



**Universidad**  
Zaragoza

## Trabajo Fin de Grado

**Caracterización del funcionamiento de un deshidratador doméstico. Aplicación para el secado de fresas y comparación con otros métodos.**

Autor/es

David Gimeno Martínez

Director/es

Rosa Oria Almudí

Facultad de Veterinaria

2014



---

<b>0.</b>	<b>RESUMEN/ABSTRACT</b>	<b>1</b>
<b>1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>3</b>
1.1.	La fresa: origen, variedades, composición y manejo post-cosecha	3
1.2.	La deshidratación de los alimentos vegetales	6
1.2.1.	Concepto	7
1.2.2.	Modificaciones producidas en el alimento	8
1.2.3.	Métodos de deshidratación	9
<b>2.</b>	<b>JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS</b>	<b>13</b>
<b>3.</b>	<b>MATERIAL Y MÉTODOS</b>	<b>14</b>
3.1.	Materia prima	14
3.2.	Equipos de deshidratación	14
	3.2.1.1.Deshidratador doméstico por convección	14
	3.2.1.2.Equipo microondas	16
3.3.	Análisis de color	16
3.4.	Determinación de la firmeza	17
3.5.	Análisis del aroma	17
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>20</b>
4.1.	Perfiles de temperatura en el deshidratador	20
	4.1.1.1.Patrón de temperatura a 50°C	21
	4.1.1.2.Patrón de temperatura a 55°C	22
	4.1.1.3.Patrón de temperatura a 65°C	24
4.2.	Análisis del color	26
4.3.	Firmeza	27
<b>4.4.</b>	<b>Análisis olfatométrico</b>	<b>28</b>
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>29</b>
<b>6.</b>	<b>APORTACIONES DE APRENDIZAJE</b>	<b>33</b>
<b>7.</b>	<b>EVALUACIÓN DE LA ASIGNATURA Y MEJORAS</b>	<b>33</b>
<b>8.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>34</b>

---

## 0. RESUMEN

Actualmente pueden encontrarse en el mercado distintos electrodomésticos para la desecación de alimentos por medio de aire caliente. Estos equipos están destinados a un uso doméstico y carecen de la reproducibilidad que ofrecen los procesos industriales ya que pueden verse muy afectados por variables como la posición de alimento en el equipo o la cantidad de alimento tratado. Este estudio aborda la caracterización del funcionamiento de un deshidratador doméstico, tratando de identificar la posición dentro del equipo que más se ajusta al tratamiento fijado, y comparar el producto final de este proceso de secado, con el obtenido mediante un tratamiento con microondas.

Para ello se deshidrataron rodajas de fresa a tres temperaturas: 50°C, 55°C, y 65°C en un desecador doméstico marca Sedona provisto de 8 bandejas, y en un microondas a dos estados de energía: 100°C-100W y 220°C-100W. Se obtuvieron experimentalmente los perfiles de temperatura de cada bandeja en el interior del deshidratador y se analizó la distribución de temperatura durante el proceso de secado. Antes y después de los tratamientos de deshidratación se determinó la firmeza mediante durometría, el color por reflexión, y el perfil aromático por microextracción en fase sólida (SPME) y Cromatografía de Gases-Olfatometría tanto de muestras frescas como deshidratadas.

En cuanto a las características organolépticas se observó variación en el color de las muestras desecadas respecto a la fresa fresca disminuyendo la claridad y aumentando la intensidad del color rojo. La firmeza aumentó significativamente en las muestras deshidratadas por convección mientras que disminuyó en las tratadas por microondas. El perfil aromático de las fresas frescas fue menos complejo que el de las fresas procesadas. En el perfil de la fresa fresca predominan olores afrutados y verdes que no se encuentran en el producto tras su desecación. Otros, sin embargo, son detectados como consecuencia del proceso de deshidratación, ya que se concentran en la fruta desecada: 2,3-butanediona, hexanoato de etilo, cis 1,5-octadien-3-ona, metional y trans-2-cis-6-nonadienal. Por otro lado, se observan compuestos odorantes de aroma mentolado y miel, detectados únicamente tras el tratamiento con microondas.

---

## ABSTRACT

Currently, different hot air driers for domestic use can be found in the market. These devices lack of reproducibility of industrial equipment because they can be greatly affected by variables such as position in oven or the amount of treated food. That, the aim of this study is to characterize the operating conditions of a domestic dehydrator, trying to identify the position within the equipment best fits the selected treatment, as well as comparing the final product with those obtained by microwave drying.

Strawberry slices were dried at three temperatures: 50, 55 and 65°C in the domestic dehydrator, and at two energy levels in the microwave oven: 100°C-100W, and 220°C-100W. Temperature profiles inside the drier were experimentally obtained and data distribution analyse with the Microsoft Excel 2013 tool. The colour by reflection, firmness measured with a Durofel penetrometer, and the aromatic profile obtained by solid phase micro-extraction (SPME) and Gas Chromatography-Olfatometry (GC-O) were determined in fresh and dried samples.

The dried samples showed lower values for the clarity ( $L^*$ ) but higher ones for the  $a^*$  coordinate than the fresh strawberries. The firmness of convection dehydrated samples significantly increased while it decreased in the ones treated by microwaves. The aroma profile of fresh strawberries was less complex than that of the processed strawberries. On the aromatic profile of fresh strawberry predominated the green and fruity notes that were not detected in the product after drying. Others compounds, however, are detected as a result of the dehydration process, as they concentrate on dried fruit: 2,3-butanedione, hexanoate, cis 1,5-octadien-3-one, methional and trans-2-cis-6-nonadienal. Furthermore, mentholated odorant compounds are observed and a honey flavor detected in the microwave treated strawberries.

---

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. La fresa: origen, variedades, composición y manejo post-cosecha

La fresa (*Fragaria ananassa*) es un fruto de color rojo brillante, succulento y fragante que se obtiene de la planta que recibe su mismo nombre. En Occidente es considerada la "reina de las frutas".

La fresa creció durante mucho tiempo espontáneamente en los bosques llegando a tardar en realizarse su cultivo por ser una fruta muy frágil y porque para obtener una cosecha máxima de un mes al año era necesaria una ocupación permanente del suelo.

El fruto comestible se denomina vulgarmente "eterio". Se trata de un falso fruto formado por el receptáculo, en el que se hallan los aquenios (pepitas), pequeños y de color claro en la parte expuesta a la sombra y rojizo oscuro la expuesta al sol. Los aquenios pueden estar hundidos, superficiales o sobresalientes de la pulpa. También pueden ser muy o poco numerosos. Los sobresalientes aumentan la resistencia de la superficie, pero durante el lavado se desprenden muchos de ellos. Generalmente, el consumidor prefiere el fruto con pocos aquenios ya que éstos suponen el inconveniente de quedarse entre los dientes al ser mordidos.

La parte central del fruto o "corazón" puede estar muy o poco desarrollada y puede haber frutos con el corazón vacío lo que se considera un carácter negativo. Los frutos pueden ser de varias formas, según el cultivar: cónicos, cónico-alargado, cónico-redondeado, esferoidales, oblatos, reniformes (forma de riñón).

Actualmente existen muchas variedades de fresas que se pueden clasificar en tres grandes grupos: fresita del bosque, fresas cultivadas y fresón.

La fresita del bosque es un tipo de fresa que se caracteriza por su gran sabor. En este grupo se incluyen las denominadas variedades alpinas como "Baron Solemacher", "Alexandria" u "Yellow Wonder", que presentan un largo periodo de fructificación. Las fresas cultivadas suelen tener un tamaño mayor que las fresitas del bosque, pero su aroma y sabor resultan de inferior calidad. Existen más de 1000 variedades. El fresón es considerado un tipo de fresa de mayor tamaño, con forma de corazón y de color rojo vivo cuando está maduro. Resulta muy sabroso y asequible económicamente. Los fresones se recogen de dos especies de origen americano del género *Fragaria*. La especie *Fragaria virginiana* se cultiva actualmente con el nombre de "Little Scarlet" para la elaboración de mermeladas. El fruto de esta especie es dulce, de carne firme y encarnada. La segunda especie, *Fragaria chiloensis* produce un fruto rosado o blanco con marcado sabor a piña. Esta especie ha originado por medio de hibridaciones la

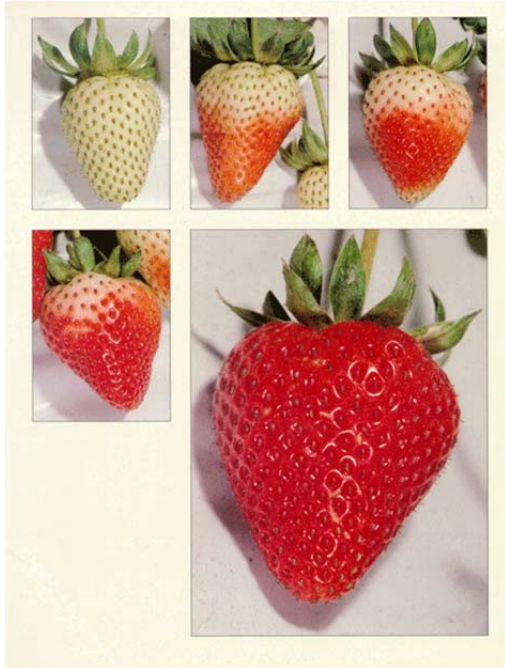
---

mayor parte de variedades de fresas comerciales. Por otro lado, existen otros tipos de fresas, que pueden ser una variedad de la especie *Fragaria vesca* u otra especie del género *Fragaria*. Entre ellos se encuentra el denominado fresal de las cuatro estaciones (*Fragaria vesca* var. *semperflorens*), que produce frutos bastante grandes que maduran en los meses de verano. La especie *Fragaria moschata* produce un fruto más redondeado, rojo rosado, y con aroma de almizcle.

Las fresas y los fresones son frutas muy poco energéticas, cuyo principal componente, después del agua, lo constituyen los hidratos de carbono, con aproximadamente el 7% de su peso y representados fundamentalmente por fructosa, glucosa y xilitol. Las fresas son muy ricas en vitamina C, con un porcentaje incluso superior al que posee la naranja (una ración media de fresas (150 g) contiene 86 mg de vitamina C; mientras que una naranja mediana (225 g), contiene 82 mg. Las fresas también contienen diversos ácidos orgánicos que contribuyen a su acidez característica, entre los que destacan: el ácido cítrico y el ácido málico. El color de la fresa se debe a unos pigmentos vegetales del grupo de los flavonoides conocidos como antocianinas que actúan como potentes antioxidantes.

La fresa pertenece al grupo de frutas conocidas como bayas junto a las frambuesas y las moras y es de los pocos tipos de frutas que crece en ventas año tras año en Europa. Sin embargo desde el punto de vista de la **conservación post-cosecha** este grupo de frutas tiene varios aspectos en común, que dificultan su manejo:

- Son altamente perecederas: la vida media de las fresas a temperatura óptima (0 °C) son 7 días. Deben recolectarse en su grado óptimo de madurez comercial generalmente cuando más de tres cuartos de su superficie se encuentra convenientemente coloreada ya que al ser un fruto no climatérico no madura tras ser cosechado (figura 1.1).
- Tienen una epidermis muy fina y sensible a daños por compresión o golpes.
- Son muy susceptibles a los mohos, especialmente a *Botrytis* spp.
- No toleran la humedad libre en su superficie como consecuencia de la condensación, en cuyo caso rápidamente desarrollan crecimiento fúngico.



**Figura 1.1.** Grados de madurez de la fresa: de fresas inmaduras a fresas totalmente coloreadas (de izquierda a derecha y de arriba abajo)

Estos factores hacen que las condiciones de **manejo post-cosecha** sean mucho más estrictas que en otras frutas. Algunos puntos clave para el éxito en el transporte y la distribución de estas frutas son:

- Envasar directamente en el campo y evitar así una doble manipulación
- Controlar que el tiempo entre la cosecha y el enfriamiento sea menor a 2 horas, de lo contrario la calidad se ve muy deteriorada
- Enfriar a temperatura óptima (0°C) en menos de 1 hora mediante aire forzado
- Asegurar una distribución rápida de la fruta
- Asegurar una buena programación de cosecha, evitando picos de fruta que luego tengan que ser almacenados y probablemente puedan acabar por ser desechados o vendidos como fruta de segunda.

Los sistemas de envasado en atmosfera modificada están muy desarrollados para este tipo de frutas. El uso de atmósferas modificadas con alto CO<sub>2</sub> (10-15%) permite el transporte y almacenamiento de estas bayas sin crecimiento de mohos durante 3-4 días adicionales.

El **cultivo** de la fresa en España es de enorme importancia, sobre todo en la zona de Huelva. De hecho, España es el país líder en producción en Europa y el tercero a nivel mundial, por detrás sólo de Estados Unidos y Turquía, a pesar de que se trata de un cultivo en crecimiento en algunos países europeos como Gran Bretaña, Alemania,



---

Holanda, Italia o Bélgica. En 2013 España exportó 266.408 toneladas de fresas, por un valor de 467 millones de euros.

## **1.2. La deshidratación de los alimentos vegetales**

Las frutas y hortalizas se cosechan cuando alcanzan su calidad comestible óptima. Tras la cosecha, como sistemas vivos que son, empiezan a deteriorarse más o menos rápidamente en función del producto del que se trate.

El alejamiento de las áreas de producción y los centros de consumo, la proliferación de grandes urbes con sistemas de comercialización complejos y el incremento del comercio internacional han aumentado considerablemente, así como el tiempo entre la recolección y la llegada al consumidor final. Todo ello hace que la utilización de tecnologías post-cosecha sean imprescindibles para mantener la calidad a lo largo de periodos de tiempo cada vez más prolongados. En España, en el año 2003 (Libro Blanco de la Agricultura y el desarrollo Rural, MAPA), existían 59 empresas de deshidratados, todas ellas muy pequeñas.

La estacionalidad de estos productos también hace necesario su transformación industrial para poder disponer de ellos durante todo el año. Así, los alimentos vegetales son procesados mediante esterilización por calor, congelación, deshidratación o puesta en salmuera.

La deshidratación o desecación de alimentos consiste en eliminar la mayor cantidad posible de agua o humedad del alimento seleccionado bajo una serie de condiciones controladas como temperatura, humedad, velocidad y circulación del aire. El agua es el elemento básico para el crecimiento microbiano y para multitud de reacciones químicas y enzimáticas, por lo que, al retirarla, aumentamos la vida útil del producto.

Los productos deshidratados presentan diversas ventajas frente a los frescos entre las que destacan:

- Pueden conservar gran porcentaje de su sabor, color, consistencia y aspecto durante largo tiempo.
- Se pueden volver a rehidratar para su consumo.
- Sus propiedades nutritivas se conservan casi en su totalidad.
- Su tamaño es más pequeño y son de menor peso que en su estado natural.
- Son de fácil transporte y almacenamiento.
- Reducen el coste del transporte y también el espacio en los almacenes.

- 
- Poseen un tiempo prolongado de conservación.
  - Se pueden encontrar en cualquier temporada.

Se pueden deshidratar todo tipo de alimentos como: frutas, vegetales, algas, semillas, granos, carnes, etc. En el caso de las frutas, y dado que no toleran bien la congelación ya que al descongelar pierden gran parte de su agua, la deshidratación se perfila como una alternativa factible que nos permite disponer del producto durante todo el año.

### **1.2.1. Concepto**

El agua que contiene un alimento juega un papel fundamental tanto en el crecimiento microbiano como en las reacciones químicas y enzimáticas que tienen lugar en él. Por tanto, reduciendo el contenido en agua de alimento disminuimos o minimizamos las reacciones de degradación que llevan a la pérdida de calidad del alimento.

El secado ha sido, desde tiempos remotos, un método de conservación de los alimentos. El agua retirada durante este secado, deshidratación o concentración, puede ser eliminada de los alimentos por las simples condiciones ambientales o por una variedad de procesos controlados de deshidratación en los que se someten a técnicas que emplean diferentes medios como calor, aire, frío, y ósmosis.

El secado al sol permite retirar agua hasta niveles del 15%, que es suficiente en algunos casos. Por este sistema se requiere un espacio bastante grande y los alimentos expuestos al sol son susceptibles a la contaminación y a pérdidas debidas al polvo, los insectos, los roedores y otros factores.

Por las razones anteriores el secado al sol evolucionó a fin de realizarlo en recintos interiores en donde las condiciones pudieran ser controladas en forma más eficiente. Hoy en día el término deshidratación de alimentos se refiere al secado artificial bajo control. La eliminación de agua puede ser casi completa y se busca prevenir al máximo los cambios en el alimento, a fin de lograr luego, durante la reconstitución, obtener productos lo más parecidos a los alimentos originarios. Los niveles de humedad remanente llegan a alcanzar valores de 1 al 5%, según el producto. Por lo general la calidad lograda en la de deshidratación es proporcional al costo del proceso aplicado, existiendo sus excepciones.

---

Además de los fines de la conservación, la deshidratación se realiza para disminuir el peso y el volumen de los alimentos. El peso se puede llegar a disminuir 8 veces su peso original. Esto resulta evidentemente en ahorro en el costo del transporte y de los empaques.

### **1.2.2. Modificaciones producidas en el alimento**

Por lo general la deshidratación produce cambios físicos, químicos y sensoriales en los alimentos. Entre los cambios físicos están el encogimiento, endurecimiento y la termoplasticidad. Los cambios químicos contribuyen a la calidad final, tanto de los productos deshidratados como de sus equivalentes reconstituidos, por lo referente al color, sabor, textura, viscosidad, velocidad de reconstitución, valor nutritivo y estabilidad en el almacenamiento. Con frecuencia estos cambios ocurren solo en determinados productos, pero algunos de los principales tienen lugar en casi todos los alimentos sometidos a deshidratación, y el grado en que ocurren depende de la composición del alimento y la severidad del método de secado.

Las reacciones de oscurecimiento pueden deberse a oxidaciones enzimáticas, por lo que se recomienda inactivarlas mediante tratamientos de pasterización o escaldado.

El oscurecimiento también puede deberse a reacciones no enzimáticas. Estas se aceleran cuando los alimentos se someten a altas temperaturas y el alimento posee elevada concentración de grupos reactivos y el secado alcanza niveles del 15 a 20%. Cuando se superan los niveles de deshidratación como el 2% los cambios en el color son menos intensos.

Otra consecuencia de la deshidratación de alimentos es la dificultad en la rehidratación. Las causas son de origen físico y químico, teniendo en cuenta por una parte el encogimiento y la distorsión de las células y los capilares y por otra, la desnaturalización de las proteínas ocasionada por el calor y la concentración de sales. En estas condiciones estas proteínas de las paredes celulares no podrán absorber tan fácil de nuevo el agua, perdiendo así la turgencia y alterando la textura que caracteriza a un determinado alimento.

La pérdida parcial de componentes volátiles y de sabor es otro efecto de la deshidratación. Por esto algunos métodos emplean atrapar y condensar los vapores producidos en el secador y devolverlos al producto secado. Otras técnicas usan agregar esencias y saborizantes que derivan de otras fuentes, o bien agregando gomas u otros compuestos que reducen las pérdidas de sabor y aroma.

---

Los factores analizados se tienen en cuenta cuando se va a diseñar un equipo de deshidratación de alimentos. Todo debe tender a lograr la máxima velocidad del secado, con el mínimo de daño al alimento al costo más bajo.

### **1.2.3. Métodos de deshidratación**

Existen multitud de métodos y equipos de deshidratación que se pueden dividir en cuatro grandes grupos: deshidratación con aire caliente, deshidratación por contacto con una superficie caliente, deshidratación por aporte de energía electromagnética y deshidratación por evaporación súbita. En alimentos vegetales, en concreto en frutas, también podemos emplear la deshidratación osmótica. A continuación se recogen las principales características de algunos de estos métodos.

#### **a. Deshidratación por aire caliente**

Durante el proceso de deshidratación por aire caliente se pueden distinguir tres etapas conforme avanza el tiempo de secado. En primer lugar transcurre un periodo corto de precalentamiento hasta que el producto alcanza la temperatura del aire, seguido de una reducción considerable del contenido en agua durante la etapa de velocidad constante que finaliza cuando la superficie del alimento deja de estar alimentada de agua libre del interior del producto por capilaridad. Finalmente, como consecuencia de este periodo, el frente de secado se traslada de la superficie al interior del alimento dificultando la evaporación y disminuyendo la velocidad de secado (Barbosa-Cánovas & Vega-Mercado, 2000; Casp, 2014) (figura 1.2).

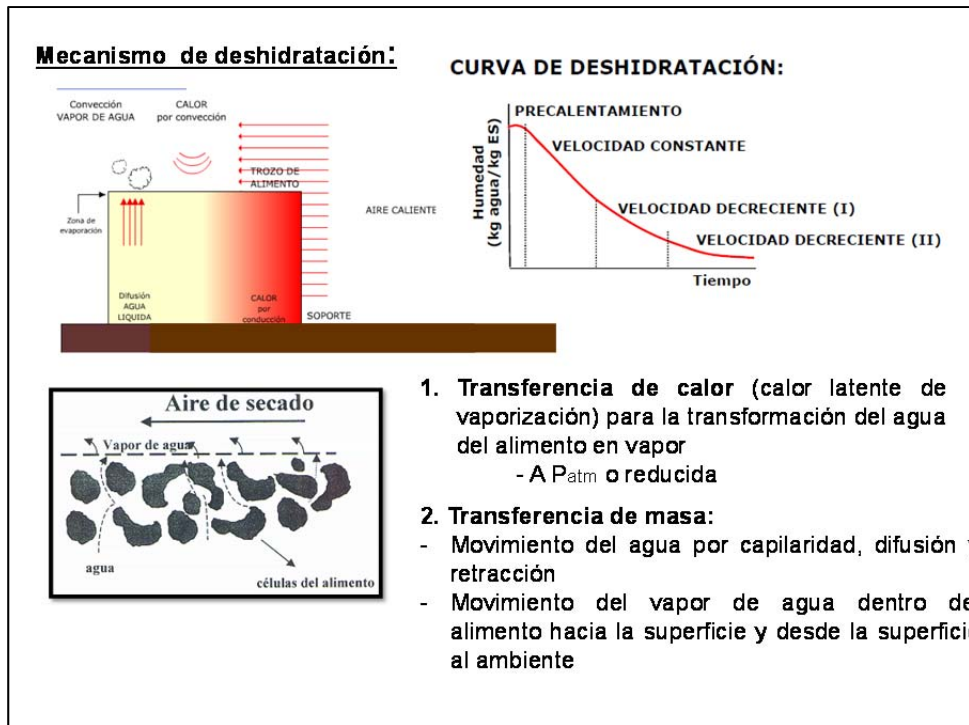
En este tipo de deshidratación hay que tener en cuenta las siguientes variables:

-Área expuesta: Entre más dividido esté el alimento, hasta cierto límite, más posibilidades hay para que el calor penetre y deshidrate.

-Temperatura: Entre más alta sea la diferencia de temperatura entre el medio de transmisión de calor el alimento mayor la velocidad de salida de humedad.

- Velocidad del aire

-Humedad del aire



**Figura 1.2.** Curva de deshidratación y fenómenos que acontecen en la deshidratación con aire caliente de un alimento

Puede realizarse de dos formas: por partidas o de forma continua, y existen multitud de equipos: túneles, desecadores de bandeja u horno, desecadores de tambor o giratorios y desecadores neumáticos de cinta acanalada, giratorios, de cascada, torre, espiral, lecho fluidificado, de tolva y de cinta o banda. Estos equipos están diseñados de forma que suministren un elevado flujo de aire en las fases iniciales del proceso, que luego se va reduciendo conforme se desplaza el producto sometido a deshidratación. Así, por ejemplo, para porciones de hortalizas es común que se aplique un flujo de aire con una velocidad de 180-300 metros por minuto, con temperaturas en el aire del bulbo seco del termómetro de 90-100 °C y temperaturas en bulbo húmedo inferiores a 50 °C. Posteriormente, conforme va descendiendo el contenido de humedad, se reduce la velocidad del flujo del aire y la temperatura de desecación desciende a 55 °C e incluso menos, hasta que el contenido de humedad resulta inferior al 6 %.

En los desecadores de lecho fluidificado y aerotransportadores o neumáticos, la velocidad del aire debe ser suficiente para elevar las partículas del producto a deshidratar, determinando que se comporten como si de un líquido se tratase. Este método se emplea para productos reducidos a polvo, para productos de pequeño tamaño y para hortalizas.

---

El punto crítico de este proceso es que los alimentos nunca son completamente homogéneos y tienden a comportarse de manera diferente debido a que es diferente su composición inicial, cantidad y características del agua que poseen. Los patrones de encogimiento, migración de solutos y más importante, sus propiedades organolépticas cambian a lo largo de la operación de secado.

#### **b. Secado por microondas**

El secado por microondas en comparación con otros métodos tradicionales de deshidratación por aire caliente conduce a tiempos de proceso más cortos, mayores rendimientos y unas mejoras características organolépticas del producto final. Las ondas microondas calientan selectivamente las partes del alimento que contienen mayor cantidad de agua por lo que esta radiación reduce el daño térmico, obteniéndose mejores características en el producto final (Fellows, 1993). El tratamiento de microondas causa una expansión en la microestructura de los tejidos debido a la evaporación súbita de las moléculas de agua.

#### **c. Deshidratación osmótica**

Este tipo de deshidratación se utiliza casi exclusivamente para frutas y consiste en sumergirlas en una solución concentrada, aproximadamente 75 hasta 90% de azúcar, lo cual crea dos flujos:

- Un flujo de agua que sale del producto. Este puede perder alrededor del 60% de agua a temperaturas moderadas de 30 a 50°C, en ausencia de oxígeno y sin cambio de fases (líquido a gaseoso), en un tiempo entre una a tres horas.

- Un ingreso de solutos de la solución del producto. Con esto es posible incorporar una cantidad deseada de agente conservante, cualquier solución de interés nutritivo, o mejorar la calidad sensorial del producto mediante la aplicación de sabores.

La aplicación del fenómeno de ósmosis en la deshidratación de frutas se puede lograr debido a que un buen número de frutas, como es el caso de la fresa, papaya, mango o melón entre otras, cuentan con los elementos necesarios para inducir la osmosis. Estos elementos corresponden a la pulpa, que en estas frutas consiste en una

---

estructura celular más o menos rígida que actúa como membrana semipermeable. Detrás de estas membranas celulares se encuentran los jugos, que son soluciones diluidas, donde se hallan disueltos sólidos que oscilan entre el 5 a 18% de concentración. Si esta fruta entera o en trozos se sumerge en una solución o jarabe de azúcar de 70%, se tendría un sistema donde se presentaría el fenómeno de ósmosis. Los jugos en el interior de las células de la fruta están compuestos por sustancias disueltas en agua, como ácidos, pigmentos, azúcares, minerales, vitaminas, etc. Algunas de estas sustancias o compuestos de pequeño volumen, como el agua o ciertos ácidos, pueden salir con cierta facilidad a través de orificios que presenta la membrana o pared celular, favorecidos por la presión osmótica que ejerce el jarabe de alta concentración donde se ha sumergido la fruta. La presión osmótica presente será mayor en la medida que sea mayor la diferencia de concentraciones entre el jarabe y el interior de los trozos de la fruta. El efecto de esta diferencia se ve reflejado en la rapidez con que es extraída el agua de la fruta hacia el jarabe. El valor de esta diferencia en el ejemplo anterior permite que los trozos de fruta se pierdan cerca del 40% del peso durante cerca de 4 horas de inmersión.

#### **d. Otros métodos**

Además de los métodos anteriormente descritos también podemos deshidratar alimentos por contacto con una superficie caliente, cuyo ejemplo más característico son los secaderos de tambor o de rodillos empleados en la deshidratación de alimentos líquidos o poco viscosos, o por evaporación súbita. Por último, también citar la liofilización en la cual el agua se elimina previa congelación y posterior sublimación del hielo formado en condiciones de vacío. Al suministrar calor el hielo sublima y se evita el paso por la fase líquida minimizando así las desventajas de la deshidratación con aire caliente. En este método la temperatura máxima que se alcanza es moderada por lo que las características sensoriales y nutritivas del alimento apenas se modifican. Además se minimiza la pérdida de componentes aromáticos y no hay movimiento de líquidos o solutos, ni contracción del sólido o endurecimiento superficial por lo que el producto mantiene su forma y tamaño y su estructura porosa facilita su rehidratación.

---

## 2. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

Los equipos industriales para el proceso de deshidratación ya están ampliamente caracterizados, pero actualmente pueden encontrarse en el mercado distintos electrodomésticos para la desecación de alimentos por medio de aire caliente que no guardan relación con los anteriores. Estos equipos están destinados a un uso doméstico y carecen de la reproducibilidad que ofrecen los procesos industriales ya que pueden verse muy afectados por variables como la posición de alimento en el equipo o la cantidad de alimento tratada. Por ello, en este estudio se aborda la caracterización del proceso de secado mediante un deshidratador doméstico como una técnica culinaria y de repostería doméstica o dirigida a obradores de pastelería, cocinas centrales o restauración colectiva, más que como un método de conservación de un producto que pudiera ser comercializado posteriormente.

El **objetivo principal** de este trabajo es caracterizar el funcionamiento de un deshidratador doméstico de bandejas marca Sedona, determinando en cuál de las múltiples posiciones que ofrece para colocar los alimentos se ajusta mejor el tratamiento aplicado.

Asimismo se pretende:

- Comparar este método de deshidratación doméstico con otras técnicas de secado como son los microondas.
- Comparar entre sí algunas características físicas y organolépticas del producto final obtenido por los dos métodos de deshidratación, así como con el alimento fresco.

Se ha elegido la fresa como modelo para este trabajo ya que esta fruta se consume con asiduidad en el hogar y se utiliza en la elaboración de postres y otros platos en el sector de la restauración colectiva.



---

### 3. MATERIAL Y MÉTODOS

#### 3.1. Materia prima

Como modelo de trabajo se utilizaron fresas de la marca Fresón de Palos procedentes de Huelva (España) y adquiridos en un supermercado de la localidad de Zaragoza (figura 3.1).. Se clasificaron en función de su grado de madurez atendiendo al color del fruto, para obtener un lote con características lo más similares posible. A continuación, se lavaron y secaron los frutos, se les eliminó el pedúnculo, y fueron cortadas transversalmente en rodajas de 4,5 mm de grosor con una fileteadora (Casfri, TYP 220/S, España). Se retiraron las piezas que diferían en diámetro y grosor para que la muestra fuese lo más homogénea posible, evitando variaciones debidas al grosor y tamaño de producto.



**Figura 3.1.** Fresas de Palos empleados en este estudio

#### 3.2. Equipos de deshidratación

##### 3.2.1. Deshidratador doméstico por convección

El equipo empleado para procesar el alimento fue un deshidratador doméstico de la marca Sedona (SD-P9000, Corea) (figura 3.2). En él pueden introducirse hasta 8 bandejas de plástico con superficie de rejilla para permitir el paso del aire. Aunque el aire dentro de la cavidad del electrodoméstico es impulsado por dos motores, ofrece la posibilidad de trabajar individualmente con cada uno de ellos, e incluye un accesorio para dividir el espacio en dos cámaras. Junto a ambos ventiladores se encuentra una sonda de temperatura. El panel de control permite seleccionar los siguientes parámetros:

- Temperatura: puede fijarse en grados Celsius (°C) en un rango entre 35 y 68°C.

- 
- Tiempo de tratamiento: permite programar el deshidratador entre 1 y 99 horas de trabajo a intervalos unitarios.
  - Modo: dispone de modo diurno y nocturno en el que se disminuye la velocidad del aire, diseñado para reducir el ruido que produce el equipo.
  - Ventilador: permite seleccionar con que ventilador se quiere trabajar (superior, inferior, o ambos).

Para caracterizar el proceso de deshidratación se estudió en qué posición dentro del deshidratador se ajusta mejor el tratamiento aplicado al seleccionado en el cuadro de control. Para ello se obtuvieron por duplicado los perfiles a tres temperaturas diferentes: 50, 55 y 65°C, de cada bandeja empleando cuatro sondas termopar tipo T (Testo, Alemania) colocadas en distintos puntos y conectadas a un sistema de adquisición de datos (Testo, 177-T4, Alemania), que recogió los valores de temperatura cada minuto durante 9 horas. Con todos los datos de temperatura obtenidos, se realizó un perfil medio de cada una de las ocho posiciones para cada temperatura y sobre estos resultados se realizó un análisis estadístico descriptivo, en el que se calcularon medidas de centralización (media, mediana y moda) y de dispersión absoluta (rango, varianza y desviación estándar), así como parámetros de forma (coeficiente de asimetría y curtosis), que son interesantes para caracterizar la distribución de los valores de temperatura a lo largo del tiempo. También se realizó un análisis de la varianza de un factor para observar si existían diferencias significativas de temperatura entre las distintas posiciones con un valor alfa de 0,05. Para el tratamiento estadístico de los datos se utilizó la herramienta Excel Microsoft office 2013 con el complemento análisis de datos. Una vez determinada la posición óptima, el producto fue desecado a estas mismas temperaturas (50, 55, y 65°C) durante 9 horas.



**Figura 3.2** Deshidratador doméstico Sedona empleado en este estudio

---

### 3.2.2. *Equipo microondas*

Las muestras fueron procesadas en un microondas (Panasonic, NN-CT579SBPQ, Japón) a dos niveles de energía diferentes:

- 100 °C y 100W durante 35 minutos, que se identificó como Micro 1.
- 220 °C y 100W durante 17 minutos, identificado como Micro 2.

Aunque el electrodoméstico empleado en este estudio no es comparable a los equipos descritos por Bórquez, Canales, and Redon (2010) y de Bruijn and Bórquez (2014), que emplean la deshidratación a vacío por microondas, en este caso nos permite comparar parámetros de calidad del producto final como, color, firmeza, y aroma, para determinar diferencias entre ambos métodos.

### 3.3. **Análisis de color**

El color de la fruta es un parámetro muy utilizado como índice de madurez y calidad, que en nuestro caso nos ayudará a determinar las variaciones ocasionadas por los tratamientos aplicados. Se utilizó un colorímetro triestímulo (Konica Minolta, Chroma meter CR-400, Japón) del que obtuvimos tres parámetros que se relacionan con la percepción del color tal como se produce en el cerebro humano.

Este sistema de determinación del color es el espacio CIELAB y define tres magnitudes:

- Claridad: luminosidad del estímulo juzgada con relación a luminosidad de otro estímulo que consideramos el blanco. Se expresa con el parámetro  $L^*$ .
- Croma: colorido del estímulo juzgado en proporción a la luminosidad del estímulo considerado como blanco. Se representa por  $C^*$  y está relacionado con la pureza o saturación de color.
- Tono: similitud del estímulo con uno de los colores percibidos (rojo, amarillo, verde o azul) o con ciertas proporciones de estos (Guisasola Bellido, 2002). Expresado por  $h^*$ .

El equipo requiere una calibración del blanco con un patrón de cerámica antes de ser utilizado. Se determinó el color de 20 rodajas de fresa fresca y de deshidratada obteniendo los valores de las coordenadas de color de la Comisión Internationale de l'Eclairage (CIE): tonos amarillos ( $b^{*+}$ ), o matices azules ( $b^{*-}$ ), tonos rojizos ( $a^{*+}$ ), o

---

tonos verdes ( $a^*$ ), y luminosidad ( $L^*$ ). También se obtuvieron los valores del tono ( $h^*$ ) y croma ( $C^*$ ), y las diferencias con la muestra fresca ( $\Delta E$ ) se calcularon con los parámetros anteriores a partir de la siguiente ecuación (Lozano, 2006):

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta a^2 + \Delta b^2 + \Delta L^2)} = \sqrt{(a^*_{m} - a^*_{ref})^2 + (b^*_{m} - b^*_{ref})^2 + (L^*_{m} - L^*_{ref})^2}$$

Donde  $\Delta E$  es la diferencia de color entre m, que es la muestra sometida a los distintos tratamientos, y ref, que es la muestra referencia o fresa fresca. Martínez, Melgosa, Pérez, Hita, and Negueruela (2001) ofrecen un criterio para decidir si la diferencia de color entre las muestras puede ser percibida por el ojo humano:

- $\Delta E < 3$ : diferencias de color no apreciables entre ambas muestras.
- $\Delta E > 3$ : las diferencias de color entre ambas muestras son apreciables por el ojo humano.

### **3.4. Determinación de la firmeza**

La firmeza se determinó realizando una medida en 20 muestras de cada lote con un penetrómetro portátil Durofel (AGROSTA<sup>®</sup>100Field, Agro Technologies, Francia). Se trata de un dispositivo no destructivo, ampliamente utilizado en la industria y laboratorios de investigación tanto de universidades como de centros tecnológicos, que expresa el resultado de la medida en % de unidades Durofel, y que registra automáticamente los datos de cada lote. El instrumento dispone de tres sondas de distinto diámetro dependiendo del producto sobre el que queremos calcular la firmeza. En nuestro caso empleamos la sonda de 25 mm<sup>2</sup> de superficie.

### **3.5. Análisis del aroma**

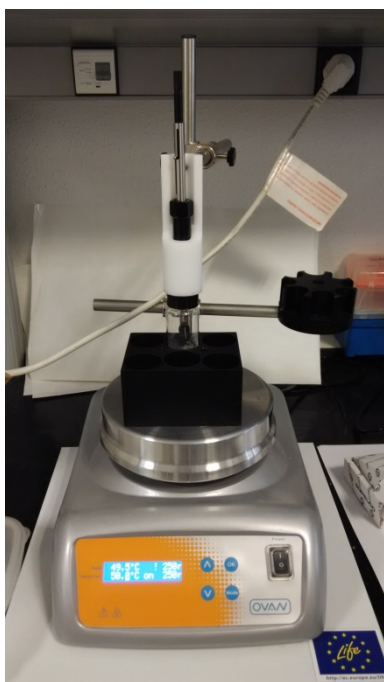
Los compuestos aromáticos de las muestras se determinaron mediante microextracción de volátiles en fase sólida (SPME) en combinación con la cromatografía de gases-olfatometría para la detección de compuestos aromáticos, que responde a sus siglas en inglés como GC-O, permitiendo la comparación del perfil aromático de la fresa fresca con los de la fresa deshidratada.

#### *3.5.1. Extracción de volátiles*

Se utilizó una fibra SPME recubierta con una fase estacionaria de divinilbenceno/carboxen/polidimetisiloxano para capturar los componentes aromáticos.

---

Al zumo de las fresas frescas y a las pastas obtenidas tras aplicar los tratamientos objetos de estudio, se les adicionó un 30% de NaCl y se introdujeron 7 mL de cada una de ellas en viales de 15 ml de capacidad y cierre de rosca (Supelco). Las muestras se acondicionaron a 40°C durante 20 minutos, después se expuso la fibra al espacio de cabeza del vial durante 40 minutos a la misma temperatura y con agitación de 250 rpm (figura 3.3). Finalmente, los compuestos adheridos a la fibra fueron desorbidos en el cromatógrafo durante 5 minutos.



**Figura 3.3.** Extracción de la muestra para el análisis olfatométrico

### 3.5.2. *Análisis olfatométrico*

Se utilizó un cromatógrafo de gases Hewlett-Packard HP 4890 A (Agilent Technologies) provisto de un detector de ionización de llama (FID) y un puerto olfatométrico con nariz de vidrio. Los compuestos volátiles se separaron en una columna capilar DB-WAX (polietilenglicol) de dimensiones 30 m x 0,32 mm de diámetro y 0,5 micrómetros de espesor de fase, unida a una precolumna de 3 m y 0,32 mm de diámetro, ambas de J&W Scientific (Folsom, CA). Las condiciones cromatográficas fueron: caudal de H<sub>2</sub> de 3,5 mL/min como gas portador, inyección splitless, temperatura de inyector y detector 220°C. El programa del horno fue de 40°C durante 5 minutos, seguido de una rampa de temperatura de 5°C/minuto hasta alcanzar la temperatura final de 220°C que se mantuvo durante 10 minutos.

---

Los análisis los realizaron dos jueces entrenados en la detección de aromas. Para cada muestra tuvieron que indicar el tiempo al que detectaban cada aroma, la descripción y estimación de la intensidad de mismo en una escala de 1 a 3, siendo 1, leve y 3, muy intenso. Para analizar los datos se utilizó un parámetro denominado frecuencia modificada (FM), calculado a partir de la fórmula propuesta por (Dravnieks, 1985):

$$FM (\%) = \sqrt{F (\%) \times I (\%)}$$

Donde F es la frecuencia de detección de una zona odorante expresado como porcentaje del número total de jueces, e I es la intensidad media expresada como porcentaje de la intensidad máxima.

Previa inyección en el cromatógrafo, se identificaron las zonas odorantes a partir de los índices de retención (LRI) de los compuestos patrón, siempre que pudieron ser obtenidos comercialmente. Por otro lado, en los casos en que las zonas de olor no pudieron ser identificadas de esta forma por no poder conseguirlo en las casas comerciales habituales, o ser excesivamente caros, la identificación se realizó de forma tentativa por comparación de los índices de retención y descripción aromática de dicha zona con los de los compuestos reportados en la literatura. En este caso se consultaron bases de datos de compuestos identificados con metodologías similares a las empleadas en este estudio (Paraskevopoulou, Chrysanthou, & Koutidou, 2012; Prat, Ines Espinoza, Agosin, & Silva, 2014; Rega, Guerard, Delarue, Maire, & Giampaoli, 2009).

---

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Perfiles de temperatura en el deshidratador

En las gráficas 4.1, 4.2, y 4.3 se observa que todos los tratamientos muestran elevadas fluctuaciones de la temperatura de trabajo durante el proceso, así como un periodo de acondicionamiento donde la temperatura aumenta bruscamente hasta que se alcanza la establecida. Dicho aumento se prolonga durante un periodo más largo de tiempo dependiendo de la temperatura de tratamiento. El interior del deshidratador tarda en alcanzar los 50°C o mantenerse relativamente estable alrededor de esa temperatura 5 minutos, para 55°C tarda 15 minutos, y para 65°C 30 minutos, aproximadamente. Es lógico que el equipo requiera un periodo de precalentamiento, por lo que se han obviado esos valores para que no interfieran en el análisis del patrón de temperatura.

En primer lugar, para realizar el análisis estadístico de los resultados, se presupone que no existe diferencia de temperatura durante la deshidratación en las distintas bandejas, lo que se conoce como hipótesis nula ( $H_0$ ). Para corroborar o no esa afirmación se realiza un análisis de la varianza de un factor del que se obtiene un valor de probabilidad ( $p$ ). Si este es inferior al valor de alfa o nivel de significancia ( $\alpha=0,05$ ) se puede decir que sí que existen diferencias entre las posiciones de las bandejas con un 95% de certeza.

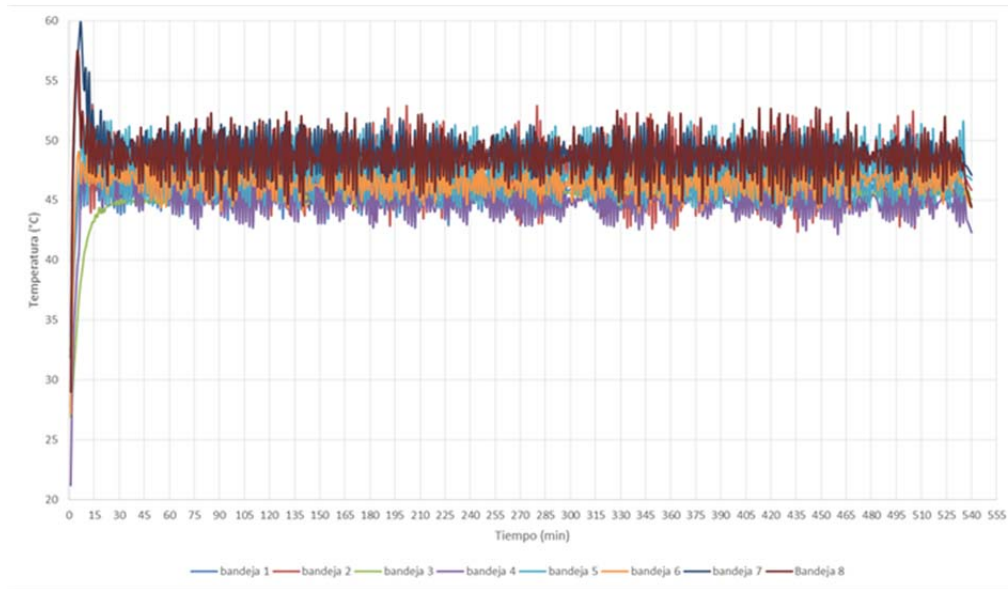
Los parámetros que se tuvieron en cuenta para decidir en cuál de las posiciones se ajusta mejor la temperatura, fueron:

- Media que sea lo más próxima a 50, 55, y 65°C, respectivamente, y desviación estándar lo más pequeña posible.
- Curtosis: medida de forma que indica la concentración de datos a lo largo de la distribución. Interesa que sea una distribución leptocúrtica, es decir, valor de curtosis superior a 3, ya que sería una distribución apuntada y con colas anchas, con mayor concentración de valores próximos a la media.
- Rango: intervalo entre mínimo y máximo que da una idea de la dispersión de los datos. Aunque es una medida bastante robusta que no ofrece una idea real de la distribución ya que solo tiene en cuenta dos observaciones, interesa que sea lo más reducido posible.

---

#### 4.1.1. Patrón de temperatura a 50°C

En la gráfica 4.1. se pueden observar los perfiles de temperatura obtenidos en cada una de las 8 bandejas del deshidratador cuando la temperatura seleccionada en el cuadro de control fue 50 °C.



**Gráfica 4.1.** Perfiles de temperatura de cada posición en el interior del deshidratador a 50°C

La tabla 4.1 muestra el análisis de la varianza realizado, evidenciando que sí que existen diferencias de temperatura entre las posiciones en el interior del deshidratador para este patrón de temperatura. Por otro lado, como se puede observar en la tabla 4.2, la temperatura media que más se acerca a la fijada para este tratamiento fue la de las bandejas 7 y 8. Aunque ambas posiciones muestran los rangos más elevados, tampoco difieren significativamente del resto en este aspecto. En la bandeja 8 se observa una curtosis inferior a tres y negativa, lo que indica que es una distribución platicúrtica y contiene muchos valores alejados de la media. Por ello la mejor posición para deshidratar el alimento sería la bandeja 7 que muestra una curtosis superior a 3, con valores más centralizados, ajustándose mejor al tratamiento fijado que el resto de las posiciones.



**Tabla 4.1.** Análisis de varianza obtenido tras el análisis del patrón de temperatura en el deshidratador doméstico Sedona (temperatura seleccionada: 55 °C)

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	8317,56339	7	1188,223342	409,14748	0	2,011725106
Dentro de los grupos	12406,5047	4272	2,904144361			
<b>Total</b>	<b>20724,0681</b>	<b>4279</b>				

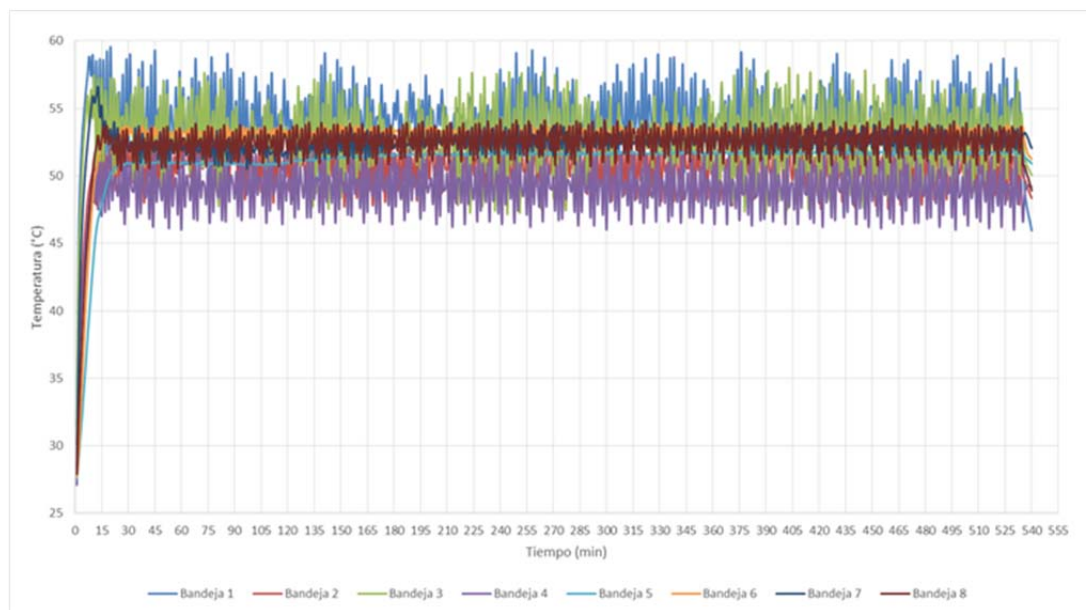
**Tabla 4.2.** Resultados del análisis descriptivo de los datos del perfil obtenido a 50 °C

	<i>Bandeja 1</i>	<i>Baneja 2</i>	<i>Bandeja 3</i>	<i>Bandeja 4</i>	<i>Bandeja 5</i>	<i>Bandeja 6</i>	<i>Bandeja 7</i>	<i>Bandeja 8</i>
Media	45,92	47,44	45,33	44,98	47,58	46,60	49,09	48,58
Error típico	0,0546	0,1076	0,0339	0,0561	0,1001	0,0535	0,0691	0,0831
Mediana	45,85	47,35	45,4	45	47,1	46,5	48,95	48,55
Moda	45,5	44,5	45,4	45,2	45,05	45,45	50,8	48
Desviación estándar	1,263	2,489	0,7843	1,297	2,316	1,238	1,598	1,923
Varianza de la muestra	1,596	6,194	0,6151	1,682	5,362	1,533	2,555	3,697
Curtosis	-0,4281	-0,9356	46,30	-0,4273	-1,415	-0,2802	6,626	-0,3627
Coefficiente de asimetría	0,1922	0,0705	-5,645	0,1472	0,1954	0,3211	1,454	0,1352
Rango	6,250	10,65	9,200	8,000	7,600	6,800	13,45	11,95
Mínimo	42,90	42,35	37,00	40,95	44,20	43,95	46,40	44,40
Máximo	49,15	53,00	46,20	48,95	51,80	50,75	59,85	56,35
Suma	24565,8	25378,85	24254,2	24062,25	25454,85	24928,4	26261,4	25989,6
Cuenta	535	535	535	535	535	535	535	535
Nivel de confianza(95,0%)	0,1073	0,2114	0,0666	0,1101	0,1967	0,1052	0,1358	0,1633

#### 4.1.2. Patrón de temperatura a 55°C

En la gráfica 4.2. se pueden observar los perfiles de temperatura obtenidos en cada una de las 8 bandejas del deshidratador cuando la temperatura seleccionada en el cuadro de control fue 55 °C.

Los resultados del análisis de la varianza que se muestran en la tabla 4.3 evidencian que sí que existen diferencias entre las posiciones de las bandejas en el interior del deshidratador para este patrón de temperatura. Como indica la tabla 4.4 la temperatura media que más se acerca a la fijada para este tratamiento se alcanzó en las bandejas 1, 3, 6,7 y 8, siendo la de la 1 la mayor de todas. Sin embargo, también es la que presenta mayor desviación. Por ello, si tomamos como referencia la curtosis, aunque todas las posiciones presentan valores superiores a 3 por lo que son distribuciones centralizadas alrededor de la media, las que presentan valores más elevados son las bandejas 6, 7, y 8.



**Gráfica 4.2.** Perfiles de temperatura de cada posición en el interior del deshidratador a 55°C.

**Tabla 4.3.** Análisis de varianza obtenido tras el análisis del patrón de temperatura en el deshidratador doméstico Sedona (temperatura seleccionada: 55 °C)

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	9725,253248	7	1389,321893	524,348042	0	2,011765843
Dentro de los	11107,19771	4192	2,649617775			
<b>Total</b>	<b>20832,45096</b>	<b>4199</b>				

**Tabla 4.4.** Resultados del análisis descriptivo de los datos del perfil obtenido a 55 °C

	Bandeja 1	Bandeja 2	Bandeja 3	Bandeja 4	Bandeja 5	Bandeja 6	Bandeja 7	Bandeja 8
Media	54,16	50,44	52,93	48,97	51,11	52,95	52,40	52,34
Error típico	0,1223	0,0851	0,1240	0,0917	0,1024	0,0964	0,0664	0,0906
Mediana	54,15	50,85	53,05	49,10	51,6	53,25	52,45	52,70
Moda	56,00	52,30	56,05	51,10	51,70	53,20	52,50	53,70
Desviación estándar	2,843	1,978	2,882	2,132	2,379	2,240	1,542	2,105
Varianza de la muestra	8,082	3,914	8,306	4,546	5,659	5,017	2,378	4,432
Curtosis	6,673	25,28	5,262	23,27	58,73	80,00	131,6	61,57
Coefficiente de asimetría	-1,124	-3,173	-0,9875	-2,819	-7,392	-8,609	-9,450	-6,621
Rango	28,05	22,70	27,05	24,90	24,35	26,15	28,20	26,30
Mínimo	31,50	30,10	30,90	27,10	27,55	27,70	28,35	27,90
Máximo	59,55	52,80	57,95	52,00	51,90	53,85	56,55	54,20
Suma	29244,25	27238,4	28581,45	26444,8	27599,9	28594,35	28293,35	28265,75
Cuenta	540	540	540	540	540	540	540	540
Nivel de confianza(95,0%)	0,2403	0,1672	0,2436	0,1802	0,2011	0,1893	0,1304	0,1780

#### 4.1.3. Patrón de temperatura a 65°C

En la gráfica 4.3. se pueden observar los perfiles de temperatura obtenidos en cada una de las 8 bandejas del deshidratador cuando la temperatura seleccionada en el cuadro de control fue 65 °C.



**Gráfica 4.3.** Perfiles de temperatura de cada posición en el interior del deshidratador a 65°C

Como muestran los resultados del análisis de la varianza en la tabla 4.5, se observa que existen diferencias significativas al 95% entre las posiciones del interior del deshidratador para este patrón de temperatura, por lo que se determinó la posición óptima del alimento, mediante un análisis estadístico descriptivo (Tabla 4.6). Los resultados de dicho análisis indican que la temperatura media que más se acerca a la fijada para este tratamiento fue la de las bandejas 2, 3, 5, 6 y 8. La curtosis de los datos de temperatura de la bandeja 2 y la 8 son los más elevados, y ambos superiores a 3, por lo que serían las posiciones más apropiadas al ajustarse mejor a la temperatura fijada.

**Tabla 4.5.** Análisis de varianza obtenido tras el análisis del patrón de temperatura en el deshidratador doméstico Sedona (temperatura seleccionada: 65 °C)

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	21688,128	7	3098,304007	2585,41123	0	2,01182995
Dentro de los grupos	4879,80162	4072	1,198379572			
<b>Total</b>	<b>26567,9297</b>	<b>4079</b>				

**Tabla 4.6.** Resultados del análisis descriptivo de los datos del perfil obtenido a 65 °C

	<b>Bandeja 1</b>	<b>Bandeja 2</b>	<b>Bandeja 3</b>	<b>Bandeja 4</b>	<b>Bandeja 5</b>	<b>Bandeja 6</b>	<b>Bandeja 7</b>	<b>Bandeja 8</b>
Media	62,32	65,63	65,46	58,88	63,89	65,58	60,81	63,74
Error típico	0,0611	0,0265	0,0635	0,0653	0,0217	0,0315	0,0315	0,0600
Mediana	62,55	65,60	66,00	59,50	63,90	65,55	60,90	63,95
Moda	63,05	65,10	66,40	60,10	64,30	65,35	61,40	64,80
Desviación estándar	1,379	0,5985	1,435	1,475	0,4906	0,7109	0,7118	1,356
Varianza de la muestra	1,903	0,3583	2,059	2,176	0,2407	0,5053	0,5066	1,838
Curtosis	3,567	6,894	-0,0720	-0,4918	-0,2821	1,667	-0,2407	9,419
Coefficiente de asimetría	-1,223	-1,237	-0,9518	-0,8546	0,0655	-0,4287	-0,6558	-1,954
Rango	10,2	5,5	6,4	5,5	3,1	5,75	3,6	11,45
Mínimo	54,35	61,50	61,20	55,40	62,40	61,85	58,50	54,30
Máximo	64,55	67,00	67,60	60,90	65,50	67,60	62,10	65,75
Suma	31783,25	33469,1	33384,4	30027,2	32581,8	33447,8	31015,5	32507,35
Cuenta	510	510	510	510	510	510	510	510
Nivel de confianza(95,0%)	0,12000594	0,0520709	0,124841102	0,128326153	0,04268139	0,061842755	0,06192223	0,117942855

Como conclusión de este capítulo podemos decir que el deshidratador doméstico marca Sedona está sujeto a grandes fluctuaciones de temperatura, y dependiendo de la posición del alimento también a variaciones de temperatura considerables que impiden deshidratar de manera uniforme un lote de alimentos. Dentro de estas variaciones propias del equipo, probablemente debidas a condicionantes externos, o del propio equipo, por ejemplo un aislamiento deficiente, se puede llegar determinar unas zonas óptimas para el secado de alimentos. No obstante, un aspecto importante a tener en cuenta es que en la mayoría de los casos se trabaja a capacidad del equipo completa, y sería complicado utilizar una sola región del deshidratador.

Los resultados del análisis estadístico indican que la posición más adecuada para deshidratar alimentos a 50°C es la que ocupa la bandeja número 7. Por el contrario, la que más se aleja del óptimo es la bandeja número 4. A 55°C el alimento recibiría un tratamiento más ajustado al seleccionado en las bandejas 6, 7 y 8, mientras que es el patrón de temperatura de la bandeja 4 el que más difiere del determinado.

---

A diferencia de las otras dos temperaturas, a 65°C, aparte de la bandeja 8, también la bandeja 2, en la parte superior del deshidratador sería la óptima para la desecación. La bandeja que ocupa la cuarta posición es la menos fiable.

A la vista de lo anterior, se puede concluir que, salvo con una excepción, la parte inferior del deshidratador es la más adecuada para llevar a cabo el proceso de deshidratación, así como que la bandeja central (número 4) ofrece unos patrones de temperatura muy poco fiables para 50, 55 y 65°C.

#### **4.2. Análisis del color**

En la tabla 4.7. se recogen los datos obtenidos en la determinación del color de las muestras deshidratadas (deshidratador doméstico a tres temperaturas (50, 55 y 65 °C) y microondas a dos potencias (100 y 200 W)).

A pesar de que el intervalo de confianza al 95% es bastante amplio, los resultados recogidos durante la determinación del color de las muestras indican que se produce una pérdida de luminosidad ( $L^*$ ) en ambos sistemas de deshidratación, por convección y microondas, siendo más notable en este segundo caso. Las muestras frescas presentan un valor de luminosidad medio de 57 mientras que ninguna de las deshidratadas supera el valor de 50 siendo la que mayor luminosidad retiene la muestra desecada a 50 °C (49) y la que menor la tratada a 200 W en el microondas (34).

Por otro lado, se produce un aumento de las tonalidades rojizas (coordenada  $a^*$ ) con respecto a la fresa fresca, siendo el lote con el mayor valor el deshidratado a 55 °C. Aparentemente, la desecación no produce variación en los coordenada  $b$  (oposición azul-amarillo) ni en el croma ( $C^*$ ) ya que éstos no se modifican significativamente. Sin embargo sí que varía el tono ( $h^*$ ) que en todos los tratamientos disminuye especialmente a temperaturas superiores a 50 °C y en el tratamiento microondas. Esta disminución nos informa que de tonos rojos (valores en torno a 45) nos vamos inclinando hacia tonos más rosados-violetas.

Sin embargo, en los valores de  $\Delta E$ , que indican la diferencia de color entre las muestras deshidratadas y la referencia de fresa fresca, sí que se observa una tendencia creciente conforme aumenta la intensidad del tratamiento de secado con aire caliente, y éste a su vez también difiere del color de las muestras tratadas en el microondas. El

color de las muestras tratadas con este método varía en mayor proporción que el de las muestras deshidratadas por convección, al contrario que los resultados obtenidos por de Bruijn and Bórquez (2014).

**Tabla 4.7.** Parámetros de color (media  $\pm$  desviación estándar) en fresas frescas y deshidratadas en deshidratador doméstico y en microondas.

	Fresa Fresca	Desh. 50°C	Desh. 55°C	Desh. 65°C	Micro 1	Micro 2
L*	57,1 $\pm$ 1,244	49,18 $\pm$ 4,333	42,83 $\pm$ 3,569	44,50 $\pm$ 4,330	37,41 $\pm$ 4,273	34,27 $\pm$ 2,973
a*	16,2 $\pm$ 2,165	22,22 $\pm$ 3,289	31,40 $\pm$ 2,571	25,26 $\pm$ 3,301	27,86 $\pm$ 3,214	27,74 $\pm$ 2,836
b*	22,03 $\pm$ 1,404	23,35 $\pm$ 2,457	19,81 $\pm$ 2,251	17,79 $\pm$ 2,997	18,41 $\pm$ 2,703	17,97 $\pm$ 3,175
C*	27,53 $\pm$ 2,328	32,43 $\pm$ 2,896	37,20 $\pm$ 3,042	30,94 $\pm$ 4,251	33,41 $\pm$ 2,353	33,10 $\pm$ 3,727
h°	55,43 $\pm$ 2,74	46,63 $\pm$ 5,097	32,17 $\pm$ 2,397	35,04 $\pm$ 2,544	33,41 $\pm$ 2,353	35,68 $\pm$ 4,579
$\Delta E$	0	10,04 $\pm$ 3,450	20,97 $\pm$ 2,510	16,09 $\pm$ 3,65	23,17 $\pm$ 3,46	25,90 $\pm$ 2,56

### 4.3.Firmeza

En la tabla 4.8. se muestran los datos obtenidos en la determinación de la firmeza de las muestras deshidratadas (deshidratador doméstico a tres temperaturas (50, 55 y 65 °C) y microondas a dos potencias (100 y 200 W).

**Tabla 4.8.** Parámetros de firmeza (unidades Durofel) en fresas frescas y deshidratadas en deshidratador doméstico y en microondas.

	Fuerza mínima	Fuerza máxima	Fuerza media	Desviación estándar
Fresa fresca	46,73	68,2	57,37	8,07
Fresa micro 1	17,63	63,1	34,07	15,1
Fresa micro 2	6,39	42,68	22,86	11,08
Fresa desh. 50°C	19,49	66,05	45,86	13,3
Fresa desh. 55°C	33,08	93,89	65,28	15,63
Fresa desh. 65°C	42,6	94,05	69,73	15,58

Las fresas frescas muestran una firmeza media de 57,4 unidades Durofel. A pesar de las altas desviaciones detectadas, los resultados obtenidos en esta determinación evidencian que la firmeza de las muestras aumenta al aplicar los tratamientos de secado en el deshidratador, excepto en las muestras tratadas a 50 °C obteniéndose los mayores valores a 65 °C (70 unidades Durofel). Por el contrario, las fresas desecadas en el microondas son menos firmes, disminución que aumenta con la intensidad aplicada (34 para 100 W y 22,8 unidades Durofel para 200 W).

---

#### 4.4. Análisis olfatométrico

En la tabla 4.9 se muestran los resultados obtenidos en las olfatometrías realizadas a los cinco productos (fresa fresca, deshidratada a 50 y 65 °C y deshidratada en microondas a dos potencias 100 y 200 W). Para cada zona de olor detectada, se indican índice y tiempo de retención en la columna, el descriptor que la caracteriza, así como la intensidad global con la que fueron detectadas. Este parámetro puede alcanzar valores máximos de 100, lo que indicaría que esa zona de olor ha sido detectada por todos los jueces con una intensidad máxima de 3 puntos.

Se detectaron un total de 32 compuestos entre todas las muestras, de los cuales 9 no pudieron ser identificados. Dos de los compuestos (cis 1,5-octadien-3-ona y dimetiltrisulfuro) fueron identificados de forma tentativa en base a su descriptor aromático y tiempo de retención, pero la identificación no pudo ser confirmada por carecer del patrón puro.

Los resultados del análisis olfatométrico realizado a la fresa fresca muestran un perfil aromático menos complejo que las fresas procesadas, tal como evidencia el menor número de zonas odorantes detectadas, diez en total. En el perfil de la fresa fresca predominan olores afrutados y verdes, causados por la presencia de compuestos como los ésteres etílicos, o el linalool y hexanal, respectivamente. Algunos de los odorantes presentes en la fresa fresca no se encuentran en el producto tras su desecación, ya que se volatilizan o descomponen por el tratamiento térmico. Otros, sin embargo, son detectados como consecuencia del proceso de deshidratación, ya que se concentran en la fruta desecada. Tanto en el tratamiento con microondas, como el aplicado en el deshidratador, se detectaron cuatro zonas odorantes que no aparecieron en la fresa fresca, 2,3-butanediona, hexanoato de etilo, cis 1,5-octadien-3-ona, metional y trans-2-cis-6-nonadienal. Por otro lado, se observan compuestos odorantes de aroma mentolado (IR: 1767) y miel (IR: 1913), detectados únicamente tras el tratamiento con microondas, lo que indica que el tratamiento aplicado también tiene incidencia en el perfil global.

Se observa por tanto que el proceso de deshidratación tiene un gran efecto en el aroma final del fruto desecado, afectando tanto al número de compuestos odorantes totales como a la naturaleza química y aromática de los mismos. La concentración de volátiles aromáticos en el producto afecta tanto a compuestos de aroma agradable (ésteres etílicos afrutados o 2,3, butanediona) como desagradable provocado por algunos aldehídos y compuestos azufrados (cis 1,5-octadien-3-ona, metional, o dimetiltrisulfuro). El aroma final de un producto es fruto del equilibrio establecido entre

todos los compuestos aromáticos que lo conforma. Por tanto, es importante monitorizar la presencia de posibles sabores anómalos que afectan al perfil organoléptico del producto final, devaluando su calidad.

La técnica de GC-O aplicada en este trabajo representa una herramienta muy útil para realizar dicha monitorización, ya que es capaz de detectar compuestos de bajo umbral de olfacción sin necesidad de recurrir a técnicas más sofisticadas, como espectrofotometría de masas.

**Tabla 4.9.** Odorantes detectados durante el análisis olfatométrico de fresas frescas y de fresas deshidratadas en deshidratador doméstico y en microondas.

IR	TR	DESCRIPTOR	IDENTIFICACIÓN	FRESA FRESCA	DESH. 50°C	DESH. 65 °C	MICRO 1	MICRO 2
989	8,07	nata-fresa	2,3-butanediona		59	87	50	84
1033	10,10	fresa	butirato de etilo	82	82	91	71	76
1052	10,44	fresa-piña	2- metil butirato de etilo	82	82	76		65
1070	11,18	fresa-piña	isovalerato de etilo			82		
1086	11,48	verde	hexanal	87	24	48	35	65
1145	13,48	césped	cis-3-hexanal	87	14	20		
1153	14,06	cesped-verde	1-butanol		62		20	
1197	15,37	fresa	4-metilpentanoato		14	65	35	
1225	16,34	fruta-fresa	etil-hexanoato		38			
1230	16,43	cesped-raro-lacteo	trans-2-hexanal	65				
1243	17,09	fresa	hexanoato de etilo		94	100	35	71
1254	17,29	pescado	cis-4-heptanal	46			41	35
1314	19,27	champiñón	1-octen-3-ona	71	78	98	94	91
1389	21,44	sintético-resina	cis 1,5-octadien-3-ona*		88	82	96	96
1390	21,48	leaf-like	cis-3-hexen1-ol	71				
1400	22,06	gas	dimetiltrisulfuro*		54			
1471	24,09	ácido	ácido acético		38			
1478	24,21	patata cocida	metional		27	38	50	35
1575	26,83	citrico/floral	linalool	65		58	76	89
1620	28,13	pepino	trans-2-cis-6-nonadienal		38	29	41	65
1637	28,41	Fresa cocida/dulce/caramelo			38	50		65
1671	29,32	queso			91			
1679	29,46	queso			93			
1734	30,95	queso-ac. Láctico	ácido isovalerianico		71			
1758	31,43	menta					46	
1767	31,57	mentolado					20	82
1776	32,10	talco-plástico						38
1781	32,17	anis-manzanilla				38		
1783	32,2	menta			62			
1787	32,26	miel	fenilacetato de etilo				41	
1913	35,22	miel-pasas					41	71
1928	35,43	ciruela seca-pasa	$\beta$ -damascenona	65	14		46	20



---

## 5. CONCLUSIONES

1. El deshidratador doméstico Sedona está sometido a grandes fluctuaciones de temperatura durante la deshidratación, y muestra distintos perfiles dependiendo de la posición de las bandejas en su interior. Las posiciones óptimas para llevar a cabo el proceso de secado son las situadas en la parte inferior, mientras que las que proporcionan un patrón menos fiable son las situadas en la parte central.
2. La firmeza de las rodajas de fresa deshidratadas por convección aumenta con la temperatura de tratamiento, y disminuye al aplicar un procesado con microondas, posiblemente por acercarse a la temperatura de cocción del alimento.
3. La deshidratación produce variaciones en el color global de la fresa, que se hacen más notables conforme aumenta la intensidad del tratamiento, aumentando la intensidad del color rojo pero disminuyendo la claridad. Además, se detecta un mayor oscurecimiento en las muestras tratadas por microondas, debido probablemente a mayores daños provocados en las moléculas responsables.
4. El perfil aromático de las fresas deshidratadas es más complejo que el del producto fresco ya que se detectan un mayor número de zonas odorantes.
5. Ambos procesos de secado modifican notablemente el perfil aromático de la fresa, y comparten muchas de las zonas odorantes. La deshidratación por microondas además desencadena reacciones que hacen que se expresen determinados compuestos odorantes con aroma mentolado o a miel. Es indispensable por tanto controlar la modificación del perfil aromático de la fresa tras los procesos de secado, ya que se potencian compuestos de aroma desagradable que afectan a la valoración del producto.

---

## CONCLUSIONS

1. The dehydrator Sedona presents significant temperature profile variations depending on the position. This fact complicates the homogeneity of the dehydration process. In general, the treatment is more homogeneous in the lowest trays of the equipment.
2. The firmness of convection dehydrated strawberry slices increases as the drying temperature rises. However it decreases with the microwave treatments, maybe because the temperatures used are near to the boiling point.
3. The dehydration process affect the strawberry colour. These variations, the clarity decreases and the intensity of the red coordinate increases, are more intense at highest temperatures. The highest darkening was detected in the microwave treated samples maybe due to molecular damage produced by the temperature.
4. The aromatic profile of dehydrated strawberries is more complex than the fresh ones.
5. Although both drying processes modify significantly the raw strawberry aromatic profile some odorants are found in both. The microwave dehydration triggers the expression of selective odour compounds such as mint and honey aroma. Thus, it is important to monitoring the strawberry aromatic profile modifications after drying because some unpleasant aromas (off-flavors) would appear with the subsequent product quality devaluation.

---

---

## **6. APORTACIONES DE APRENDIZAJE DE ESTA ASIGNATURA**

Son muchos, y de diversa índole, los conocimientos, las aptitudes y la experiencia que he adquirido durante la realización de esta asignatura, aunque todos ellos podrían clasificarse en varios grupos atendiendo a las aportaciones que han supuesto para mi formación:

- Planificación y desarrollo de un proyecto. El hecho de diseñar y gestionar en mayor o menor medida los distintos aspectos de un trabajo real, más allá de supuestos prácticos, es indispensable y te ayuda a confiar en ti mismo y tus posibilidades.
- De la anterior se deriva y desarrolla la capacidad para trabajar de forma autónoma. Ser independiente es fundamental, y esta es una buena forma de fomentar este aspecto.
- Por el contrario, también me ha ayudado relacionarme y familiarizarme con un nuevo ambiente de trabajo.
- Capacidad de documentación y búsqueda bibliográfica de forma eficaz mediante el empleo de bases de datos de revistas de impacto, libros, tesis, etc. Así como gestionar esas referencias a través de gestores bibliográficos on-line.
- Desarrollo de la capacidad lectora y de comprensión escrita en inglés. Saber interpretar el lenguaje académico, que difiere del coloquial, así como identificar las partes de los artículos que pueden interesarme y sacarles partido.
- Desarrollo de la capacidad de comprensión y comunicación escrita en inglés, y necesidad de ampliar mi conocimiento hacia un vocabulario más específico.

## **7. EVALUACIÓN DE LA ASIGNATURA Y SUGERENCIAS DE MEJORA**

En mi opinión, es una asignatura que ayuda a afianzar determinadas competencias del grado que podrían quedar en un segundo plano, detrás del total de horas lectivas de teoría y práctica, pero que adquieren un papel importante en la formación. Principalmente, esto se debe a que junto con la asignatura Practicum Planta Piloto, obligan, en el buen sentido de la palabra, a desarrollar unas competencias

---

transversales diversas y muy útiles para el futuro que enriquecen el perfil profesional. Para que no sea todo tan abstracto mencionaré unos ejemplos, como la propuesta, planificación, y consecución de un proyecto ya sea en grupo o individualmente, tener una visión global del proyecto, respetar y saber lidiar con las opiniones de otras personas, o la necesidad de desenvolverse en un ambiente de trabajo nuevo. Además de trabajar estas competencias transversales, también se repasan y adquieren conocimientos, en mayor o menor medida, de muchas de las áreas que se desarrollan a lo largo de la titulación.

Otro aspecto a tener en cuenta sería planificación en el tiempo o la carga de créditos ECTS que supone, ya que puede coincidir con otras asignaturas que requieren mucha dedicación como es el Practicum, pero es comprensible y entiendo que no se puede planificar de otra forma. Además, teniendo en cuenta las múltiples oportunidades de presentar el Trabajo Fin de Grado lo anterior no es nada más que un mero inconveniente, y solo puedo concluir con una valoración positiva de la asignatura.

## **8. BIBLIOGRAFÍA**

Barbosa-Cánovas, G. V., & Vega-Mercado, H. (2000). *Deshidratación de alimentos* (A. I. Ribas, Trans.): Acribia S.A.

Bórquez, R. M., Canales, E. R., & Redon, J. P. (2010). Osmotic dehydration of raspberries with vacuum pretreatment followed by microwave-vacuum drying. *Journal of Food Engineering*, 99(2), 121-127.

Casp, A. (2014). *Tecnología de los alimentos de origen vegetal* (Vol. 1). Madrid: Editorial Síntesis.

de Bruijn, J., & Bórquez, R. (2014). Quality retention in strawberries dried by emerging dehydration methods. *Food Research International*, 63, Part A(0), 42-48.

Dravnieks, A. (1985). *Atlas of odor character profiles* (Vol. 61): ASTM.

Fellows, P. (1993). *Tecnología del procesado de los alimentos : principios y prácticas*. (F. J. Sala Trepas, Trans.): Zaragoza : Acribia, S.L. 1993.

- 
- Guisasola Bellido, C. (2002). *Aplicación de diferentes tecnologías de deshidratación de cerezas con vistas a su inclusión en preparados alimentarios*.
- Lozano, R. D. (2006). A new approach to appearance characterization. *Color Research and Application*, 31(3), 164-167.
- Martín Cerdeño, V. J. (2005). Consumo de frutas frescas en España. *Distribución y consumo*(82), 41-58.
- Martín Cerdeño, V. J. (2009). Consumo de frutas y hortalizas en España. *Distribución y consumo*(106), 38-50.
- Martinez, J. A., Melgosa, M., Perez, M. M., Hita, E., & Negueruela, A. I. (2001). Note. Visual and instrumental color evaluation in red wines. [Article]. *Food Science and Technology International*, 7(5), 439-444.
- Paraskevopoulou, A., Chrysanthou, A., & Koutidou, M. (2012). Characterisation of volatile compounds of lupin protein isolate-enriched wheat flour bread. *Food Research International*, 48(2), 568-577.
- Prat, L., Ines Espinoza, M., Agosin, E., & Silva, H. (2014). Identification of volatile compounds associated with the aroma of white strawberries (*Fragaria chiloensis*). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94(4), 752-759.
- Rega, B., Guerard, A., Delarue, J., Maire, M., & Giampaoli, P. (2009). On-line dynamic HS-SPME for monitoring endogenous aroma compounds released during the baking of a model cake. *Food Chemistry*, 112(1), 9-17.
- Sanz, A. (2002). España es el segundo país productor de fresa del mundo. *Vida rural*(144), 33-34.