estándares (EE) en la estimación de los parámetros son el de Page y el de Henderson y Pabis. Los cuales son a su vez los más sencillos, por ser los modelos con menor número de parámetros.

De los 4 modelos el de Page es el de mejor ajuste, ya que todos los términos del modelo realizan una contribución significativa ($p_k < 0,0001$; $p_m < 0,0001$), el cuadrado medio del error es reducido y es el menor de todos los modelos (CME = 0,00099), posee los menores errores estándares en la estimación de los parámetros ($EE_k = 0,00036$; $EE_m = 0,04$) y cumple con el principio de simplicidad (sólo 2 parámetros, k y m).

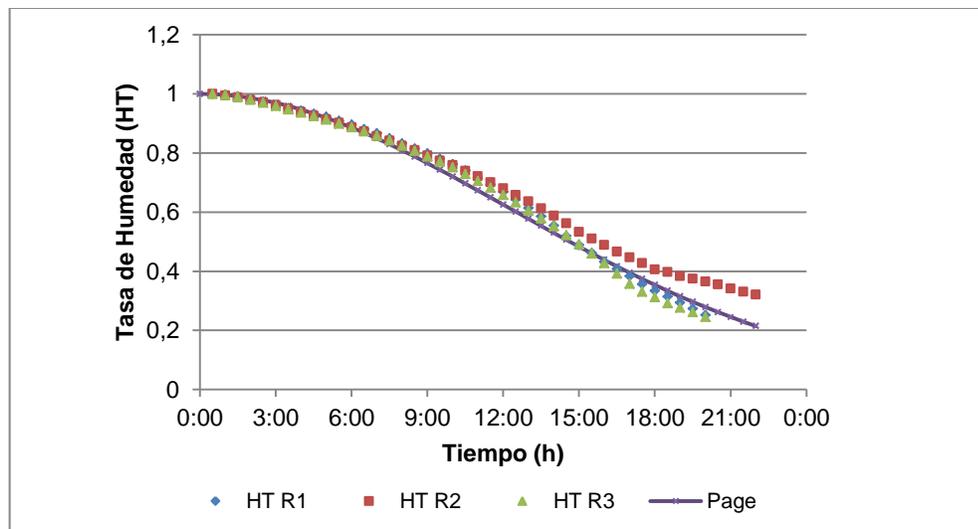


Figura 4.9 Comparación entre la tasa de humedad en el tiempo experimental y la predicha utilizando el modelo de Page para configuración CC (temperatura máxima del aire entre la fruta $85 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$, velocidad 2,5 m/s).

En la **Tabla 4.6.** se resumen los modelos con las estimaciones de cada uno de sus parámetros para la configuración en CP.

Tabla 4.6 Modelos empíricos para configuración CP (temperatura máxima del aire entre la fruta $85 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$, velocidad 2,5 m/s)

Nombre del modelo	Modelo	Valores estimados	p valor	EE	CME
Page	$H_T = \exp(-k \cdot t^m)$	k = 0,03 m = 1,32	<0,0001 <0,0001	$1,5 \times 10^{-3}$ 0,02	$7,3 \times 10^{-4}$
Logarítmico	$H_T = a \cdot \exp(-k \cdot t) + c$	a = 1,74 k = 0,03 c = -0,71	<0,0001 <0,0001 0,0008	0,2 $4,6 \times 10^{-3}$ 0,2	$9,3 \times 10^{-4}$
Henderson y Pabis	$H_T = a \cdot \exp(-k \cdot t)$	a = 1,07 k = 0,06	<0,0001 <0,0001	0,01 $1,0 \times 10^{-3}$	$1,4 \times 10^{-3}$
Aproximación a la difusión	$H_T = a \cdot \exp(-k \cdot t) + (1-a) \cdot \exp(-k \cdot b \cdot t)$	a = -0,41 k = -0,41 b = 0,35	0,0498 0,0005 0,0069	0,21 0,07 0,13	$7,1 \times 10^{-4}$

En los 4 modelos analizados, todos los términos de los modelos realizan contribuciones significativas a los mismos (p valores < 0,05). Los modelos de Page y Henderson y Pabis, presentaron p valores < 0,0001.

Los CME son menores a 0,005 en los 4 modelos evaluados. Los modelos de Page y el de Aproximación a la difusión, presentaron valores < 0,00075.

Los 4 modelos presentaron EE en la estimación de los parámetros menores a 0,22. Los modelos de Page y Henderson y Pabis, presentaron los menores EE ($\leq 0,02$). Los cuales son a la vez los más sencillos, por ser los modelos con menor número de parámetros.

De los 4 modelos el de Page es el de mejor ajuste, ya que todos los términos del modelo realizan una contribución significativa ($p_k < 0,0001$; $p_m < 0,0001$), el CME es reducido (0,00073), posee los EE en la estimación de los

parámetros reducidos ($EE_k = 0,0003$; $EE_m = 0,02$) y cumple con el principio de simplicidad (sólo 2 parámetros, k y m).

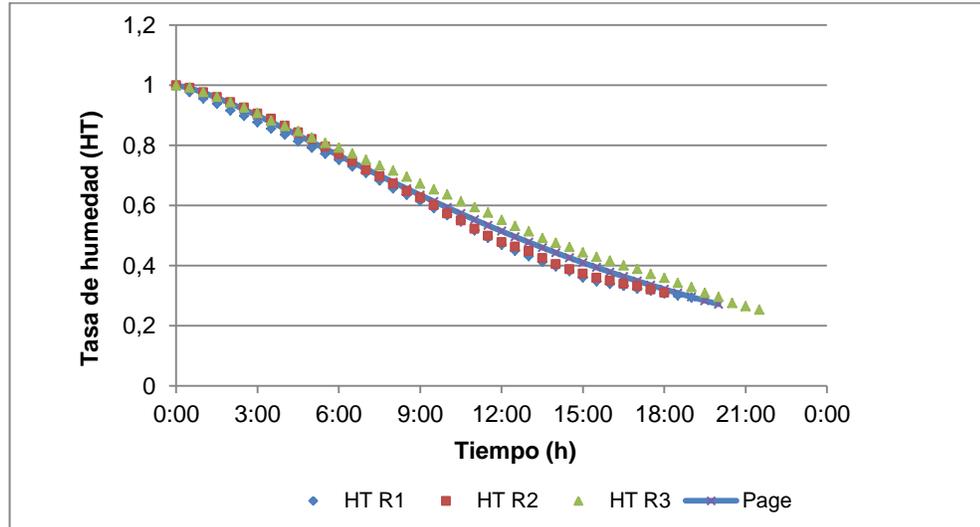


Figura 4.10 Comparación entre la tasa de humedad en el tiempo experimental y la predicha utilizando el modelo de Page para configuración CP (temperatura máxima del aire entre la fruta $85 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$, velocidad 2,5 m/s).

La **Figura 4.11** muestra el comportamiento de los promedios de la velocidad de deshidratado versus el contenido de humedad de las ciruelas d'Agén durante el proceso de secado en la configuración CC. En la misma, puede observarse que, la velocidad de deshidratado aumenta a medida que el carro va avanzando dentro del horno hacia la zona de mayor temperatura del aire. Sin embargo, cuando las ciruelas alcanzan aproximadamente un 39% de humedad la velocidad de deshidratado comienza a disminuir. Este punto, en el cual se modifica el comportamiento de la velocidad de deshidratado, determina el contenido de humedad crítica de la fruta.

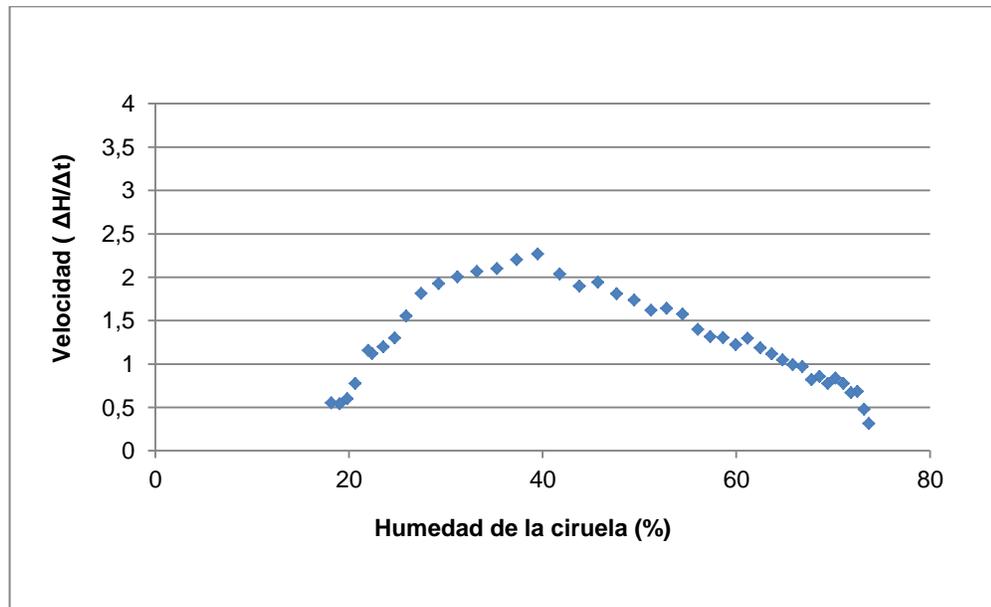


Figura 4.11 Comportamiento de la velocidad de deshidratado promedio versus el contenido de humedad promedio de las ciruelas d'Agén durante el proceso de secado en la configuración CC (temperatura máxima del aire entre la fruta $85 \pm 1,5^\circ\text{C}$, velocidad 2,5 m/s).

El contenido de humedad crítica se alcanzó en un promedio de 14 horas en la configuración a CC (**Figura 4.12**) e indica el cambio de la etapa de control evaporativo a la de control difusivo.

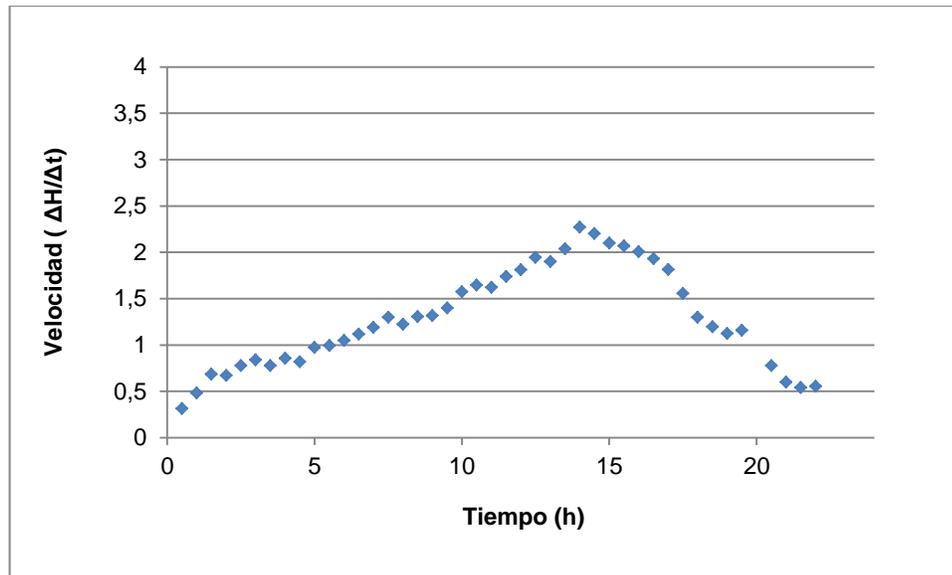


Figura 4.12 Comportamiento de la velocidad de deshidratado promedio de las ciruelas d’Agen durante el proceso de secado en la configuración CC (temperatura máxima del aire entre la fruta $85 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$, velocidad 2,5 m/s).

La **Figura 4.13** muestra el comportamiento de los promedios de la velocidad de deshidratado versus el contenido de humedad de las ciruelas d’Agen durante el proceso de secado en la configuración CP. En la misma, puede observarse que la velocidad de deshidratado aumenta levemente al iniciar el proceso de deshidratado y, posteriormente, se mantiene constante hasta que las ciruelas alcanzan aproximadamente un 39% de humedad (humedad crítica), momento en el cual la velocidad de deshidratado comienza a disminuir.

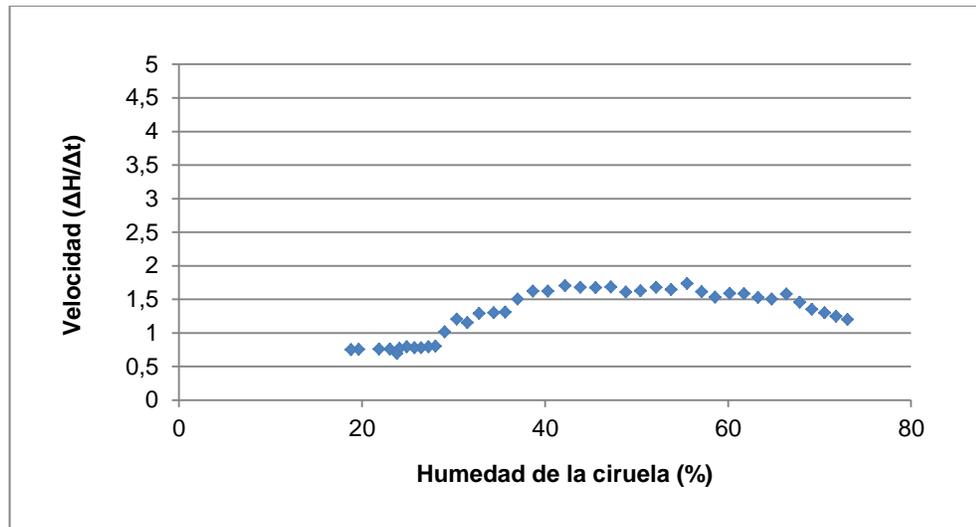


Figura 4.13 Comportamiento de la velocidad de deshidratado promedio versus el contenido de humedad promedio de las ciruelas d'Agen durante el proceso de secado en la configuración CP (temperatura máxima del aire entre la fruta $85 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$, velocidad 2,5 m/s).

El contenido de humedad crítica se alcanzó en un promedio de 11,5 horas en la configuración a CP (**Figura 4.14**) e indica el cambio de la etapa de control evaporativo a la de control difusivo.

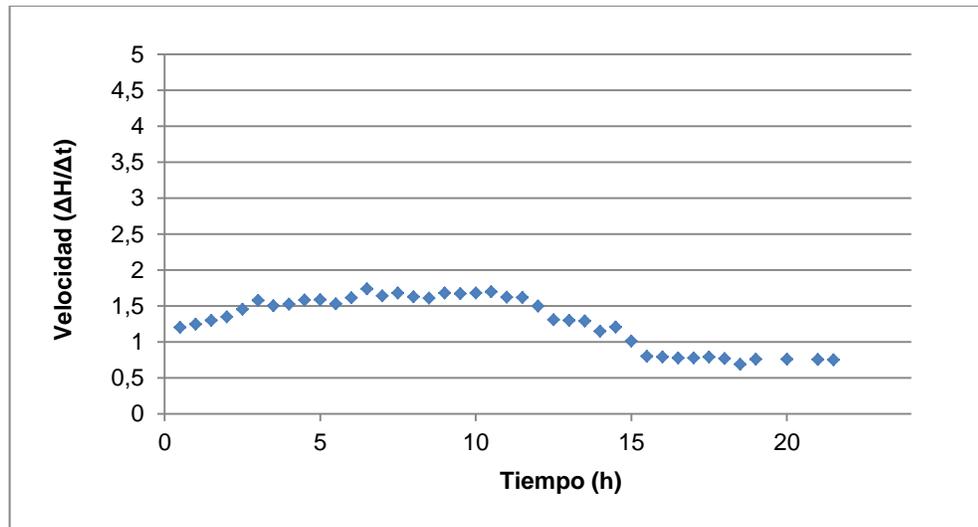


Figura 4.14 Comportamiento de la velocidad de deshidratado promedio de las ciruelas d'Agén durante el proceso de secado en la configuración CC (temperatura máxima del aire entre la fruta $85 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$, velocidad 2,5 m/s).

El hecho de que la etapa de control evaporativo sea más corta en la configuración a CP que en la configuración a CC, puede atribuirse a la mayor temperatura y menor humedad del aire de secado al iniciar el proceso en CP (**Figuras 4.2 y 4.4**).

La **difusividad efectiva** se determinó usando el método de pendientes, en la zona de control difusivo, trazando los datos experimentales de secado en términos de $\ln(HT)$ versus el tiempo de secado para la configuración a CC y a CP (**Figuras 4.15 y 4.16**). Estas figuras dan una línea recta con pendiente:

$$\left(\frac{\pi^2 D_{ef}}{R_e^2}\right).$$

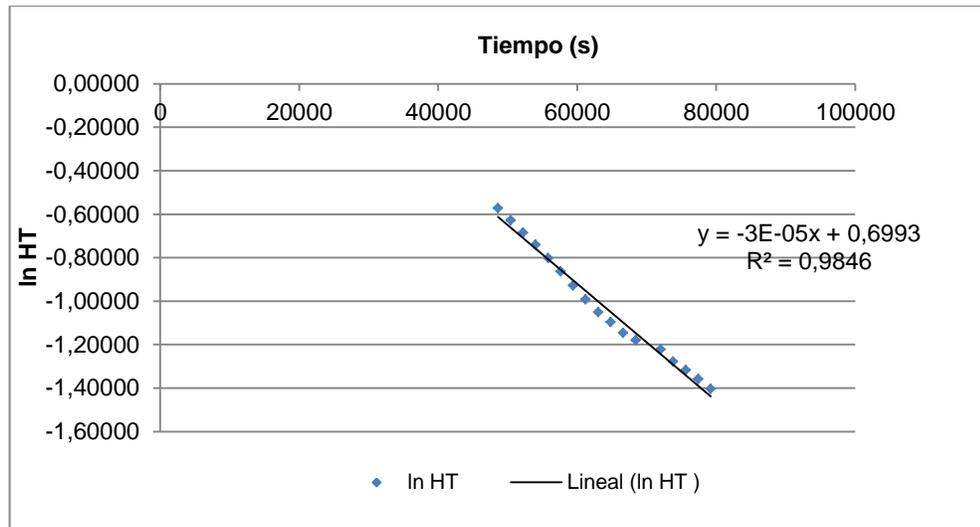


Figura 4.15 Determinación de la pendiente para cálculo de la difusividad efectiva en configuración CC (temperatura máxima del aire entre la fruta $85 \pm 1,5^\circ\text{C}$, velocidad 2,5 m/s).

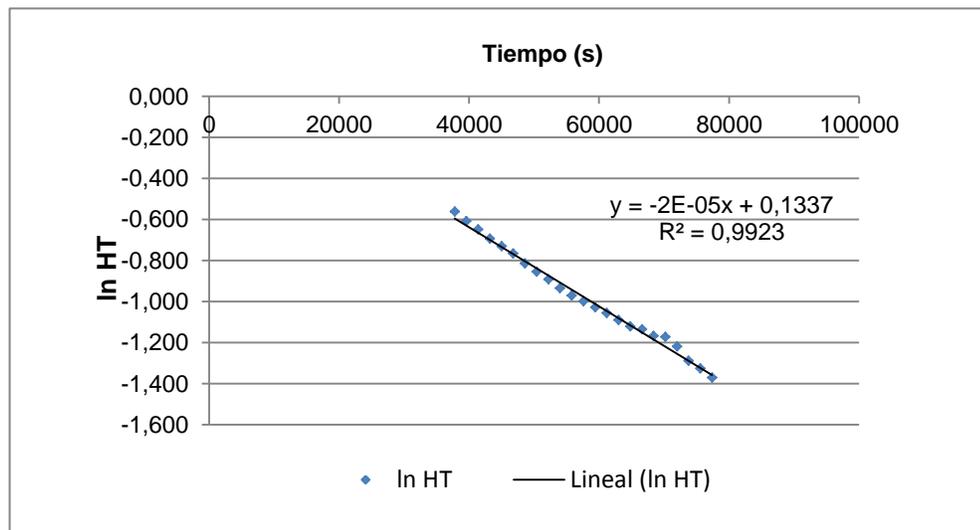


Figura 4.16 Determinación de la pendiente para cálculo de la difusividad efectiva en configuración CP (temperatura máxima del aire entre la fruta $85 \pm 1,5^\circ\text{C}$, velocidad 2,5 m/s).

En la configuración a CC se obtuvo una pendiente de -0,0003. Por lo tanto, siendo $R_e = 0,016375$ m, la difusividad efectiva fue de $8,15 \times 10^{-10}$ m²/s. Mientras que a CP (pendiente -0,0002) la difusividad efectiva fue de $5,43 \times 10^{-10}$ m²/s, siendo la etapa de control difusivo más corta a CC que a CP. Este hecho puede atribuirse a la mayor temperatura y menor humedad del aire de secado al finalizar el proceso en CC (**Figuras 4.3 y 4.5**).

Los valores hallados están dentro del rango 10^{-6} - 10^{-13} esperado para alimentos (Mujumdar, 2014). Otros autores han hallado valores similares de D_{ef} . Así en 1999, Sabarez y Price informaron valores de $4,32$ - $7,64 \times 10^{-10}$ m²/s para ciruelas deshidratadas con aire a temperaturas entre 70-80°C. Doymaz, en 2004, obtuvo valores de $2,17$ - $2,40 \times 10^{-10}$ m²/s para deshidratación por aire caliente a 65°C en ciruelas pretratadas con soluciones de etil oleato. En 2006 Sacilik *et al.* hallaron valores entre $2,66$ - $5,96 \times 10^{-10}$ m²/s para ciruelas Üryani deshidratadas a temperaturas entre 50 y 70°C con y sin pretratamientos. En 2006 Menges y Ertekin, obtuvieron valores entre $1,197 \times 10^{-7}$ y $6,671 \times 10^{-9}$ m²/s para ciruelas Stanley con y sin pretratamientos, deshidratadas a temperaturas entre 60-80°C y velocidades de viento entre 1-3 m/s. En 2007 Goyal *et al.* informaron valores de $3,04$ - $4,41 \times 10^{-10}$ m²/s para ciruelas Suttlej purple deshidratadas a temperaturas entre 55-65°C con y sin pretratamientos. Mientras que en 2010 Jazini y Hatamipour hallaron valores entre $1,016 \times 10^{-8}$ y $5,471 \times 10^{-9}$ m²/s para ciruelas Üryani deshidratadas a 85°C con pretratamientos. Las diferencias halladas por los distintos autores son atribuibles a las variedades de ciruelas utilizadas, los pretratamientos, el equipamiento utilizado, la temperatura, la velocidad del aire y otros parámetros de proceso.

4.1.2.3. Análisis y caracterización del producto

Con respecto a las **características de la ciruela deshidratada** obtenida mediante configuraciones inversas, la **actividad acuosa (a_w)** se determinó en el producto final como indicador de que el proceso había sido equivalente en ambos casos. La a_w promedio en el proceso de deshidratación a CC fue de $0,656 \pm 0,035$ y en el caso de la configuración a CP fue de $0,656 \pm 0,028$.

Los datos presentaron una distribución normal ($p_{aw} = 0,0824$) considerando un nivel de confianza del 95% (test de Shapiro-Wilks modificado). Mediante un ANAVA se comprobó que no hubieron diferencias estadísticamente significativas en la actividad acuosa ($p_{aw} = 0,9923$), en ambas configuraciones ensayadas. Asimismo, en el test LSD Fisher se observaron letras iguales indicando que no hay diferencias estadísticamente significativas con un $\alpha=0,05$ (**Anexo 1**).

Con respecto al **aspecto**, todas las muestras analizadas provenientes de ambos tratamientos (CP y CC) fueron identificadas como P: pasa. Es decir que más del 95% de las unidades evaluadas presentaron pulpa continua y uniforme (Visual) y piel elástica (Táctil) (**Tabla 4.11**).

Tabla 4.7 Evaluación de aspecto en ciruelas deshidratadas obtenidas en planta piloto en configuraciones CC y CP (temperatura máxima del aire entre la fruta $85 \pm 1,5^\circ\text{C}$, velocidad 2,5 m/s)

Nºcarro/ Repetición	CP		CC	
	Visual (%)	Táctil (%)	Visual (%)	Táctil (%)
5 (R1)	P	P	P	P
9 (R2)	P	P	P	P
13 (R3)	P	P	P	P

Respecto al aspecto, el hecho de que no hubieron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos (CP y CC), puede atribuirse a que con ciertas combinaciones de temperatura máxima y humedad mínima necesaria entre la fruta esta no presenta daños en la piel. Algunos autores observaron daños en la piel y pérdidas de jugo al deshidratar a CP (Christie en 1926 citado en Miller 1964) y otros observaron problemas de sobresecado o quemado en las bandejas superiores al deshidratar a CC (Gentry, 1965), sin embargo ninguno de estos autores midió la temperatura máxima y humedad mínima del aire entre la fruta, por lo cual los resultados no pueden compararse en dichos términos.

En cuanto a los **nutrientes** evaluados, estos presentaron distribuciones normales (p_{humedad} : 0,063; p_{cenizas} : 0,1964; $p_{\text{proteínas}}$: 0,3986; p_{fibras} : 0,7028; p_{grasas} : 0,0610; $p_{\text{hidratos de carbono}}$: 0,6115; $p_{\text{azúcares}}$: 0,0717; p_{sacarosa} : 0,1871; p_{sodio} : 0,1487; $p_{\text{valor energético}}$: 0,5172) considerando un nivel de confianza del 95% (test de Shapiro-Wilks modificado).

Mediante un ANAVA se observó que ninguno de los nutrientes evaluados presentó diferencias estadísticamente significativas respecto a la configuración empleada (**Tabla 4.7**). En todos los casos analizados los p valores fueron mayores a 0,05 (p_{humedad} : 0,6087; p_{cenizas} : 0,9705; $p_{\text{proteínas}}$: 0,3486; p_{fibras} : 0,7096; $p_{\text{grasas}} > 0,9999$; $p_{\text{hidratos de carbono}}$: 0,7202; $p_{\text{azúcares}}$: 0,6979; p_{sacarosa} : 0,0858; p_{sodio} : 0,0755; $p_{\text{valor energético}}$: 0,6707). Asimismo, en el test LSD Fisher se observaron letras iguales indicando que no hay diferencias estadísticamente significativas con un $\alpha=0,05$ (**Anexo 1**). Estos resultados indican que no hay modificaciones en el contenido de nutrientes atribuibles al cambio de configuración.

El HMF es considerado como un indicador específico utilizado para monitorear el daño térmico en los productos elaborados, especialmente en aquellos con altas concentraciones de carbohidratos. En 2016 Michalska *et al.* hallaron diferencias de entre 3,24 a 70,01 mg kg dm⁻¹ en polvos de ciruela deshidratada elaborada con diferentes tecnologías de secado (deshidratación convectiva, vacío, microondas, etc.) En los ensayos realizados el contenido de **HMF** presentó una distribución normal (p_{HMF} : 0,0578) considerando un nivel de confianza del 95% (test de Shapiro-Wilks modificado). Mediante ANAVA se observó que no presentó diferencias estadísticamente significativas respecto a la configuración empleada (**Tabla 4.7**). El p valor fue mayor a 0,05 (p_{HMF} : 0,1758). Asimismo, en el test LSD Fisher se observaron letras iguales indicando que no hay diferencias estadísticamente significativas con un $\alpha=0,05$ (**Anexo 1**). Esto estaría indicando que no hay daños térmicos asociados a la configuración empleada.

Tabla 4.8 Composición nutricional por 100 gramos de ciruelas d'Agen deshidratadas en planta piloto en configuraciones CC y CP (temperatura máxima del aire entre la fruta 85 ± 1,5°C, velocidad 2,5 m/s)

Determinación	Tratamiento	
	CP	CC
Agua (g)	18 ± 1,73	18,67 ± 1,15
Cenizas (g)	5,43 ± 0,85	5,47 ± 1,19
Proteínas (g)	2,53 ± 0,12	2,43 ± 0,12
Fibra dietaria (g)	3,73 ± 0,21	3,8 ± 0,20
Grasas Totales (g)	0,57 ± 0,06	0,57 ± 0,06
Hidratos de Carbono (g)	69,73 ± 1,37	69,07 ± 1,97
Azúcares Reductores Directos (g)	43,4 ± 3,30	42,40 ± 2,51
Sacarosa (g)	0,87 ± 0,55	1,60 ± 0,10
Contenido de sodio (mg)	22,33 ± 4,62	15,00 ± 2,65
Valor Energético (kcal)	303,5 ± 6,63	300,6 ± 9,33
HMF (mg)	3,83 ± 3,33	0,63 ± 0,55

Las concentraciones de **fenoles, flavonoides y antioxidantes totales**, evaluadas a mes 1 y mes 10, presentaron distribuciones normales ($p_{\text{fenoles totales}}: 0,1054$; $p_{\text{flavonoides totales}}: 0,0563$; $p_{\text{antioxidantes totales}}: 0,208$) considerando un nivel de confianza del 95 % (test de Shapiro-Wilks modificado) (**Anexo 1**).

Mediante un ANAVA se observó que hubieron diferencias estadísticamente significativas de acuerdo con la configuración empleada ($p_{\text{fenoles totales}} < 0,0001$; $p_{\text{flavonoides totales}} < 0,0001$; $p_{\text{antioxidantes totales}} < 0,0001$) y con el mes evaluado ($p_{\text{fenoles totales}} < 0,0001$; $p_{\text{flavonoides totales}} < 0,0001$; $p_{\text{antioxidantes totales}} < 0,0001$). Respecto a las interacciones entre la configuración y el mes, estas no fueron significativas en el caso de la concentración de fenoles totales ($p_{\text{fenoles totales}} = 0,0921$); pero si fueron significativas en cuanto a la concentración de flavonoides y antioxidantes totales ($p_{\text{flavonoides totales}} = 0,0002$; $p_{\text{antioxidantes totales}} = 0,015$) (**Anexo 1**).

Asimismo, al realizar los test LSD Fisher se observaron letras distintas entre configuraciones (CC y CP) y entre meses (1 y 10) por configuración confirmando las diferencias anteriormente mencionadas en los tres casos (**Anexo 1**).

Estos resultados indican que las muestras deshidratadas en CP presentaron mayores concentraciones de fenoles, flavonoides y antioxidantes totales que aquellas deshidratadas en CC. Dichas concentraciones disminuyeron significativamente a los 10 meses de almacenamiento manteniendo la diferencia según la configuración empleada (**Anexo 1 y Tabla 4.8**).

Por otro lado, en el caso de concentración de fenoles totales pudo observarse mediante el test LSD Fisher que las muestras deshidratadas en CP presentaron igual concentración de fenoles totales a los 10 meses que las muestras deshidratadas en CC en el mes 1 de elaboración (**Anexo 1**).

Tabla 4.9 Fenoles, flavonoides y actividad antioxidante total en ciruelas deshidratadas obtenidas en planta piloto en configuraciones CC y CP (temperatura máxima del aire entre la fruta $85 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$, velocidad 2,5 m/s)

Configuración	mes	C. Fenoles *(mg _{AG} /kg)	C. Flavonoides *(mg _{CAT} /kg)	C. Comp. Antiox. *(mg _{CLO} /mg)
CP	1	6100,31 ± 210,85	4413,35 ± 46,76	4783,85 ± 374,62
CC	1	3799 ± 190,14	2023,83 ± 116,25	2980 ± 120
CP	10	4125,03 ± 170,18	3026,55 ± 95,05	4065,21 ± 158,5
CC	10	2216,78 ± 95,54	1290,88 ± 48,86	1389,10 ± 91,32

*mg_{AG}/kg: mg de ácido gálico por kg de muestra

*mg_{CAT}/kg: mg catequina por kg de muestra

*mg_{CLO}/kg: mg de ácido clorogénico por kg de muestra

En el presente ensayo pudieron observarse que diferencias en las concentraciones de fenoles, flavonoides y antioxidantes totales estas pueden deberse a la presencia o ausencia de fenómenos oxidativos según la configuración empleada y podrían atribuirse a dos razones principales:

Por un lado, en la configuración a CP la pérdida de agua es mayor en las primeras horas del proceso que en la configuración a CC (cuando se parte de un peso inicial promedio de 300 kg por carro, éste se reduce a la mitad en 12,36 horas en la caso de la configuración en CC y en 9,48 horas en CP, **Figuras 4.5 y 4.6**). En consecuencia, si el período del proceso necesario para disminuir la actividad de agua es menor, se aumenta la posibilidad de reducir en dicho lapso la actividad de las enzimas que participan en la degradación de algunos compuestos químicos que otorgan las propiedades nutracéuticas al producto (Rockland y Stewart, 1981; Labuza, 1980). Algunos autores (Casp Vanaclocha y Abril, 2003; Karel, 1979) sugieren que la actividad enzimática no se afecta por la disminución de la actividad acuosa, sino que las velocidades de reacción

enzimática sobre los compuestos fenólicos se ven disminuidas. Esto podría deberse a que para transportar el sustrato hacia la enzima se requiere una cantidad de agua libre mínima. Así, mientras menor sea la cantidad de agua disponible menor será la cantidad de sustrato que llegue a la enzima, y consecuentemente, menor será la velocidad de la reacción enzimática (Urfalino, 2009). De este modo, en la deshidratación a CP las velocidades de reacción enzimática sobre los compuestos fenólicos y flavonoides se verían disminuidas y los productos obtenidos tendrían una mayor luminosidad e intensidad del color rojo.

Por otro lado, en la configuración a CP las temperaturas de proceso iniciales son mayores que en CC (en CP la temperatura entre la fruta alcanza valores superiores a 80°C en 2 horas, mientras que a CC recién llega a valores cercanos a los 80°C a las 12 horas de proceso, **Figuras 4.1 y 4.2**) lo cual podría dar lugar a la desnaturalización total o parcial de la enzima polifenoloxidasasa (PPO) contribuyendo a la menor degradación de compuestos fenólicos, flavonoides y antioxidantes, y a una menor degradación del color. Al respecto, en 1989, Raynal *et al.* informaron que en la deshidratación de ciruelas D'ente la PPO se inactivaba un 80% en 4 horas a 75°C y en menos de 2 horas a 95°C.

Asimismo, estos resultados son coincidentes con los obtenidos por otros autores (Vangdal *et al.*, 2017; Urfalino, 2009; Raynal *et al.*, 1989) en cuanto al comportamiento de los compuestos fenólicos y antioxidantes mayoritarios en ciruela deshidratada a escala laboratorio a temperaturas constantes. Estos autores demostraron que a mayores temperaturas y menores tiempos de proceso había una menor degradación de los compuestos antioxidantes totales en las ciruelas deshidratadas obtenidas.

Al respecto, en 2017 Vangdal *et al.* informaron que mediante secado solar de ciruelas de las variedades Jubileum, Reeves y Victoria, a temperaturas entre 25 y 45°C y humedades relativas entre 35 y 55%, el proceso de secado se llevó a cabo en 8 días y presentó un contenido de fenoles totales significativamente inferior que en el proceso llevado a cabo en horno a 55°C y humedades relativas de 15 a 17%, en donde el proceso se llevó a cabo en 3 días.

Con respecto a ciruela d'Agen en ensayos realizados a una temperatura constante de secado a 70 y a 80°C se observó que la concentración de fenoles totales, flavonoides totales y la capacidad antioxidante total fueron altamente dependientes de la temperatura y del tiempo de procesado durante el secado (el cual fue 8 horas más largo a 70°C que a 80°C). Así, en las ciruelas deshidratadas a 70°C, el contenido de fenoles totales fue de 3780,53 ± 142,46 mg equivalentes de ácido gálico/kg de muestra, el contenido de flavonoides totales fue de 2134,43 ± 188,76 mg equivalentes de catequina/kg de muestra y la capacidad antioxidante total fue de 3040,4 ± 273 mg equivalentes de ácido clorogénico/kg de muestra; mientras que a temperatura constante de secado a 80°C el contenido de fenoles totales fue de 4214,16 ± 201,32 mg equivalentes de ácido gálico/kg de muestra, el contenido de flavonoides totales fue de 3179,68 ± 15,39 mg equivalentes de catequina/kg de muestra y la capacidad antioxidante total 4210,66 ± 81,71 mg equivalentes de ácido clorogénico/kg de muestra (Urfalino, 2009)

Por otro lado, en 1989 Raynal *et al.*, observaron que en ciruela D'ente 707 la degradación de la rutina (flavonoide mayoritario en ciruelas) es mayor a medida que aumenta el tiempo de secado a altas temperaturas.

No se halló información con la cual contrastar la evolución de estos compuestos durante el periodo de almacenaje en ciruelas deshidratadas.

Los datos promedio de los **parámetros de color en piel** (L^* , a^* , b^*) se presentan en la **Tabla 4.9**. Los mismos presentaron distribuciones normales ($p_{L^*} = 0,358$; $p_{a^*} = 0,2791$; $p_{b^*} = 0,2466$) considerando un nivel de confianza del 95% (test de Shapiro-Wilks modificado) (**Anexo 1**).

En el análisis estadístico a través de un ANAVA se observó que los parámetros L^* (luminosidad) y a^* (rojo) presentaron diferencias significativas respecto a la configuración empleada ($p_{L^*} = 0,0204$; $p_{a^*} = 0,0484$), pero no respecto al mes ($p_{L^*} = 0,3043$; $p_{a^*} = 0,1256$). Mientras que el parámetro b^* no presentó diferencias significativas respecto a la configuración empleada ($p = 0,0523$) ni respecto al mes ($p = 0,1614$) (**Anexo 1**).

Posteriormente, mediante el test LSD Fisher pudo observarse que en el caso del parámetro a^* hubieron diferencias significativas entre el mes 1 y el mes 10 en ambas configuraciones (CC y CP) (**Anexo 1**), lo cual indicaría una disminución en la intensidad del rojo durante el periodo de almacenaje.

Tabla 4.10 Color en piel en ciruelas deshidratadas obtenidas en planta piloto en configuraciones CC y CP (temperatura máxima del aire entre la fruta $85 \pm 1,5^\circ\text{C}$, velocidad 2,5 m/s)

mes	CP			CC		
	L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*
1	21,32 ± 2,86	7,88 ± 1,01	5,69 ± 0,68	18,67 ± 1,17	3,64 ± 1,99	2,44 ± 0,70
4	19,21 ± 2,13	7,32 ± 1,47	5,22 ± 1,65	17,21 ± 2,12	3,30 ± 0,90	2,27 ± 0,81
7	20,02 ± 1,50	4,61 ± 1,71	3,55 ± 1,19	17,40 ± 1,75	2,88 ± 0,49	2,27 ± 0,34
10	22,67 ± 5,18	2,26 ± 0,88	1,62 ± 0,39	17,57 ± 1,28	1,41 ± 0,20	1,04 ± 0,14

Los resultados de color en piel se hayan estrechamente vinculados a las oxidaciones sufridas por los compuestos antioxidantes y coinciden con la observación realizada por Miller en 1964, quien expresó que las ciruelas deshidratadas en CP presentaron un color rojo más intenso que aquellas deshidratadas a CC y que esta diferencia fue disminuyendo a lo largo del periodo de almacenaje.

Los datos promedio de los **parámetros de color en pulpa** se presentan en la **Tabla 4.10**. Los mismos presentaron distribuciones normales ($p_L= 0,0503$; $p_{a^*}= 0,3074$; $p_{b^*}= 0,1688$) considerando un nivel de confianza del 95 % (test de Shapiro-Wilks modificado) (**Anexo 1**).

Se observó que L^* , a^* y b^* no presentaron diferencias significativas respecto a la configuración empleada ($p_{L^*}> 0,999$; $p_{a^*}= 0,7888$; $p_{b^*}= 0,6638$); pero sí respecto al tiempo de almacenamiento (mes) ($p_{L^*}= 0,004$; $p_{a^*}= 0,0241$; $p_{b^*}= 0,0006$) (**Anexo 1**).

Mediante los test LSD Fisher pudieron observarse las diferencias significativas para los tres parámetros entre los meses de almacenamiento en ambas configuraciones (CC y CP) (**Anexo 1**). La disminución de estos parámetros con el tiempo podrían estar vinculados a procesos de oxidación.

Tabla 4.11 Color en pulpa en ciruelas deshidratadas obtenidas en planta piloto en configuraciones CC y CP (temperatura máxima del aire entre la fruta $85 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$, velocidad 2,5 m/s)

mes	CP			CC		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*
1	50,36 ± 2,36	16,69 ± 1,22	45,04 ± 2,62	49,63 ± 2,98	16,52 ± 1,20	44,47 ± 3,37
4	32,69 ± 4,93	13,40 ± 1,61	23,86 ± 6,79	32,17 ± 3,78	14,47 ± 2,59	24,07 ± 7,36
7	31,06 ± 2,95	15,75 ± 2,24	19,59 ± 7,52	29,64 ± 3,13	14,12 ± 3,71	16,82 ± 5,52
10	22,84 ± 3,38	8,36 ± 2,03	7,88 ± 2,15	24,54 ± 3,08	10,29 ± 2,73	9,84 ± 2,49

4.1.3. Conclusión

Los tiempos de residencia a CC y CP no presentaron diferencias estadísticamente significativas, por lo tanto ambas configuraciones poseen la misma capacidad de secado.

La variación de temperatura y humedad del aire en el interior del túnel no ocurre de manera lineal. En CC la temperatura aumenta y la humedad disminuye, de manera sostenida. En CP la temperatura disminuye y la humedad aumenta oscilando en pulsos.

La pérdida de peso inicial es más rápida en la configuración en CP. Sin embargo, la reducción final deseada o sea 1/3 del peso inicial se logra en tiempos de residencia equivalentes para ambas configuraciones.

Los datos obtenidos experimentalmente de la tasa de pérdida de humedad en función del tiempo presentaron un excelente ajuste con el modelo empírico de Page en ambas configuraciones.

El contenido de humedad crítica es de 39% aproximadamente. El mismo se alcanzó en un promedio de 14 horas en la configuración a CC y en 11,5 horas a CP, siendo la etapa de control evaporativo menor a CP que a CC. Por otro lado, la difusividad efectiva fue de $8,15 \times 10^{-10}$ para CC y de $5,434 \times 10^{-10}$ m²/s para CP, siendo la etapa de control difusivo menor a CC que a CP. Lo cual explica que los tiempos de residencia necesarios en ambas configuraciones para obtener ciruelas con un contenido de humedad de $20 \pm 2\%$ no hayan presentado diferencias estadísticamente significativas.

La a_w , humedad, cenizas, proteínas, fibras, grasas, hidratos de carbono, azúcares, sacarosa, sodio, valor energético, HMF, color en pulpa (parámetros L^* , a^* y b^*), y el aspecto de las ciruelas deshidratadas obtenidas a CC y a CP no presentaron diferencias estadísticamente significativas independientemente de la configuración evaluada.

Las ciruelas deshidratadas en CP presentaron un color rojo más intenso (mayores valores de a^* y L^*) que aquellas deshidratadas a CC. Las concentraciones de fenoles, flavonoides y antioxidantes totales fueron mayores a CP que en aquellas deshidratadas en CC.

El parámetro de color en piel a^* de los productos obtenidos a CP y a CC, así como las concentraciones de fenoles, flavonoides y antioxidantes totales disminuyeron significativamente a los 10 meses de almacenamiento.

Los resultados demuestran la relevancia que tiene para el sector industrial el disponer de información que contribuya a la toma de decisiones en la industria. El conocimiento de las ventajas y desventajas de cada configuración, de sus condiciones óptimas de operación, así como la necesidad de monitorear y controlar dichas condiciones durante la deshidratación industrial de ciruelas es indispensable para la optimización de los procesos.

El cambio de configuración y de la logística no se justifica económicamente por motivos vinculados a las capacidades de producción ni al gasto energético ya que operados de manera eficiente ambas configuraciones son equivalentes en dichos aspectos.

4.2. Comparación entre configuración en paralelo y en contracorriente en industria

La evaluación de las configuraciones a CC y CP en industria se realizó fijando la temperatura de los quemadores en 82°C, para asegurar que la **temperatura máxima entre la fruta fuera $85 \pm 1,5^\circ\text{C}$** , y la velocidad de aire se reguló a flujo constante de 2,5 m/s. La diferencia entre la temperatura de corte de los quemadores de industria respecto a las de planta piloto se debe a que los hornos industriales poseen mayor inercia térmica y retardo en el lazo de control.

4.2.1. Materiales y métodos

La materia prima y los hornos utilizados se describen en el capítulo 3, apartados 3.2.1.1 y 3.2.1.2.

4.2.1.1. Deshidratación

Para evaluar la configuración a CC, se cargó un túnel con 16 carros (con aproximadamente 575 ± 20 kg de ciruelas frescas), y se encendió. Cuando el carro que se ubicaba frente al quemador alcanzó $20 \pm 2\%$ de humedad (determinado al tacto por el hornero), se retiró e ingresó en el sistema un nuevo carro, en ese momento se consideró que el horno se hallaba en régimen. Luego,

cada vez que se retiró un carro por el extremo de mayor temperatura del horno se repuso un carro con fruta fresca en el extremo de menor temperatura del mismo.

Para la configuración a CP, se cargó el otro túnel (del mismo horno) inicialmente con un solo carro ubicado frente al quemador, este permaneció en esa posición durante 2 horas. Luego se fueron introduciendo de a uno los carros restantes. Posteriormente, cuando el carro N° 1 alcanzó $20 \pm 2\%$ de humedad se repuso un carro con fruta fresca por el extremo de mayor temperatura, en ese momento se consideró que el horno se hallaba en régimen. Luego, cada vez que se retiró un carro por el extremo de menor temperatura del horno se repuso un carro con fruta fresca en el extremo de mayor temperatura del mismo.

A partir del segundo día de trabajo, con ambos túneles en régimen, se registraron la cantidad de carros extraídos por túnel (con diferente configuración CP y CC) durante 6 días en cada turno de trabajo, con el objetivo de comparar la **capacidad de producción** de cada configuración. Ésta fue definida como la cantidad de carros, con ciruela deshidratada al $20 \pm 2\%$ de humedad final, extraídos por túnel en cada turno de trabajo (6 repeticiones).

El **gasto energético** para cada configuración evaluada (CC y CP) se determinó a través de lectura diaria del consumo de gas del caudalímetro de cada horno, a partir de que estos entran en régimen (día 2).

Por otro lado, se colocaron sensores de temperatura-humedad a fin de registrar estas variables e identificar la **máxima temperatura y mínima humedad** a la que está expuesta la fruta durante el procesado. Los mismos se colocaron en la segunda bandeja, contando de arriba hacia abajo, del primer carro ingresado por túnel (operando a CC y operando a CP) los días 2, 4 y 6 (3 repeticiones).

A su vez, de dichos carros, se extrajo aleatoriamente de la segunda bandeja (de arriba hacia abajo) una muestra de 500 g ciruelas deshidratadas, sobre la cual se realizaron determinaciones de **humedad, a_w y aspecto**, siguiendo la metodología descrita en el apartado 3.1.1.3. Las muestras extraídas se colocaron en bolsas individuales de polietileno de alta densidad identificadas hasta su análisis. Las determinaciones se realizaron por triplicado.

4.2.1.2. Análisis estadístico

Los resultados obtenidos se analizaron mediante el software estadístico InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2016).

La evaluación de la **capacidad de producción** y de los parámetros de **caracterización de los productos** obtenidos se realizaron mediante pruebas de normalidad de los datos, análisis de la varianza (ANAVA) y comparación de las medias por test Least Significant Difference (LSD) (Balzarini *et al.*, 2011). En todos los análisis efectuados se utilizó un nivel de confianza del 95%.

4.2.2. Resultados y discusión

4.2.2.1. Deshidratación

La **capacidad de producción por configuración** para cada configuración CP y CC, en cada turno de trabajo se presentan en la **Tabla 4.12**.

Tabla 4.12 Carros extraídos por boca en industria en configuraciones CC y CP (temperatura máxima del aire entre la fruta $85 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$, velocidad 2,5 m/s)

FECHA	TURNO	Carros extraídos a CP	Carros extraídos a CC
día 2	MAÑANA	4	5
día 2	TARDE	2	5
día 2	NOCHE	2	4
día 3	MAÑANA	4	5
día 3	TARDE	6	5
día 3	NOCHE	2	4
día 4	MAÑANA	3	4
día 4	TARDE	4	6
día 4	NOCHE	11	6
día 5	MAÑANA	1	5
día 5	TARDE	6	4
día 5	NOCHE	4	5
día 6	MAÑANA	5	7
día 6	TARDE	3	4
día 6	NOCHE	2	6
día 7	MAÑANA	5	3
día 7	TARDE	7	4
día 7	NOCHE	3	6

La capacidad de producción en ambas configuraciones presentó una distribución normal ($p = 0,0976$) considerando un nivel de confianza del 95% (test de Shapiro-Wilks modificado) (**Anexo 1**). Posteriormente se realizó un ANAVA, el cual arrojó un valor de $p = 0,222$, respecto al tipo de configuración empleada, indicando que no hay diferencias significativas entre ambos tratamientos, concordando con el resultado obtenido a escala planta piloto. A su vez, no se observaron diferencias significativas respecto a la cantidad de carros procesados por turno ($p = 0,8477$), por lo cual no habrían efectos atribuibles a inercias térmicas medioambientales que pudieran estar afectando al proceso.

El **gasto energético** expresado en consumo de gas en m³/día utilizado por día para cada configuración evaluada (CC y CP) se resume en la **Tabla 4.13**.

Tabla 4.13 Consumo de gas en industria por configuración (temperatura máxima del aire entre la fruta 85 ± 1,5°C, velocidad 2,5 m/s)

FECHA	Consumo de gas en m ³ /día a CP	Consumo de gas en m ³ /día a CC
día 2	363,5	644,0
día 3	538,0	652,0
día 4	838,5	727,0
día 5	506,0	644,0
día 6	460,0	762,5
día 7	698,5	590,5

El consumo de gas en ambas configuraciones presentó una distribución normal ($p = 0,953$) considerando un nivel de confianza del 95% (test de Shapiro-Wilks modificado) (**Anexo 1**). Posteriormente, se realizó un ANAVA, el cual arrojó un valor de $p = 0,201$, respecto al tipo de configuración empleada, indicando que no hay diferencias significativas entre ambos tratamientos.

Considerando los promedios obtenidos para la cantidad de carros que se pueden procesar por día por disposición evaluada, con una capacidad de 575 ± 25 kg por carro y el consumo de gas promedio por día para cada disposición. Se concluye que en ambas configuraciones se utilizan aproximadamente $0,079 \pm 0,010$ m³ de gas por kilogramo de ciruela fresca que se deshidrata a $20 \pm 2\%$ de humedad.

En la **Figura 4.17** se observa el comportamiento de la **temperatura del aire** entre la fruta en un carro en el interior de un horno de deshidratado a **CC**. La temperatura se incrementa sostenidamente a medida que el carro avanza dentro del túnel.

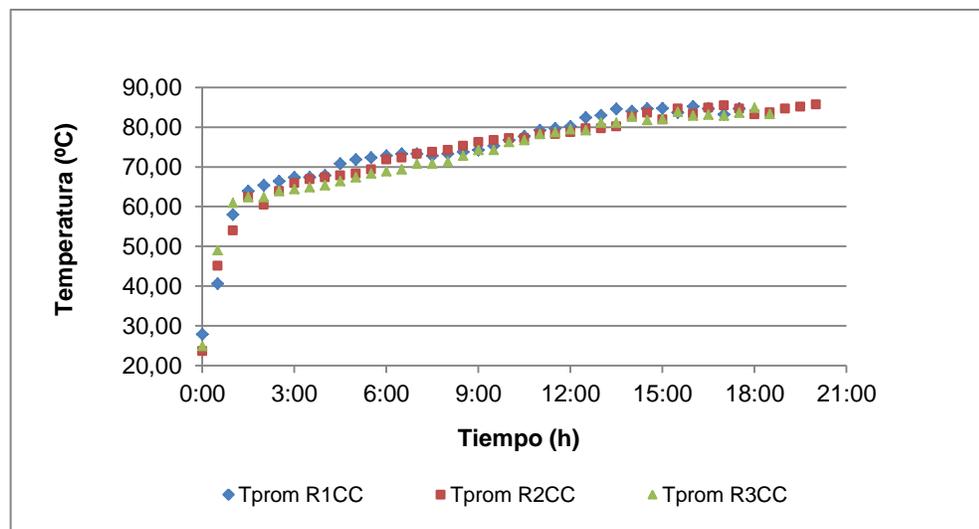


Figura 4.17 Temperatura entre la fruta durante el ensayo realizado en **CC** a escala industrial (temperatura máxima del aire entre la fruta $85 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$, velocidad $2,5 \text{ m/s}$).

Por otro lado, en el caso de la configuración en **CP**, se pueden observar distintas etapas (o pulsos), en las cuales la **temperatura** va incrementándose inicialmente y baja abruptamente con el ingreso de un nuevo carro en el sistema (**Figura 4.18**).

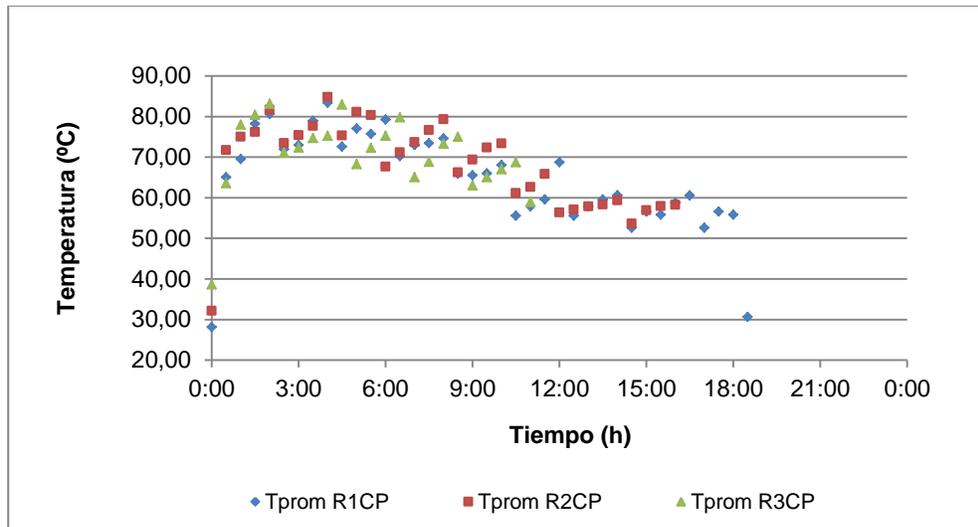


Figura 4.18 Temperatura entre la fruta durante el ensayo realizado en CP a escala industrial (temperatura máxima del aire entre la fruta $85 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$, velocidad $2,5 \text{ m/s}$).

Respecto a la **humedad del aire** entre la fruta, en la configuración a **CC**, esta disminuye a medida que el carro avanza dentro del túnel alcanzando humedades mínimas entre la fruta de $12 \pm 2\%$ (**Figura 4.19**).

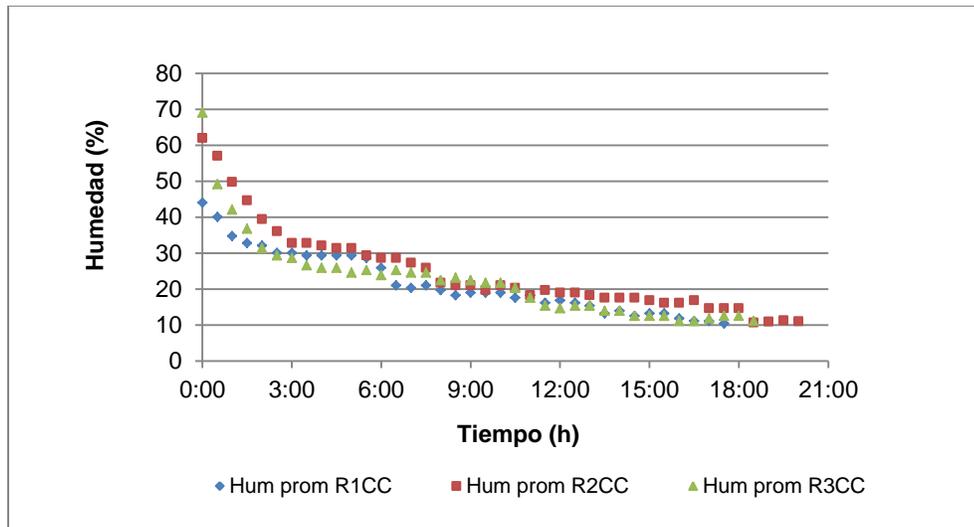


Figura 4.19 Humedad promedio entre la fruta durante el ensayo realizado en CC a escala industrial (temperatura máxima del aire entre la fruta $85 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$, velocidad 2,5 m/s).

Mientras que, en el caso de la configuración **CP**, la **humedad del aire** entre la fruta presenta un comportamiento por pulsos disminuyendo al aumentar la temperatura y aumentando con el ingreso de un nuevo carro con fruta fresca en el sistema (**Figura 4.20**).

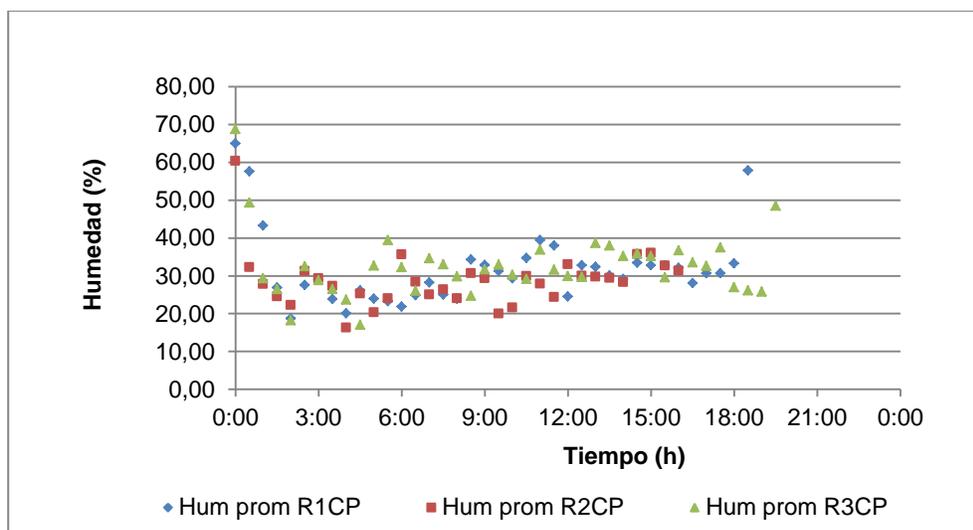


Figura 4.20 Humedad promedio entre la fruta durante el ensayo realizado en CP a escala industrial (temperatura máxima del aire entre la fruta $85 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$, velocidad 2,5 m/s).

Los resultados obtenidos para los ensayos realizados en industria son coincidentes a los informados para ambos sistemas (CP y CC) en los ensayos realizados en planta piloto.

4.2.2.2. Análisis y caracterización del producto obtenido

En cuanto a la **caracterización del producto** obtenido industrialmente pudo observarse que (al igual que en los ensayos a escala piloto) no hubieron diferencias estadísticamente significativas en la humedad y a_w . Esto indica que se obtuvieron productos finales equivalentes en cuanto a su estabilidad en el tiempo y necesidad industrial y avala la comparación de los tratamientos en cuanto a capacidad de producción.

La **humedad** final promedio del producto obtenido fue de $19,83 \pm 1,21\%$ a CC y de $20,17 \pm 1,29\%$ a CP, mientras que la **actividad acuosa** fue de $0,620 \pm$

0,018 a CC y de $0,625 \pm 0,019$ a CP. Los datos presentaron una distribución normal tanto para la humedad ($p = 0,217$) como para a_w ($p = 0,2$) considerando un nivel de confianza del 95% (test de Shapiro-Wilks modificado). A través de un ANAVA se comprobó que no hubieron diferencias estadísticamente significativas en humedad ni en a_w independientemente de la configuración evaluada ($p_{\text{humedad}} = 0,7009$; $p_{a_w} = 0,6545$). Asimismo, en los test LSD Fisher se observaron letras iguales indicando que no hay diferencias significativas entre los tratamientos con un $\alpha=0,05$ (**Anexo 1**).

En relación al **aspecto** todas las muestras analizadas provenientes de ambos tratamientos (CC y CP) fueron identificadas como P: pasa. Es decir que más del 95% de las unidades evaluadas presentaron pulpa continua y uniforme (Visual) y piel elástica (Táctil).

4.2.3. Conclusión

Los resultados a nivel industrial fueron predecibles, ya que presentaron el mismo comportamiento que los obtenidos en planta piloto.

La capacidad de producción y el consumo de gas a CC y CP no presentaron diferencias estadísticamente significativas, por lo tanto, ambas configuraciones poseen la misma capacidad de secado.

En CC la temperatura aumenta y la humedad disminuye, de manera sostenida. Mientras que en CP la temperatura disminuye y la humedad aumenta oscilando en pulsos.

La a_w , humedad y el aspecto de las ciruelas deshidratadas obtenidas a CC y a CP no presentaron diferencias estadísticamente significativas independientemente de la configuración evaluada.

Al igual que en los ensayos realizados a escala piloto se concluye que el cambio de configuración y de la logística no se justifica económicamente por motivos vinculados a las capacidades de producción ni al gasto energético ya que operados de manera eficiente ambas configuraciones son equivalentes en dichos aspectos.

5. CONCLUSIONES GENERALES

El presente trabajo tuvo por objetivo evaluar y modelar el proceso de deshidratación de ciruelas d'Agen en túneles de configuraciones inversas (contracorriente y corriente paralela) y caracterizar el producto obtenido por sus propiedades físicas, nutricionales y la estabilidad de sus compuestos antioxidantes. Su finalidad es generar la información necesaria para que las empresas elaboradoras de ciruelas deshidratadas puedan tomar decisiones acertadas para optimizar sus procesos y/o ampliar su capacidad de producción.

Los ensayos de comparación de configuraciones se realizaron en planta piloto y en industria.

Para poder realizar la comparación con iguales parámetros de operación (temperatura y velocidad del aire), debió hallarse la temperatura óptima del aire de secado a emplear. Debido a que la configuración a CC ha sido cuestionada por diversos autores, los cuales expresan que la máxima temperatura segura entre la fruta en la deshidratación es de 75°C (Miller, 1964; Gentry, 1965; Bain y Mc Bean, 1967), se abordó en una primer etapa (Capítulo 3) la determinación de la temperatura máxima del aire de secado a emplear en la configuración a CC, considerando que se redujeran los tiempos de proceso sin manifestar modificaciones indeseadas en la calidad en el producto obtenido. Para ello, se evaluaron 2 temperaturas de corte de quemador, que aseguraran temperaturas máximas entre la fruta de $80 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$ (T1) y $85 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$ (T2) respectivamente, utilizando una velocidad de aire constante de 2,5 m/s, en el sistema a CC. En planta piloto al utilizar T2 se logró una reducción (respecto a T1) de 4 horas en promedio del tiempo de deshidratación. Mientras que en industria, el comportamiento fue similar, logrando una reducción de 3 horas en promedio del tiempo de deshidratación. Por otro lado, tanto en planta piloto como en

industria, la caracterización del producto obtenido (humedad, a_w , color en pulpa y aspecto) no presentó diferencias estadísticamente significativas independientemente de la temperatura del aire entre la fruta evaluada (T1 y T2). Al ser la reducción del tiempo de proceso deseable y no habiendo modificaciones en calidad del producto obtenido, se escogió como condición óptima de funcionamiento para los ensayos posteriores que la temperatura máxima entre la fruta fuera $85 \pm 1,5^\circ\text{C}$ (T2).

Posteriormente, se evaluaron las configuraciones en contra corriente (CC) y en corriente paralela (CP), utilizando $85 \pm 1,5^\circ\text{C}$ de temperatura máxima entre la fruta y velocidad de aire constante de 2,5 m/s (Capítulo 4).

En planta piloto se observó que los tiempos de residencia a CC y CP no presentaron diferencias estadísticamente significativas.

La variación de temperatura y humedad del aire en el interior del túnel no ocurrieron de manera lineal. En CC la temperatura aumentó y la humedad disminuyó de manera sostenida; mientras que en CP la temperatura disminuyó y la humedad aumentó oscilando en pulsos.

La pérdida de peso inicial fue más rápida en la configuración en CP. Sin embargo, la reducción final deseada o sea 1/3 del peso inicial se logró en tiempos de residencia equivalentes para ambas configuraciones.

Los datos obtenidos experimentalmente de la tasa de pérdida de humedad en función del tiempo, presentaron el mejor ajuste con el modelo empírico de Page en ambas configuraciones. El contenido de humedad crítica fue de 39% aproximadamente. El mismo se alcanzó en un promedio de 14 horas en la configuración a CC y en 11,5 horas a CP, siendo la etapa de control evaporativo menor a CP que a CC. Por otro lado, la difusividad efectiva fue de

$8,15 \times 10^{-10}$ para CC y de $5,434 \times 10^{-10}$ m²/s para CP, siendo la etapa de control difusivo menor a CC que a CP. Lo cual explica que los tiempos de residencia necesarios en ambas configuraciones para obtener ciruelas con un contenido de humedad de $20 \pm 2\%$ no hayan presentado diferencias estadísticamente significativas. La difusividad efectiva para ambas configuraciones, se encuentra dentro del rango 10^{-6} - 10^{-13} esperado para alimentos.

La a_w , humedad, cenizas, proteínas, fibras, grasas, hidratos de carbono, azúcares, sacarosa, sodio, valor energético, HMF, y el aspecto de las ciruelas deshidratadas obtenidas a CC y a CP no presentaron diferencias estadísticamente significativas independientemente de la configuración evaluada.

El color en piel de las ciruelas deshidratadas en CP presentaron un color rojo más intenso, mayores valores de a^* y de L^* , que aquellas deshidratadas a CC. Siendo el valor de a^* en CP en el mes 1 de $7,88 \pm 1,01$ y el de L^* $21,32 \pm 2,86$, mientras que a CC fueron a^* $3,64 \pm 1,99$ y L^* $18,67 \pm 1,17$.

El color en pulpa (parámetros L^* , a^* y b^*) de las ciruelas deshidratadas obtenidas a CC y a CP no presentaron diferencias estadísticamente significativas independientemente de la configuración evaluada.

Las concentraciones de fenoles, flavonoides y antioxidantes totales fueron mayores a CP que en aquellas deshidratadas en CC. Siendo en el mes 1 de $6100,31 \pm 210,85$ mg_{AG}/kg, $4413,35 \pm 46,76$ mg_{CAT}/kg y $4783,85 \pm 374,62$ mg_{CLO}/kg a CP y de $3799 \pm 190,14$ mg_{AG}/kg, $2023,83 \pm 116,25$ mg_{CAT}/kg y 2980 ± 120 mg_{CLO}/kg a CC.

El parámetro de color en piel a* de los productos obtenidos a CP y a CC, así como las concentraciones de fenoles, flavonoides y antioxidantes totales disminuyeron significativamente a los 10 meses de almacenamiento.

En industria los perfiles de temperatura y humedad entre la fruta se comportaron del mismo modo que en planta piloto para ambas configuraciones.

No se observaron diferencias significativas en el gasto energético expresado como consumo total de gas ni en la capacidad de producción de ambas configuraciones. En ambas configuraciones se utilizan aproximadamente $0,079 \pm 0,010 \text{ m}^3$ de gas por kilogramo de ciruela fresca que se deshidrata a $20 \pm 2\%$ de humedad.

Mediante los ensayos realizados a escala industrial se confirmaron los resultados obtenidos en planta piloto aportando robustez a los mismos. A su vez, se minimizaron los posibles errores o efectos que no pueden controlarse trabajando en un solo túnel, tales como:

- La variabilidad en la materia prima durante el periodo del ensayo.
- Los fenómenos climáticos los cuales modifican los factores externos (temperatura y humedad). Estas variaciones no son totalmente cubiertas por el sistema de automatización de apertura y cierre de las puertas lateral y externa y de recirculación de aire.

En el caso de no minimizar estos factores se podrían cometer errores en las comparaciones de eficiencia y tiempos de residencia en los distintos sistemas.

Al poder trabajar en CC a la misma temperatura de corte de quemador que en CP sin perjudicar la calidad del producto final y con la misma capacidad de producción, no se justificaría un cambio en la configuración. Solamente se

obtuvieron diferencias significativas entre configuraciones en cuanto al color en piel y el contenido de fenoles, flavonoides y antioxidantes totales. Sin embargo, estos parámetros van disminuyendo con el tiempo de almacenamiento.

Cabría contemplar en estudios posteriores el efecto de la utilización de las configuraciones a CC y CP sobre parámetros de calidad del producto obtenido en términos de su comportamiento ante las etapas posteriores del proceso, particularmente en rehidratación (tiernizado) y descarozado.

6. BIBLIOGRAFÍA

1. ACHANTA S., OKOS M. R. 1996. Predicting the Quality of Dehydrated Foods and Biopolymers. *Drying Technology*, 14(6),1329-1368 .
2. ADAMS R. L., THOMPSON J. F. 1985. Improving drying uniformity in concurrent flow tunnel dehydrators. Universidad de California Davis. URL: <http://ucanr.edu/datastoreFiles/608-212.pdf>
3. ADMINISTRACIÓN NACIONAL DE MEDICAMENTOS, ALIMENTOS Y TECNOLOGÍA MÉDICA (ANMAT). Ministerio de Salud Presidencia de la Nación. Código Alimentario Argentino. Capítulo XI (actualizado 2013): Artículos: 904 bis, 906 y 916 bis. URL: http://www.anmat.gov.ar/alimentos/normativas_alimentos_caa.asp
4. AHMED J. 2011. Drying of vegetables: principles and dryer design. *Handbook of Vegetables and Vegetable Processing*. Sinha N.K., Hui Y.H., Ozgul Evranuz E., Siddiq M., Ahmed J. (Eds.) Wiley-Blackwell publishing, pp 279-298.
5. ANDRADE P. R. D., LEMUS M. R., PÉREZ C. C. E. 2011. Models of sorption isotherms for food: Uses and limitations. *VITAE, Revista de la Facultad de Química Farmacéutica*, 18(3), 325-334. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. ISSN 0121-4004 / ISSNe 2145-2660.
6. AOAC International. 2005. Official methods of analysis of AOAC International. AOAC International, Gaithersburg.
7. BAIANU I. C., PESSEN H., KUMOSINSKI T. F. 1993. *Physical Chemistry of Food Processes: Advanced Techniques, Structures and Applications*. Springer. ISBN 0442005822, 9780442005825.
8. BAIN J. M., MCBEAN D. 1967. The structure of the cuticular wax of prune plums and its influence as a water barrier. *Australian Journal of Biological Sciences*, 20, 895-900.
9. BAIN J. M., MCBEAN D. MCG. 1969. The development of the cuticular wax layer in prune plums and the changes occurring in it during drying. *Australian Journal of Biological Sciences*, 22, 101-110.
10. BALZARINI M.G., GONZALEZ L., TABLADA M., CASANOVES F., DI RIENZO J.A., ROBLEDO C.W. 2008. *Manual del Usuario Infostat*. Editorial Brujas. Córdoba. Argentina.
11. BALZARINI M., DI RIENZO J., TABLADA M., GONZALEZ L., BRUNO C., CÓRDOBA M., ROBLEDO W., CASANOVES F. 2011. *Introducción a la bioestadística, Aplicaciones con Infostat en Agronomía*. Editorial Brujas. ISBN: 978-987-591-251-9, 383.
12. BARBANTI D., MASTROCOLA D, SEVERINO C. 1994. Air drying of plums. A comparisons among twelve cultivars. *Sciences des Aliments*, 14, 61-73.

13. BARÓN, R. I., BOCCACCINI L. A., SÁENZ J. I. 2013. Cosechadora de ciruelas. Facultad Regional San Rafael, Universidad Tecnológica Nacional, San Rafael, Mendoza, Argentina. URL: http://www.edutecne.utn.edu.ar/coini_2013/trabajos/COE13_TC.pdf
14. BADUI DERGAL, S. 2006. Química de los alimentos. Cuarta edición Pearson Educación, México. ISBN: 970-26-0670-5, 736 pp.
15. BEEDIE, M. 1995. Energy saving a question of quality. Dairy Industries International, 60(12), 27.
16. BOLIN H. R., BOYLE F. P. 1967. Use of potassium sorbate, DEPC, and heat for the preservation of prunes at high moisture levels. Journal of the Science of Food and Agriculture, 18, 289-291.
17. BOLIN, H.R. 1980. Relation of moisture to water activity in prunes and raisins. Journal of Food Science, 45(5), 1105 – 1453.
18. BRAND-WILLIAMS W., CUVELIER M. E., BERSET C. 1995. Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. Lebensm. Wiss. Technology, 28, 25-30.
19. BUREAU NATIONAL INTERPROFESSIONEL DU PRUNEAU. 1994. Séché prune d'ente, Les conseils du service technique national du prune citado en GAJARDO MUÑOZ C. A. 2003.
20. CADENAS AGROALIMENTARIAS: CIRUELA DESHIDRATADA. CONVENIO INTA-IDR. 1999. URL: <https://www.bolsamza.com.ar/english/mercados/frutas/ciruela/analisis.pdf>
21. CALIFORNIA PRUNE RESEARCH BROCHURE. 2016. URL: <http://www.californiaprunes.co.uk/wp-content/uploads/2016/09/California-Prune-Research-Brochure-September-2016.pdf>
22. CASP VANACLOCHA, A.; ABRIL, J. 2003. Parte V. Procesos de conservación basados en la reducción del contenido de agua. Procesos de conservación de alimentos. Editorial Mundi-Prensa Libros. 2da edición. ISBN: 978-84-8476-169-3.
23. CASTRO A. M., MAYORGA E. Y., MORENO F. L. 2018. Mathematical modelling of convective drying of fruits: A review. Journal of Food Engineering, 223, 152-167.
24. CHANG S. K., ALASALVAR C., SHAHIDI F. 2016. Review of dried fruits: Phytochemicals, antioxidant efficacies, and health benefits. Journal of Functional Foods, 21, 113-132
25. CHEN X. D., MUJUMDAR A. S. 2008. Drying Technologies in Food Processing. ISBN-13: 978-1-4051-5763-6 ISBN-10: 1-4051-5763-1 Blackwell Publishing Ltd.
26. CHILE PRUNES MAGAZINE. 2018. 5TH EDITION. URL: <http://www.chileprunes.cl/en/news/5th-edition-chile-prunes-magazine/>

27. CHIRIFE, J. 1983. Fundamentals of the drying mechanism during air dehydration of foods. In *Advances in Drying*, 2, 73-102. ed. A. S. Mujumdar. Hemisphere Publishing, New York.
28. CINQUANTA L., MATTEO D.M., ESTI, M. 2002. Physical pre-treatment of plums (*prunus domestica*). Part 2. Effect of the quality characteristics of different prune cultivars. *Food Chemistry*, 79, 233–238.
29. COBIANCHI D., BERGAMINI A., CORTESI A. 1988. *El ciruelo*. Ediciones Mundi-Prensa, España. 281 pp.
30. COMITÉ DE EXPORTADORES DE CIRUELA DE MENDOZA (CECIM). Cámara de Comercio Exterior de Cuyo. URL: <http://www.ccecuyo.com.ar/nodos/ver/comite-de-exportadores-de-ciruela-de-mendoza>
31. CONGRESO IPA (International Prune Association). 2016. URL: <http://www.ipaprunes.org/index.php?subdir=congress&num=8>
32. CRANK J. B. *THE MATHEMATICS OF DIFFUSION*. UNIVERSITY UXBIDGE SECOND EDITION CLARENDON PRESS OXFORD 1975 ISBN 0 19 853344 6
33. DEAN E. W., STARK D. D. 1920. A Convenient Method for the Determination of Water in Petroleum and Other Organic Emulsions. *Industrial & Engineering Chemistry*, 12(5), 486–490.
34. DEFRAEYE T. 2017. When to stop drying fruit: Insights from hygrothermal modeling. *Applied Thermal Engineering*, 110, 1128–1136.
35. DEFRAEYE T., VERBOVEN P. 2017. Convective drying of fruit: Role and impact of moisture transport properties in modeling. *Journal of Food Engineering*, 193, 95-107.
36. DEL CARO A., PIGA A., PINNA I., FENU P. M., AGABBIO M. 2004. Effect of drying conditions and storage period on polyphenolic content, antioxidant capacity, and ascorbic acid of prunes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52, 4780-4784.
37. DIAMANTE L. M., MUNRO P. A. 1993. Mathematical modelling of the thin layer solar drying of sweet potato slices. *Solar Energy*, 51(4), 271-276.
38. DI MATEO M., CINQUANTA L., GALIERO G., CRESCITELLI S. 2002. Physical pre-treatment of plums (*prunus domestica*). Part 1. Modeling the kinetics of drying. *Food Chemistry*, 79, 227-232.
39. DI MATEO M., CINQUANTA L., ESTI M. 2002. Physical pre-treatment of plums (*prunus domestica*). Part 2. Effect on the quality characteristics of different prune cultivars. *Food Chemistry*, 79, 233-238.
40. DI MATEO, M.; CINQUANTA, L.; GALIERO, G.; CRESCITELLI, S. 2003. A mathematical model of mass transfer in spherical geometry: plum (*Prunus domestica*) drying. *Journal of Food Engineering*, 58, 183-192.
41. DI RIENZO J.A., CASANOVES F., BALZARINI M.G., GONZALEZ L., TABLADA M., ROBLEDO C.W. *InfoStat versión 2016*. Grupo InfoStat,

- FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL: <http://www.infostat.com.ar>
42. DOYMAZ I. 2004 Effect of dipping treatment on air drying of plums. *Journal of Food Engineering*, 64 (4), 465-470.
 43. DOYMAZ I., ISMAIL O. 2011. Drying characteristics of sweet cherry. *Food and Bioproducts Processing*, 89, 31-38.
 44. ERTEKIN C., YALDIZ O. 2004. Drying of eggplant and selection of a suitable thin layer drying model. *Journal of Food Engineering*, 63, 349-359.
 45. (EFSA) EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY, (NDA) PANEL ON DIETETIC PRODUCTS, NUTRITION AND ALLERGIES, PARMA, ITALY. 2012. Scientific Opinion on the substantiation of health claims related to dried plums of "prune" cultivars (*Prunus domestica* L.) and maintenance of normal bowel function. *EFSA Journal*, 10 (6), 2712.
 46. HENDERSON S. M., PABIS S. 1961. Grain drying theory II: Temperature effects on drying coefficients. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 6, 169-174.
 47. FAYLE S. E., GERRARD J. A. 2005. Capítulo 2. Consecuencias de la reacción de Maillard en los alimentos. La reacción de Maillard. Editorial Acribia, S. A. España. ISBN: 84-200-1045-6.
 48. FORNI E., ERBA M.L., MAESTRELLI A., POLESELLO A. 1992. Sorbitol and free sugar contents in plums. *Food Chemistry*, 44 (4), 269-275.
 49. GABRIEL, A. A. 2008. Estimation of water activity from pH and °Brix values of some food products. *Food Chemistry*, 108, 1106-1113.
 50. GAJARDO MUÑOZ C. A. 2003. Mejoramiento en la eficiencia de la aplicación del ácido sórbico o sus sales, en la ciruela tiernizada. Universidad Tecnológica Metropolitana. Facultad de Ciencias Naturales Matemáticas y del Medio Ambiente. Escuela de Industria Alimentaria. Santiago, Chile. Trabajo de titulación para optar al título de Ingeniero en Industria Alimentaria, 109 pp.
 51. GEANKOPLIS C. J. 1998. Procesos de transporte y operaciones unitarias, Compañía Editorial Continental S.A. DE C.V., tercera edición, México, 1008 pp.
 52. GENTRY J. P. 1965. Problems and possibilities with parallel-flow prune dehydration. Universidad de California Davis. URL: <http://ucanr.edu/repositoryfiles/1965-28.PDF-78493.pdf>
 53. GHODAKE H. M., GOSWAMI T. K., CHAKRAVERTY A. 2006. Mathematical modelling of withering characteristics of tea leaves. *Dry Technology*, 24, 159-164.
 54. GOYAL R. K., KINGSLY A. R. P., MANIKANTAN M. R., ILYAS S. M. 2007. Mathematical modeling of thin layer drying kinetics of plum in a tunnel dryer. *Journal of Food Engineering*, 79, 176-180.

55. HAFF R. P., YOUNG R. 2012. A redesigned DFA Moisture Meter. *Applied Engineering in Agriculture*, 28(2), 221-223.
56. HEDAYATIZADEH M., CHAJI H. 2016. A review on plum drying. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 56 (C) 362-367
57. HELDMAN D. R., HARTEL R. W. 1997. *Principles of Food Processing*. Springer Science & Business Media, 288 pp. ISBN 978-1-4615-6093-7
58. HOOSHMAND S., ARJMANDI B. H. 2009. Review. Viewpoint: Dried plum, an emerging functional food that may effectively improve bone health *Ageing Research Reviews*, 8, 122-127.
59. IGLESIAS H. A., CHIRIFE J. 2012. *Handbook of Food Isotherms: Water Sorption Parameters for Food and Food Components*. Academic Press, pages 1982-347.
60. INSTITUTO DE DESARROLLO RURAL, MENDOZA – ARGENTINA. 2010. Ciruela para industria, censo frutícola provincial 2010, Mendoza – Argentina. URL: <http://www.idr.org.ar/wp-content/uploads/2012/07/Informe-Ciruela-Industria.pdf>
61. INSTITUTO DE DESARROLLO RURAL, MENDOZA – ARGENTINA. 2015. Informe por producto: Panorama del Sector Ciruela Deshidratada de Mendoza. URL: <http://www.idr.org.ar/wp-content/uploads/2016/04/Panorama-Ciruela-deshidratada-2015-.pdf>
62. INSTITUTO DE DESARROLLO RURAL, MENDOZA – ARGENTINA. 2016/17. Pronóstico de cosecha frutícola, campaña 2016/17. URL: <http://www.idr.org.ar/wp-content/uploads/2016/12/Informe-pronostico-2016-17-1.pdf>
63. IDR (INSTITUTO DE DESARROLLO RURAL) en Congreso IPA (INTERNATIONAL PRUNE ASOCIATION) Francia. 2018. URL: <http://www.ipaprunes.org/congress/2018/Argentina.pdf>
64. IOANNOU I., GUIGA W., CHARBONNEL C., GHOUL M. 2011. Frozen mirabelle plum drying: Kinetics, modelling and impact on biochemical properties. *Food and Bioproducts Processing*, 89(4), 438-448.
65. JAZINI M. H., HATAMIPOUR M. S. 2010. A new physical pretreatment of plum for drying. *Food Bioproducts Processing*, 88, 133-137.
66. KARAM M. C., PETIT J. D., BAUDELAIRE DJANTOU E., SCHER J. 2016. Effects of drying and grinding in production of fruit and vegetable powders: A review. *Journal of Food Engineering* 188, 32-49
67. KAREL, M. 1979. The significance of moisture to food quality. *Developments in Food Science 2*. Chiba H., Fijimaki M., Iwai K., Mitsuda H., Morita Y. (Eds.). Kodansha Ltd. Tokio, pp 378.
68. KOWALSKI S.J. 2007. *Drying of porous materials*. Springer, The Netherlands. ISBN-978-1-4020-5479-2 (HB). ISBN-978-1-4020-5480-8 (e-book).

69. KUMAR C., KARIM A., JOARDDER M. U. 2013. Intermittent drying of food products: a critical review. *Journal of Food Engineering*, 121, 48-57.
70. LABUZA T. P. 1980. The effect of water activity on reaction kinetics of food deterioration. *Food technology*, 34(4), 36-4.
71. LAHSASNI S., KOUHILA M., MAHROUZ M., JAOUHARI J. T. 2004. Drying kinetics of prickly pear fruit (*Opuntia ficus indica*). *Journal of Food Engineering*, 61(2), 173-179.
72. LÉOTOING L., WAUQUIER F., DAVICCO M-J., LEBECQUE P., GAUDOUT D., REY S., VITRA X., MASSENAT L., RASHIDI S., WITTRANT Y., COXAMA V. 2016. The phenolic acids of Agen prunes (dried plums) or Agen prune juice concentrates do not account for the protective action on bone in a rat model of postmenopausal osteoporosis *Nutrition Research*, 36, 161-173
73. MAYOR L., SERENO A.M. 2004. Modelling shrinkage during convective drying of food materials: A review. *Journal of Food Engineering*, 61, 373-386.
74. MARÍN M., SOTO PUENTES A. 2012. Manual de calidad en los procesos de cosecha y secado a sol para ciruelas secas de Chile. URL: http://www.fedefruta.cl/pdf/manual_ciruelas.pdf
75. MAROULIS Z. B., TSARNI E., MARINOS-KOURIS D. 1988. Application of the GAB model to the moisture sorption isotherms for dried fruits. *Journal of Food Engineering*, 7, 63-78.
76. MC CABE W. L., SMITH J. C., HARRIOT P. 1991. Operaciones Unitarias en Ingeniería Química. Capítulo 25: Secado de sólidos. 4ta ed., Mc Graw-Hill Book Company, New York.
77. MENGES H. O., ERTEKIN C. 2006. Thin layer drying model for treated and untreated Stanley plums. *Energy Conversion and Management*, 74, 2337-2348.
78. MIDILLI A., KUCUK H., YAPAR Z. 2002. A new model for single layer drying of some vegetables. *Drying Technology*, 20, 1503-1513.
79. MICHALSKA A., WOJDYLO A., LECH K., LYSIAK G. P., FIGIEL A. 2016. Physicochemical properties of whole fruit plum powders obtained using different drying technologies. *Food Chemistry*, 207, 223-232.
80. MILLER, M. W., 1964. Progress report on parallel and counter flow dehydration of prunes. California Dried Plum Board. Research reports, 12 - 14.
81. MORALES FRIETTE R. 1971. Tiernización de ciruela d'Agen (*Prunus domestica* l. variedad d'Agen), con variaciones de pre-tratamiento en la deshidratación y empleo de sorbato de potasio como estabilizador. Tesis para optar al grado de licenciado en Agronomía. Facultad de Agronomía, Escuela de Agronomía, Universidad de Chile, Santiago de Chile, 64 pp.

82. MOHSENIN N.N. 1970. *Physical Properties of Plant and Animal Materials*. Gordon and Breach Science Publishers, New York.
83. MUJUMDAR A.S. 2014. *Handbook of industrial drying*. Fourth, CRC Press, Taylor & Francis Group. Boca Raton. USA. URL: <https://doi.org/10.1080/07373938808916399>.
84. MUÑOZ-LÓPEZ C., URREA-GARCIA G. R., JIMÉNEZ-FERNANDEZ M., RODRÍGUEZ-JIMÉNES G. C., LUNA-SOLANO G. 2018. Effect of drying methods on the physicochemical and thermal properties of Mexican plum (*Spondias purpurea* L.). *CyTA Journal of Food*, 16(1), 127-134.
85. NELDER A., MEAD R. 1965. A simplex method for function minimization. *Computer Journal*, 7, 308-313.
86. NEMA P. K., KAUR B. P., MUJUMDAR A. S. 2015. *Drying Technologies for Foods: Fundamentals and Applications*. New Delhi, India: New India Publishing Agency. 374pp. ISBN: 9789383305841, 9383305843.
87. NEWMAN, G. M.; PRICE, WILLIAM E.; WOOLF, LAWRENCE A. 1996. Factors influencing the drying of prunes 1. Effects of temperature upon the kinetics of moisture loss during drying. *Food Chemistry*, 57(2), 241-244.
88. NGUYEN T. K., MONDOR M., RATTI C. 2018. Shrinkage of cellular food during air drying. *Journal of Food Engineering*, 230, 8-17.
89. PAGE, C. 1949. Factors influencing the maximum rate of drying shelled corn in layers. M.Sc. Dissertation. Purdue University, Indiana, USA.
90. PIGA A., DEL CARO A., CORDA G. 2003. From plums to prunes: Influence of drying parameters on polyphenols and antioxidant activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 3675-3681.
91. PRICE W. E., SABAREZ H., LAAJOKI L. G., WOOLF L. A. 1997. Dehydration of prunes: Kinetic aspects. *Agro Food Industry Hi-Tech*, 8(6), 29-33.
92. PRICE W.E., SABAREZ H. T., STOREY R., BACK P. J. 2000. Role of the waxy skin layer in moisture loss during dehydration of prunes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48, 4193-4198.
93. RAHMAN M. S., PERERA C.O. 2003. *Manual de conservación de los alimentos*. Capítulo 6: Secado y conservación de alimentos. Editorial Acribia, Zaragoza, España.
94. RAYNAL J., MOUTOUNET M., SOUQUET J. M. 1989. Intervention of phenolic compounds in plum technology.1. Changes during drying. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 37, 1046-1050.
95. RAYNAL J., MOUTOUNET M., SOUQUET J. M. 1989. Intervention of phenolic compounds in plum technology.2. Mechanisms of antocyanin degradation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 37, 1051-1053.
96. ROCKLAND L. B., STEWART G. F. 1981. *Water activity: influences on food quality*. Academic Press, New York, 921.

97. SABAREZ H., PRICE W.E., BACK P.J., WOOLF L.A. 1997. Modelling the kinetics of d'Agen plums (*prunus domestica*). *Food Chemistry*, 60(3), 371-382.
98. SABAREZ H. 1998. Chemical and physical changes during dehydration of prunes (*prunus domestica*). Tesis doctoral. University of Wollongong.
99. SABAREZ H., PRICE W.E. 1999. A diffusion model for prune dehydration. *Journal of Food Engineering*, 42, 167-172.
100. SABAREZ H., PRICE W.E., KORTH J. 2000. Volatile changes during dehydration of d'Agen prunes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48, 1838-1842.
101. SABAREZ H. 2012. Computational modelling of the transport phenomena occurring during convective drying of punes. *Journal of Food Engineering*, 111, 279-288.
102. SABAREZ H. 2016. Drying of Food Materials. Reference Module in Food Sciences CSIRO Food and Nutrition, Werribee, VIC, Australia. Elsevier Inc.
103. SACILIK K., ELICIN A. K., UNAL G. 2006. Drying kinetics of Üryani plum in a convective hot-air dryer. *Journal of Food Process Engineering*, 76, 362-368.
104. SADLER M. 2015. 16: Authorised EU health claim for dried plums/prunes. *Foods, Nutrients and Food Ingredients with Authorised EU Health Claims*: 2, 299-311.
105. SENASA. NORMAS DE CALIDAD. Resolución-88-1965-Ministerio de Agroindustria. CAPITULO III. DE LA HUMEDAD en fruta desecada. Artículo N° 13. URL: <http://www.senasa.gob.ar/tags/normas-de-calidad>
106. SINGLETON V. L., ROSSI J. A. JR. 1965. Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16, 3, 144-158.
107. SOMOGYI L. P. 2005. Chapter 21: Plums and Prunes. *Processing Fruits Science and Technology Second Edition*. Barret D. M., Somogyi L. P., Ramaswami H. (Eds.). CRC Press Boca Raton London New York Washington, D.C. ISBN 0-8493-1478-X. 841 pp.
108. SORROCHE D., BARÓN R., MORBIDELLI A., ROLDÁN A. 2007. Estudio del bajo consumo de ciruela desecada en Argentina. URL: http://www.edutecne.utn.edu.ar/coini_2014/trabajos/D_004.pdf
109. STACEWICZ-SAPUNTZAKIS M., BOWEN P. E., HUSSAIN E. R., DAMAYANTI-WOOD B. J., FARNSWORTH N. R. 2001. Chemical Composition and Potential Health Effects of Prunes: A functional food? *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 41 (4), 251-286.
110. STENCL J., OTTEN L., GOTTHARDOVA J., HOMOLA P. 1999. Model comparisons of equilibrium moisture content of prunes in the

- temperature range of 15–45°C. *Journal of Stored Products Research*. 35, 1, 27-36.
111. STOREY R., PRICE W. E. 1999. Microstructure of the skin of d'Agen plums. *Scientia Horticulturae*, 81, 279-286.
 112. TARHAN S. 2007. Selection of chemical and thermal pretreatment combination for plum drying at low and moderate drying air temperatures. *Journal of Food Engineering*, 79(1), 255-260
 113. TAYLOR C.W. 2017. Dried plums, prunes and bone health: a comprehensive review. *Nutrientes*, 9, 401.
 114. TECHAENA O, LEBERT A. M., BIMBENET J. J. 1991. Simulation of plum drying in deep bed. *Drying Technology*, 9(4), 947-971.
 115. TINKLER L. F., DAVIS P. A., SCHEEMAN B. O., GALLAHER D. D., WAGGONER C. R. 1991. Consumption of prunes as a source of dietary fiber in men with mild hypercholesterolemia. *American Journal of Clinical Nutrition*, 53, 1259-1265.
 116. THOMPSON J. F., CHHINNAN M. S., MILLER M. W., KNUTSON G. D. 1980. Energy conservation in drying of fruits in tunnel dehydrators. Universidad de California Davis. URL: <http://ucanr.edu/datastoreFiles/234-1046.PDF>
 117. TOGRUL I. T., PEHLIVAN D. 2004. Modelling of thin layer drying kinetics of some fruits under open-air sun drying process. *Journal of Food Engineering*, 65(3), 413-425.
 118. TSOTSAS E., MUJUMDAR A.S. 2011. Product quality and formulation. Chapter 1. Quality changes in food materials as influenced by drying processes. WileyVCH, Weinheim.
 119. U.C.C.A. UNIVERSITY OF CALIFORNIA COOPERATIVE AGRICULTURE. 1981. Prune orchard management, Berkeley, California, Agricultural Science Publication, USA.
 120. URFALINO D. P. 2009. Estudio de la Cinética de degradación de compuestos fenólicos y antioxidantes en el deshidratado de ciruelas tipo d'Agen de San Rafael (Mendoza). Tesis de Maestría en Tecnología de los Alimentos. Universidad Católica de Córdoba. 84pp
 121. URFALINO D. P., QUIROGA A., WORLOCK J. 2009. Calidad microbiológica en ciruelas deshidratadas al sol (Póster). Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. III Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos. 15, 16 y 17 de Abril de 2009, Córdoba, Argentina. Libro de resúmenes: Actas volumen II, HP-1, pp 244. ISBN: 978-987-24620-2-4.
 122. URFALINO, D. P. 2011. Propiedades antioxidantes en ciruelas desecadas: Efecto del deshidratado en la degradación de compuestos fenólicos. Editorial Académica Española. ISBN: 978-3-84443-3769-3.

123. URFALINO D. P. 2013. Ciruelas pasas. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. URL: http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-_ciruelas_pasas.pdf
124. URFALINO D. P., WORLOCK, J. 2014. Optimización de hornos industriales para deshidratado de ciruelas. Revista de Investigaciones Agropecuarias (RIA), 40(1), 1-7. URL: <http://ria.inta.gov.ar/wp-content/uploads/2014/02/art.5optimizacion-Urfalino.pdf>
125. URFALINO D. P., WORLOCK, J. 2017. Estimación de la actividad acuosa en función de la humedad de la ciruela d'Agen. – INTA EEA Rama Caída – PRET Desarrollo del Oasis Sur. Ministerio de Agroindustria. Presidencia de la Nación. URL: https://inta.gob.ar/sites/default/files/estimacion_de_la_aw_en_funcion_de_la_humedad_de_la_ciruela_dagen_0.pdf
126. USENIK V., KASTELEC D., VEBERČ R., ŠTAMPAR F. 2008. Quality changes during ripening of plums (*Prunus domestica* L.). Food Chemistry, 111(4), 830-836.
127. USDA UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, AGRICULTURAL RESEARCH SERVICE, National Nutrient Database for Standard Reference, 2016. Basic Report 09291, Plums, dried (prunes), uncooked. URL: <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/2364?n1=%7BQv%3D1%7D&fgcd=&man=&facet=&count=&max=50&sort=default&qlookup=prunes&offset=&format=Abridged&new=&measureby=&ds=&Qv=1&qt=&qp=&qa=&qn=&q=&ing=>
128. VANGDAL E., PICCHI V., FIBIANI M., LO SCALZO R. 2017. Effects of the drying technique on the retention of phytochemicals in conventional and organic plums (*Prunus domestica* L.) Food Science and Technology, 85, 506-509.
129. WILFORD L. G., SABAREZ H., PRICE W. E. 1997. Kinetics of carbohydrate change during dehydration of d'Agen prunes. Food Chemistry, 59(1), 149-155.
130. WEINERT I. A. G., SOLMS J., ESCHER F. 1990. Diffusion of anthocyanins during processing and storage of canned plums. Lebensmittel Wissenschaft Technologie, 23, 396-399.
131. WEITZ D. A., LUQUE E. A., PIACENTINI R. D. 1990. Solar drying simulation of prunes arranged in thin layers. Drying technology, 8(2), 287-303.
132. WORLOCK J. 2017. Herramienta para estimar el contenido residual de sorbato de potasio en ciruela tiernizada, en función de la concentración y aplicación de conservante utilizado. Tesis. Master Internacional en Tecnología de Alimentos. Facultad de Agronomía,

Universidad de Buenos Aires - Università degli Studi di Parma. URL:
<https://core.ac.uk/download/pdf/151083071.pdf>

133. YALDIZ O., ERTEKIN C. 2001. Thin layer solar drying some different vegetables. *Drying Technology*, 19(3), 583-596.
134. YALDIZ O., ERTEKIN C., UZUN H. I. 2001. Mathematical modeling of thin layer solar drying of sultana grapes. *Energy*, 26, 457- 465.
135. YANG Y., GALLAHER D. D. 2005. Effect of Dried Plums on Colon Cancer Risk Factors in Rats. *Nutrition and Cancer*, 53(1), 117-125.
136. ZHISHEN J., MENGCHENG T., JIANMING W. 1999. Analytical, Nutritional and Clinical Methods Section. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chemistry*, 64(4), 555-559.

ANEXO 1: Análisis de datos INFOSTAT

Identificación de condiciones óptimas de trabajo en configuración a contra corriente

Comparación entre dos temperaturas de funcionamiento en planta piloto

Tiempo de residencia

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p (Unilateral D)
Tpo de residencia	18	23,00	2,26	0,91	0,1761

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Tiempo de residencia	18	0,83	0,82	4,14

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	72,00	1	72,00	79,45	<0,0001
Tratamiento	72,00	1	72,00	79,45	<0,0001
Error	14,50	16	0,91		
Total	86,50	17			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,95134

Error: 0,9063 gl: 16

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
T2	21,00	9	0,32	A
T1	25,00	9	0,32	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Caracterización del producto obtenido

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p (Unilateral D)
aw	6	0,62	0,03	0,92	0,5529
Humedad	6	20,08	1,83	0,90	0,4159

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
aw	6	0,00	0,00	4,90

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,00	1	0,00	0,00	>0,9999
Temperatura	0,00	1	0,00	0,00	>0,9999
Error	3,7E-03	4	9,3E-04		
Total	3,7E-03	5			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,06926

Error: 0,0009 gl: 4

Temperatura	Medias	n	E.E.
T1	0,62	3	0,02 A
T2	0,62	3	0,02 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Humedad	6	2,5E-03	0,00	10,16

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,04	1	0,04	0,01	0,9252
Temperatura	0,04	1	0,04	0,01	0,9252
Error	16,67	4	4,17		
Total	16,71	5			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=4,62741

Error: 4,1667 gl: 4

Temperatura	Medias	n	E.E.
T2	20,00	3	1,18 A
T1	20,17	3	1,18 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
L*	6	49,30	1,82	0,98	0,9419
b*	6	44,40	4,09	0,93	0,6100
a*	6	16,53	1,37	0,86	0,2590

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
L*	6	0,16	0,00	3,77

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2,67	1	2,67	0,77	0,4295
Temperatura	2,67	1	2,67	0,77	0,4295
Error	13,83	4	3,46		
Total	16,50	5			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=4,21577

Error: 3,4583 gl: 4

Temperatura	Medias	n	E.E.
T1	48,63	3	1,07 A
T2	49,97	3	1,07 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
a*	6	0,00	0,00	9,28

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,00	1	0,00	0,00	>0,9999
Temperatura	0,00	1	0,00	0,00	>0,9999
Error	9,41	4	2,35		
Total	9,41	5			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=3,47764

Error: 2,3533 gl: 4

Temperatura	Medias	n	E.E.
T1	16,53	3	0,89 A
T2	16,53	3	0,89 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
b*	6	0,05	0,00	10,01

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	4,51	1	4,51	0,23	0,6577
Temperatura	4,51	1	4,51	0,23	0,6577
Error	78,93	4	19,73		
Total	83,44	5			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=10,07033

Error: 19,7333 gl: 4

Temperatura	Medias	n	E.E.
T1	43,53	3	2,56 A
T2	45,27	3	2,56 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Comparación entre dos temperaturas de funcionamiento en industria

Tiempo de residencia

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
tiempo de residencia	188	21,54	1,86	0,97	0,07

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
tiempo de residencia	188	0,62	0,62	5,35

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	401,09	1	401,09	302,43	<0,0001
Tratamiento	401,09	1	401,09	302,43	<0,0001
Error	246,68	186	1,33		
Total	674,77	187			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,30264

Error: 1,3262 gl: 186

Tratamiento	Medias	n	E.E.
T2	20,08	94	0,12 A
T1	23,00	94	0,12 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Caracterización del producto obtenido

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
Humedad	20	19,83	2,10	0,87	0,067

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Humedad	20	1,5E-04	0,00	10,87

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,01	1	0,01	2,7E-03	0,9592
Tratamiento	0,01	1	0,01	2,7E-03	0,9592
Error	83,63	18	4,65		
Total	83,64	19			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=2,02515

Error: 4,6458 gl: 18

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
T2	19,80	10	0,68	A
T1	19,85	10	0,68	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
aw	20	0,62	0,03	0,87	0,073

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
aw	20	1,8E-04	0,00	5,07

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3,2E-06	1	3,2E-06	3,2E-03	0,9552
Tratamiento	3,2E-06	1	3,2E-06	3,2E-03	0,9552
Error	0,02	18	9,9E-04		
Total	0,02	19			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,02953

Error: 0,0010 gl: 18

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
T1	0,62	10	0,01	A
T2	0,62	10	0,01	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Efecto del tamaño en hornos industriales

Tiempo de residencia

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
tiempo de residencia	80	22,74	3,69	0,89	0,062

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
tiempo de residencia	80	0,81	0,80	7,21

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	867,90	1	867,90	322,99	<0,0001
Calibre	867,90	1	867,90	322,99	<0,0001
Error	209,59	78	2,69		
Total	1077,50	79			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,72973

Error: 2,6871 gl: 78

Calibre	Medias	n	E.E.	
P	19,45	40	0,26	A
G	26,04	40	0,26	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Evaluación de capacidad de proceso por configuración

Comparación entre configuración en paralelo y en contracorriente en planta piloto

Tiempos de residencia en configuraciones inversas

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p (Unilateral D)
tiempo de residencia	18	20,89	2,02	0,94	0,5654

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
tiempo de residencia	18	0,01	0,00	9,93

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,50	1	0,50	0,12	0,7375
Configuración	0,50	1	0,50	0,12	0,7375
Error	68,78	16	4,30		
Total	69,28	17			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=2,07193

Error: 4,2986 gl: 16

Configuración	Medias	n	E.E.	
CP	20,72	9	0,69	A
CC	21,06	9	0,69	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Modelado

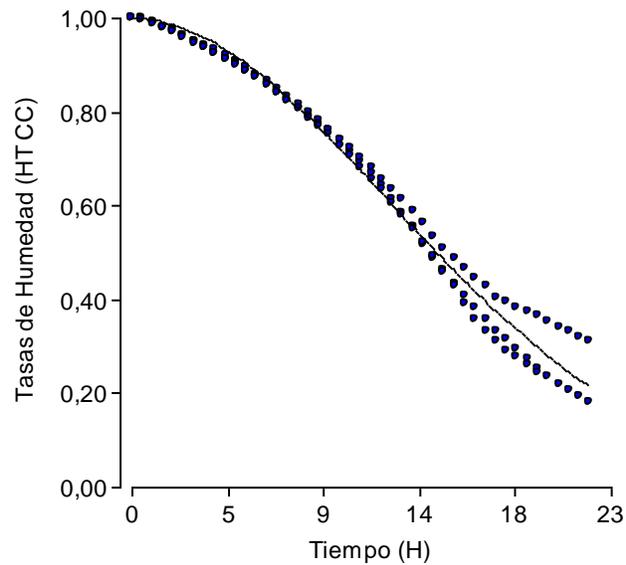
Análisis de regresión no lineal en configuración CC

1. Modelo de Page

$$HT(CC) = \exp(-k \cdot t^m)$$

Variable	N	CMError	AIC	BIC	Iteración
HT CC	130	9,9E-04	-1159,55	-1153,81	2

Parámetros	Cota inf.	Cota sup.	Val.Ini.	Estimación	E.E.	T	p-valor
k	-1E30	1E30	1,0E-03	3,6E-03	3,6E-04	9,97	<0,0001
m	-1E30	1E30	1,0E-03	1,96	0,04	53,06	<0,0001

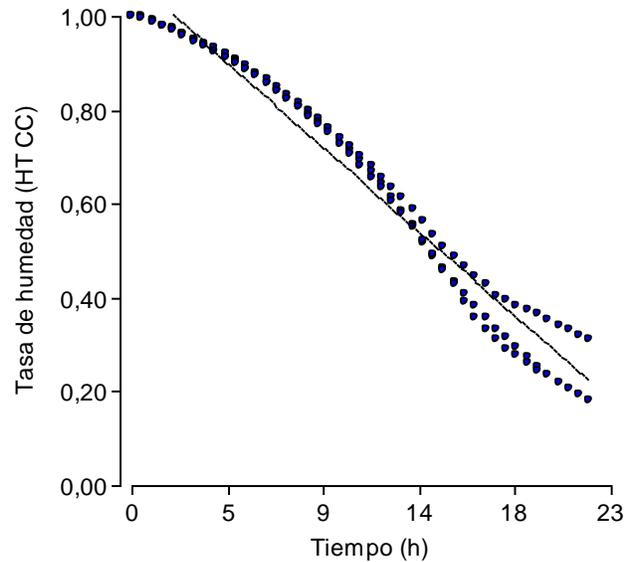


2. Modelo Logarítmico

Modelo HT(CC) = $a \cdot \exp(-k \cdot t) + c$

Variable	N	CMError	AIC	BIC	Iteración
HT CC	130	2,1E-03	-1060,67	-1052,07	5

Parámetros	Cota inf.	Cota sup.	Val.Ini.	Estimación	E.E.	T	p-valor
a	-1E30	1E30	1,0E-03	35,17	173,79	0,20	0,8399
k	-1E30	1E30	1,0E-03	1,1E-03	0,01	0,20	0,8418
c	-1E30	1E30	1,0E-03	-34,09	173,80	-0,20	0,8448

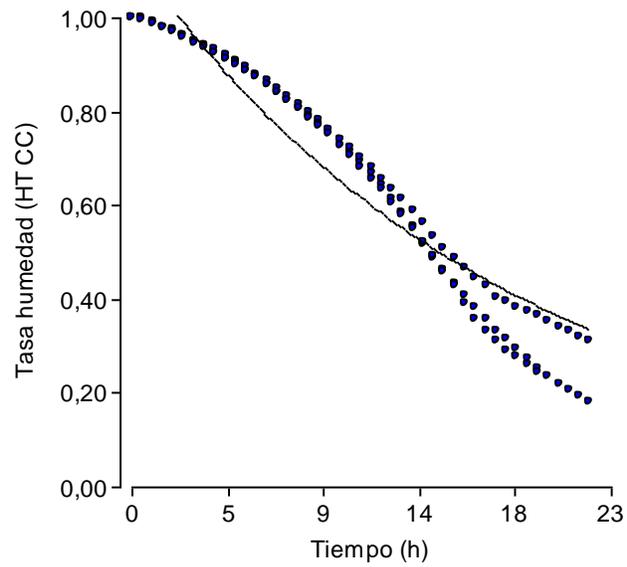


3. Modelo de Henderson y Pabis

Modelo HT(CC) = $a \cdot \exp(-k \cdot t)$

Variable	N	CMError	AIC	BIC	Iteración
HT CC	130	0,01	-933,90	-928,17	2

Parámetros	Cota inf.	Cota sup.	Val.Ini.	Estimación	E.E.	T	p-valor
a	-1E30	1E30	1,0E-03	1,13	0,02	68,73	<0,0001
k	-1E30	1E30	1,0E-03	0,06	1,7E-03	32,68	<0,0001

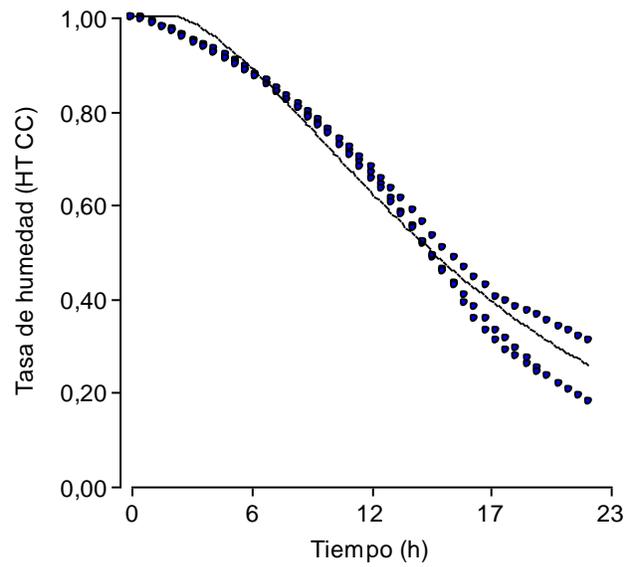


4. Modelo Aproximación a la difusión

Modelo HT(CC) = $a \cdot \exp(-k \cdot t) + (1-a) \cdot \exp(-k \cdot b \cdot t)$

Variable	N	CMError	AIC	BIC	Iteración
HT CC	130	1,6E-03	-1097,24	-1088,64	2

Parámetros	Cota inf.	Cota sup.	Val.Ini.	Estimación	E.E.	T	p-valor
a	-1E30	1E30	1,0E-03	-17,70	1288,74	-0,01	0,9891
k	-1E30	1E30	1,0E-03	0,13	0,31	0,43	0,6696
b	-1E30	1E30	1,0E-03	0,94	4,27	0,22	0,8267



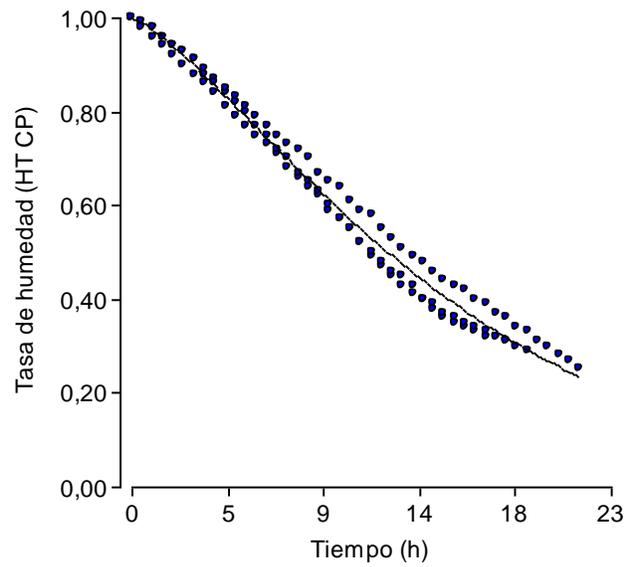
Análisis de regresión no lineal en configuración CP

1. Modelo de Page

Modelo HT(CP) = $\exp(-k \cdot t^m)$

Variable	N	CMError	AIC	BIC	Iteración
HT CP	120	7,3E-04	-1096,78	-1091,20	5

Parámetros	Cota inf.	Cota sup.	Val.Ini.	Estimación	E.E.	T	p-valor
k	-1E30	1E30	1,0E-03	0,03	1,5E-03	17,11	<0,0001
m	-1E30	1E30	1,0E-03	1,32	0,02	57,83	<0,0001

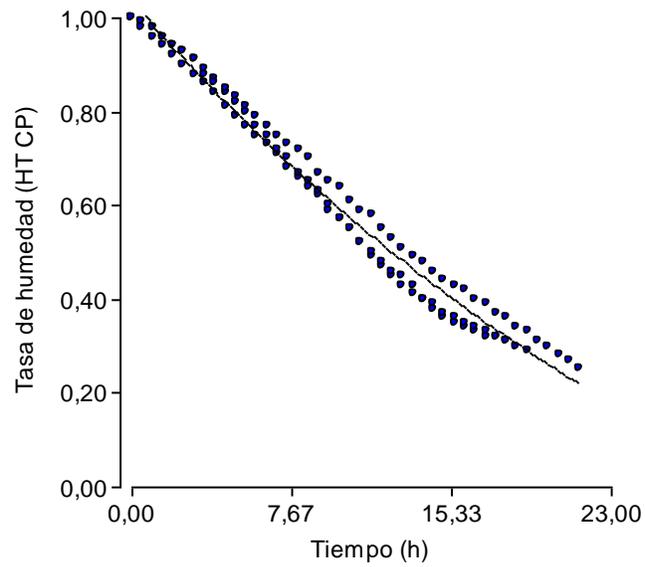


2. Modelo Logarítmico

Modelo HT(CP) = $a \cdot \exp(-k \cdot t) + c$

Variable	N	CMError	AIC	BIC	Iteración
HT CP	120	9,3E-04	-1065,93	-1057,56	2

Parámetros	Cota inf.	Cota sup.	Val.Ini.	Estimación	E.E.	T	p-valor
a	-1E30	1E30	1,0E-03	1,74	0,20	8,74	<0,0001
k	-1E30	1E30	1,0E-03	0,03	4,6E-03	6,44	<0,0001
c	-1E30	1E30	1,0E-03	-0,71	0,20	-3,46	0,0008

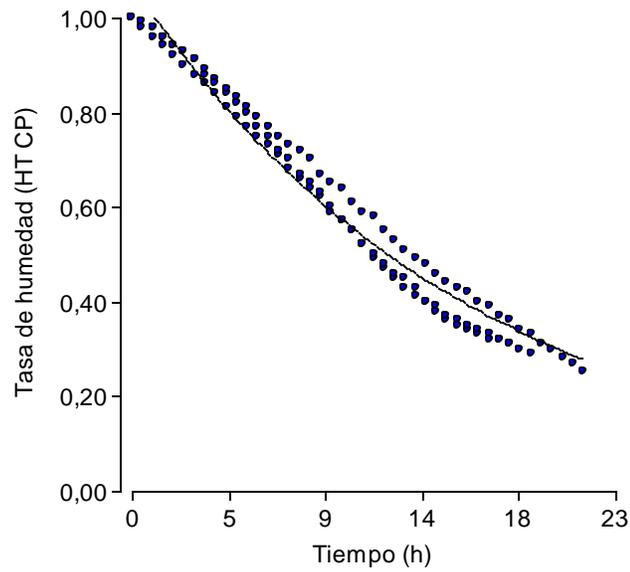


3. Modelo de Henderson y Pabis

Modelo HT(CP) = $a \cdot \exp(-k \cdot t)$

Variable	N	CMError	AIC	BIC	Iteración
HT CP	120	1,4E-03	-1021,22	-1015,64	2

Parámetros	Cota inf.	Cota sup.	Val.Ini.	Estimación	E.E.	T	p-valor
a	-1E30	1E30	1,0E-03	1,07	0,01	125,46	<0,0001
k	-1E30	1E30	1,0E-03	0,06	1,0E-03	60,97	<0,0001

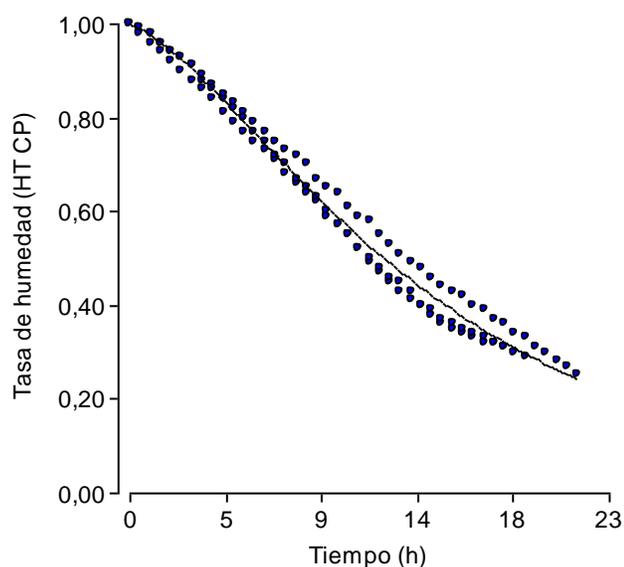


4. Modelo Aproximación a la difusión

Modelo HT(CP) = $a \cdot \exp(-k \cdot t) + (1-a) \cdot \exp(-k \cdot b \cdot t)$

Variable	N	CMError	AIC	BIC	Iteración
HT CP	120	7,1E-04	-1097,82	-1089,46	4

Parámetros	Cota inf.	Cota sup.	Val.Ini.	Estimación	E.E.	T	p-valor
a	-1E30	1E30	1,0E-03	-0,41	0,21	-1,98	0,0498
k	-1E30	1E30	1,0E-03	0,23	0,07	3,58	0,0005
b	-1E30	1E30	1,0E-03	0,35	0,13	2,75	0,0069



Evaluación nutricional y de color de la ciruela deshidratada obtenida mediante configuraciones inversas

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
aw	6	0,66	0,02	0,81	0,0824

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
aw	6	2,6E-05	0,00	4,25

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	8,2E-08	1	8,2E-08	1,1E-04	0,9923
Configuración	8,2E-08	1	8,2E-08	1,1E-04	0,9923
Error	3,1E-03	4	7,8E-04		
Total	3,1E-03	5			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,06316

Error: 0,0008 gl: 4

Configuración	Medias	n	E.E.	
CC	0,66	3	0,02	A
CP	0,66	3	0,02	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Nutrientes

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
Humedad	6	18,33	1,37	0,79	0,0630
Cenizas	6	5,45	0,93	0,85	0,1964
Proteínas	6	2,48	0,12	0,89	0,3986
Fibra dietaria	6	3,77	0,19	0,94	0,7028
Grasas Totales	6	0,57	0,05	0,62	0,0610
Hidratos de Carbono	6	73,73	1,74	0,92	0,6115
Azúcares Red. Direct.	6	42,90	2,68	0,80	0,0717
Sacarosa	6	1,23	0,54	0,85	0,1871
Contenido de sodio	6	18,67	5,24	0,84	0,1487
Valor Energético	6	302,17	7,36	0,91	0,5172
HMF	6	2,23	2,76	0,74	0,0578

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Humedad	6	0,07	0,00	8,03

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,67	1	0,67	0,31	0,6087
Configuración	0,67	1	0,67	0,31	0,6087
Error	8,67	4	2,17		
Total	9,33	5			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=3,33687

Error: 2,1667 gl: 4

Configuración	Medias	n	E.E.
CP	18,00	3	0,85 A
CC	18,67	3	0,85 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Cenizas	6	3,9E-04	0,00	19,01

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1,7E-03	1	1,7E-03	1,6E-03	0,9705
Configuración	1,7E-03	1	1,7E-03	1,6E-03	0,9705
Error	4,29	4	1,07		
Total	4,30	5			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=2,34861

Error: 1,0733 gl: 4

Configuración	Medias	n	E.E.
CP	5,43	3	0,60 A
CC	5,47	3	0,60 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Proteínas	6	0,22	0,02	4,65

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,02	1	0,02	1,13	0,3486
Configuración	0,02	1	0,02	1,13	0,3486
Error	0,05	4	0,01		
Total	0,07	5			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,26177

Error: 0,0133 gl: 4

Configuración	Medias	n	E.E.	
CC	2,43	3	0,07	A
CP	2,53	3	0,07	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Fibra dietaria	6	0,04	0,00	5,42

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,01	1	0,01	0,16	0,7096
Configuración	0,01	1	0,01	0,16	0,7096
Error	0,17	4	0,04		
Total	0,17	5			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,46274

Error: 0,0417 gl: 4

Configuración	Medias	n	E.E.	
CP	3,73	3	0,12	A
CC	3,80	3	0,12	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Grasas Totales	6	0,00	0,00	10,19

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,00	1	0,00	0,00	>0,9999
Configuración	0,00	1	0,00	0,00	>0,9999
Error	0,01	4	3,3E-03		
Total	0,01	5			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,13088

Error: 0,0033 gl: 4

Configuración	Medias	n	E.E.	
CC	0,57	3	0,03	A
CP	0,57	3	0,03	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)**Análisis de la varianza**

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Hidratos de Carbono	6	0,04	0,00	2,59

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,54	1	0,54	0,15	0,7202
Configuración	0,54	1	0,54	0,15	0,7202
Error	14,61	4	3,65		
Total	15,15	5			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=4,33299

Error: 3,6533 gl: 4

Configuración	Medias	n	E.E.	
CC	73,43	3	1,10	A
CP	74,03	3	1,10	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)**Análisis de la varianza**

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Azúcares Reductores Direct..	6	0,04	0,00	6,84

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1,50	1	1,50	0,17	0,6979
Configuración	1,50	1	1,50	0,17	0,6979
Error	34,46	4	8,62		
Total	35,96	5			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=6,65382

Error: 8,6150 gl: 4

Configuración	Medias	n	E.E.	
CC	42,40	3	1,69	A
CP	43,40	3	1,69	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)**Análisis de la varianza**

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Sacarosa	6	0,56	0,45	32,09

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,81	1	0,81	5,15	0,0858
Configuración	0,81	1	0,81	5,15	0,0858
Error	0,63	4	0,16		
Total	1,43	5			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,89729

Error: 0,1567 gl: 4

Configuración	Medias	n	E.E.	
CP	0,87	3	0,23	A
CC	1,60	3	0,23	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Contenido de sodio	6	0,59	0,48	20,16

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	80,67	1	80,67	5,69	0,0755
Configuración	80,67	1	80,67	5,69	0,0755
Error	56,67	4	14,17		
Total	137,33	5			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=8,53252

Error: 14,1667 gl: 4

Configuración	Medias	n	E.E.	
CC	15,00	3	2,17	A
CP	22,33	3	2,17	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Valor Energético	6	0,05	0,00	2,65

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	13,50	1	13,50	0,21	0,6707
Configuración	13,50	1	13,50	0,21	0,6707
Error	257,33	4	64,33		
Total	270,83	5			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=18,18283

Error: 64,3333 gl: 4

Configuración	Medias	n	E.E.	
CC	300,67	3	4,63	A
CP	303,67	3	4,63	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
HMF	6	0,40	0,25	106,84

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	15,36	1	15,36	2,70	0,1758
Configuración	15,36	1	15,36	2,70	0,1758
Error	22,77	4	5,69		
Total	38,13	5			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=5,40912

Error: 5,6933 gl: 4

Configuración	Medias	n	E.E.	
CC	0,63	3	1,38	A
CP	3,83	3	1,38	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Fenoles, flavonoides y actividad antioxidante total.

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
C. Fenoles	12	4060,27	1450,75	0,87	0,1054
C. Flavonoides	12	2688,64	1225,39	0,85	0,0563
C. Comp. Antiox.	12	3304,57	1351,91	0,89	0,2008

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
C. Fenoles	12	0,99	0,98	4,38

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	22898052,50	3	7632684,17	240,98	<0,0001
Configuración	13290128,16	1	13290128,16	419,60	<0,0001
mes	9492032,56	1	9492032,56	299,68	<0,0001
Configuración*mes	115891,78	1	115891,78	3,66	0,0921
Error	253388,79	8	31673,60		
Total	23151441,30	11			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=236,94528

Error: 31673,5991 gl: 8

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
CC	3007,89	6	72,66	A
CP	5112,66	6	72,66	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=236,94528

Error: 31673,5991 gl: 8

mes	Medias	n	E.E.	
mes 10	3170,89		6 72,66	A
mes 1	4949,66		6 72,66	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=335,09122

Error: 31673,5991 gl: 8

Tratamiento	mes	Medias	n	E.E.	
CC	mes 10	2216,78	3	102,75	A
CC	mes 1	3799,00	3	102,75	B
CP	mes 10	4125,00	3	102,75	B
CP	mes 1	6100,31	3	102,75	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
C. Flavonoides	12	1,00	0,99	3,32

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	16453368,75	3	5484456,25	686,26	<0,0001
Tratamiento	12762523,14	1	12762523,14	1596,95	<0,0001
mes	3370153,43	1	3370153,43	421,70	<0,0001
Tratamiento*mes	320692,18	1	320692,18	40,13	0,0002
Error	63934,51	8	7991,81		
Total	16517303,25	11			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=119,02057

Error: 7991,8133 gl: 8

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
CC	1657,36	6	36,50	A
CP	3719,93	6	36,50	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=119,02057

Error: 7991,8133 gl: 8

mes	Medias	n	E.E.	
mes 10	2158,69	6	36,50	A
mes 1	3218,59	6	36,50	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=168,32050

Error: 7991,8133 gl: 8

Tratamiento	mes	Medias	n	E.E.	
CC	mes 10	1290,89	3	51,61	A
CC	mes 1	2023,83	3	51,61	B
CP	mes 10	3026,50	3	51,61	C
CP	mes 1	4413,35	3	51,61	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)**Análisis de la varianza**

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
C. Comp. Antiox.	12	0,98	0,97	7,41

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	19624241,83	3	6541413,94	109,02	<0,0001
Tratamiento	15053382,41	1	15053382,41	250,89	<0,0001
mes	4000065,55	1	4000065,55	66,67	<0,0001
Tratamiento*mes	570793,87	1	570793,87	9,51	0,0150
Error	480008,28	8	60001,04		
Total	20104250,11	11			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=326,12097

Error: 60001,0351 gl: 8

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
CC	2184,55	6	100,00	A
CP	4424,59	6	100,00	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=326,12097**

Error: 60001,0351 gl: 8

mes	Medias	n	E.E.	
mes 10	2727,22	6	100,00	A
mes 1	3881,93	6	100,00	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=461,20469**

Error: 60001,0351 gl: 8

Tratamiento	mes	Medias	n	E.E.	
CC	mes 10	1389,10	3	141,42	A
CC	mes 1	2980,00	3	141,42	B
CP	mes 10	4065,33	3	141,42	C
CP	mes 1	4783,85	3	141,42	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Color en piel (L*, a*, b*).

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
L*	8	19,26	1,98	0,89	0,3580
a*	8	4,16	2,33	0,88	0,2791
b*	8	3,01	1,67	0,88	0,2466

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
L*	8	0,90	0,76	5,03

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	24,50	4	6,12	6,52	0,0777
mes	5,38	3	1,79	1,91	0,3043
Configuración	19,11	1	19,11	20,34	0,0204
Error	2,82	3	0,94		
Total	27,32	7			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=3,08487

Error: 0,9396 gl: 3

mes	Medias	n	E.E.	
4,00	18,21	2	0,69	A
7,00	18,71	2	0,69	A
1,00	19,99	2	0,69	A
10,00	20,12	2	0,69	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=2,18133

Error: 0,9396 gl: 3

Configuración	Medias	n	E.E.	
CC	17,71	4	0,48	A
CP	20,81	4	0,48	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
a*	8	0,89	0,74	28,59

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	33,66	4	8,41	5,94	0,0875
mes	18,94	3	6,31	4,46	0,1256
Configuración	14,72	1	14,72	10,39	0,0484
Error	4,25	3	1,42		
Total	37,90	7			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=3,78698

Error: 1,4160 gl: 3

mes	Medias	n	E.E.	
10,00	1,83	2	0,84	A
7,00	3,75	2	0,84	A B
4,00	5,31	2	0,84	A B
1,00	5,76	2	0,84	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=2,67780**

Error: 1,4160 gl: 3

Configuración	Medias	n	E.E.	
CC	2,81	4	0,59	A
CP	5,52	4	0,59	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)**Análisis de la varianza**

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
b*	8	0,87	0,70	30,30

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	17,08	4	4,27	5,12	0,1053
mes	8,95	3	2,98	3,58	0,1614
Configuración	8,13	1	8,13	9,76	0,0523
Error	2,50	3	0,83		
Total	19,58	7			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=2,90485

Error: 0,8332 gl: 3

mes	Medias	n	E.E.	
10,00	1,33	2	0,65	A
7,00	2,91	2	0,65	A
4,00	3,75	2	0,65	A
1,00	4,06	2	0,65	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=2,05404**

Error: 0,8332 gl: 3

Configuración	Medias	n	E.E.	
CC	2,00	4	0,46	A
CP	4,02	4	0,46	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Color en pulpa (L*, a*, b*)

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
L*	8	34,25	10,31	0,81	0,0503
a*	8	13,63	3,25	0,89	0,3074
b*	8	24,00	13,93	0,86	0,1688

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
L*	8	1,00	0,99	2,92

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	740,50	4	185,13	185,13	0,0006
mes	740,50	3	246,83	246,83	0,0004
Configuración	0,00	1	0,00	0,00	>0,9999
Error	3,00	3	1,00		
Total	743,50	7			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=3,18245

Error: 1,0000 gl: 3

Mes	Medias	n	E.E.	
10,00	24,00	2	0,71	A
7,00	30,50	2	0,71	B
4,00	32,50	2	0,71	B
1,00	50,00	2	0,71	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=2,25033

Error: 1,0000 gl: 3

Configuración	Medias	n	E.E.	
CC	34,25	4	0,50	A
CP	34,25	4	0,50	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
a*	8	0,94	0,86	8,86

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	69,50	4	17,38	11,91	0,0347
mes	69,38	3	23,13	15,86	0,0241
Configuración	0,13	1	0,13	0,09	0,7888
Error	4,38	3	1,46		
Total	73,88	7			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=3,84317

Error: 1,4583 gl: 3

mes	Medias	n	E.E.	
10,00	9,00	2	0,85	A
4,00	13,50	2	0,85	B
7,00	15,00	2	0,85	B
1,00	17,00	2	0,85	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=2,71753**

Error: 1,4583 gl: 3

Configuración	Medias	n	E.E.	
CP	13,50	4	0,60	A
CC	13,75	4	0,60	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)**Análisis de la varianza**

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
b*	8	1,00	0,99	6,13

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1351,50	4	337,88	155,94	0,0008
mes	1351,00	3	450,33	207,85	0,0006
Configuración	0,50	1	0,50	0,23	0,6638
Error	6,50	3	2,17		
Total	1358,00	7			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=4,68443

Error: 2,1667 gl: 3

mes	Medias	n	E.E.	
10,00	9,00	2	1,04	A
7,00	18,50	2	1,04	B
4,00	24,00	2	1,04	C
1,00	44,50	2	1,04	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=3,31239**

Error: 2,1667 gl: 3

Configuración	Medias	n	E.E.	
CC	23,75	4	0,74	A
CP	24,25	4	0,74	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Comparación entre configuración en paralelo y en contracorriente en industria

Capacidad de producción de cada configuración

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
Carros extraídos	36	4,50	1,84	0,93	0,0976

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Carros extraídos	36	0,06	0,00	41,65

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	6,61	3	2,20	0,63	0,6026
Configuración	5,44	1	5,44	1,55	0,2222
Turno	1,17	2	0,58	0,17	0,8477
Error	112,39	32	3,51		
Total	119,00	35			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=1,27245

Error: 3,5122 gl: 32

Configuración	Medias	n	E.E.	
CP	4,11	18	0,44	A
CC	4,89	18	0,44	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=1,55843

Error: 3,5122 gl: 32

Turno	Medias	n	E.E.	
MAÑANA	4,25	12	0,54	A
NOCHE	4,58	12	0,54	A
TARDE	4,67	12	0,54	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Consumo de gas por configuración

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
Consumo de gas en m³/día	12	618,71	134,77	0,98	0,9530

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Consumo de gas en m³/día	12	0,16	0,07	20,96

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	31570,02	1	31570,02	1,88	0,2007
Configuración	31570,02	1	31570,02	1,88	0,2007
Error	168228,21	10	16822,82		
Total	199798,23	11			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=166,85182

Error: 16822,8208 gl: 10

Configuración	Medias	n	E.E.	
CP	567,42	6	52,95	A
CC	670,00	6	52,95	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
Humedad	12	20,17	1,40	0,89	0,2166

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Humedad	12	0,02	0,00	7,24

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,33	1	0,33	0,16	0,7009
Configuración	0,33	1	0,33	0,16	0,7009
Error	21,33	10	2,13		
Total	21,67	11			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=1,87893

Error: 2,1333 gl: 10

Configuración	Medias	n	E.E.	
CP	20,00	6	0,60	A
CC	20,33	6	0,60	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
aw	12	0,62	0,02	0,89	0,2004

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
aw	12	0,02	0,00	2,93

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	7,1E-05	1	7,1E-05	0,21	0,6545
Configuración	7,1E-05	1	7,1E-05	0,21	0,6545
Error	3,3E-03	10	3,3E-04		
Total	3,4E-03	11			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,02351

Error: 0,0003 gl: 10

Configuración Medias n E.E.

CC 0,62 6 0,01 A

CP 0,63 6 0,01 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)