

Universidad Pública de Navarra

Nafarroako Unibertsitate Publikoa

**ESCUELA TECNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS AGRONOMOS**

***NEKAZARITZAKO INGENIARIEN
GOI MAILAKO ESKOLA TEKNIKO***

**SECADO ASISTIDO POR MICROONDAS APLICADO EN FRUTAS: COMPARATIVA FRENTE AL
SECADO CONVENCIONAL POR AIRE CALIENTE**

presentado por

Blanca Berenguela Sagastibelza Forcada *(e)k*

aurkeztua

**GRADO EN INNOVACIÓN EN PROCESOS Y PRODUCTOS ALIMENTARIOS
*GRADUA ELIKAGAI PROZESU ETA PRODUKTUEN BERRIKUNTZAN***

Junio, 2018 –ko Ekaina

RESUMEN

En el presente estudio se han realizado ensayos de deshidratación de diferentes frutas mediante dos métodos, método convencional por convección de aire caliente y por microondas, y se ha analizado el efecto del método de secado en las propiedades sensoriales de las frutas (color, textura, sabor, etc.) así como en el consumo energético del proceso.

En base a los resultados obtenidos en el ensayo, se observa una reducción en los tiempos de proceso de deshidratación por microondas frente a los tiempos del proceso de secado por aire caliente. Mediante el análisis de curvas de velocidad, se observó que las frutas deshidratadas mediante microondas mostraban un periodo de secado constante al inicio del proceso, relacionado con el gradiente de presión de vapor generada en la parte interna del alimento, y que no se aprecia en las curvas correspondientes al secado por aire caliente, donde se observa una velocidad de secado decreciente a lo largo del proceso.

Los resultados permiten concluir que el método de secado por microondas supone ahorros de entre el 53,99 y el 89,41% en el consumo energético del proceso completo en comparación con el método convencional. Además, el método de deshidratación no influye por lo general en la calidad sensorial de las frutas, salvo en el color, donde existen niveles de diferencia suficientes para ser perceptibles a simple vista, y en aspecto general, ya que las frutas tienen tendencia a presentar quemaduras tras la deshidratación por microondas.

PALABRAS CLAVE: curvas de secado, velocidad de secado, fruta deshidratada

ABSTRACT

In the present study, fruit dehydration tests for different fruits have been carried out by two different methods, conventional air drying method and another one based on the use of microwaves. The effect of the drying method on the sensory properties of fruits has been analysed (color, texture, flavour, etc.) as well as the energy consumption for the entire process.

Based on the results obtained in the study, it was observed a reduction in the time needed for drying fruit using microwave method instead of air drying. Through the analysis of drying curves and drying speed curves, it was observed that microwave dried fruits showed a period of constant drying at the beginning of the process, which could be related to the vapor pressure gradient generated in the internal part of the fruit. This is not observed in the hot air drying curves where a decreasing drying speed is observed throughout the process.

The data obtained in the study allow to conclude that the use of microwaves for drying of fruit could result in savings of between 53.22 and 89.41% for energy consumption for the whole process duration compared to the conventional method. In addition, the sensory quality of the fruit is not influenced by the drying method for most of the fruits and sensory parameters, except for color, where ΔE values show a perceptible difference at first sight for the color on different drying methods, and global aspect since fruit have a tendency to burn after microwave drying.

KEY WORDS: drying curves, drying speed, shrinkage, dried fruit

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN.....	7
1.1.	La fruta y los métodos para su conservación.....	7
1.2.	Fruta deshidratada.....	7
1.3.	Métodos de secado.....	8
1.4.	Mecanismos y cinética del secado.....	10
1.5.	Parámetros de calidad de la fruta deshidratada.....	11
2.	OBJETIVO.....	13
3.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	14
3.1.	Materiales.....	14
3.1.1.	Equipo para el secado por microondas.....	14
3.1.2.	Equipo para el secado por aire caliente.....	14
3.1.3.	Maquinaria y utensilios.....	15
3.1.4.	Materia prima: Selección de la fruta.....	15
3.2.	Métodos.....	17
3.2.1.	Pruebas preliminares para el ajuste del equipo y optimización del proceso.	17
3.2.2.	Caracterización de las frutas.....	17
3.2.3.	Curvas de secado: Horno y Microondas.....	17
3.2.4.	Pruebas finales.....	18
3.2.5.	Análisis físico.....	18
3.2.6.	Análisis sensorial.....	19
3.2.7.	Análisis de consumo energético.....	20
3.2.8.	Análisis estadístico.....	20
4.	RESULTADOS.....	21
4.1.	Pruebas preliminares para el ajuste del equipo y optimización del proceso.	21
4.2.	Caracterización de las frutas.....	23
4.3.	Curvas de secado.....	24
4.4.	Análisis físico.....	28
4.4.1.	Textura.....	28
4.4.2.	Color.....	28
4.5.	Análisis sensorial.....	32
4.6.	Análisis de consumo energético.....	39
5.	CONCLUSIÓN.....	41
6.	BIBLIOGRAFÍA.....	43
	ANEXO 1.....	46
	ANEXO 2.....	48

Tabla 1. Condiciones de proceso teóricas en microondas para la selección de frutas.....	16
Tabla 2. Condiciones de proceso aplicadas en microondas para la selección de frutas.....	16
Tabla 3. Formato presentación de las frutas utilizado para la selección de frutas.....	16
Tabla 4. Condiciones de proceso finales para microondas	22
Tabla 5. Tiempos estimados de proceso en minutos para cada una de las frutas	22
Tabla 6. Formato de presentación final de las frutas.....	22
Tabla 7. Datos obtenidos de la caracterización de las frutas sin secar (grosor, diámetro y contenido de humedad).....	23
Tabla 8. Datos obtenidos de la caracterización de las frutas deshidratadas por los diferentes métodos..	23
Tabla 9. Resultados obtenidos en el análisis físico de la textura de las frutas.....	28
Tabla 10. Valores de ΔE obtenidos por la comparación de las diferentes muestras para cada una de las frutas.....	30
Tabla 11. Nivel de percepción de las diferencias de color entre muestras (Schuessler, 2016).....	30
Tabla 12. Significatividad de las diferencias halladas para las diferentes coordenadas entre los posibles métodos de secado y la fruta sin deshidratar.....	30
Tabla 13. Resultados correspondientes a la pregunta n°1 de la ficha de catas para las muestras de plátano. Dónde: 1=Muy poco intenso; 2=Poco intenso; 3=Ni poco ni muy intenso; 4=Intenso; 5=Muy intenso	32
Tabla 14. Resultados correspondientes a la pregunta n°3 de la ficha de catas para las muestras de plátano. Dónde: 1=Me desagrada bastante; 2=Me desagrada; 3=Ni me agrada ni me desagrada; 4=Me agrada; 5=Me agrada bastante	33
Tabla 15. Resultados correspondientes a la pregunta n°1 de la ficha de catas para las muestras de fresa. Dónde: 1=Muy poco intenso; 2=Poco intenso; 3=Ni poco ni muy intenso; 4=Intenso; 5=Muy intenso..	34
Tabla 16. Resultados correspondientes a la pregunta n°2 de la ficha de catas para las muestras de plátano. Dónde: 1=Me desagrada bastante; 2=Me desagrada; 3=Ni me agrada ni me desagrada; 4=Me agrada; 5=Me agrada bastante	35
Tabla 17. Resultados correspondientes a la pregunta n°1 de la ficha de catas para las muestras de kiwi. Dónde: 1=Muy poco intenso; 2=Poco intenso; 3=Ni poco ni muy intenso; 4=Intenso; 5=Muy intenso..	36
Tabla 18. Resultados correspondientes a la pregunta n°2 de la ficha de catas para las muestras de kiwi. Dónde: 1=Me desagrada bastante; 2=Me desagrada; 3=Ni me agrada ni me desagrada; 4=Me agrada; 5=Me agrada bastante	37
Tabla 19. Resultados correspondientes a la pregunta n°1 de la ficha de catas para las muestras de manzana. Dónde: 1=Muy poco intenso; 2=Poco intenso; 3=Ni poco ni muy intenso; 4=Intenso; 5=Muy intenso	37
Tabla 20. Resultados correspondientes a la pregunta n°2 de la ficha de catas para las muestras de kiwi. Dónde: 1=Me desagrada bastante; 2=Me desagrada; 3=Ni me agrada ni me desagrada; 4=Me agrada; 5=Me agrada bastante	38
Tabla 21. Datos de potencias y tiempos de proceso para cada tipo de fruta y método de secado	39
Tabla 22. Consumo energético para todos los procesos de deshidratación llevados a cabo % de ahorro del consumo del uso de microondas con respecto a la deshidratación por aire caliente	40
Tabla 23. Pesos de muestras tiempo de tratamiento para el plátano tratado por microondas	48
Tabla 24. Pesos de muestras tiempo de tratamiento para el plátano tratado por aire caliente.....	48
Tabla 25. Datos numéricos para las curvas de secado y de velocidad de secado del plátano por microondas	49
Tabla 26. Datos numéricos para las curvas de secado y de velocidad de secado del plátano por aire caliente	49
Tabla 27. Pesos de muestras tiempo de tratamiento para fresa tratada por microondas.....	50
Tabla 28. Pesos de muestras tiempo de tratamiento para fresa tratada por aire caliente.....	50
Tabla 29. Datos numéricos para las curvas de secado y de velocidad de secado de fresa por microondas	51
Tabla 30. Datos numéricos para las curvas de secado y de velocidad de secado de fresa por aire caliente	51
Tabla 31. Pesos de muestras tiempo de tratamiento para el kiwi tratado por microondas	52
Tabla 32. Pesos de muestras tiempo de tratamiento para el kiwi tratado por aire caliente	52
Tabla 33. Datos numéricos para las curvas de secado y de velocidad de secado del kiwi por microondas	53
Tabla 34. Datos numéricos para las curvas de secado y de velocidad de secado del kiwi por aire caliente	53
Tabla 35. Pesos de muestras tiempo de tratamiento para manzana tratada por microondas.....	54

Tabla 36. Pesos de muestras tiempo de tratamiento para manzana tratada por aire caliente	54
Tabla 37. Datos numéricos para las curvas de secado y de velocidad de secado de manzana por microondas	55
Tabla 38. Datos numéricos para las curvas de secado y de velocidad de secado de manzana por aire caliente	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Equipo microondas utilizado. _____	14
Figura 2. Equipo utilizado para la deshidratación por aire caliente _____	15
Figura 3. Espacio tridimensional CIELAB _____	19
Figura 4. Cabina del microondas indicando las posiciones de los generadores (del 1 al 4) _____	21
Figura 5. Ejemplo de muestras tratadas por los generadores 1 (izquierda) y 4 (derecha) para las mismas condiciones de proceso _____	21
Figura 6. Curvas de secado (a) y de velocidad de secado (b) correspondientes al proceso de deshidratación del plátano _____	24
Figura 7. Curvas de secado (a) y de velocidad de secado (b) correspondientes al proceso de deshidratación de fresa _____	25
Figura 8. Curvas de secado (a) y de velocidad de secado (b) correspondientes al proceso de deshidratación del kiwi _____	26
Figura 9. Curvas de secado (a) y de velocidad de secado (b) correspondientes al proceso de deshidratación de manzana _____	27
Figura 10. Resultados obtenidos del estudio físico del color mediante colorímetro para la coordenada L* de CIELAB _____	29
Figura 11. Resultados obtenidos del estudio físico del color mediante colorímetro para la coordenada a* de CIELAB _____	29
Figura 12. Resultados obtenidos del estudio físico del color mediante colorímetro para la coordenada b* de CIELAB _____	29
Figura 13. Ejemplo de muestras finales de plátano y manzana tratadas por microondas (izquierda) y por convección de aire caliente (derecha) _____	31
Figura 14. Ejemplo de muestras finales de fresa y kiwi tratadas por microondas (derecha) y por convección de aire caliente (izquierda) _____	31
Figura 15. Gráfica para los resultados correspondientes a la pregunta n°1 de la cata _____	32
Figura 16. Gráfica para los resultados correspondientes a la pregunta n°3 de la cata _____	33
Figura 17. Gráfica para los resultados correspondientes a la pregunta n°1 de la cata para fresa _____	34
Figura 18. Gráfica para los resultados correspondientes a la pregunta n°3 de la cata de fresa _____	35
Figura 19. Gráfica para los resultados correspondientes a la pregunta n°1 de la cata para kiwi _____	36
Figura 20. Gráfica para los resultados correspondientes a la pregunta n°3 de la cata de kiwi _____	37
Figura 21. Gráfica para los resultados correspondientes a la pregunta n°1 de la cata para manzana _____	38
Figura 22. Gráfica para los resultados correspondientes a la pregunta n°3 de la cata de manzana _____	39
Figura 23. Ejemplo de ficha de cata _____	47

1. INTRODUCCIÓN

1.1. La fruta y los métodos para su conservación

Según el Código Alimentario Español, se conoce como fruta al “fruto, infrutescencia, la semilla o partes carnosas de órganos florales, que hayan alcanzado un grado adecuado de madurez y sean propias para el consumo humano” (Real decreto 2484/1967, de 21 de septiembre, por el que se aprueba el texto del Código Alimentario Español).

Las frutas, al igual que las verduras, son una fuente importante de nutrientes esenciales tales como las vitaminas, minerales y fibra. Estas son tejidos vivos de alto contenido de humedad (60-95%) y de actividad de agua, lo que las convierte en alimentos altamente perecederos con una vida útil en fresco de entre una y dos semanas (Shafiur Rahman, 2007). Por lo tanto, se considera que la mejor forma de conservar la calidad nutricional de las frutas es mediante su consumo en fresco, en un plazo corto, y recurriendo en general al uso de bajas temperaturas durante el almacenamiento. Sin embargo, estas temperaturas son difíciles de mantener a lo largo de toda la cadena de distribución, mientras que sólo consiguen mantener la calidad del producto durante un periodo de vida útil limitado (Orsat, Changrue y Raghavan, 2006).

Sin embargo, las frutas pueden ser consumidas en diferentes formatos a parte del consumo en fresco (Shafiur Rahman, 2007), los cuales permiten en algunos casos aumentar el periodo de vida útil de estas en mayor o menor medida. Por lo tanto, los posibles formatos de consumo de frutas son los siguientes:

- ❖ Fresca
- ❖ Mínimamente procesada
- ❖ Procesada (congelada, deshidratada, en conserva etc.)

De todas estas formas de consumo arriba señaladas, el presente trabajo centrará su interés en el apartado de fruta procesada, más concretamente en fruta deshidratada debido a la previsión de crecimiento del consumo de este producto en los próximos años (ESM, 2017).

1.2. Fruta deshidratada

La fruta deshidratada, de acuerdo al Código Alimentario Español, es el producto obtenido a partir de frutas carnosas frescas (aquellas cuya parte comestible posee en su composición cuando menos el 50% de agua) a las que se ha reducido la proporción de humedad mediante procesos apropiados y autorizados, cuyo grado de humedad será tal que impida toda alteración posterior (Decreto 2484/1967, 2016). Por lo general, la fruta deshidratada suele ser envasada en atmosfera protectora (EAP) al 100% de nitrógeno y conservada a temperatura ambiente, lo que permite una vida útil de producto de hasta 12 meses (Carbueros Metálicos, 2016; García, Gago y Fernández, sin fecha).

Todas las civilizaciones, a lo largo de la historia, han desarrollado en mayor o menor medida formas para conservar los alimentos. En concreto, la deshidratación, uno de los métodos más antiguos para la preservación de los mismos. Antiguamente, los alimentos a conservar (frutas, vegetales, carnes, etc.) eran colocados bajo la luz solar para evaporar el agua contenido en su interior y de esta manera conseguir retrasar su rápido deterioro (Dueñas-Molins, sin fecha). Al reducirse el contenido en humedad del alimento, en este caso la fruta, se produce una concentración de nutrientes y sabor, siendo por lo general una buena fuente de vitaminas y minerales (MINCETUR, 2016). Cabe destacar que alrededor de un 20% de los cultivos son secados o deshidratados con el fin de aumentar su vida útil, evitar su desperdicio y/o promover

la seguridad alimentaria. Entre otros beneficios de este proceso se encuentran la reducción de costes de envasado y transporte en relación al peso y el volumen, y la posibilidad de dar valor añadido a productos recolectados (Orsat et al., 2006; Bradford et al., 2018).

Por su parte, España es uno de los principales productores de fruta en la Unión Europea. En la agricultura española concretamente, el sector hortofrutícola tiene un papel fundamental, siendo el más importante en el conjunto del sector agrario (MAPAMA, sin fecha). Los cambios en los hábitos alimentarios y estilo de vida (como la falta de tiempo e incremento de consumo de productos ya preparados listos para llevar, el mayor grado de consciencia de los atributos de los productos en cuanto a buena alimentación, el aumento significativo de demanda de productos ecológicos, etc.), afectan directamente al destino de la producción hortofrutícola española, influyendo en su modernización, estructura e incorporación de innovaciones tecnológicas. En concreto, en cuanto a las cifras de producción y consumo de frutas deshidratadas en España, estas han aumentado en los últimos años en un 21 y 24% respectivamente. Este consumo se ve incrementado debido, principalmente, a la creciente demanda de productos saludables, nutritivos y naturales por parte del consumidor español. En los últimos años, las preferencias de los consumidores han cambiado hacia un mayor consumo de productos a base de (o que contienen) frutas procesadas mayoritariamente en formato deshidratado, especialmente como snacks de fruta pero también como topping en diferentes alimentos (ensaladas, yogur, helados, barritas, etc.) y/o polvos para purés a base de fruta (MINCETUR, 2016; Szychowski et al., 2018).

Se espera que el sector que lleva creciendo 7 años consecutivos en España lo siga haciendo, y se estiman incrementos del 3-4% anual entre 2017 y 2018 (ESM, 2017).

1.3. Métodos de secado

Para llevar a cabo la deshidratación de la fruta, tal y como indica en su trabajo Contreras (2006), existen diversos tipos de secadores utilizados en la industria para llevar a cabo este proceso:

❖ Secadores directos:

Aquellos que se caracterizan por utilizar gases calientes para el suministro del calor en contacto directo con el alimento, fundamentalmente por convección, y arrastrar el líquido vaporizado. Por ejemplo, secadores de estufa, de bandejas, de lecho fluidizado, por atomización, etc.

❖ Secadores indirectos:

En los cuales el calor se transmite al alimento por conducción a través de la pared que lo contiene, eliminándose el líquido vaporizado independientemente del medio calefactor. Por ejemplo, secadores de bandeja a vacío, liofilizadores, etc.

❖ Otros:

Dentro de esta clasificación se encuentran los secadores por radiación donde la energía se produce eléctricamente (infrarrojos) o por medio de refractarios únicamente calentados con gas, y los secadores dieléctricos y por microondas.

Entre las técnicas de mayor relevancia para la deshidratación de alimentos, a parte del convencional secado por aire caliente, destacan la liofilización, el secado al vacío, la deshidratación osmótica, el secado por medio solar y el secado por microondas. Todas ellas pueden ser combinadas permitiendo así conseguir una mayor eficacia del tratamiento, un mejor rendimiento energético, menor pérdida en la calidad sensorial del producto, etc. (Gaukel, Siebert, y Erle, 2017).

A continuación, debido al interés particular del presente trabajo en secado por microondas y por convección de aire caliente, se detallan en mayor profundidad las características para cada uno de ellos:

Secado por convección de aire caliente (AC)

Es el método más común para el secado de alimentos debido a su bajo coste de inversión y de operación, así como por su facilidad de uso, en el cual se somete al alimento a una temperatura determinada por un periodo de tiempo determinado hasta alcanzar el valor de humedad deseado (Contreras, 2006; Orsat et al., 2006). Representa aproximadamente el 85% de todas las operaciones de secado industrial. Sin embargo, este requiere de largas horas de proceso (generalmente entre 1-7 h, dependiendo de la temperatura, el contenido de humedad y la estructura del producto) y altas temperaturas de aire caliente (pudiendo alcanzar hasta los 180°C) (Contreras, 2006) que pueden causar serios daños en el sabor, color, calidad y cantidad de nutrientes, densidad y capacidad de rehidratación del alimento al que se le aplica (Maskan, 2000). También lleva a la formación de una corteza dura (case hardening) en el exterior del producto que según el objetivo del proceso, puede llegar un punto negativo para el producto final (Contreras, 2006). Es precisamente la intención de superar estos problemas u obstáculos del método convencional de secado lo que ha llevado al desarrollo de nuevas técnicas como la del secado asistido por microondas.

Secado asistido por microondas (MW)

Las microondas son ondas electromagnéticas de frecuencias comprendidas entre los 300 MHz hasta los 300 GHz. Cuando las microondas impactan en un material dieléctrico, parte de la energía es transmitida, parte reflejada y otra parte es absorbida por el material, donde es disipada como calor (Contreras, 2006).

La presencia de humedad o agua, causa un calentamiento dieléctrico debido a la naturaleza dipolar de la misma. Cuando un campo eléctrico oscilante incide sobre las moléculas de agua, las moléculas dipolares permanentemente polarizadas intentan realinearse en la dirección del campo eléctrico. A su vez, debido a la alta frecuencia de dicho campo eléctrico, la realineación se produce a un millón de veces por segundo causando una fricción interna de las moléculas que resulta en el calentamiento del material (Chandrasekaran, Ramanathan y Basak, 2013).

Son pocas las frecuencias permitidas por una convención internacional para su uso industrial, científico y médico, siendo la de 2'45 GHz la más favorable para los procesos de secado. Por otra parte, las microondas son usadas como fuente de calor única o adicional en los procesos de secado, pudiéndose combinar por ejemplo con el uso de aire caliente u otras técnicas (Contreras, 2006).

Secado asistido por microondas frente al secado por convección de aire caliente

Entre las principales desventajas del secado por aire caliente se encuentran la baja eficiencia energética, la pérdida de calidad del producto y los largos tiempos de proceso necesarios para obtener el alimento deshidratado. Esto se debe a la baja conductividad de estos mismos, que hace que la transferencia de calor a su interior durante el proceso sea limitada (Wang y Sheng, 2006). Además, el secado por aire caliente se vuelve menos efectivo a medida que aumentan tanto la temperatura del ambiente como la humedad relativa (Bradford et al, 2018). Tal y como se ha observado en diversos estudios (Wang et al., 2006; Alibas, 2007; Ruíz-Díaz, Martínez-Monzó, Fito y Chiralt, 2003; Andrés, Bilbao y Fito, 2004; Contreras, Martín-Esparza, Chiralt y Martínez-Navarrete, 2008; Maskan, 2000), tanto el uso de microondas exclusivamente para la deshidratación de frutas como la combinación de microondas con aire caliente, consiguen

mejorar el rendimiento energético así como reducir los tiempos de proceso de secado por aire caliente únicamente.

El secado por microondas, por su parte, tiene la ventaja de lograr tasas de secado rápidas y sin el uso de altas temperaturas lo cual puede llegar a mejorar la calidad de algunos productos alimenticios. Como se muestra en algunos estudios (Paengkanya, Soponronnarit y Nathakaranakule, 2015; Andrés et al., 2004), mediante el uso de microondas también se consigue evitar o reducir la contracción de algunos alimentos, ya que debido a los vapores que se generan en el interior de los mismos, se desarrolla un gradiente de presión interno que fuerza el agua hacia el exterior. Sin embargo, en el secado por aire caliente, la difusión limita la velocidad de secado, lo que produce una contracción del material y la reducción del contenido de humedad de la superficie (Chandrasekaran et al., 2013).

Cabe destacar que, una de las desventajas del secado asistido por microondas se encuentra en la temperatura excesiva acumulada a lo largo de los extremos o bordes del producto, que da como resultado la posible aparición de quemaduras y de sabores extraños, especialmente durante las etapas finales del secado. Todo ello se debe a la dificultad del control de la temperatura final del producto, que no ocurre como en el secado por aire caliente donde la temperatura del producto nunca excede la temperatura del aire caliente (Chandrasekaran et al., 2013). También, otra de las problemáticas de la deshidratación por microondas viene dada por la acumulación de humedad en la superficie del alimento, lo cual influye directamente en la textura final del producto y por lo tanto en la calidad sensorial del mismo (Wojdylo et al., 2016). Por ello, las microondas no son todavía comunes en el secado de alimentos en la industria alimentaria, los problemas técnicos y la poca uniformidad del tratamiento dificultan el uso de esta técnica dejando olvidadas sus diversas ventajas y oportunidades (Gaukel et al., 2007)

1.4. Mecanismos y cinética del secado

Un material, o en este caso un alimento, sometido a deshidratación, puede ser considerado como un sistema trifásico al suponerse que este cuenta con una matriz sólida, una fracción líquida y otra gaseosa. De esta forma, pueden distinguirse diferentes mecanismos de transporte de materia dependiendo de la fase a través de la cual se esté produciendo el mismo. Los mecanismos destacados para la transferencia en el interior de un sólido son la difusión de agua en forma de vapor o en fase líquida y la capilaridad. Por otra parte, en cuanto a la transferencia de calor, puede observarse una primera transferencia externa, donde este se transporta hacia la interfase sólido-gas y que suele ocurrir comúnmente por mecanismos de convección, conducción y radiación, y una segunda transferencia interna, donde el calor se transporta a través del sólido (Contreras, 2006).

Para llevar a cabo la modelización del proceso de deshidratación, es necesario identificar las posibles etapas del proceso y los mecanismos de transferencia de materia que las gobiernan. Esto puede realizarse a través del uso de modelos cinéticos que permitan predecir la evolución del proceso. De esta forma, por lo general, pueden distinguirse estas etapas o fases a lo largo de un proceso de deshidratación:

❖ Periodo de inducción o de velocidad de secado creciente:

Es en esta etapa cuando se inicia el secado, produciéndose un calentamiento del producto, aumentando la temperatura de la interfase, y una adaptación del material a las condiciones de secado (Contreras, 2006). En esta fase, se consigue evaporar el agua de la superficie hasta alcanzar una tasa de secado constante (Jaturonglumlert y Kiatsiriroat, 2010). Finalmente, la duración de este periodo es función del contenido inicial de humedad del sólido, de su temperatura, de la velocidad del aire, etc., sin embargo, en cuanto a la utilidad del mismo para

cálculos de proceso y de modelización, se suele prescindir de él debido a su tendencia al régimen estacionario y su corta duración (Contreras, 2006).

❖ Periodo de velocidad de secado constante:

Dónde la velocidad con que se elimina agua de la superficie del sólido es igual que la velocidad con que llega a ella desde el interior del mismo (Contreras, 2006). Cabe mencionar, que durante esta etapa, la superficie del producto se mantiene constantemente mojada, comportándose como una masa de líquido, y el flujo de aire que pasa transfiere el calor para la evaporación del agua a la superficie. Simultáneamente, el aire recoge el vapor de agua y lo transporta lejos de la superficie del producto, hacia fuera del secador, tratándose, por lo tanto, de una transferencia simultánea de calor y masa. De esta forma, para mantener esta superficie mojada, tiene que fluir suficiente agua desde el interior del alimento a su superficie (Gaukel et. al, 2017). Es decir, la velocidad de secado es igual a la velocidad de evaporación del agua, que será a su vez proporcional a la velocidad de flujo de calor que llega desde el aire al sólido. En tales condiciones, la temperatura de la interfase permanece constante y el calor que llega al sólido se invierte totalmente en evaporar el líquido (Contreras, 2006).

❖ Periodo de velocidad de secado decreciente:

En esta última fase, la humedad del producto sigue disminuyendo hasta alcanzar la humedad de equilibrio (Contreras, 2006). De esta forma, la superficie empieza a volverse seca y la velocidad de secado del alimento comienza a disminuir debido a que el agua del interior del alimento no puede transportarse lo suficientemente rápido hacia la superficie del mismo. Así mismo, el calor debe de ser transportado al interior del producto para habilitar la evaporación del agua y el vapor de agua debe ser transportado a través del área seca del producto a su superficie. Es decir, la deshidratación lleva a un secado de la superficie del alimento y la zona de evaporación de agua se desplaza hacia el centro de este. De esta forma, la resistencia a la transferencia de calor y masa aumenta, y en consecuencia la tasa de secado disminuye y la temperatura superficial del alimento incrementa (Jaturonglumlert et al., 2010).

Finalmente, cabe destacar que es principalmente en el periodo de velocidad de secado decreciente donde el uso del microondas puede resultar más beneficioso ya que mientras el material o alimento absorbe la energía del microondas, surge un gradiente de temperatura donde la temperatura del centro del mismo es superior a la del resto, forzando así la salida de la humedad de esta parte (Orsat et al., 2006). Sin embargo, en el caso del secado combinado por aire caliente-microondas, puede que los periodos de secado mencionados no sean tan fáciles de distinguir por lo que la modelización del proceso será más compleja (Contreras, 2006).

1.5. Parámetros de calidad de la fruta deshidratada

La calidad de frutas y verduras abarca las propiedades sensoriales (apariencia, textura y sabor), los valores nutritivos, componentes químicos, propiedades mecánicas, propiedades funcionales y los defectos que estas puedan o no tener (Galindo et al., 2015). Los análisis sensoriales de alimentos, se utilizan en el control del mantenimiento de la calidad de los mismos durante y al final del proceso que este vaya a sufrir (Maskan, 2001). Sin embargo, una dificultad añadida a la hora de definir la calidad en este tipo de productos se encuentra en que, tanto las frutas como las verduras, son muy variables y cada pieza puede diferir mucho de otra (Galindo et al., 2015).

La deshidratación de frutas y verduras conlleva diversos cambios o efectos en el aspecto físico de las mismas. Las perturbaciones producidas en la estructura celular de la planta no solo causan problemas a nivel macroscópico tales como contracción, case hardening, cambios en la textura etc., sino que también llevan consigo alteraciones en el proceso de transferencia de masa (Contreras, Benlloch-Tinoco, Rodrigo y Martínez-Navarrete, 2017). De esta forma, el proceso

de deshidratación de un alimento no pasa únicamente por la optimización de la operación en términos de volumen de producción y coste, sino que además debe satisfacer las necesidades y requerimientos del consumidor. Debido a esto, resulta fundamental entender y diseñar procesos que tiendan también a conservar en la medida de lo posible las propiedades sensoriales más parecidas al alimento en fresco (Contreras, 2006).

El primer juicio en relación a la calidad realizado por el consumidor sobre un alimento gira en torno al aspecto visual. Es decir, el color será el principal atributo que marque la aceptabilidad del producto por parte del consumidor (que desea por lo general un color similar al producto en fresco) además de otros aspectos como el tamaño y los defectos que se puedan o no percibir (Maskan, 2001). En el caso de la fruta, el color depende de la presencia de pigmentos como carotenoides, antocianinas, clorofilas y compuestos fenólicos. En ciertas ocasiones, se produce la aparición de coloraciones marrones, generalmente indeseadas, asociadas a reacciones de pardeamiento no enzimático (por ejemplo, la reacción de Maillard, favorecida por altas temperaturas), de tipo enzimático y el producido por la caramelización de los azúcares en la superficie. Si este deterioro es extenso el producto puede resultar inaceptable para el consumidor (Contreras, 2006). En los últimos años se han estudiado los cambios en el color durante la deshidratación de alimentos mediante diferentes métodos (Horuz, Bozkurt, Karataş y Maskan, 2017; Das y Arora, 2018; Alibas, 2007; Maskan, 2001), en ellos, se ha podido comprobar la variabilidad de los resultados entre un producto u otro. Mientras que en algunos casos, el uso de microondas, ya sea exclusivamente o combinado con aire caliente, produce una mejora aparente en el color obteniendo resultados más semejantes al producto en fresco, en otros casos el alimento sufre mayor degradación en tratamientos llevados a cabo por microondas.

Otro de los aspectos a tener en cuenta y relacionados con el aspecto de la fruta es el encogimiento que esta pueda sufrir debido al proceso de secado, que puede ser considerada como un aspecto negativo. En el trabajo realizado por Contreras (2006), se observa como el uso de un tratamiento combinado de aire caliente y microondas reduce la pérdida de volumen de las muestras en comparación con el tratamiento de deshidratación por aire caliente.

La textura también debe ser destacada como atributo sensorial fundamental en un alimento deshidratado, ya que uno de los objetivos de la Industria Alimentaria, a parte del de producir alimentos que sean agradables para el consumidor, es el de hacer que estos sean a su vez fáciles de consumir. Además, la textura es la sensación más relevante relacionada con la estructura del alimento que surge de la interacción humana con este mismo, con su estructura y su comportamiento frente a dicha interacción (Contreras, 2006). El ensayo llevado a cabo por Contreras et al. (2008), concluye que no existen cambios en textura relacionado al tipo de proceso de deshidratación utilizado, mientras que en el estudio llevado a cabo por Contreras (2017) se deduce una diferencia en productos tratados por microondas debido a la reducción en tiempo de tratamiento.

Finalmente, el sabor es otro de los atributos importantes a valorar. A pesar de que el uso de microondas, debido a sus cortos tiempos de tratamiento retengan mejor el sabor de los alimentos, un exceso de intensidad en el tratamiento puede dar lugar a la aparición de sabores extraños (Contreras et al., 2017) así como a quemaduras que deriven en un cambio en el sabor del producto final.

2. OBJETIVO

El objetivo principal del presente trabajo es la evaluación del uso de microondas para la deshidratación de frutas frente al método convencional de secado por convección de aire caliente.

Objetivos específicos:

- Analizar si el método de deshidratación afecta a la calidad sensorial de diferentes frutas seleccionadas.
- Analizar si existe mayor eficiencia del consumo energético en la deshidratación por microondas frente a la deshidratación convencional por convección de aire caliente.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Materiales

3.1.1. Equipo para el secado por microondas

El equipo utilizado en el transcurso de este trabajo para llevar a cabo la deshidratación es un microondas de SAIREM IBERICA S. L. (España), SI-MAQ 0101. La cavidad del equipo se compone de 4 generadores de microondas a la frecuencia de 2,45 GHz, de 1 kW (con una potencia variable del 40 al 100%, situándose 2 debajo y 2 encima) refrigerados por aire y otro generador de 4 kW a la frecuencia de 0,915 GHz, por lo que el equipo dispone de una potencia total de microondas de 8 kW. Cuenta también con 5 acopladores direccionales para la medida de la potencia reflejada, 4 sondas de temperatura por fibra óptica, una sonda de temperatura del aire en el interior de la cavidad y una sonda de humedad, en el circuito de extracción. La cavidad puede funcionar de forma estática mediante un movimiento de vaivén de la cinta de transporte o en continuo haciendo avanzar el producto de forma continua a través de la cavidad. Finalmente, el equipo cuenta con la posibilidad de aplicación de infrarrojos de longitud de onda larga, de aire caliente variable hasta 140°C con regulador de temperatura, posibilidad de inyectar aire frío y un extractor de vapor/aire situado en el exterior (Sairem, 2016).



Figura 1. Equipo microondas utilizado.

3.1.2. Equipo para el secado por aire caliente

El equipo utilizado para la deshidratación de las muestras por aire caliente es un horno ZANUSSI, modelo PNC 9PDD 140353 06 (Figura 2). El equipo cuenta con una puerta de cristal doble, una pantalla donde se indica de forma digital la temperatura, una sonda termostática para medir la temperatura en el centro del producto, monitorización continua de los parámetros de cocción durante el ciclo y un dispositivo manual de evacuación rápida del vapor de la cámara.



Figura 2. Equipo utilizado para la deshidratación por aire caliente

3.1.3. Maquinaria y utensilios

De proceso:

- Estufa J.P..SELECTA, SA
- Envasadora ULMA SMART 300

Equipos de análisis y materiales auxiliares:

- Barquetas
- Balanza
- Cuchillos
- Mandolina
- Calibre
- Rejilla
- Descorazonador
- Texturómetro TA.XT. plus Texture Analyser
- Colorímetro Minolta CR-400
- Pinza amperométrica

3.1.4. Materia prima: Selección de la fruta

Para la elección de la materia prima, se llevó a cabo una primera fase de selección de entre un grupo de frutas de temporada (febrero-mayo) con el fin de escoger aquellas que pudiesen resultar más interesantes y se adaptasen mejor al ensayo a realizar. Las frutas analizadas en esta primera etapa fueron las siguientes: dos variedades de manzana (verde y roja), plátano, kiwi, fresa y naranja.

Las frutas seleccionadas fueron adquiridas en fruterías y supermercados locales y fueron almacenadas en refrigeración (4 °C) durante un periodo máximo de 5 días.

En primer lugar, se seleccionaron parámetros orientativos para el tratamiento asistido por microondas de las diferentes frutas, basados en la búsqueda bibliográfica realizada previamente de diferentes trabajos como los de Andrés et al. (2004); Contreras et al. (2008); Maskan (2000); Maskan (2001); Ruíz-Díaz et al. (2003) y Zarein, Samadi y Ghobadian (2015), destacando las siguientes condiciones de ensayo (Tabla 1):

Tabla 1. Condiciones de proceso teóricas en microondas para la selección de frutas

CONDICIONES DE PROCESO			
FRUTAS	Intensidad (MHz)	Potencia (W)	Temperatura (°C)
Manzana (dos variedades)	2450	600	-
Plátano	2450	700	-
Fresa*	2450	200	40
Kiwi*	2450	210	60
Naranja*	2450	100	60

*El equipo no permite cumplir con las condiciones de potencia destacadas en bibliografía

Como se puede observar en la Tabla 1, algunas de las frutas requerían de potencias que el microondas a utilizar no era capaz de proporcionar por lo que se optó por adaptar las condiciones de proceso al equipo intentando respetar al máximo aquellas propuestas en bibliografía.

Tabla 2. Condiciones de proceso aplicadas en microondas para la selección de frutas

CONDICIONES DE PROCESO			
FRUTAS	Intensidad (MHz)	Potencia (W)	Temperatura (°C)
Manzana (dos variedades)	2450	600	-
Plátano	2450	700	-
Fresa*	2450	400	30
Kiwi*	2450	400	40
Naranja*	2450	400	40

Esta primera fase de estudio se enfocó principalmente en la observación de la evolución global de las diferentes frutas a lo largo de un tiempo indefinido en base a los parámetros preliminares previamente descritos en la Tabla 2, suficientes para evaluar la respuesta positiva o no de las muestras al tratamiento de secado por microondas.

A continuación, se procedió a la preparación de las muestras cuyos formatos de presentación quedan recogidos en la siguiente tabla (Tabla 3):

Tabla 3. Formato presentación de las frutas utilizado para la selección de frutas

PRESENTACIÓN DE LAS FRUTAS			
FRUTA	Formato	Grosor (mm)	Piel
Plátano	Laminado	4,3	Retirada
Fresa	Mitades	-	Sin retirar
Kiwi	Laminado	4	Retirada
Manzana	Laminado	4	Sin retirar
Naranja	Laminado	5	Sin retirar

Finalmente analizando los resultados en cuanto a evolución de las frutas y su estado en relación al tiempo de tratamiento se optó por descartar la naranja, por sus largos tiempos de proceso sin resultados aparentes, y la variedad verde de manzana, debido a su evolución algo más negativa en comparación con la variedad roja. Por lo tanto quedaron seleccionadas las siguientes frutas:

- Fresa – Fresón de Palos
- Plátano – Plátano de Canarias
- Kiwi – Zespri Green (Hayward)
- Manzana (variedad roja) – Pink Lady

3.2. Métodos

3.2.1. Pruebas preliminares para el ajuste del equipo y optimización del proceso.

Tras la primera fase de pruebas para la selección de las frutas, se llevó a cabo una segunda ronda de pruebas en microondas. Se tomaron como referencia las conclusiones obtenidas durante las pruebas llevadas a cabo para el apartado 3.1.4., principalmente en cuanto al aspecto de la fruta deshidratada (nivel de deshidratación, quemaduras, aspecto de sobrecocinado, homogeneidad de la deshidratación, etc.).

De esta forma, se hicieron pruebas para cada una de las frutas ajustando diferentes parámetros con el fin de corregir errores y/o defectos y optimizar el proceso de deshidratación por microondas.

3.2.2. Caracterización de las frutas.

Se llevó a cabo una caracterización de frutas atendiendo a medidas de grosor y diámetro (ya en el formato de presentación final seleccionado) y contenido de agua. En el caso de las medidas de grosor y diámetro, se tomaron para la fruta fresca (sin deshidratar) así como para la fruta ya deshidratada una vez hubiese terminado el tratamiento. Estas mediciones se hicieron mediante el uso de un calibre.

Para la medida del contenido de humedad de cada fruta, esta se obtuvo mediante diferencia de pesado asumiendo que la pérdida de peso se debe únicamente a la pérdida de agua. Las muestras fueron preparadas en su correspondiente formato de presentación final, pesadas y deshidratadas durante 24h en una estufa a 65°C. Tras este tiempo, las muestras fueron pesadas de nuevo y se procedió al cálculo del contenido de agua en la muestra ($\text{g de agua} / 100 \text{ g de muestra}$).

3.2.3. Curvas de secado: Horno y Microondas.

A continuación se llevaron a cabo los procesos para poder realizar las curvas de secado de cada fruta para cada uno de los tratamientos (horno y microondas). Para ello, se sometió a cada fruta a las condiciones descritas tras los resultados de las pruebas preliminares incluyendo el formato de presentación de las frutas.

Se tomaron, antes de comenzar cada uno de los tratamientos, los pesos de diferentes muestras para cada una de las frutas. A lo largo de los procesos tanto de microondas como de deshidratación por convección de aire caliente, se sacaron las muestras (cada 10 minutos en los procesos de microondas, cada 20 minutos en los procesos de horno) para su pesado hasta observar que el peso se volvía constante, que fue entonces cuando se detuvo el proceso.

A continuación, se elaboraron curvas de secado a partir de los datos recopilados para cada una de las frutas y sus respectivos métodos de secado, expresadas en base seca.

3.2.4. Pruebas finales

Las frutas se sometieron a los tratamientos descritos tras las pruebas preliminares de optimización del proceso y para ello, en primer lugar, fueron pesadas. En esta ocasión, las muestras no fueron sacadas cada 10 o 20 minutos sino que únicamente fueron controladas al acercarse el tiempo total de tratamiento estimado tras las pruebas preliminares (con márgenes de 10-15 minutos). Una vez se alcanzado el peso correspondiente al contenido de humedad deseado para cada fruta se detuvieron los ensayos.

La selección del contenido humedad final deseado para cada una de las frutas se basó en resultados de diferentes estudios encontrados durante la búsqueda bibliográfica así como en la valoración personal de acuerdo a los resultados obtenidos tras las pruebas de optimización de proceso (en cuestiones de textura y aspecto general principalmente). Estos son los contenidos de humedad finales calculados para cada una de las frutas:

- Plátano: 5 g H₂O/100 g de muestra
- Fresa: 2 g H₂O/100 g muestra
- Kiwi: 2 g H₂O/100 g de muestra
- Manzana: 5 g H₂O/100 g de muestra

Tras el tratamiento de secado, se volvieron a medir el grosor y el diámetro para las diferentes muestras de cada fruta y tratamiento.

Finalmente se envasaron las muestras de fruta deshidratada, separándolas por método de secado aplicado, en barquetas con un 100% de nitrógeno con el fin de mantener las muestras hasta el día del análisis sensorial. En el caso de la textura y el color, para las muestras de kiwi y plátano los ensayos se realizaron al día siguiente de ser tratados, mientras que en el caso de la manzana y la fresa se llevaron a cabo el mismo día del tratamiento y envasado. Sin embargo para la cata el plátano fue catado a los 4 días de ser envasado mientras que el kiwi fue a los dos días y en el caso de la manzana y la fresa, fueron catadas al día siguiente de ser envasadas. No hubo diferencias de tiempo entre envasado y ensayos de textura y color así como de catas para las muestras de una misma frutas ya fuesen secadas tanto por horno como por microondas.

3.2.5. Análisis físico

Textura

Las muestras de fruta deshidratadas a diferentes niveles de humedad fueron analizadas a 25 °C mediante ensayos de punción por medio de texturómetro (TA.XT. plus Texture Analyser). Para el ensayo, y basándose en diferentes estudios de textura en fruta deshidratada (Ben Haj Said, Bellagha y Allaf, 2015; Contreras, 2006) se utilizó un punzón cilíndrico de 2 mm de diámetro a una velocidad de 1,5 mm/s de penetración. Las pruebas se realizaron por triplicado sobre 7 muestras para cada tratamiento y cada fruta (en total 21 repeticiones por cada tratamiento).

Mediante el texturómetro se calculó la firmeza de las diferentes muestras de fruta tratadas por dos métodos diferentes. La textura fue evaluada como la fuerza máxima recogida por el equipo durante el proceso de penetración.

Se sometieron muestras de fruta correspondientes a cada uno de los tratamientos así como en fresco (con el mismo formato de presentación de la fruta presentado en la Tabla 6) al colorímetro con el fin de determinar el cambio de color tras el tratamiento y si muestran semejanzas con el color de la fruta sin tratar. Para ello se llevó a cabo una medición sobre 7 muestras para cada tratamiento (incluida la fruta sin tratar).

El equipo permite obtener la lectura las coordenadas CIEL*a*b* (coordenadas del espacio uniforme de color), donde la a* representa la cantidad de rojo (+) / verde (-), la b* representa la cantidad de amarillo (+) / azul (-) y la coordenada L* se refiere a la luminosidad tomando valores entre 0 y 100 (Figura 3).

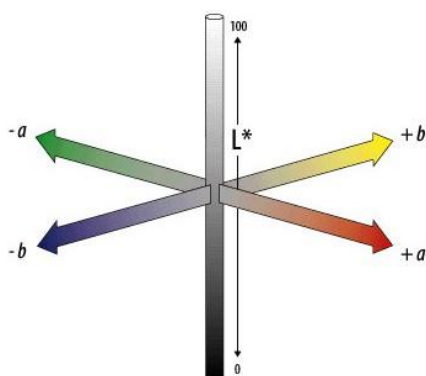


Figura 3. Espacio tridimensional CIELAB

Se tomaron los valores correspondientes para cada una de las coordenadas para cada uno de los tratamientos con el fin de analizar como afectaba dicho tratamiento a cada una de ellas. Sin embargo, también se calculó la diferencia de color ΔE en la ecuación I (para cuantificar los cambios globales de color, aquello que la vista es capaz de percibir de manera global. Finalmente se compararon los resultados de cada tratamiento con respecto a la fruta sin tratar.

$$\Delta E = ((L^*_1 - L^*_2) + (a^*_1 - a^*_2) + (b^*_1 - b^*_2))^2)^{1/2} \quad (I)$$

3.2.6. Análisis sensorial

Por otra parte, con el fin de determinar la percepción humana de las muestras de frutas con diferentes tratamientos, se llevó a cabo una cata en la que participaron entre 20 y 22 personas sin experiencia en la cata de fruta deshidratada.

La cata consistió en 3 pruebas basadas en la percepción de cada catador sobre diferentes aspectos como la intensidad de diferentes parámetros (textura, color, aroma, sabor, acidez, dulzor) en cada una de las muestras, la presencia o no de defectos (aspecto general, aroma, sabor), así como del nivel de agrado o desagrado desde el punto de vista personal del catador. Las pruebas se puntuaban del 1 al 5 (siendo 1 el menor nivel de intensidad o agrado) excepto por la prueba correspondiente a la detección de defectos en las muestras donde el catador únicamente indicaba si existía presencia o no de los mismos. La ficha de catas se incluye en el Anexo 1.

Para la realización de la cata se tuvieron en cuenta aspectos como el orden de recepción de las muestras, de forma que se eliminase el error correspondiente al orden en el que se catasen las diferentes muestras.

3.2.7. Análisis de consumo energético

Para el análisis de consumo energético se midieron las potencias de los diferentes equipos a las diferentes condiciones de proceso mediante el uso de una pinza amperométrica. Estos valores se multiplicaron por las horas de proceso con el fin de calcular el consumo energético para el tiempo que dura el proceso de deshidratación (kWh).

3.2.8. Análisis estadístico

El estudio de la significación de los efectos de los tratamientos sobre diferentes parámetros en las frutas analizadas se llevó a cabo mediante análisis de varianza (ANOVA), para un nivel de significancia (α) de 0,05. Para dicho estudio se utilizó el software STATGRAPHICS Centurion XVII.

4. RESULTADOS

4.1. Pruebas preliminares para el ajuste del equipo y optimización del proceso.

Mediante las pruebas preliminares para el ajuste del equipo así como para la optimización del proceso para cada fruta, se consiguió mejorar solventar algunos problemas observados tras las primeras pruebas de selección de fruta. En primer lugar, el problema detectado de concentración de humedad en la parte inferior de las muestras de fruta se solucionó utilizando una rejilla que permitía liberar gran parte del agua acumulada tal y como se observa en la derecha de la Figura 5.

Por otra parte, los problemas por quemaduras y sobrecocinado en las muestras así como por poca homogeneidad del tratamiento, se solucionaron mediante el ajuste de parámetros del proceso (reducción de potencia y temperatura de aire caliente en caso de haber sido aplicada en el apartado 3.1.4.) así como por el uso de un generador diferente. En el microondas compuesto por 4 generadores (Figura 4) para la intensidad de 2450 MHz, se observó cómo la zona derecha de la cabina, en la cual se encontraba el generador 1 utilizado para las pruebas del apartado 3.1.4., acumulaba exceso de calor que perjudicaba directamente a las muestras mostrando un mayor porcentaje de pérdida de humedad y quemaduras frente a las muestras colocadas en la zona izquierda de la cabina. Tras realizar pruebas haciendo uso de los diferentes generadores, se comprobó que el generador 3 daba como resultado pérdidas de humedad más homogéneas para toda la cabina así como una reducción evidente en cuanto a cantidad de muestras quemadas (Figura 5).



Figura 4. Cabina del microondas indicando las posiciones de los generadores (del 1 al 4)

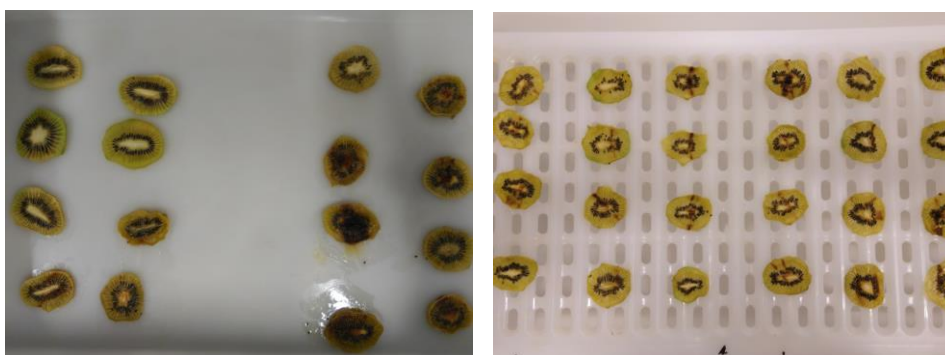


Figura 5. Ejemplo de muestras tratadas por los generadores 1 (izquierda) y 4 (derecha) para las mismas condiciones de proceso

Finalmente, estas fueron las condiciones seleccionadas para cada una de las frutas para la deshidratación por microondas (Tabla 4):

Tabla 4. Condiciones de proceso finales para microondas

CONDICIONES DE PROCESO OPTIMIZADO					
FRUTA	Intensidad (MHz)	Potencia (W)	Temperatura (°C)	Generador	Aspiración
Plátano	2450	500	Sin aire caliente	3	Activada
Fresa	2450	500	30	3	Activada
Kiwi	2450	400	Sin aire caliente	3	Activada
Manzana	2450	500	sin aire caliente	3	Activada

Para el proceso en horno, las condiciones se establecieron en 60°C con la ventilación del aire activada así como la salida de vapor de la cabina del horno (Castro, Mayorga y Moreno, 2018) ya que dio buenos resultados para todas las frutas estudiadas. Se establecieron también los tiempos estimados de tratamiento para alcanzar el grado deseado de humedad (definido en el apartado 3.2.4.) para cada fruta (Tabla 5).

Tabla 5. Tiempos estimados de proceso en minutos para cada una de las frutas

FRUTA	Tiempo estimado de proceso (minutos)	
	AC	MW
Plátano	245	55
Fresa	200	90
Kiwi	145	65
Manzana	90	75

Por otra parte, se terminó por seleccionar el formato de presentación final de las frutas (Tabla 6), que se vio modificado en el caso de la fresa debido a problemas para alcanzar el grado de deshidratación deseado tanto en el proceso por aire caliente como por microondas.

Tabla 6. Formato de presentación final de las frutas

PRESENTACIÓN DE LAS FRUTAS			
FRUTA	Formato	Grosor (mm)	Piel
Plátano	Laminado	4,3	Retirada
Fresa	2 láminas de la parte central	4,5	Sin retirar
Kiwi	Laminado	4	Retirada
Manzana	Laminado	4	Sin retirar

4.2. Caracterización de las frutas

En primer lugar, se obtuvieron los resultados de la caracterización de las frutas previa a la deshidratación (Tabla 7):

Tabla 7. Datos obtenidos de la caracterización de las frutas sin secar (grosor, diámetro y contenido de humedad)

FRUTA	Grosor inicial (mm)	Diámetro inicial* (mm)	Humedad H ₂ O/100 g muestra) (g)
Plátano	4,32±0,11	29,6±1,14	70,31±0,29
Fresa	4,46±0,18	37,6±2,70	90,65±1,40
Kiwi	4,04±0,18	45,28±0,67	83,56±0,08
Manzana	4,00±0,07	74,46±0,21	86,19±0,95

*El diámetro en el caso de la fresa se midió para la parte superior más ancha de la lámina de la fruta. En el caso del kiwi se midió atendiendo a la parte más ancha de la lámina.

A continuación, se llevó a cabo una caracterización final de las frutas (Tabla 8) donde se calcularon también los porcentajes de reducción de grosor y diámetro con respecto a los valores iniciales (Tabla 7) para cada una de ellas.

Tabla 8. Datos obtenidos de la caracterización de las frutas deshidratadas por los diferentes métodos

FRUTA	Grosor final (mm)	% Reducción grosor	Diámetro final (mm)	% Reducción diámetro
Plátano				
AC	2,87±0,61	40,74	22±2,12	25,67
MW	2,69±0,43	37,73	21,8±1,78	26,35
Fresa				
AC	1,04±0,11	76,68	27,4±1,26	27,13
MW	1,07±0,09	76,01	26,2±1,30	30,32
Kiwi				
	*		*	
AC	0,82±0,22	79,7	37,2±2,38	17,84
MW	1,18±0,18	70,79	32,2±1,31	28,88
Manzana				
AC	1,34±0,11	66,5	61,6±0,89	17,27
MW	1,36±0,15	66	62,2±0,84	16,47

*Se detectaron diferencias significativas ($P < 0,05$) mediante ANOVA simple

Únicamente se observaron diferencias significativas en los parámetros de grosor y diámetro del kiwi, donde las pérdidas de grosor eran menores para microondas pero en el caso del diámetro estas muestras se mostraron más afectadas que aquellas tratadas por aire caliente.

4.3. Curvas de secado

Plátano

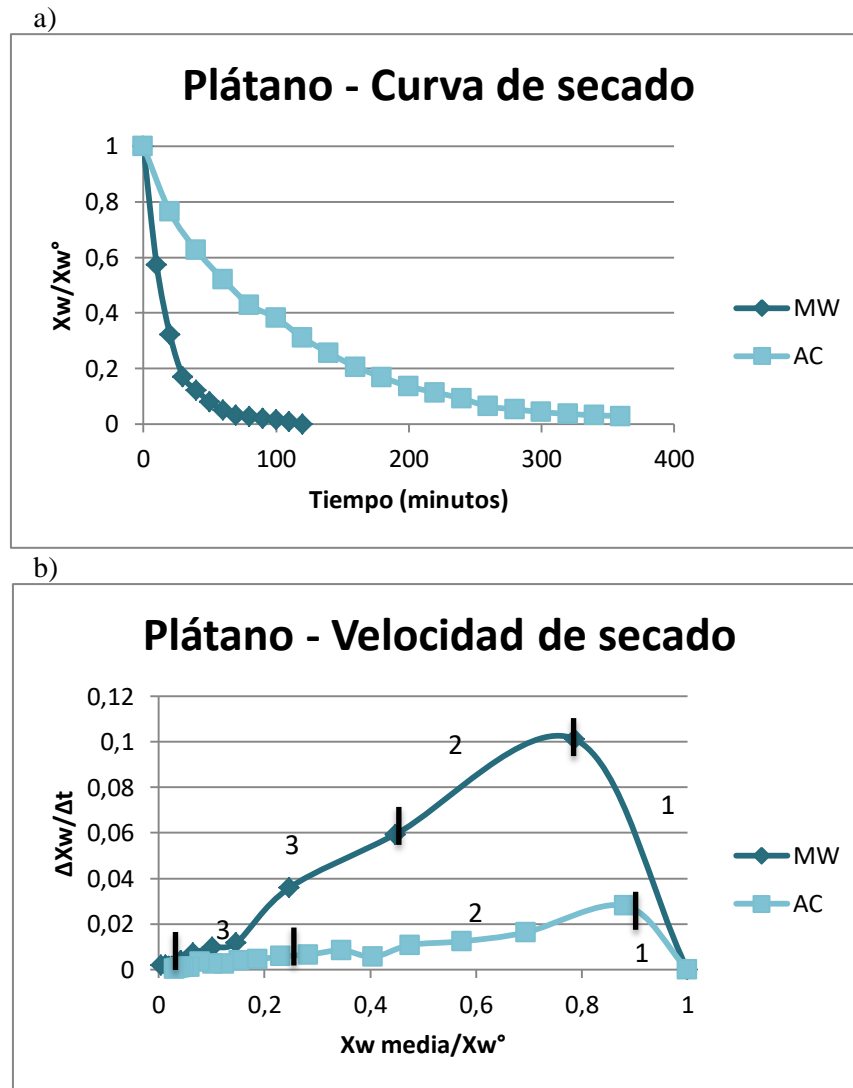


Figura 6. Curvas de secado (a) y de velocidad de secado (b) correspondientes al proceso de deshidratación del plátano

En la Figura 6 se puede observar el efecto del tipo de tratamiento (microondas o secado por convección de aire caliente) en la curva de secado para las láminas de plátano. En la Figura 6.a., se observa como los tiempos de secado para las láminas de plátano sometidas a microondas son más cortos que aquellos necesarios para el tratamiento por aire caliente, tal y como se observaba en el estudio llevado a cabo por Maskan (2000). Esto puede deberse a la forma de acción de las microondas, con un gradiente positivo de temperatura desde el interior del alimento a su superficie, y debido a la presión interna que pueda generarse por la rápida generación de vapor dentro del propio alimento. Por otra parte, la figura 6.b., corresponde a la curva de velocidad de secado del plátano, dónde se pueden observar las diferentes etapas o periodos del secado de un alimento. En ambos casos se puede distinguir un periodo de inducción (adaptación de las muestras a las condiciones de secado (Contreras, 2006)), seguido de dos periodos de velocidad de secado decreciente, y tal y como ocurría en el ensayo llevado a cabo por Maskan (2000), no se observa ningún periodo de velocidad de secado constante.

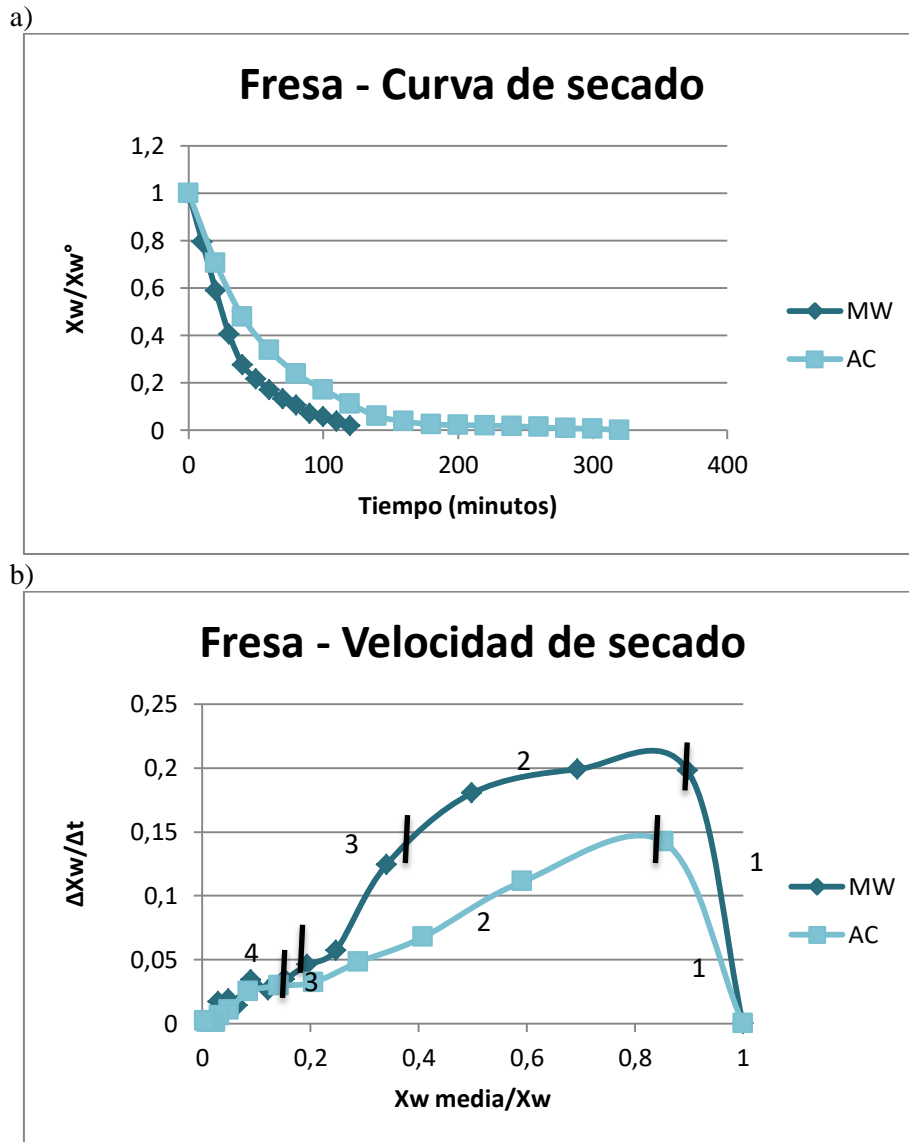


Figura 7. Curvas de secado (a) y de velocidad de secado (b) correspondientes al proceso de deshidratación de fresa

Siguiendo el análisis de las curvas realizado para el plátano, en el caso de la Figura 7.a., correspondiente a las curvas de secado de las láminas de fresa para cada tratamiento, se puede observar una disminución del tiempo de secado para las láminas de fresa deshidratadas por microondas al igual que ocurría en el estudio llevado a cabo por Contreras (2006) y Contreras et al. (2008), así como en el caso del plátano. En la figura 7.b., se observan las diferentes etapas o periodos del secado de las láminas de fresa. En el caso de la curva correspondiente al tratamiento de secado por microondas se distinguen una primera etapa de inducción, seguida de un breve periodo de secado constante que puede estar asociada a una velocidad de evaporación superficial del agua del mismo orden de magnitud que la velocidad con la que el agua difunde desde el interior del producto hacia la superficie (Contreras, 2006) y a continuación un periodo decreciente. Mientras tanto, en la curva correspondiente al tratamiento de secado convectivo únicamente se observa una etapa de inducción al inicio, seguida de dos periodos decrecientes. Estos resultados corresponden con los obtenidos por los mismos estudios mencionados anteriormente.

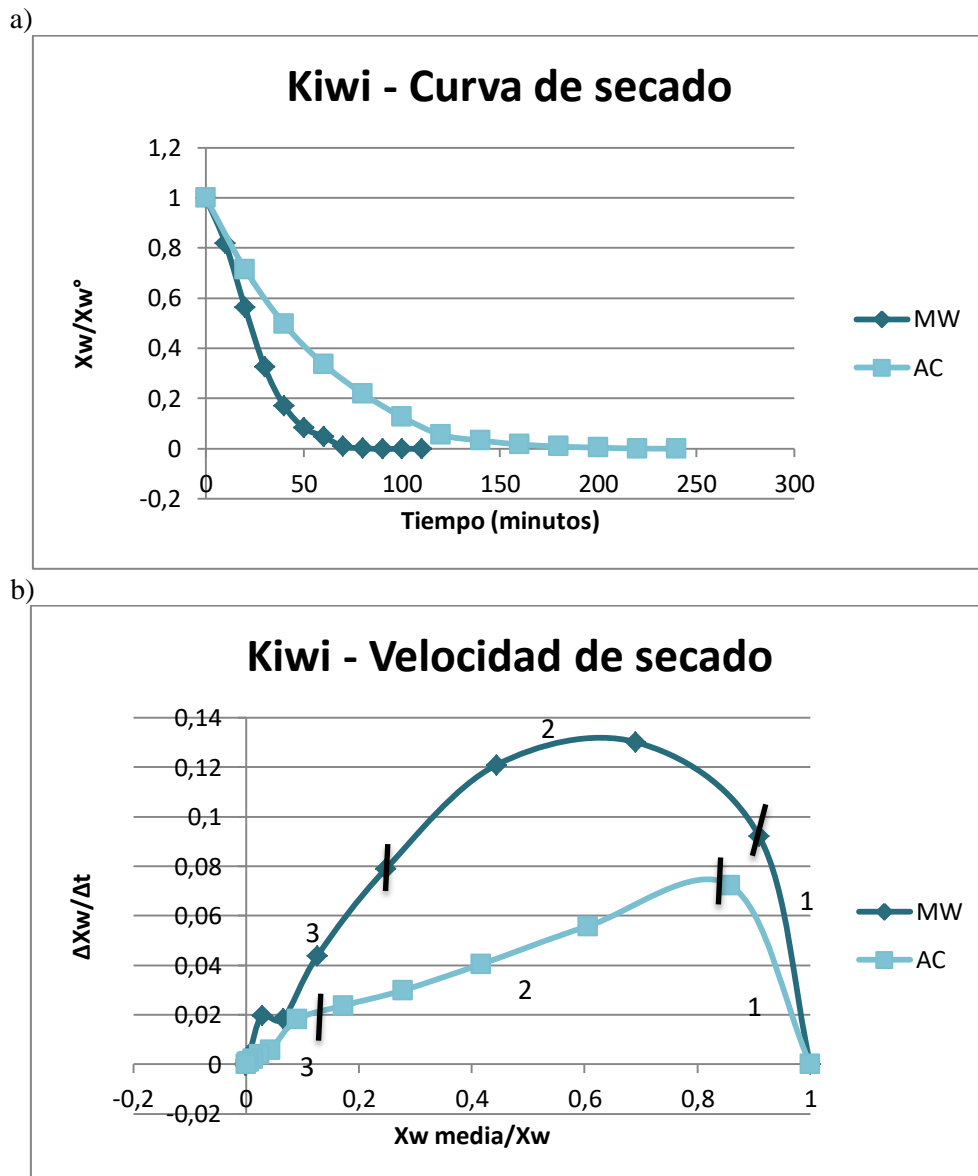


Figura 8. Curvas de secado (a) y de velocidad de secado (b) correspondientes al proceso de deshidratación del kiwi

En la Figura 8.a., nuevamente se puede observar como el tiempo de tratamiento por microondas, en este caso sobre láminas de kiwi, es menor al tiempo de tratamiento por aire caliente tal y como comentaba Maskan (2001). Por otra parte, en la Figura 8.b., se pueden distinguir los siguientes periodos o etapas en el proceso de secado de las láminas de kiwi. En el caso del tratamiento por microondas se observa un periodo de inducción seguido de un periodo que podría considerarse constante si se tuvieran más datos, ya que la subida podría deberse a picos registrados correspondientes a evaporaciones súbitas de agua tras un aumento considerable de la temperatura del producto tal y como menciona en su trabajo Contreras (2006), y finalmente le sigue un periodo decreciente. Sin embargo, en el caso de la curva correspondiente al tratamiento convectivo, no se observa periodo constante, tan solo un periodo de inducción seguido de un periodo decreciente.

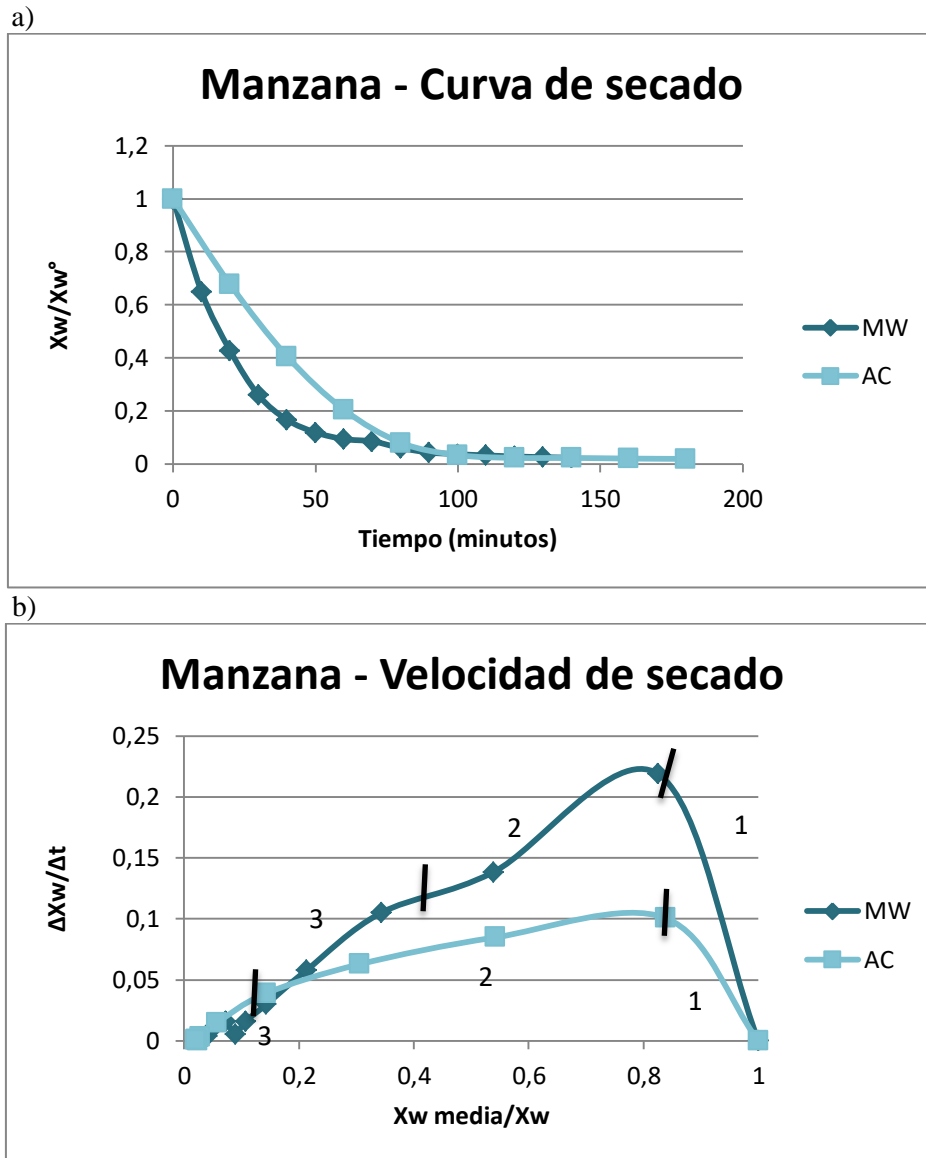


Figura 9. Curvas de secado (a) y de velocidad de secado (b) correspondientes al proceso de deshidratación de manzana

Finalmente, para el caso de la manzana en láminas, en la Figura 9.a., a pesar de observarse nuevamente un descenso en los tiempos de tratamiento por microondas frente al tratamiento por convección de aire caliente, la diferencia entre ambas curvas no resulta tan evidente como en el resto de frutas. En la Figura 9.b., sí que se pueden apreciar mejor las diferencias en la velocidad de secado para ambos tratamientos así como diferentes periodos de secado. En el caso del secado de láminas de manzana por aire caliente se puede distinguir un breve periodo de inducción seguido de dos periodos decrecientes. Sin embargo, en el caso del secado por microondas, el periodo de inducción viene seguido por lo que podría considerarse un periodo de secado relativamente constante mostrando picos similares a los encontrados en la Figura 8.b., y finalmente le sigue un periodo decreciente. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Contreras (2006) en su trabajo.

4.4. Análisis físico

4.4.1. Textura

A continuación se presentan los resultados obtenidos en el estudio de textura de penetración (Tabla 9):

Tabla 9. Resultados obtenidos en el análisis físico de la textura de las frutas

FRUTA	F máxima (g fuerza)	F máxima (N)
Plátano		
AC	198,90±126,82	1,95
MW	227,45±124,74	2,23
Fresa		
AC	1133,71±919,44	11,12
MW	1069,66±795,77	10,49
Kiwi		
AC	409,55±130,13	4,02
MW	412,64±192,48	4,05
Manzana*		
AC	87,8±28,10	0,86
MW	141,92±66,87	1,39

*Diferencias significativas entre tratamientos ($P < 0,05$)

Como se puede observar, únicamente se hallaron diferencias significativas relativas a la textura en manzana, donde las muestras obtenidas por microondas resultaban ser más firmes que aquellas deshidratadas por aire caliente. Para el resto de frutas, los resultados concuerdan con lo concluido por Contreras et al. (2008), que concluía que no existían diferencias significativas en parámetros de textura entre fruta deshidratada por aire caliente y fruta deshidratada por microondas. En el estudio de Contreras (2006), se estudia también el efecto del método de secado sobre la solubilización de las pectinas presentes en manzana así como el efecto de esta solubilización sobre la textura de la propia fruta tras la deshidratación, lo cual podría explicar las diferencias encontradas en el caso de esta fruta.

Por otra parte, se observa la gran dispersión de los valores de fuerza máxima obtenidos por los altos valores de desviación estándar obtenidos. Cabe destacar que son pocos los ensayos que estudian las propiedades mecánicas de las frutas deshidratadas, y especialmente en fruta deshidratada por microondas, por lo que no se puede terminar de determinar si los valores obtenidos de fuerza máxima son anómalos o son los esperados para este tipo de productos.

4.4.2. Color

Los resultados medios obtenidos mediante colorímetro se resumen en la siguientes gráficas (Figuras 10-12):

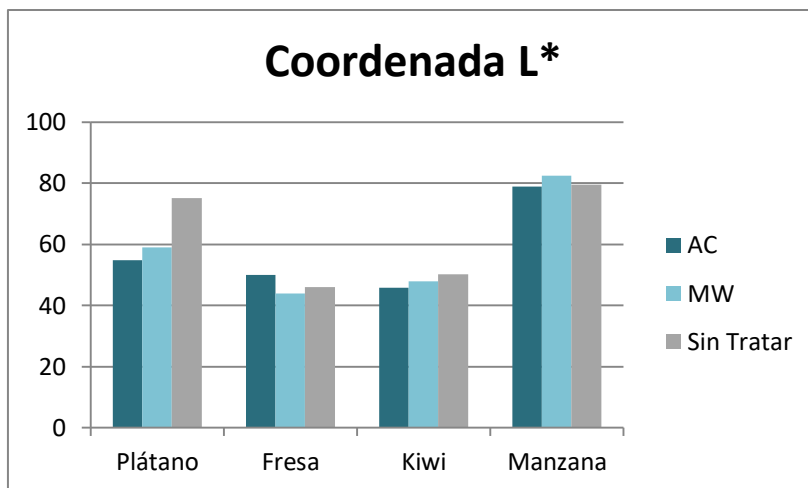


Figura 10. Resultados obtenidos del estudio físico del color mediante colorimetro para la coordenada L* de CIELAB

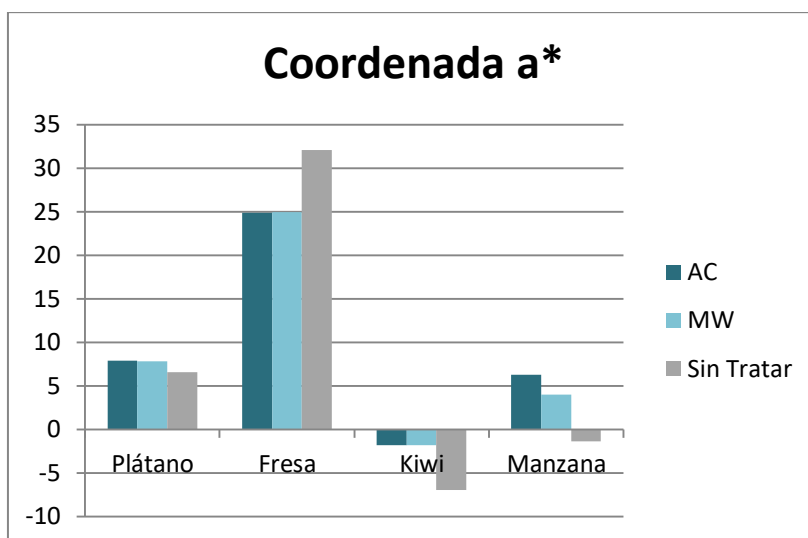


Figura 11. Resultados obtenidos del estudio físico del color mediante colorimetro para la coordenada a* de CIELAB

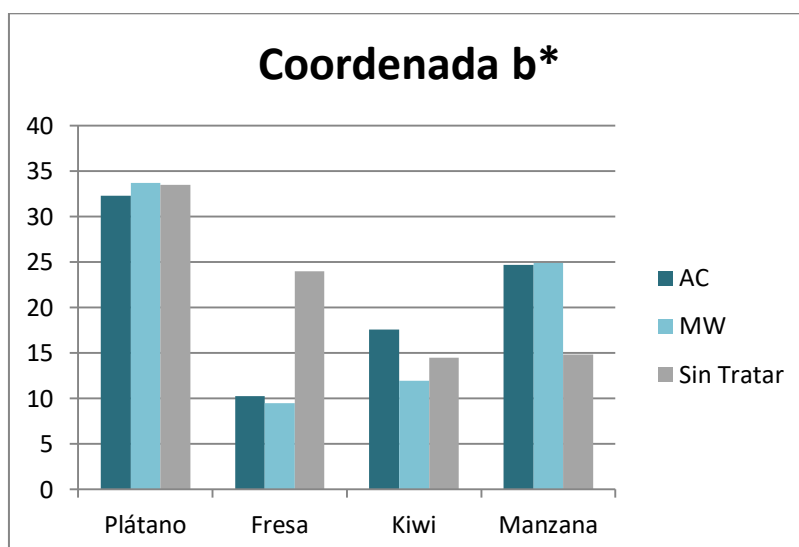


Figura 12. Resultados obtenidos del estudio físico del color mediante colorimetro para la coordenada b* de CIELAB

También, se calculó la ΔE (ecuación I) para cada uno de los tratamientos para cada fruta (Tabla 10):

Tabla 10. Valores de ΔE obtenidos por la comparación de las diferentes muestras para cada una de las frutas

Muestra	ΔE (AC-MW)	ΔE (AC-Fresca)	ΔE (MW-Fresca)
Plátano	4,49	20,56	16,26
Fresa	6,20	16,04	16,30
Kiwi	5,94	7,42	6,19
Manzana	4,22	12,49	11,72

Se considera que a mayor valor de ΔE , mayor es la diferencia de color, es decir, un valor de ΔE igual a 0 implica que la muestra sea idéntica de color a la muestra de referencia (Schuessler, 2016)

Tabla 11. Nivel de percepción de las diferencias de color entre muestras (Schuessler, 2016)

ΔE	Nivel de percepción
$\leq 1,0$	No perceptible para el ojo humano
1 - 2	Perceptible en una observación detallada
2 - 10	Perceptible a simple vista
11 - 49	Los colores son más similares que opuestos
100	Los colores son completamente opuestos

Por lo tanto, de acuerdo a la Tabla 11, se podría decir que las diferencias detectadas entre tratamientos para cada una de las frutas son perceptibles a simple vista por el ser humano por los que más adelante se comprobara si en las pruebas de análisis sensorial los catadores fueron capaces de detectar dichas diferencias.

Por otra parte, se estudiaron las diferencias de cada una de las coordenadas (L^* , a^* y b^*) entre los diferentes métodos de secado con el fin de analizar su significatividad ($P < 0,05$) (Tabla 12).

Tabla 12. Significatividad de las diferencias halladas para las diferentes coordenadas entre los posibles métodos de secado y la fruta sin deshidratar

Muestra	L^*	a^*	b^*
Plátano			
AC-MW	*		*
AC-Fresca	*	*	*
MW-Fresca	*	*	
Fresa			
AC-MW	*		*
AC-Fresca	*	*	*
MW-Fresca	*	*	*
Kiwi			
AC-MW	*		*
AC-Fresca	*	*	*
MW-Fresca	*	*	*
Manzana			
AC-MW	*	*	
AC-Fresca		*	*
MW-Fresca	*	*	*

Como se puede observar en la Tabla 12, salvo en el caso de la manzana tratada por aire caliente con respecto a la manzana sin tratar, en el resto de casos existen diferencias significativas en cuanto a la coordenada de luminosidad. Por lo general, las muestras de fruta oscurecen tras ser tratadas tal y como se puede observar en la Figura 10. Por otra parte, las frutas tratadas muestran

(salvo en el caso del plátano tratado por microondas) diferencias significativas en las diferentes coordenadas con respecto a la fruta en fresco. Por último, cabe destacar que las principales diferencias entre muestras tratadas por microondas y por aire caliente se basan en las coordenadas de luminosidad (L^*) y de b^* pudiendo estar este último relacionado con un pardeamiento de la muestra.

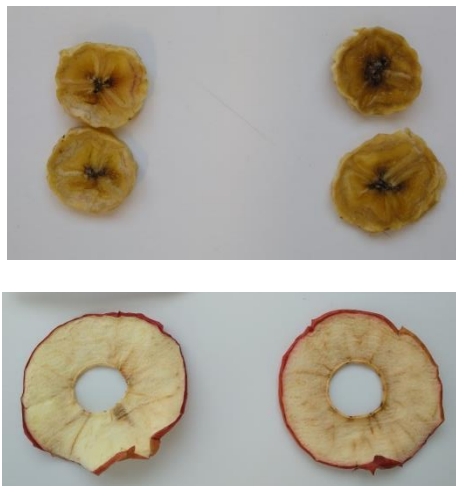


Figura 13. Ejemplo de muestras finales de plátano y manzana tratadas por microondas (izquierda) y por convección de aire caliente (derecha)

En la Figura 13, se pueden observar las muestras de plátano y manzana deshidratadas por microondas (I) y por convección de aire caliente (II). En ambos casos puede apreciarse un oscurecimiento en las muestras II, que corresponde con los valores recogidos por el colorímetro (Figuras 10-12).

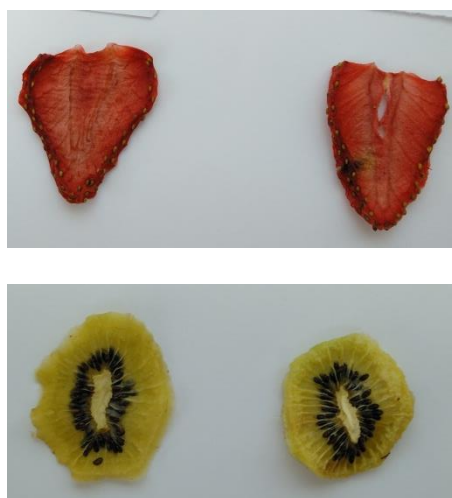


Figura 14. Ejemplo de muestras finales de fresa y kiwi tratadas por microondas (derecha) y por convección de aire caliente (izquierda)

En la Figura 14, se presentan las muestras de fresa y kiwi deshidratadas por microondas y por aire caliente. En este caso, las diferencias entre muestras no son tan visibles a simple vista a pesar de que se detecten diferencias significativas entre ambos tratamientos en las dos frutas con respecto a las coordenadas L^* y b^* . Si se pueden apreciar algunas quemaduras en las muestras deshidratadas por microondas (Figura 14, derecha).

4.5. Análisis sensorial

Plátano

Tabla 13. Resultados correspondientes a la pregunta n°1 de la ficha de catas para las muestras de plátano. Dónde: 1=Muy poco intenso; 2=Poco intenso; 3=Ni poco ni muy intenso; 4=Intenso; 5=Muy intenso

PLÁTANO	Color		Aroma		Crocantez		Sabor		Acidez		Dulzor	
	AC	MW	AC	MW	AC	MW	AC	MW	AC	MW	AC	MW
Media	3	3,5	3,15	2,75	1,35	2,25	3,1	3,05	1,85	1,75	3,2	3
Desviación	1,17	0,76	1,35	1,33	0,74	1,16	1,02	0,94	0,81	0,79	1,01	0,97
Mínimo	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Máximo	5	5	5	5	4	4	5	5	3	3	5	4
Diferencia	-0,5		0,4		-0,9		0,05		0,1		0,2	
Valor-P	0,12		0,35		0,006*		0,87		0,69		0,53	
n	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20

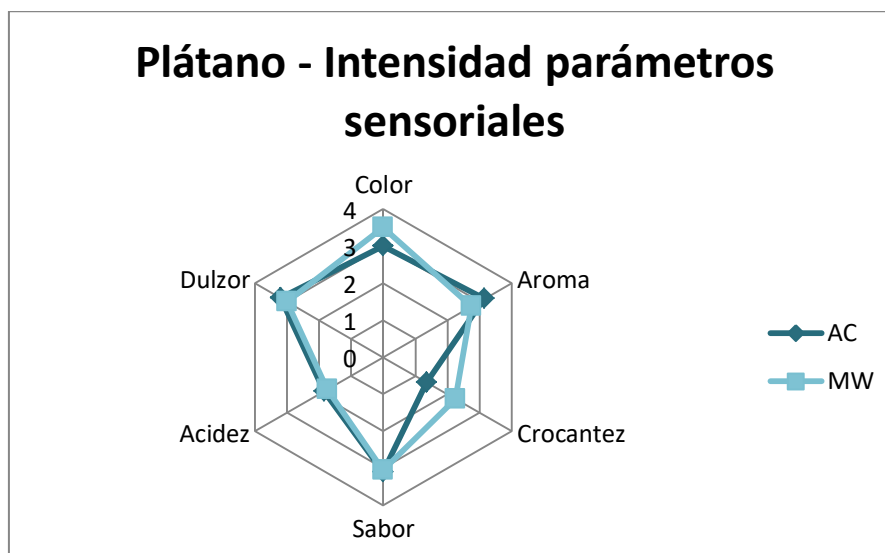


Figura 15. Gráfica para los resultados correspondientes a la pregunta n°1 de la cata

En la Tabla 13 y la figura 15 se presentan los datos de intensidad percibida (pregunta n°1 de la cata incluida en el Anexo 1) por los catadores para los diferentes atributos (color, aroma, crocantez, sabor, acidez y dulzor). Se llevó a cabo un análisis estadístico de los datos mediante ANOVA simple, mediante la cual se observaron diferencias significativas ($P < 0,05$) en la crocantez de ambas muestras, presentando una mayor intensidad en cuanto a crocantez en las muestras tratadas por microondas.

En relación a la pregunta n°2 de la cata, se calcularon los porcentajes de catadores que detectaron alguna clase de defecto en el aspecto general, aroma y sabor de las muestras. Un 70% de los catadores detectó algún defecto en cuanto al aspecto general de las muestras de plátano indicando en general que se debía a su color oscuro y textura blanda, por otra parte, el 75% de los catadores detectaron defectos en las muestras tratadas por microondas debido a que detectaron quemaduras en la superficie de las láminas de plátano. En cuanto al aroma un 55% de los catadores detectó defectos en las muestras tratadas por aire caliente frente a un 60% para las muestras tratadas por microondas, los catadores indicaron que este defecto se basaba principalmente en la ausencia de aroma característico a plátano en ambas muestras. Finalmente,

un 55% de los catadores detectaron defectos en el sabor de ambas muestras, indicando que detectaban un sabor no característico del plátano. Sin embargo, no se hallaron diferencias significativas ($P < 0,05$) entre los defectos para las diferentes muestras.

Tabla 14. Resultados correspondientes a la pregunta n°3 de la ficha de catas para las muestras de plátano.
Dónde: 1=Me desagrada bastante; 2=Me desagrada; 3=Ni me agrada ni me desagrada; 4=Me agrada; 5=Me agrada bastante

PLÁTANO	Aspecto general		Color		Sabor		Textura	
	AC	MW	AC	MW	AC	MW	AC	MW
Media	2,5	3,1	2,2	3,1	3	3,25	2,7	2,95
Desviación	1	1,12	0,95	1,21	1,3	1,3	1,3	1,19
Mínimo	1	1	1	1	1	1	1	1
Máximo	4	4	4	5	5	5	5	4
Diferencia	-0,6		-0,9		-0,25		-0,25	
Valor-P	0,08		0,01*		0,54		0,53	
n	20	20	20	20	20	20	20	2

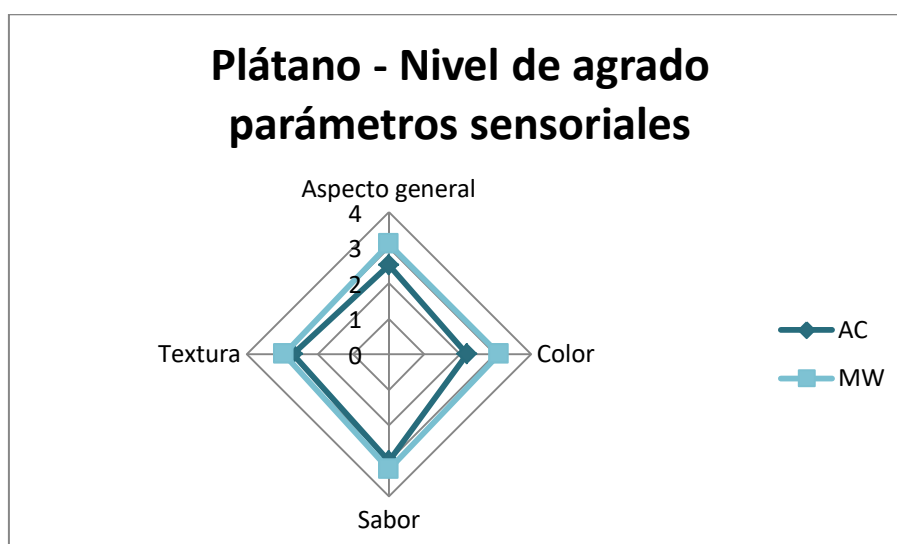


Figura 16. Gráfica para los resultados correspondientes a la pregunta n°3 de la cata

Finalmente, en relación a los resultados obtenidos para la pregunta n°3 de la cata (Tabla 14 y Figura 16) se pudo observar que los atributos más valorados por los catadores para las muestras tratadas por convección de aire caliente eran el sabor y textura con una valoración media de “ni me agrada ni me desagrada”, mientras que en el caso de las muestras tratadas por microondas todos los atributos obtuvieron una mejor calificación en comparación a las otras muestras, con un valor medio en cada uno de ellos de 3 (“ni me agrada ni me desagrada”). Las diferencias entre ambas muestras fueron significativas para el color.

Tabla 15. Resultados correspondientes a la pregunta n°1 de la ficha de catas para las muestras de fresa. Dónde: 1=Muy poco intenso; 2=Poco intenso; 3=Ni poco ni muy intenso; 4=Intenso; 5=Muy intenso

FRESA	Color		Aroma		Crocantez		Sabor		Acidez		Dulzor	
	AC	MW	AC	MW	AC	MW	AC	MW	AC	MW	AC	MW
Media	2,86	3,36	3,04	3,27	1,82	1,73	3,1	3,14	2,64	3,54	2,41	2
Desviación	0,94	1	1,13	0,77	0,79	0,93	1,02	1,12	0,85	1,06	0,91	1,07
Mínimo	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1
Máximo	4	5	5	5	3	4	5	5	4	5	4	5
Diferencia	-0,5		-0,23		0,09		-0,04		-0,91		0,41	
Valor-P	0,09		0,44		0,73		0,89		0,003*		0,18	
n	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22

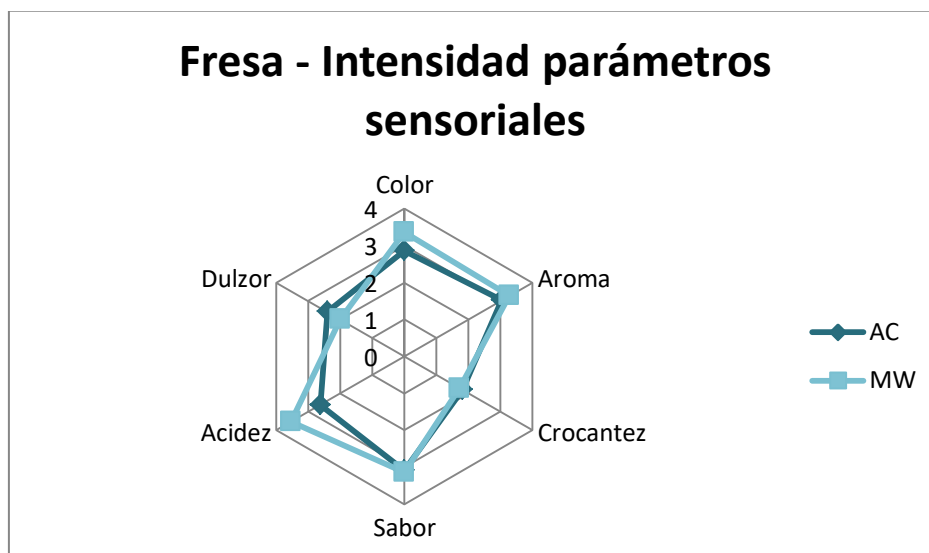


Figura 17. Gráfica para los resultados correspondientes a la pregunta n°1 de la cata para fresa

En la Tabla 15 y la figura 17 se presentan los datos de intensidades de atributos para cada una de las muestras de fresa. Únicamente se detectaron diferencias significativas en relación a la acidez de las muestras, donde los catadores valoraron la acidez de las muestras tratadas por microondas como más intensa que en el caso del secado por aire caliente. En estudios anteriores como los de Contreras (2006) y Contreras et al.(2008), no se estudió la variación en los niveles de acidez por lo que no se puede concluir si estos cambios están relacionados con el tipo de tratamiento y la velocidad de secado o si por el contrario las muestras utilizadas para el tratamiento en microondas eran más ácidas que las utilizadas para secado por aire caliente y al deshidratar las frutas se intensificó esta acidez haciendo más notoria la diferencia.

Por otra parte, se estudiaron al igual que en el caso del plátano los porcentajes de consumidores que detectaron algún tipo de defecto en las muestras de fresa. En este caso se observó como las mayores diferencias en cuanto a detección de defectos en las muestras se presentaban para el aspecto general y el sabor. Un mayor número de catadores detectaron defectos en las muestras de microondas para ambos atributos, 36,7% en el caso del aspecto general y 22,7% en sabor frente al 22,7 y 9,09% detectados respectivamente en las muestras tratadas por aire caliente. Los

catadores que detectaron dichos defectos señalaron que se debía a las quemaduras que presentaban las muestras y el exceso de acidez.

Tabla 16. Resultados correspondientes a la pregunta n°2 de la ficha de catas para las muestras de plátano.
 Dónde: 1=Me desagrada bastante; 2=Me desagrada; 3=Ni me agrada ni me desagrada; 4=Me agrada; 5=Me agrada bastante

FRESA	Aspecto general		Color		Sabor		Textura	
	AC	MW	AC	MW	AC	MW	AC	MW
Media	3,41	3,41	3,36	3,68	3,77	3,59	2,68	2,73
Desviación	0,73	1,1	0,9	0,99	0,87	0,91	0,99	1,08
Minimo	2	1	1	2	2	2	1	1
Máximo	4	5	4	5	5	5	4	4
Diferencia	0		-0,32		0,18		-0,04	
Valor-P	1,00		0,27		0,50		0,88	
n	22	22	22	22	22	22	22	22

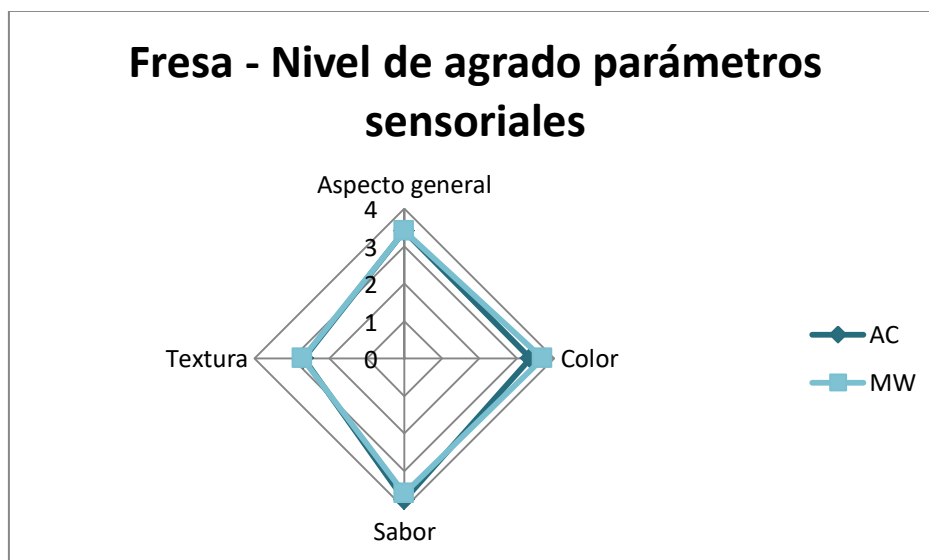


Figura 18. Gráfica para los resultados correspondientes a la pregunta n°3 de la cata de fresa

Finalmente, en la Tabla 16 y la Figura 18, se observan los datos del grado de agrado de diferentes atributos para las muestras de fresa. Como se puede observar en la tabla, no se apreciaron diferencias significativas para ninguno de los atributos entre las diferentes muestras y las valoraciones para ambas muestras estuvieron entorno a valores medios de “ni me agrada ni me desagrada” y de “me agrada”.

Tabla 17. Resultados correspondientes a la pregunta n°1 de la ficha de catas para las muestras de kiwi. Dónde: 1=Muy poco intenso; 2=Poco intenso; 3=Ni poco ni muy intenso; 4=Intenso; 5=Muy intenso

KIWI	Color		Aroma		Crocantez		Sabor		Acidez		Dulzor	
	AC	MW	AC	MW	AC	MW	AC	MW	AC	MW	AC	MW
Media	2,91	2,77	2,73	2,32	2,09	2,41	3,23	3,09	3,54	3,64	2,41	2,27
Desviación	0,87	0,92	1,03	0,99	1,11	1,18	0,97	1,27	1,06	0,85	1,09	0,94
Mínimo	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1
Máximo	4	5	5	4	4	4	5	5	5	5	5	4
Diferencia	0,14		0,41		-0,32		0,14		-0,09		0,14	
Valor-P	0,62		0,19		0,36		0,69		0,75		0,66	
n	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22

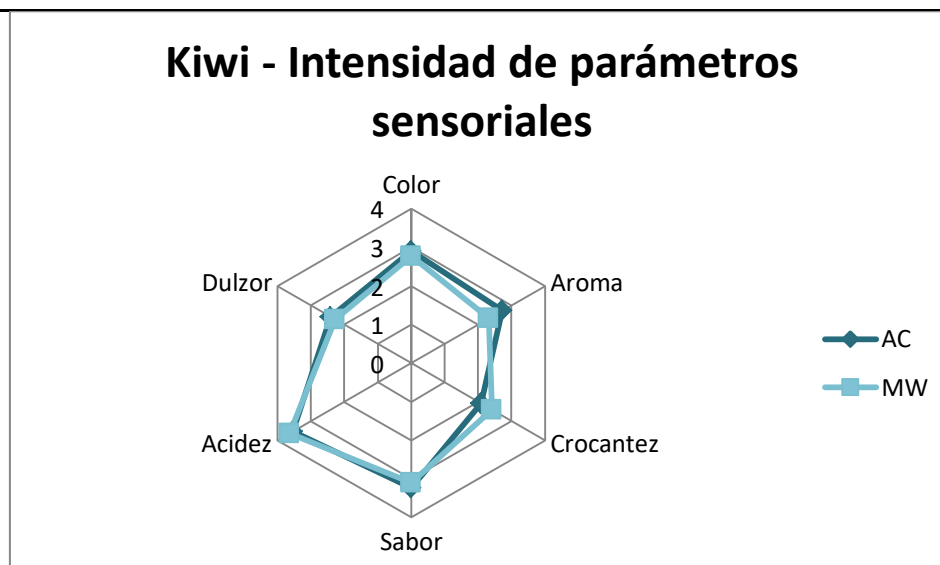


Figura 19. Gráfica para los resultados correspondientes a la pregunta n°1 de la cata para kiwi

Tal y como se puede observar en la Tabla 17 y la figura 19, no se detectaron diferencias significativas para ninguno de los atributos entre muestras de acuerdo a la intensidad de los mismos. Y las calificaciones medias de los catadores giraron en torno al valores de poca intensidad e intensidad media.

En relación a los defectos detectados en las muestras, destaca la diferencia en defectos para el aspecto general del kiwi. Un 63,64% de los catadores detecto defectos en el aspecto general del kiwi deshidratado por microondas, frente al 9,09% que detecto defectos en las muestras deshidratadas por aire caliente. Esto se debe a las quemaduras presentes en gran parte de las láminas de kiwi deshidratado por microondas. La intensidad del tratamiento de microondas es demasiado agresiva en el caso del kiwi por lo que sería necesario llevar a cabo pruebas a menor intensidad en con el fin de observar si se corrigen dichos defectos.

Tabla 18. Resultados correspondientes a la pregunta n°2 de la ficha de catas para las muestras de kiwi. Dónde: 1=Me desagrada bastante; 2=Me desagrada; 3=Ni me agrada ni me desagrada; 4=Me agrada; 5=Me agrada bastante

KIWI	Aspecto general		Color		Sabor		Textura	
	AC	MW	AC	MW	AC	MW	AC	MW
Media	3,82	2,95	3,59	2,95	3,27	3,04	2,77	2,86
Desviación	0,66	0,78	0,73	0,65	0,88	1,25	0,92	0,99
Mínimo	3	2	3	2	2	1	1	1
Máximo	5	4	5	4	5	5	4	5
Diferencia	0,86		0,64		0,23		-0,09	
Valor-P	0,0003*		0,0041*		0,49		0,75	
n	22	22	22	22	22	22	22	22

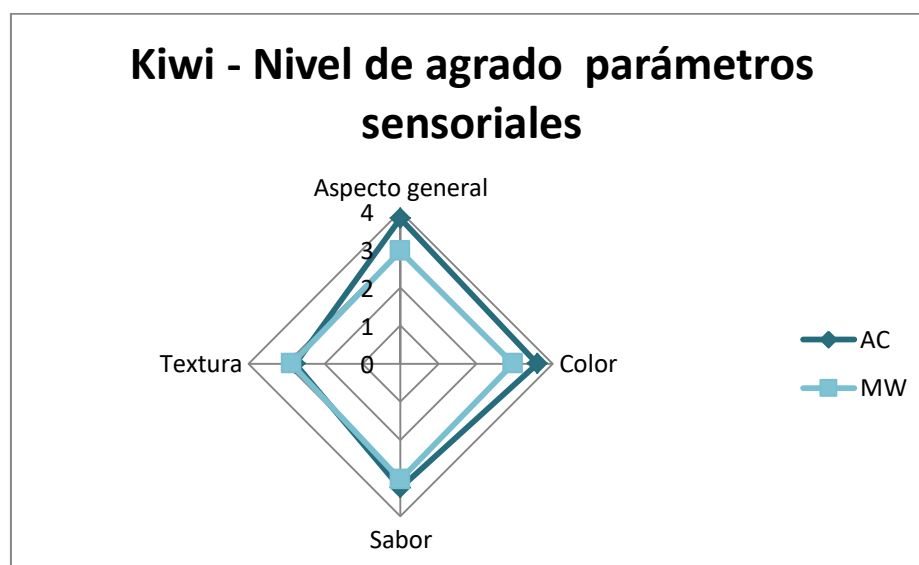


Figura 20. Gráfica para los resultados correspondientes a la pregunta n°3 de la cata de kiwi

Finalmente, en cuanto al nivel de agrado de las diferentes muestras con respecto a los diferentes atributos valorados en la pregunta n°3 de la cata, se observaron diferencias significativas (Tabla 18) para los atributos de aspecto general y color, donde los catadores valoraron de forma más positiva las muestras deshidratadas por aire caliente.

Manzana

Tabla 19. Resultados correspondientes a la pregunta n°1 de la ficha de catas para las muestras de manzana. Dónde: 1=Muy poco intenso; 2=Poco intenso; 3=Ni poco ni muy intenso; 4=Intenso; 5=Muy intenso

MANZANA	Color		Aroma		Crocantez		Sabor		Acidez		Dulzor	
	AC	MW	AC	MW	AC	MW	AC	MW	AC	MW	AC	MW
Media	2,65	2,6	2,15	2,9	1,8	2,1	3,05	3,2	2,75	2,95	3	3,15
Desviación	0,99	0,99	0,87	0,91	0,95	0,91	1,19	1,01	1,16	1,1	1,3	0,93
Mínimo	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	2
Máximo	5	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5
Diferencia	0,05		-0,75		-0,3		-0,15		-0,2		-0,15	
Valor-P	0,87		0,01*		0,31		0,67		0,58		0,68	
n	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20

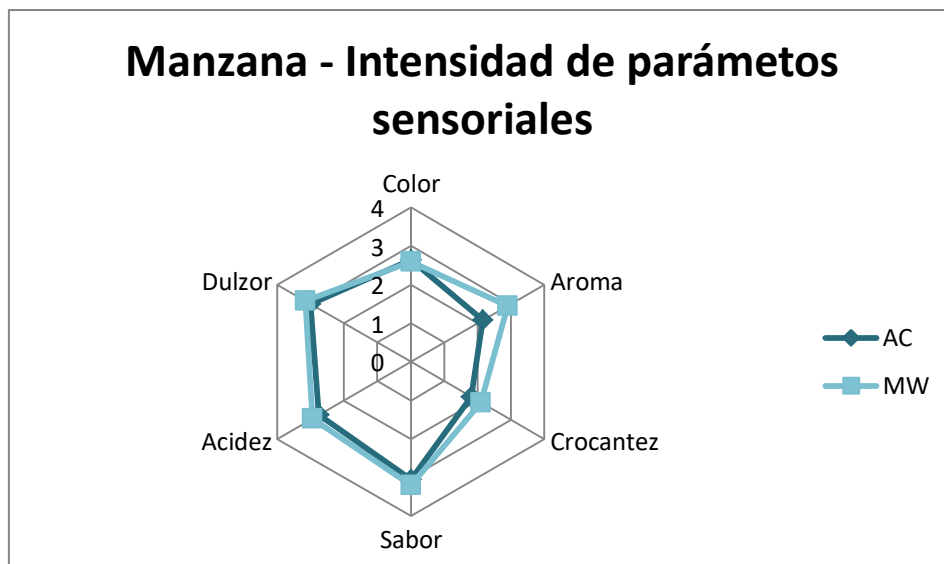


Figura 21. Gráfica para los resultados correspondientes a la pregunta n°1 de la cata para manzana

Por último, al igual que en el resto de frutas en la Tabla 19 y Figura 21 se presentan los resultados para la pregunta n°1 de la cata llevada a cabo. En ellos se observa una diferencia significativa para el atributo correspondiente al aroma, donde los catadores apreciaron una mayor intensidad de aroma en las muestras deshidratadas por microondas.

En cuanto a los defectos hallados en las muestras de manzana, destaca la diferencia existente en el aspecto general entre ambas muestras. En total un 50% de los catadores detectaron defectos en las muestras tratadas por aire caliente mientras que en microondas solo lo detectó un 20%. En los casos correspondientes a las muestras tratadas por aire caliente, los defectos se debían al color visiblemente más pardeado de la manzana posiblemente por estar sometida a tiempos más largos de proceso. En el caso de las muestras tratadas por microondas, los defectos que se detectaron estaban relacionados con quemaduras halladas en la superficie de la fruta.

Tabla 20. Resultados correspondientes a la pregunta n°2 de la ficha de catas para las muestras de kiwi. Dónde: 1=Me desagrada bastante; 2=Me desagrada; 3=Ni me agrada ni me desagrada; 4=Me agrada; 5=Me agrada bastante

MANZANA	Aspecto general		Color		Sabor		Textura	
	AC	MW	AC	MW	AC	MW	AC	MW
Media	2,85	3,25	2,45	3,25	3,5	3,2	2,65	2,8
Desviación	0,81	1,07	0,89	1,02	1,36	1,06	0,87	1,06
Mínimo	1	1	1	1	1	1	1	1
Máximo	4	5	4	5	5	5	4	5
Diferencia	-0,4		-0,8		0,3		-0,15	
Valor-P	0,19		0,01*		0,44		0,63	
n	20	20	20	20	20	20	20	20

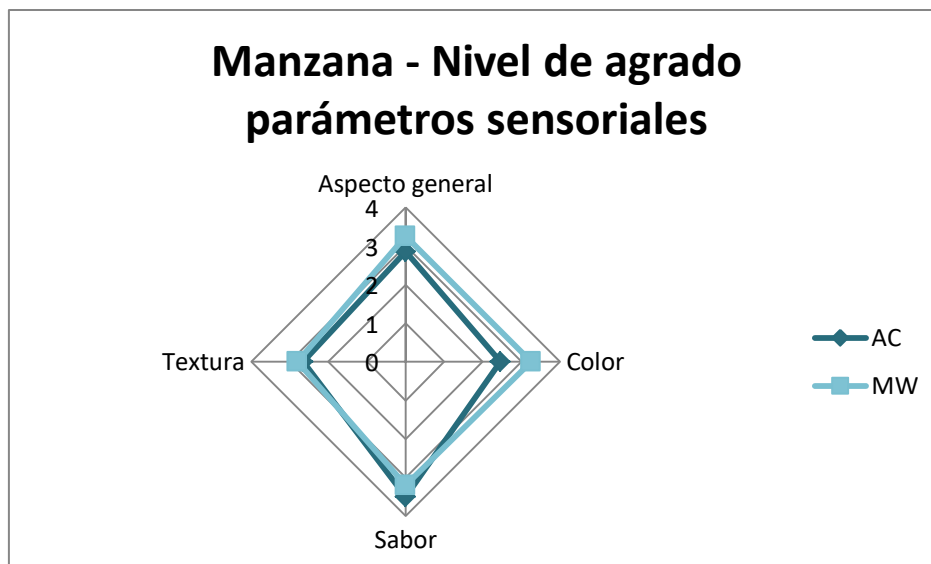


Figura 22. Gráfica para los resultados correspondientes a la pregunta n°3 de la cata de manzana

Finalmente, en cuanto al nivel de agrado por parte de los catadores de las distintas muestras (Tabla 20 y Figura 22), se detectaron diferencias significativas en el grado de agrado del color, donde los catadores valoraron de forma más positiva las muestras deshidratadas por microondas. El resto de resultados concuerdan con lo concluido en el estudio de Contreras et al.(2008).

4.6. Análisis de consumo energético

Para llevar a cabo las mediciones correspondientes para determinar el consumo energético, en primer lugar se definieron los tiempos reales de proceso invertidos durante el periodo de pruebas finales (Tabla 21):

Tabla 21. Datos de potencias y tiempos de proceso para cada tipo de fruta y método de secado

FRUTA	Tiempo (minutos)	Potencia (kW)
Plátano		
AC	210	9,49
MW	70	2,94
Fresa		
AC	190	9,49
MW	120	6,92
Kiwi		
AC	160	9,49
MW	105	2,51
Manzana		
AC	120	9,49
MW	85	2,94

En comparación con los tiempos de proceso estimados (Tabla 5) los tiempos necesarios para la realización de los ensayos finales no variaron en gran medida.

A continuación, se calculó el consumo energético de ambos equipos, y en el caso del microondas se calcularon para cada condición de proceso aplicada (presentadas anteriormente en el apartado 4.1.). Los valores de potencia obtenidos de los equipos (horno y microondas) se multiplicaron por el tiempo de proceso expresado en horas con el fin de obtener los valores

aproximados de consumo/tiempo de proceso (kWh) y valorar si existe ahorro en el consumo energético por parte de alguno de los tratamientos frente al otro (Tabla 22).

Tabla 22. Consumo energético para todos los procesos de deshidratación llevados a cabo % de ahorro del consumo del uso de microondas con respecto a la deshidratación por aire caliente

FRUTA	kWh	% Ahorro MW-AC
Plátano		
AC	39,48	89,41
MW	4,18	
Fresa		
AC	30,08	53,99
MW	13,84	
Kiwi		
AC	22,11	80,19
MW	4,38	
Manzana		
AC	15,85	76,78
MW	3,68	

Como se puede observar en la Tabla 22, se consiguieron grandes ahorros en el consumo energético mediante el uso del microondas frente al proceso tradicional de secado por convección de aire caliente. Esto se debe principalmente a la reducción del tiempo de proceso mediante el uso de microondas.

5. CONCLUSIÓN

Teniendo en cuenta todo lo estudiado en el presente trabajo incluyendo los resultados obtenidos en diversos estudios anteriores, ha sido posible extraer las siguientes conclusiones en relación a las cuestiones planteadas como objetivos específicos y que han motivado el desarrollo de este estudio:

1. En el proceso de secado por aire caliente se diferencian tres etapas una de inducción y dos de velocidad decreciente. De este hecho se puede concluir que la transferencia de calor está gobernada principalmente por las características propias de la muestra y la resistencia que esta pueda mostrar frente a la difusión. Sin embargo, en el caso del secado por microondas en la mayoría de frutas se puede distinguir un periodo de velocidad relativamente constante que puede deberse al gradiente de presión de vapor que se genera en la parte interna del alimento mientras este contiene una suficiente cantidad de agua que poder transportar continuamente a la superficie. Una vez el alimento deja de tener cantidades suficientes de agua, se producen los dos periodos de velocidad decrecientes que es posible distinguir en las curvas de velocidad de secado. Es por esto que se puede observar una reducción del tiempo de secado en todas las frutas al deshidratar por medio de microondas en comparación con los tiempos necesarios en el método tradicional de deshidratación por aire caliente.
2. Los procesos de deshidratación producen cambios en la estructura del alimento, especialmente visible en las reducciones de grosor y diámetro con respecto a las muestras de fruta sin tratar. Se concluye que por lo general, salvo en el caso del kiwi, no existen diferencias significativas en las pérdidas de grosor y diámetro en relación al tipo de deshidratación y que por lo tanto la velocidad de secado no afecta significativamente a estos parámetros. A pesar de ello, destaca que en relación a los porcentajes de pérdida de diámetro (contracción de las muestras), las muestras tratadas por microondas muestran valores superiores de pérdida.
3. El método de deshidratación no produce diferencias significativas en cuanto a parámetros de textura para la mayoría de las frutas. En el caso de las diferencias significativas detectadas en la manzana, podría deberse al contenido de pectinas hidrosolubles presentes en la fruta y a la forma en la que el método de secado afecte a su solubilización en agua. Esto hecho requiere de un estudio en profundidad de los cambios en las fracciones pépticas en las diferentes frutas. Resultaría interesante también llevar a cabo ensayos para definir las características mecánicas de fruta deshidratada, especialmente de fruta deshidratada por microondas, ya que apenas hay estudios que evalúen este parámetro.
4. La deshidratación de frutas produce cambios fácilmente perceptibles por el ojo humano al comparar muestras de fruta deshidratada con fruta fresca. Estas diferencias de color son también perceptibles a simple vista al comparar las muestras de frutas deshidratadas por los diferentes métodos estudiados en el presente trabajo. Especialmente destaca el mayor oscurecimiento de las muestras deshidratadas por aire caliente.

5. En la evaluación sensorial de las frutas deshidratadas mediante cata, las principales diferencias se observaron en las valoraciones acerca del aspecto general de las frutas. Los catadores detectaron en gran medida quemaduras en la superficie de algunas de las frutas tratadas por microondas así como de intensidad de extrema acidez en algunas de las frutas tratadas por microondas. Mediante la cata se comprueba también la diferencia significativa de color detectada mediante colorímetro previamente y se detecta una diferencia significativa en la textura del plátano, más concretamente se detecta un nivel superior de crocancez en la deshidratación por microondas.

6. Mediante la deshidratación de las frutas por microondas, se produce un ahorro energético de entre el 53,99 y el 89,41% con respecto al consumo energético del proceso por aire caliente. Esto se debe principalmente a la reducción de los tiempos de proceso que se consiguen mediante el uso del microondas y que podrían incluso ser menores en caso de llevarse a cabo un estudio de las condiciones del equipo y analizar en mayor profundidad el efecto de cada una de las condiciones de proceso con el fin de optimizarlo al máximo.

7. El microondas es un equipo poco homogéneo lo que puede llegar a dificultar la definición de las características del proceso, esto puede observarse por ejemplo en la acumulación de calor en diferentes partes de la cabina especialmente con el uso de alguno de los generadores. Las condiciones de proceso así como los tiempos necesarios en el proceso son diferentes a estudios realizados con anterioridad lo cual puede deberse a las diferentes características de cada equipo (posición de los generadores, condiciones de la cabina, posible acumulación de calor en alguna de las secciones de la cabina con respecto al resto, etc). Es por ello que se puede intuir la necesidad de un estudio previo del equipo con el fin de adaptar las condiciones que puedan encontrarse en bibliografía.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Alibas, I. (2007). Microwave, air and combined microwave- air-drying parameters of pumpkin slices. *LWT – Food Science and Technology*, 40 (8), 1445-1451. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2006.09.002>
- Andrés, A., Bilbao, C., Fito, P. (2004). Drying kinetics of apple cylinders under combined hot air-microwave dehydration. *Journal of Food Engineering*, 63 (1), 71-78. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(03\)00284-X](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(03)00284-X)
- Ben Haj Said, L., Bellagha, S., Allaf, K. (2015). Measurement of texture, sorption isotherms and drying/rehydration kinetics of dehydrofrozen-textured apple. *Journal of Food Engineering*, 165, 22-33. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.04.029>
- Bradford, K. J., Dahal, P., Van Asbrouck, J., Kunusoth, K., Bello, P., Thompson, J., Wu, F. (2018). The dry chain: Reducing postharvest losses and improving food safety in humid climates. *Trends in Food Science & Technology*, 71, 84-93. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.11.002>
- Carburos Metálicos, Air Products and Chemicals. (2016). Todo lo que debe saber sobre el Envasado en Atmósfera Protectora (EAP). *Carburos* [sitio web]. [Consulta: 11 de Mayo, 2018]. Disponible en: http://www.carburos.com/microsite/es/eap/MAP_handbook.PDF
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.12.012>
- Chandrasekaran, S., Ramanathan, S., Basak, T. (2013). Microwave food processing – A review. *Food Research International*, 52 (1), 243-261. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.02.033>
- Contreras, C. (2006). Influencia del método de secado en parámetros de calidad relacionados con la estructura y el color de manzana y fresa deshidratadas (Tesis doctoral). *Universidad Politécnica de Valencia*. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/1932/tesisUPV2345.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Contreras, C., Benlloch-Tinoco, M., Rodrigo, D., Martínez-Navarrete, N. (2017). 4- Impact of microwave processing on nutritional, sensory, and other quality attributes. *The Microwave Processing of Foods (Second Edition)*, 65-99. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100528-6.00004-8>
- Contreras, C., Martín-Esparza, M.E., Chiralt, A., Martínez-Navarrete, N. (2008). Influence of microwave application on convective drying: Effects on drying kinetics, and optical and mechanical properties of apple and strawberry. *Journal of Food Engineering*, 88 (1), 55-64. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.01.014>
- Das, I., Arora, A. (2018). Alternate microwave and convective hot air application for rapid mushroom drying. *Journal of Food Engineering*, 223, 208-219. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.10.018>
- Dueñas-Molins, J., sin fecha. Deshidratación: La forma más antigua y sana de conservar los alimentos. *Infoalimentación* [sitio web]. España. [Consulta: 20 abril 2018]. Disponible

en:

http://www.infoalimentacion.com/documentos/deshidratacion_la_forma_mas_antigua_sana_de_conservar_alimentos.htm

- Galindo, A., Noguera-Artiaga, L., Cruz, Z. N., Burló, F., Hernández, F., Torrecillas, A., Carbonell-Barrachina, A. A. (2015). Sensory and physico-chemical quality attributes of jujube fruits as affected by crop load. *LWT – Food Science and Technology*, 63 (2), 899-905. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.04.055>
- García, E., Gago, L., Fernández, J. L. (sin fecha). Tecnologías de envasado en atmósfera protectora. Madrimasd [sitio web]. [Consulta: 11 de Mayo, 2018]. Disponible en: https://www.madrimasd.org/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/vt/vt3_tecnologias_de_ensado_en_atmosfera_protectora.pdf
- Gaukel, V., Siebert, T., Erle, U. (2017). 8 - Microwave-assisted drying. *The Microwave Processing of Foods (Second Edition)*, 152-178. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100528-6.00008-5>
- Henderson, K. (2017). Spanish Dried Fruit, Nut, And Snack Sales Grow For 7th Year. ESM, European Supermarket Magazine [sitio web]. [Consulta: 30 de Mayo, 2018]. Disponible en: <https://www.esmmagazine.com/spanish-dried-fruit-nut-snacks-sales-grow-7th-year/39160>
- Horuz, E., Bozkurt, H., Karataş, H., Maskan, M. (2017). Effects of hybrid (microwave-convectonal) and convectonal drying on drying kinetics, total phenolics, antioxidant capacity, vitamin C, color and rehydration capacity of sour cherries. *Food Chemistry*, 230, 295-305. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.03.046>
- Jaturonglumlert, S., Kiatsiriroat, T. (2010). Heat and mass transfer in combined convective and far-infrared drying of fruit leather. *Journal of Food Engineering*, 100 (2), 254-260. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.04.007>
- MAPAMA (sin fecha). *Frutas y hortalizas* [sitio web]. [Consulta: 20 abril 2018]. Disponible en: http://www.mapama.gob.es/es/agricultura/temas/producciones-agricolas/frutas-y-hortalizas/informacion_general.aspx
- Maskan, M. (2000). Microwave/air and microwave finish drying of banana. *Journal of Food Engineering*, 44 (2), 71-78. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(99\)00167-3](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(99)00167-3)
- Maskan, M. (2001). Kinetics of color change of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering*, 48 (2), 169-175. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00154-0](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00154-0)
- MINCETUR. 2016. *Frutas Deshidratadas en el Mercado Español* [sitio web]. Perú. [Consulta: 20 abril 2018]. Disponible en: <http://mincetur-espana.g7.pe/images/files/pdf/pp5.pdf>
- Orsat, V., Changrue, V., Raghavan, V. GS. (2006). Microwave drying of fruits and vegetables. *Stewart Postharvest Review*. doi: 10.2212/spr.2006.6.4
- Paengkanya, S., Soponronnarit, S., Nathakaranakule, A. (2015). Application of microwaves for drying of durian chips. *Food and Bioproducts Processing*, 96, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2015.06.001>
- Real decreto N° 2484,1967. Aprueba el texto del Código Alimentario Español (2016).

- Ruíz-Díaz, G., Martínez-Monzó, J., Fito, P., Chiralt, A. (2003). Modelling of dehydration-rehydration of orange slices in combined microwave/air drying. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 4 (2), 203-209. [https://doi.org/10.1016/S1466-8564\(03\)00016-X](https://doi.org/10.1016/S1466-8564(03)00016-X)
- Shafiur Rahman, M. (2007). *Handbook of Food Preservation*, Second Edition. Ed. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton.
- Szychowski, P. J., Lech, K., Sendra-Nadal, E., Hernández, F., Figiel, A., Wojdylo, A., Carbonell, Barrachina, A. A. (2018). Kinetics, biocompounds, antioxidant activity, and sensory attributes of quinces as affected by drying method. *Food Chemistry*, 255, 157-164. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.02.075>
- Wang, J., Sheng, K. (2006). Far-infrared and microwave drying of peach. *LWT- Food Science and Technology*, 39 (3), 247-255. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2005.02.001>
- Wojdylo, A., Figiel, A., Legua, P., Lech, K., Carbonell-Barrachina, A. A., Hernández, F. (2016). Chemical composition, antioxidant capacity, and sensory quality of dried jujube fruits as affected by cultivar and drying method. *Food Chemistry*, 207, 170-179. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.03.099>
- Zarein, M., Samadi, S. H., Ghobadian, B. (2015). Investigation of microwave dryer effect on energy efficiency during drying of apple slices. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 14 (1) 41-47. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2013.06.002>

ANEXO 1

A continuación se presenta un ejemplo de ficha de cata utilizado para la realización de los análisis sensoriales para cada una de las frutas (Figura 23):

CATA DE FRUTA DESHIDRATADA: FRESA	
NOMBRE DEL CATADOR:	FECHA:

Prueba 1: Valore el nivel de intensidad detectado para cada uno de los siguientes parámetros.

MUESTRA	PARÁMETRO	1 Poco intenso	2	3	4	5 Muy intenso
Nº:	Color					
	Aroma					
	Crocantez					
	Sabor					
	Acidez					
Nº:	Dulzor					
	Color					
	Aroma					
	Crocantez					
	Sabor					
Nº:	Acidez					
	Dulzor					

Prueba 2: ¿Ha detectado algún defecto? P. ej. sabores extraños, quemaduras, exceso de humedad, etc.
Rellene la casilla "Defecto" en caso de haber respondido "si" y explique los defectos encontrados.

MUESTRA	PARÁMETRO	Si	No	Defecto
Nº:	Aspecto general			
	Aroma			
	Sabor			
Nº:	Aspecto general			
	Aroma			
	Sabor			

Prueba 3: Valore el nivel de agrado o desagrado de los siguientes parámetros para cada una de las muestras.

MUESTRA	PARÁMETRO	Me desagrada bastante	Me desagrada	Ni me agrada ni desagrada	Me agrada	Me agrada bastante
Nº:	Aspecto general					
	Color					
	Sabor					
	Textura					
Nº:	Aspecto general					
	Color					
	Sabor					
	Textura					

OBSERVACIONES:

Figura 23. Ejemplo de ficha de cata

ANEXO 2

En las siguientes tablas se presentan los datos numéricos a partir de los cuales se realizaron las curvas de secado y de velocidad de secado para cada fruta:

Plátano

Tabla 23. Pesos de muestras tiempo de tratamiento para el plátano tratado por microondas

Pesos muestras - MW			
Minutos	Muestra 1	Muestra 2	Promedio
0	16,93	16,47	16,7
10	11,93	11,45	11,69
20	8,94	8,55	8,745
30	7	6,93	6,965
40	6,43	6,34	6,385
50	5,95	5,85	5,9
60	5,6	5,49	5,545
70	5,4	5,29	5,345
80	5,34	5,22	5,28
90	5,29	5,14	5,215
100	5,21	5,09	5,15
110	5,14	4,98	5,06
120	5,03	4,9	4,965

Tabla 24. Pesos de muestras tiempo de tratamiento para el plátano tratado por aire caliente

Pesos muestras - AC			
Minutos	Muestra 1	Muestra 2	Promedio
0	25,38	25,81	25,595
20	21,28	21,41	21,345
40	18,55	19,17	18,86
60	16,64	17,31	16,975
80	15	15,67	15,335
100	14,15	14,81	14,48
120	12,83	13,57	13,2
140	11,91	12,49	12,2
160	11,01	11,62	11,315
180	10,35	10,93	10,64
200	9,8	10,29	10,045
220	9,4	9,91	9,655
240	9,06	9,46	9,26
260	8,59	8,9	8,745
280	8,41	8,71	8,56
300	8,25	8,51	8,38
320	8,15	8,38	8,265
340	8,07	8,28	8,175
360	8	8,24	8,12

Tabla 25. Datos numéricos para las curvas de secado y de velocidad de secado del plátano por microondas

Tiempo (minutos)	Xwt	Xw (b.s.)	Xwt/Xwo (b.s.)	$\Delta Xw/\Delta t$	Xw media/Xw
0	0,7031	2,36813742	0,2969	0	1
10	0,57579827	1,35736899	0,24314394	0,10107684	0,78659
20	0,43291331	0,76339882	0,18280751	0,05939702	0,44777127
30	0,28815333	0,40479691	0,12167931	0,03586019	0,24664864
40	0,22349334	0,28781897	0,09437516	0,01169779	0,14623642
50	0,15965977	0,1899942	0,06741998	0,00978248	0,10088375
60	0,10585384	0,11838539	0,0446992	0,00716088	0,06511015
70	0,07239433	0,07804429	0,03057016	0,00403411	0,04147346
80	0,060967	0,0649253	0,0257447	0,0013119	0,03018608
90	0,04922849	0,05177741	0,02078785	0,00131479	0,02464019
100	0,0372607	0,03870279	0,01573418	0,00130746	0,01910366
110	0,02008107	0,02049258	0,00847969	0,00182102	0,0124983
120	0,00137245	0,00137433	0,00057955	0,00191182	0,0046169

Tabla 26. Datos numéricos para las curvas de secado y de velocidad de secado del plátano por aire caliente

Tiempo (minutos)	Xwt	Xw (b.s.)	Xwt/Xwo (b.s.)	$\Delta Xw/\Delta t$	Xw media/Xw
0	0,7031	2,36813742	1	0	1
20	0,64399009	1,80891055	0,76385371	0,02796134	0,88192685
40	0,59702229	1,48152683	0,62560847	0,01636919	0,69473109
60	0,55223234	1,23330108	0,52078949	0,01241129	0,57319898
80	0,50431114	1,01739456	0,42961804	0,01079533	0,47520377
100	0,47502425	0,90484987	0,38209348	0,00562723	0,40585576
120	0,42398938	0,73607911	0,31082618	0,00843854	0,34645983
140	0,3768907	0,60485487	0,25541375	0,00656121	0,28311997
160	0,32806371	0,48823634	0,20616892	0,00583093	0,23079134
180	0,28542634	0,39943585	0,16867089	0,00444002	0,18741991
200	0,24319353	0,32134177	0,13569389	0,0039047	0,15218239
220	0,21255589	0,2699314	0,11398468	0,00257052	0,12483929
240	0,17912282	0,21820903	0,09214374	0,00258612	0,10306421
260	0,13088487	0,15059555	0,0635924	0,00338067	0,07786807
280	0,11210622	0,12626085	0,05331652	0,00121674	0,05845446
300	0,09307945	0,10263242	0,04333888	0,00118142	0,0483277
320	0,08049139	0,0875374	0,03696466	0,00075475	0,04015177
340	0,07038663	0,07571602	0,03197282	0,00059107	0,03446874
360	0,06405518	0,06843905	0,02889995	0,00036385	0,03043638

Tabla 27. Pesos de muestras tiempo de tratamiento para fresa tratada por microondas

Peso muestras - MW			
Minutos	Muestra 1	Muestra 2	Promedio
0	23,96	24,22	24,09
10	17,69	22,03	19,86
20	12,58	19	15,79
30	11,8	10,48	11,14
40	8,25	8,34	8,295
50	6,77	7,25	7,01
60	5,74	6,21	5,975
70	4,94	5,47	5,205
80	4,29	4,97	4,63
90	3,63	4,06	3,845
100	3,21	3,89	3,55
110	2,89	3,31	3,1
120	2,62	2,8	2,71

Tabla 28. Pesos de muestras tiempo de tratamiento para fresa tratada por aire caliente

Peso muestras - AC			
Minutos	Muestra 1	Muestra 2	Promedio
0	28,82	28,86	28,84
20	21,17	21,18	21,175
40	15,09	15,28	15,185
60	11,16	11,95	11,555
80	8,91	8,99	8,95
100	7,11	7,31	7,21
120	5,58	5,64	5,61
140	4,25	4,27	4,26
160	3,78	3,61	3,695
180	3,44	3,28	3,36
200	3,37	3,24	3,305
220	3,32	3,16	3,24
240	3,29	3,05	3,17
260	3,15	2,96	3,055
280	3,04	2,84	2,94
300	2,99	2,77	2,88
320	2,92	2,62	2,77

Tabla 29. Datos numéricos para las curvas de secado y de velocidad de secado de fresa por microondas

Tiempo (minutos)	Xwt	Xw (b.s.)	Xwt/Xwo (b.s.)	$\Delta Xw/\Delta t$	Xw media/Xw
0	0,9065	9,69518717	1	0	1
10	0,88528263	7,71707591	0,79596977	0,19781113	0,89798489
20	0,85136551	5,72791365	0,5907997	0,19891623	0,69338473
30	0,79703127	3,92686723	0,40503264	0,18010464	0,49791617
40	0,72846108	2,68271332	0,27670568	0,12441539	0,34086916
50	0,67836781	2,10914154	0,21754521	0,05735718	0,24712544
60	0,62252287	1,64916713	0,17010163	0,04599744	0,19382342
70	0,56625395	1,3054965	0,13465408	0,03436706	0,15237785
80	0,51107349	1,04529716	0,10781609	0,02601993	0,12123508
90	0,41253631	0,70223287	0,07243108	0,03430643	0,09012358
100	0,35997401	0,56243655	0,05801193	0,01397963	0,06522151
110	0,2703317	0,37048575	0,03821337	0,01919508	0,04811265
120	0,16808197	0,2020415	0,02083936	0,01684443	0,02952636

Tabla 30. Datos numéricos para las curvas de secado y de velocidad de secado de fresa por aire caliente

Tiempo (minutos)	Xwt	Xw (b.s.)	Xwt/Xwo (b.s.)	$\Delta Xw/\Delta t$	Xw media/Xw
0	0,9065	9,69518717	1	0	1
20	0,87265456	6,85265647	0,70681013	0,14212653	0,85340506
40	0,82241463	4,63109449	0,47766943	0,1110781	0,59223978
60	0,76636687	3,28021494	0,33833436	0,06754398	0,40800189
80	0,69870553	2,31901213	0,23919209	0,04806014	0,28876323
100	0,62593164	1,67330816	0,17259163	0,0322852	0,20589186
120	0,51932137	1,08039205	0,11143591	0,02964581	0,14201377
140	0,36700693	0,57979613	0,05980247	0,0250298	0,08561919
160	0,26982117	0,36952752	0,03811453	0,01051343	0,0489585
180	0,19698986	0,24531429	0,02530269	0,00621066	0,03170861
200	0,18377603	0,22515393	0,02322327	0,00100802	0,02426298
220	0,1672126	0,20078666	0,02070993	0,00121836	0,0219666
240	0,14811339	0,17386514	0,01793314	0,00134608	0,01932154
260	0,1164621	0,13181336	0,01359575	0,00210259	0,01576445
280	0,08172551	0,088999	0,00917971	0,00214072	0,01138773
300	0,06230867	0,06644902	0,00685382	0,0011275	0,00801676
320	0,02362016	0,02419157	0,00249521	0,00211287	0,00467451

Tabla 31. Pesos de muestras tiempo de tratamiento para el kiwi tratado por microondas

Peso muestras - MW			
Minutos	Muestra 1	Muestra 2	Promedio
0	27,85	27,18	27,515
10	24,96	21,9	23,43
20	18,61	16,43	17,52
30	12,97	11,14	12,055
40	9,32	7,68	8,5
50	7,17	5,84	6,505
60	6,08	5,21	5,645
70	5,18	4,33	4,755
80	5,03	4,16	4,595
90	4,96	4,09	4,525
100	5,08	4,05	4,565
110	5,03	4,03	4,53

Tabla 32. Pesos de muestras tiempo de tratamiento para el kiwi tratado por aire caliente

Peso muestras - AC			
Minutos	Muestra 1	Muestra 2	Promedio
0	42,59	41,68	42,135
20	32,99	31,27	32,13
40	25,27	23,56	24,415
60	19,65	18	18,825
80	15,52	13,87	14,695
100	12,02	10,78	11,4
120	9,33	8,44	8,885
140	8,3	7,83	8,065
160	7,61	7,41	7,51
180	7,27	7,17	7,22
200	7,08	7,04	7,06
220	6,97	6,91	6,94
240	6,92	6,91	6,915

Tabla 33. Datos numéricos para las curvas de secado y de velocidad de secado del kiwi por microondas

Tiempo (minutos)	Xwt	Xw (b.s.)	Xwt/Xwo (b.s.)	$\Delta Xw/\Delta t$	Xw media/Xw
0	0,8356	5,08272506	1	0	1
10	0,80626437	4,16167315	0,81878778	0,09210519	0,90939389
20	0,74100439	2,86106929	0,56290066	0,13006039	0,69084422
30	0,62293879	1,65208933	0,32504007	0,120898	0,44397037
40	0,46345923	0,86379128	0,16994649	0,07882981	0,24749328
50	0,29814767	0,42480115	0,08357744	0,04389901	0,12676196
60	0,19464692	0,24169141	0,04755154	0,01831097	0,06556449
70	0,04207538	0,04392348	0,00864172	0,01977679	0,02809663
80	0,00781039	0,00787188	0,00154875	0,00360516	0,00509524
90	-0,00780456	-0,00774412	-0,00152362	0,0015616	1,2567E-05
100	-0,00229703	-0,00229177	-0,00045089	-0,00054524	-0,00098726
110	-0,00951433	-0,00942466	-0,00185425	0,00071329	-0,00115257

Tabla 34. Datos numéricos para las curvas de secado y de velocidad de secado del kiwi por aire caliente

Tiempo (minutos)	Xwt	Xw (b.s.)	Xwt/Xwo (b.s.)	$\Delta Xw/\Delta t$	Xw media/Xw
0	0,8356	5,08272506	1	0	1
20	0,78431507	3,63639262	0,71544154	0,07231662	0,85772077
40	0,71604027	2,52162617	0,49611697	0,05573832	0,60577925
60	0,63149859	1,71369379	0,33716043	0,04039662	0,4166387
80	0,52741182	1,11600723	0,21956868	0,02988433	0,27836456
100	0,39092426	0,64183194	0,12627713	0,02370876	0,17292291
120	0,21883423	0,28013802	0,05511571	0,0180847	0,09069642
140	0,14064491	0,16366332	0,03219992	0,00582373	0,04365781
160	0,07759971	0,08412802	0,01655175	0,00397677	0,02437584
180	0,04060829	0,04232712	0,00832764	0,00209004	0,0124397
200	0,01886152	0,01922411	0,00378225	0,00115515	0,00605494
220	0,00190201	0,00190563	0,00037492	0,00086592	0,00207858
240	-0,00172719	-0,00172421	-0,00033923	0,00018149	1,7846E-05

Tabla 35. Pesos de muestras tiempo de tratamiento para manzana tratada por microondas

Peso muestras - MW			
Minutos	Muestra 1	Muestra 2	Promedio
0	37,94	37,57	37,755
10	25,15	27,64	26,395
20	18,05	20,34	19,195
30	12,6	14,89	13,745
40	10,05	11,29	10,67
50	9,01	9,16	9,085
60	8,09	8,44	8,265
70	7,85	8,12	7,985
80	6,98	7,35	7,165
90	6,45	6,78	6,615
100	6,29	6,54	6,415
110	6,1	6,43	6,265
120	5,93	6,36	6,145
130	5,88	6,22	6,05
140	5,81	6,18	5,995

Tabla 36. Pesos de muestras tiempo de tratamiento para manzana tratada por aire caliente

Peso muestras - AC			
Minutos	Muestra 1	Muestra 2	Promedio
0	64,72	65,14	64,93
20	46,67	47,09	46,88
40	31,48	31,85	31,665
60	20,15	20,67	20,41
80	13,21	13,66	13,435
100	10,63	11,03	10,83
120	10,06	10,43	10,245
140	10,07	10,41	10,24
160	9,98	10,22	10,1
180	9,91	10,15	10,03

Tabla 37. Datos numéricos para las curvas de secado y de velocidad de secado de manzana por microondas

Tiempo (minutos)	Xwt	Xw (b.s.)	Xwt/Xwo (b.s.)	$\Delta Xw/\Delta t$	Xw media/Xw
0	0,8619	6,24112962	1	0	1
10	0,80197767	4,04993565	0,64891068	0,2191194	0,82445534
20	0,7273189	2,66728755	0,42737256	0,13826481	0,53814162
30	0,6178579	1,61682758	0,25906009	0,105046	0,34321632
40	0,50954834	1,03893694	0,16646617	0,05778906	0,21276313
50	0,42602842	0,74224655	0,11892824	0,02966904	0,1426972
60	0,36880275	0,5842908	0,0936194	0,01579557	0,10627382
70	0,34678919	0,53089934	0,08506462	0,00533915	0,08934201
80	0,27172311	0,37310412	0,05978151	0,01577952	0,07242306
90	0,2112095	0,26776375	0,04290309	0,01053404	0,0513423
100	0,18683649	0,22976496	0,03681464	0,00379988	0,03985887
110	0,16707775	0,20059225	0,03214038	0,00291727	0,03447751
120	0,15032531	0,17692102	0,0283476	0,00236712	0,03024399
130	0,13738777	0,15926945	0,02551933	0,00176516	0,02693346
140	0,12932034	0,14852804	0,02379826	0,00107414	0,0246588

Tabla 38. Datos numéricos para las curvas de secado y de velocidad de secado de manzana por aire caliente

Tiempo (minutos)	Xwt	Xw (b.s.)	Xwt/Xwo (b.s.)	$\Delta Xw/\Delta t$	Xw media/Xw
0	0,8619	6,24112962	1	0	1
20	0,8087269	4,22812664	0,67746176	0,10065015	0,83873088
40	0,71681763	2,53129332	0,40558256	0,08484167	0,54152216
60	0,56061152	1,27589035	0,2044326	0,06277015	0,30500758
80	0,33242554	0,49796025	0,07978688	0,03889651	0,14210974
100	0,17180459	0,2074445	0,03323829	0,01452579	0,05651259
120	0,12452572	0,14223801	0,02279043	0,00326032	0,02801436
140	0,12413833	0,14173281	0,02270948	2,526E-05	0,02274995
160	0,11210353	0,12625743	0,0202299	0,00077377	0,02146969
180	0,10590532	0,11844978	0,0189789	0,00039038	0,0196044