

Universidad Pública de Navarra

*Nafarroako Unibertsitate Publikoa*

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIEROS AGRONOMOS

*NEKAZARITZAKO INGENIARIEN  
GOI MAILAKO ESKOLA TEKNIKOA*

## **Efecto de la maltodextrina y la temperatura sobre kiwi deshidratado por atomización**

presentado por

Andrea Martínez Iturralde

GRADO EN INGENIERÍA AGROALIMENTARIA Y DEL MEDIO RURAL

Mención en Industrias Agroalimentarias

Junio, 2015



## **ABSTRACT**

Nowadays, fruits like kiwifruit are highly appreciated by consumers among other things for their high nutritional value. Although kiwifruits are usually consumed as fresh products, they are seasonal and highly perishable and, therefore, they are frequently processed to obtain longer shelf-life products, such as juice, dehydrated products, etc.

Spray-drying is the most commonly technique to manufacture fruit powder, a high-quality product being obtained, and facilitating transport and storage. However, the spray-drying of fruits with high contents of sugars and acids, such as kiwifruit, is complex due to low glass transition temperature ( $T_g$ ) and the fact that, during spray-drying, the product sticks on the walls of the equipment. To minimize this problem, working at low temperatures and adding carrying agents, increases the  $T_g$ . The most used carrier is maltodextrin.

The aim of the present study was to obtain dehydrated kiwifruit powder from kiwi by-products using spray-drying, in order to evaluate different chemical and physical quality indicators (humidity,  $a_w$ , rehydration ratio and time, solubility, hygroscopicity and yield, among others), and to determine their nutritional value after different processing conditions.

The effects of 30%, 40% y 50% of maltodextrin on the final product and different air-temperatures were studied. The best characteristics of the product were achieved with the highest amount of maltodextrin and the lowest temperature. Overall quality of dehydrated kiwifruits seemed to be greatly dependent on processing conditions, achieving the best characteristics of the product with the highest amount of maltodextrin and the lowest temperature.

**Keywords:** Kiwifruit, Spray-drying, Dehydration, Maltodextrin, Glass transition temperature ( $T_g$ ).



## RESUMEN

Actualmente, las frutas como el kiwi son apreciadas por los consumidores entre otras cosas debido a su alto contenido nutricional. Aunque suelen consumirse en fresco, al ser una fruta perecedera y estacionaria, frecuentemente se procesa para alargar su vida útil, como zumos, productos deshidratados, etc.

La atomización es la técnica más utilizada para obtener fruta en polvo, obteniendo un producto de alta calidad, facilitando el transporte y el almacenamiento. Sin embargo, la atomización de frutas ricas en azúcares y ácidos, como el kiwi, es complicada debido a su baja temperatura de transición vítrea (Tg) lo cual hace que el producto se adhiera en las paredes del equipo. Para minimizar este problema, se trabaja con bajas temperaturas y añadiendo agentes transportadores, para aumentar la Tg, siendo el más utilizado la maltodextrina.

El objetivo de este estudio es obtener kiwi deshidratado en polvo a partir de subproductos de kiwi mediante atomización, además de evaluar las diferentes propiedades físico-químicas (humedad, aw, rehidratación, solubilidad, higroscopicidad y rendimiento, entre otras), y para determinar su valor nutricional después de las diferentes condiciones de procesado.

Se estudió el efecto de 30 %, 40 % y 50 % de maltodextrina en el producto final y diferentes temperaturas del aire (135 °C y 150 °C). La calidad general de los kiwis deshidratados parecía depender en gran medida de las condiciones de procesamiento, obteniendo las mejores características del producto con la mayor cantidad de maltodextrina y menor temperatura.

**Palabras clave:** Kiwi, Atomización, Deshidratación, Maltodextrina, Temperatura de transición vítrea (Tg).



*Agrademos a la asociación CEDERNA y a ITERA. AA. por colaborar en este proyecto; y a la empresa Kibbi S.A.T. por haber suministrado las muestras de kiwis para la realización de este trabajo.*







**ÍNDICE GENERAL**

1.	INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS .....	1
1.1.	El KIWI .....	1
1.1.1.	Características .....	1
1.1.2.	Consumo.....	3
1.2.	DESHIDRATACIÓN DE FRUTAS.....	3
1.3.	ATOMIZACIÓN.....	4
1.3.1.	Ventajas e inconvenientes de la atomización .....	6
1.3.2.	Influencia de la temperatura de transición vítrea en el proceso de atomización	7
1.3.3.	Influencia de los agentes transportadores durante el secado.....	8
1.4.	MALTODEXTRINA .....	8
1.5.	FACTORES QUE AFECTAN AL PROCESO Y A LA CALIDAD DEL PRODUCTO FINAL.....	9
1.5.1.	Composición del producto .....	9
1.5.2.	Proceso de atomización .....	10
1.5.2.1.	Caudal de aspiración de aire .....	10
1.5.2.2.	Flujo de alimentación.....	10
1.5.2.3.	Temperatura de entrada y salida del aire .....	10
1.6.	PARAMETROS DE CALIDAD DEL PRODUCTO DESHIDRATADO .....	11
1.7.	OBJETIVOS.....	11
2.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	12
2.1.	MATERIALES .....	12
2.1.1.	Kiwi.....	12
2.1.2.	Maltodextrina.....	12
2.1.3.	Reactivos .....	12

2.1.4.	Equipos .....	12
2.2.	MÉTODOS DE ANÁLISIS .....	12
2.2.1.	Calculo de la temperatura de transición vítrea .....	12
2.2.2.	Caracterización de los kiwis .....	13
2.2.3.	Kiwi deshidratado.....	16
2.2.4.	Análisis estadístico .....	19
2.3.	DISEÑO EXPERIMENTAL .....	19
2.3.1.	Preparación de las muestras .....	20
2.3.2.	Tratamiento.....	20
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	23
3.1.	DEFINICIÓN DE LA COMPOSICIÓN DEL PRODUCTO Y DE LAS CONDICIONES DE ATOMIZACIÓN .....	23
3.1.1.	Determinación de la concentración de maltodextrina .....	23
3.1.2.	Estudio de los parámetros del atomizador .....	24
3.1.2.1.	Caudal de aspiración de aire .....	24
3.1.2.2.	Flujo de alimentación .....	24
3.1.2.3.	Determinación de la temperatura de entrada y salida del aire .....	25
3.2.	CARACTERIZACIÓN DEL KIWI FRESCO Y DEL SOBRENADANTE.....	26
3.3.	EFFECTO DEL TRATAMIENTO A DIFERENTES TEMPERATURAS Y CONCENTRACIONES DE MALTODEXTRINA .....	28
3.3.1.	Calidad del kiwi deshidratado en polvo .....	29
3.3.2.	Análisis del kiwi atomizado rehidratado .....	35
4.	CONCLUSIONES .....	37
5.	BIBLIOGRAFÍA .....	39

**ÍNDICE DE FIGURAS**

<b>Figura 1:</b> Clasificación de los principales tipos de secaderos.....	<b>4</b>
<b>Figura 2:</b> Esquema atomización a escala laboratorio. ....	<b>5</b>
<b>Figura 3:</b> Refractómetro manual.....	<b>14</b>
<b>Figura 4:</b> pH-metro de punzón.....	<b>14</b>
<b>Figura 5:</b> Espacio de color CIELAB .....	<b>15</b>
<b>Figura 6:</b> Sensor LabMaster- aw.....	<b>17</b>
<b>Figura 7:</b> Balanza con cámara de desecación Gram modelo ST-H50.....	<b>18</b>
<b>Figura 8:</b> Mini spray dryer B-191.....	<b>20</b>
<b>Figura 9:</b> Diagrama de flujo del proceso de atomización del kiwi. ....	<b>22</b>
<b>Figura 10:</b> Sólidos solubles totales (°Brix) correspondientes al kiwi fresco y centrifugado con diferentes concentraciones de maltodextrina (valores medios y desviación estándar, n = seis). .....	<b>27</b>
<b>Figura 11:</b> Coordenadas de color ( $L^*$ , $a^*$ y $b^*$ ) correspondientes al kiwi fresco y centrifugado con diferentes concentraciones de solutos (valores medios y desviación estándar, n = diez). ....	<b>28</b>
<b>Figura 12:</b> Rendimiento (%) correspondiente a la atomización de kiwi con diferentes concentraciones de solutos y diferente temperatura de procesado (valores medios y desviación estándar, n= dos).....	<b>29</b>
<b>Figura 13:</b> Coordenadas de color ( $L^*$ , $a^*$ y $b^*$ ) correspondientes al kiwi deshidratado con diferentes concentraciones de solutos y diferentes temperaturas de procesado (valores medios y desviación estándar, n = diez). ....	<b>30</b>
<b>Figura 14:</b> Actividad de agua correspondiente al kiwi atomizado con diferentes concentraciones de solutos y diferente temperatura de procesado (valores medios y desviación estándar, n = seis). ....	<b>31</b>
<b>Figura 15:</b> Humedad (%) correspondiente al kiwi atomizado con diferentes concentraciones de solutos y diferente temperatura de procesado (valores medios y desviación estándar, n = tres). .....	<b>32</b>

**Figura 16:** Higroscopicidad (g H<sub>2</sub>O / g) correspondiente al kiwi atomizado con diferentes concentraciones de solutos y diferente temperatura de procesado (valores medios y desviación estándar, n = tres). ..... **33**

**Figura 17:** Tiempo de rehidratación (s) correspondiente al kiwi atomizado con diferentes concentraciones de solutos y diferente temperatura de procesado (valores medios y desviación estándar, n = tres). ..... **33**

**Figura 18:** Solubilidad (%) correspondiente al kiwi atomizado con diferentes concentraciones de solutos y diferente temperatura de procesado (valores medios y desviación estándar, n = tres). ..... **34**

**Figura 19:** Coordenadas de color (L\*, a\* y b\*) correspondientes al producto antes y después de atomizar con diferentes concentraciones de solutos y diferente temperatura de tratamiento (valores medios y desviación estándar, n = diez)..... **36**

**ÍNDICE DE TABLAS**

<b>Tabla 1:</b> Tabla nutricional del kiwi verde fresco. ....	<b>2</b>
<b>Tabla 2:</b> Influencia del aumento de la temperatura del producto por encima de la Tg en las características del producto. ....	<b>8</b>
<b>Tabla 3:</b> Caudal del aire de aspiración a diferentes porcentajes de la bomba de aspiración del equipo de atomización. ....	<b>24</b>
<b>Tabla 4:</b> Caudal de pulverización del producto dependiendo del % de la bomba del producto del equipo de atomización. ....	<b>25</b>
<b>Tabla 5:</b> Temperatura de salida del aire en función de la temperatura de entrada y el % de la bomba del producto del equipo de atomización. ....	<b>26</b>
<b>Tabla 6:</b> Sólidos solubles totales (°Brix), pH, acidez (%) y coordenadas de color (L*, a* y b*) del kiwi y del sobrenadante con maltodextrina (0, 30, 40 y 50%). ....	<b>26</b>
<b>Tabla 7:</b> Coordenadas de color del kiwi atomizado a diferentes temperaturas y cantidad de maltodextrina. ....	<b>29</b>
<b>Tabla 8:</b> Actividad de agua, humedad (%), higroscopicidad (g H <sub>2</sub> O / g polvo), tiempo de rehidratación (s) y solubilidad (%) del kiwi atomizado a diferentes temperaturas de tratamiento y porcentajes de maltodextrina. ....	<b>31</b>
<b>Tabla 9:</b> Contenido de actividad antioxidante del kiwi atomizado a diferentes temperaturas y concentraciones de solutos. ....	<b>35</b>
<b>Tabla 10:</b> pH, acidez y coordenadas de color del kiwi atomizado rehidratado a diferentes temperaturas y concentraciones de maltodextrina. ....	<b>35</b>



## 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Las frutas son parte de una dieta sana y equilibrada, aportando fibra y vitaminas, además de otros nutrientes beneficiosos para la salud. Son alimentos muy apreciados entre los consumidores, pero en algunos casos la estacionalidad limita su disponibilidad a lo largo del año.

### 1.1. **EL KIWI**

El kiwi (*Actinidia chinensis*) es un fruto originario de China, pertenece a la clase: *Dicotyledonea*, orden: *Ericales*, familia: *Actinidiaceae*, género: *Actinidia* y especie: *deliciosa*. La *actinidia* es una planta trepadora leñosa que puede alcanzar hasta los 9 metros de altura, sus hojas son simples y redondas, largas y caducas, las flores son hermafroditas o unisexuales es decir, presentan aparato sexual femenino (gineceo) y masculino (androceo) (Osés, 2011).

El fruto es una baya de forma oval, con piel de color marrón cubierta de vellosidades y con pulpa verde, repleta de pequeñas semillas de color negro dispuestas en forma de círculo.

Dentro de las variedades más conocidas y comercializadas se encuentran: Bruno, Abbott y Hayward, siendo esta última la variedad más difundida en las plantaciones a nivel mundial.

#### 1.1.1. **Características**

Son varias las características tanto organolépticas como nutricionales que lo hacen atractivo para los consumidores. Por un lado son apreciados su color, olor y sabor ácido. Por otro lado, en cuanto a los nutrientes, destacan su alto contenido en vitaminas, su alta actividad antioxidante y fibra (Wu Ng, Benlloch Tinoco, García Martínez, & Martínez Navarrete, 2013).

- Antioxidantes

El kiwi es una de las frutas con contenidos más elevados de antioxidantes entre los cuales destacan la vitamina C y E.

La vitamina C es un nutriente esencial para los mamíferos, ayuda al bienestar de la salud humana, reforzando el sistema inmunitario, la vista y el sistema digestivo (Montoya et al., 2014), ya que es una de las frutas con mayor contenido en vitamina C, más del doble que las naranjas (Osés, 2011). Esta vitamina interviene en la formación de colágeno, huesos y dientes, glóbulos rojos y favorece la absorción del hierro de los alimentos y la resistencia a las infecciones. Previene el envejecimiento de los vasos sanguíneos y es una fuente antioxidante para el organismo.

También es rico en vitamina E y folatos (no tanto como en vitamina C), llegando a cubrir entre un 9 y un 20%, de las necesidades diarias de estas vitaminas, respectivamente. Los kiwis además son ricos en luteína, compuesto químico que ayuda a prevenir problemas oculares.

**Tabla 1:** Tabla nutricional del kiwi verde fresco (USDA, 2015).

Nutrientes	Unidad	Valor por 100g
Agua	g	83,07
Energía	kcal	61
Proteínas	g	1,14
Lípidos	g	0,52
- Ácidos grasos saturados totales	g	0,029
- Ácidos grasos monoinsaturados totales	g	0,047
- Ácidos grasos polinsaturados totales	g	0,287
Carbohidratos	g	14,66
- Azucares	g	8,99
Fibra	g	3,00
<b>Minerales</b>		
Calcio, Ca	mg	34
Hierro, Fe	mg	0,31
Magnesio, Mg	mg	17
Fosforo, P	mg	34
Potasio, K	mg	312
Sodio, Na	mg	3
Cinc, Zn	mg	0,14
<b>Vitaminas</b>		
Vitamina C	mg	92,7
Tiamina (Vitamina B1)	mg	0,027
Riboflavina (Vitamina B2)	mg	0,025
Niacina (Vitamina B3)	mg	0,341
Vitamina B-6	mg	0,063
Folato	µg	25
Vitamina B-12	µg	0,00
Vitamina A	µg	4
Vitamina E	mg	1,46
Vitamina D (D2 +D3)	µg	0,0
Vitamina K	µg	40,3

- Fibra

Contiene un alto contenido en fibra, tanto soluble (que ayuda a normalizar los niveles de colesterol y facilita el tránsito intestinal, evitando el estreñimiento) como insoluble (previene el cáncer de colon y tiene un efecto laxante) beneficiosa para el tracto intestinal (Osés, 2011).



- Minerales

Es rico en minerales como magnesio, cobre y potasio, siendo mayor el contenido en potasio que el de los plátanos, con 295 mg cada 100 gramos de producto. La deficiencia de potasio, puede producir problemas en la tensión arterial, desórdenes digestivos y cansancio (Osés, 2011).

### **1.1.2. Consumo**

El kiwi en España, aparece en el mercado a partir de octubre y se mantiene en perfectas condiciones hasta mayo. Sin embargo, otras variedades como el kiwi procedente de Nueva Zelanda, también pueden consumirse desde finales de mayo hasta principios de noviembre.

Es una fruta perecedera que actualmente en su mayor parte se destina a consumo directo en fresco, pero alrededor del 25% de la producción, dato proporcionado por la empresa KIBBI SAT, Baztán (Navarra), no puede destinarse al consumo en fresco por no cumplir unas características concretas de peso y/o forma. Los kiwis tienen una corta vida útil debido a que son frutos climatéricos y siguen madurando una vez recolectados. Esto provoca el reblandecimiento de los mismos y pérdidas de nutrientes y vitaminas durante el almacenamiento, incluso en condiciones de refrigeración (Maskan, 2001; Moraga, Martínez-Navarrete, & Chiralt, 2006).

Las nuevas tendencias de consumo están creciendo en torno a productos saludables, de larga vida útil y que se parezcan en la medida de lo posible a los productos en fresco (Benlloch-Tinoco, Igual, Salvador, Rodrigo, & Martínez-Navarrete, 2014). Está aumentando el consumo de frutas en forma de derivados, como néctares, zumos, jaleas y otros productos procesados. Este tipo de productos aumenta su disponibilidad durante todo el año y permite aprovechar los excedentes de producción que no pueden comercializarse en fresco.

Actualmente en el mercado, la oferta de derivados de kiwi es muy limitada, por lo tanto, el sacar al mercado fruta en polvo de kiwi, a primera vista parece una alternativa interesante. Las frutas en polvo están especialmente indicadas para su consumo rehidratado o para su incorporación como ingrediente en otros alimentos como zumos, purés, lácteos o infusiones (Wu Ng et al., 2013).

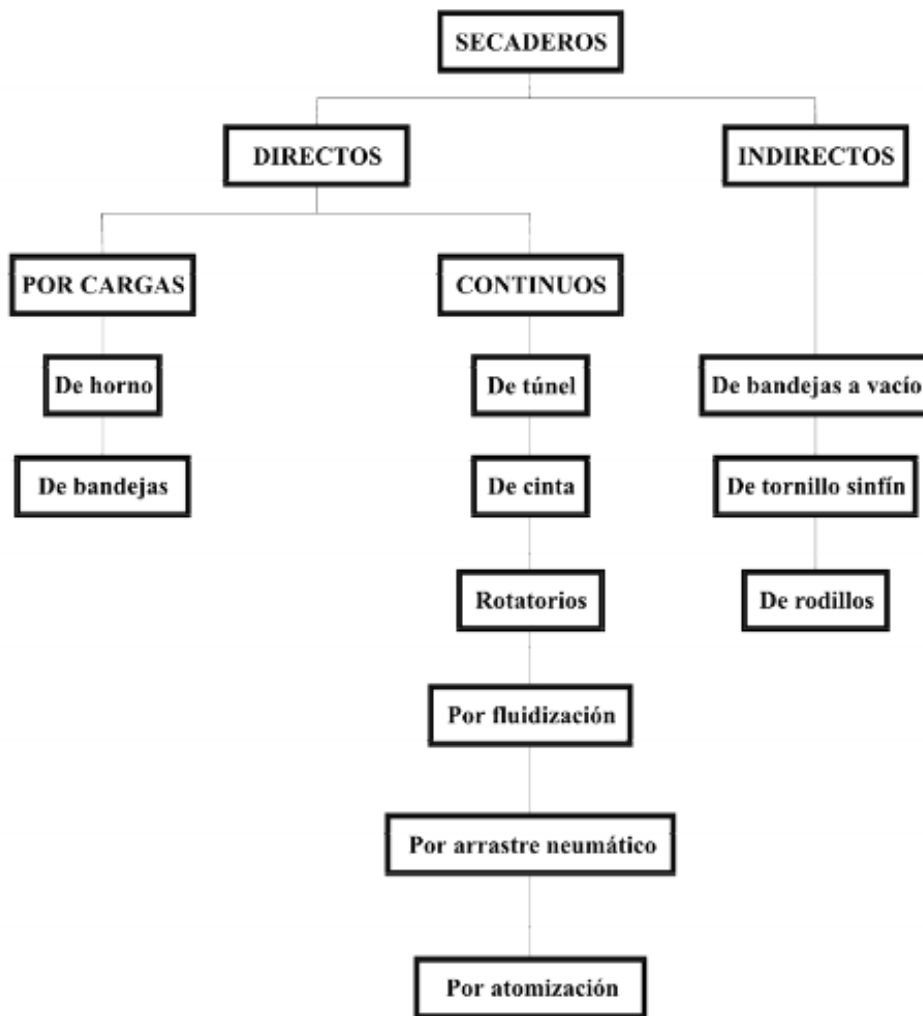
## **1.2. DESHIDRATACIÓN DE FRUTAS**

La deshidratación es una técnica antigua de conservación de los alimentos que consiste en reducir el contenido de humedad y la actividad de agua (Phisut, 2012).

Tiene una serie de ventajas, como son reducir el volumen y el peso del producto, lo que disminuye los costes en transporte y la distribución, aumentar la vida útil del producto y de esta manera poder comercializarlo durante todo el año y darle un valor añadido a los subproductos.

La diversidad de productos alimentarios existente ha llevado al desarrollo de diferentes técnicas de deshidratación y, por lo tanto, diferentes tipos de secaderos para la industria alimentaria, algunos de ellos podemos verlos en la en la figura1.

Entre la diversidad de técnicas de deshidratación existentes, la más utilizada para la deshidratación de zumos de frutas es la atomización (Phisut, 2012).



**Figura 1:** Clasificación de los principales tipos de secaderos (Casp & Abril, 2008)

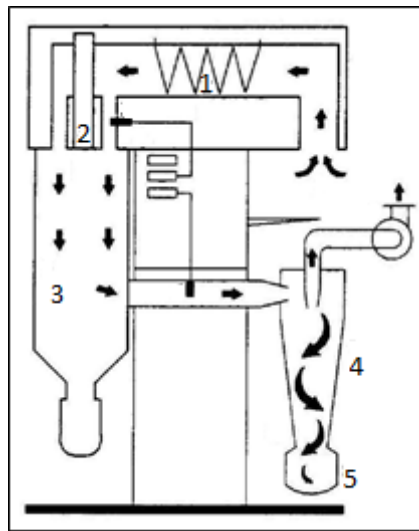
### 1.3. ATOMIZACIÓN

El concepto de atomización fue recogido por primera vez en una patente de Samuel Perry en 1872. El proceso fue introducido con propósitos comerciales en los años 20, pero el gran desarrollo de los equipos de atomización comenzó durante la segunda Guerra Mundial, cuando se necesitó reducir el peso del transporte de la comida y otros materiales. Actualmente, es una práctica de deshidratación común en las industrias alimentarias, especialmente en las lácteas, para obtener un producto deshidratado en polvo (Chen & Mujumdar, 2009).

Es el método de secado más importante para deshidratar productos líquidos. Esta técnica permite transformar los alimentos líquidos en partículas sólidas mediante atomización en una corriente de aire caliente, basándose en la evaporación rápida del disolvente por pulverización del producto a secar en el seno de una corriente de gas caliente (Casp & Abril, 2008).

Esta tecnología permite obtener un producto deshidratado de gran calidad, debido a que son cortos los periodos de tiempo del alimento en el equipo y se da un efecto refrigerador gracias a la evaporación; de esta manera se reducen las pérdidas de compuestos termolábiles.

Normalmente el proceso de atomización consta de cinco etapas (Patel, Patel, & Suthar, 2009):



**Figura 2:** Esquema atomización a escala laboratorio (fuente: imagen tomada de Büchi Labortechnik, recuperada el 17 de mayo de 2015 de [www.buchi.com](http://www.buchi.com))

- Concentración: el alimento normalmente es concentrado antes de ser introducido en el atomizador entre un 50 y 60%, pero a escala de laboratorio se usan muestras más diluidas porque puede atascarse fácilmente (Phisut, 2012).
- Atomización: la etapa de atomización genera las condiciones óptimas de evaporación.
  - Sistemas de calefacción del aire: el agua puede calentarse por combustión directa de un gas o fuel-oíl en el seno de la corriente de aire o por intercambiadores de calor con vapor de agua a presión (es más utilizado) o por resistencia eléctrica (se utiliza en instalaciones de pequeña capacidad o piloto (nº1 figura 2)).
  - Sistema de atomización del producto líquido: consiste en la dispersión del líquido en un gran número de gotitas (nº 2 figura 2). Industrialmente podemos encontrar tres tipos de estos sistemas, de rodets centrífugos, de toberas a presión y de toberas de doble fluido.

- Contacto gotas-aire: en la cámara de secado (nº3 figura 2), el líquido a atomizar está en contacto con el aire caliente; como resultado, se evapora más del 95% del agua contenido en las gotas en menos de unos segundos.
- Secado de las gotas: cuando no hay suficiente humedad en la superficie de las partículas, se forma una capa. Entonces la evaporación depende de la difusión de la humedad en la corteza, que aumenta el espesor.
- Separación: finalmente mediante separación centrífuga se recoge el producto seco y estable (nº 5 figura 2) gracias a un colector de ciclón (nº 4 figura 2).

### 1.3.1. Ventajas e inconvenientes de la atomización

#### Ventajas

Son varias las ventajas que encontramos a la hora de utilizar esta técnica de deshidratación en relación con otras. La atomización permite la obtención de partículas homogéneas y uniformes, presenta cortos tiempos de procesado y también es menor el coste energético.

Chen & Mujumdar (2009) realizaron una revisión sobre las ventajas de esta técnica entre las que destacaron las siguientes:

- Deshidratado de productos de varias características (tamaño, densidad, humedad y contenido de nutrientes) y tipos de productos (polvo fino, granulados y aglomerados).
- Calidad del producto final constante, mientras se mantengan constantes las condiciones de deshidratación.
- Pueden lograrse partículas de pequeño tamaño.
- El producto deshidratado está listo para ser envasado.
- Productos con sensibilidad térmica pueden ser procesados sin que se produzca un daño significativo.
- El deterioro por calor de los productos es relativamente pequeño ya que se exponen durante poco tiempo a altas temperaturas y la evaporación de solvente hace de efecto refrigerante en el producto.
- Es una operación continua.
- En la industria el proceso puede ser completamente automatizado.

## Inconvenientes

Uno de los inconvenientes es que esta tecnología no puede aplicarse a alimentos de alta viscosidad o alta densidad.

Por otro lado, los productos que pueden atomizarse pueden ser ricos o escasos en azúcares. Los productos bajos en azúcares pueden deshidratarse con un sencillo proceso de secado; sin embargo, aquellos productos con elevada cantidad de azúcares son difíciles de atomizar, ya que durante el secado el producto se queda pegado en las paredes del equipo, provocando problemas de rendimiento y de trabajo (Adhikari, Howes, Bhandari, & Troung, 2004; Bhandari, Datta, & Howes, 1997).

Atomizar productos ricos en azúcares como zumos de frutas o miel es difícil, principalmente debido a las características físicas básicas de los azúcares de bajo peso molecular presentes en estos productos, como sacarosa, glucosa y fructosa. La presencia de ácidos orgánicos como láctico, tartárico, málico y cítrico contribuye a este problema de adherencia. Dicho problema disminuye cuando se atomizan derivados del almidón menos hidrolizados, como la maltodextrina, facilitando el deshidratado de alimentos ácidos y ricos en azúcares. El uso de maltodextrina para facilitar la atomización comenzó a utilizarse en 1970 pero hasta después de dos décadas no se realizaron estudios de cómo y porqué este producto ayuda en la pulverización reduciendo la pegajosidad (Adhikari et al., 2004). Actualmente se conoce que esto es debido a las bajas  $T_g$  que presentan estos compuestos y varios autores coinciden en tres aspectos: la adición de altas cantidades de aditivos, rascar las paredes del equipo y utilizar bajas temperaturas de secado (Bhandari, Datta, Crooks, Howes, & Rigby, 1997).

Por lo tanto, a la hora de atomizar zumos de frutas hay que tener en cuenta que la alta cantidad de azúcares y ácidos presentes son responsables de la alta higroscopicidad y adherencia del producto final; lo cual limita el proceso y hace necesario el uso de aditivos, entre otras cosas para aumentar la temperatura de transición vítrea.

### **1.3.2. Influencia de la temperatura de transición vítrea en el proceso de atomización**

La temperatura de transición vítrea es la temperatura a la cual la fase amorfa de los polímeros cambia entre los estados gomoso y vítreo. Las frutas tienen una temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ) baja, debido a su alto contenido en sacarosa, fructosa y glucosa (Bhandari & Howes, 1999). Normalmente en zumos de frutas los valores de  $T_g$  de la sacarosa, glucosa y fructosa son de 62, 31 y 16°C respectivamente (Fontes, Silva, Sampaio-Neta, Costa, & Rodrigues, 2014). Esto está relacionado con el problema de pegado del producto en las paredes del equipo durante el secado.

Durante el secado conforme se reduce la cantidad de agua aumenta la temperatura de transición vítrea, se supone que el problema del pegado del producto en las paredes del equipo disminuye cuando no se supera en 10-20°C esta temperatura. Podemos ver en la tabla 2 el efecto de sobrepasar la temperatura de transición vítrea en el producto (Bhandari, Datta, & Howes, 1997).

**Tabla 2:** Influencia del aumento de la temperatura del producto por encima de la  $T_g$  en las características del producto.

Temperatura por encima de la $T_g$ (°C)	Características
10	Empieza a haber adherencia
20	Se ve adherencia
30-50	Cristalización en la cámara de secado
>50	Colapso total

(Bhandari, Datta, & Howes, 1997).

### 1.3.3. Influencia de los agentes transportadores durante el secado

La deshidratación de frutas, al igual que la de otros productos con alto contenido de azúcares, presenta dificultades técnicas debido a su alta higroscopicidad y termoplaticidad a condiciones de altas temperaturas y humedad (Adhikari et al., 2004). Por esta razón, se ha innovado en la utilización de sustancias como maltodextrina, gomas, pectinas, silicato de calcio y carboximetilcelulosa como vehículo para favorecer el secado.

La adición de aditivos al producto antes de ser atomizado, es una de las alternativas para aumentar la  $T_g$ . Agentes transportadores como polímeros o gomas se añaden al producto, modificando sus propiedades y la estabilidad del polvo deshidratado. Estos productos reducen la adhesividad del material y, en su caso, los problemas de deposición en las paredes del equipo empleado, además de proteger al producto durante el tratamiento térmico. La selección del tipo de material que será empleado como vehículo y su concentración dependerá básicamente del tipo de producto que se pretenda desarrollar y la capacidad antiapelmazante del vehículo.

Los agentes transportadores más comunes usados para frutas son las maltodextrina y la goma arábiga. Siendo la maltodextrina de menor coste económico y obteniéndose resultados bastante satisfactorios en el deshidratado por atomización de alimentos (Phisut, 2012).

## 1.4. MALTODEXTRINA

La maltodextrina es un polímero de sacáridos, formado por unidades de D-glucosa, con una dextrosa equivalente (DE) menor al 20%, con una formulación de  $C_6nH(10n+2)O(5n+1)$ . Es un producto obtenido de la hidrólisis del almidón. En Europa generalmente se hace a partir de maíz. Entre sus propiedades destacan que es un importante texturizador, humectante y espesante, soluble en agua, estabilizante de fácil digestión, de sabor y olor neutro.

Entre los polímeros comestibles utilizados en la obtención de productos en polvo, la maltodextrina es especialmente útil debido a su elevada solubilidad en soluciones acuosas, baja viscosidad y altos valores de temperatura de transición vítrea como consecuencia de su alto peso molecular.

## **Equivalentes de dextrosa**

Las maltodextrinas se clasifican por su equivalente de dextrosa. A medida que aumenta la hidrólisis del almidón, se incrementa el contenido de equivalentes de dextrosa y disminuye el peso molecular.

La Tg de la maltodextrina varía de 100°C a 243°C dependiendo de sus equivalentes de dextrosa. Equivalentes de dextrosa bajos implican un mayor aumento de la Tg, elevando considerablemente la Tg de la mezcla (Bhandari, Datta, & Howes, 1997).

Maltodextrinas con altas DE causan mayor humedad en el producto deshidratado, probablemente debido a su estructura química, ya que presentan un mayor número de ramificaciones con grupos hidrófilos y, por ello, las moléculas de agua del ambiente pueden unirse más fácilmente al producto deshidratado después de la atomización. Además, las DE altas aumentan la densidad de la masa, lo que favorece su pegajosidad y tienen Tg bajas, por lo que la elevación de la Tg de la mezcla con frutas es más baja (Phisut, 2012).

Bajas DE facilitan el aumento de la Tg, pero causan mayor viscosidad en las mezclas y como consecuencia, el producto tiene un rango de evaporación menor (Sun-Waterhouse & Waterhouse, 2014).

## **1.5. FACTORES QUE AFECTAN AL PROCESO Y A LA CALIDAD DEL PRODUCTO FINAL**

### **1.5.1. Composición del producto**

Como ya se ha comentado, el kiwi es una fruta con altos contenidos glucémicos y ácidos, por lo que nos encontramos con una fruta difícil a la hora de encontrar las condiciones óptimas de atomización. Es de ayuda conocer la Tg de esta fruta, ya que de esta manera será más fácil determinar las condiciones más favorables del proceso.

Sabemos que la Tg de cada fruta varía dependiendo del contenido de azúcares, siendo el kiwi una de las frutas con mayor cantidad y, por lo tanto, la Tg será baja, por lo que a primera vista parece más razonable utilizar altas cantidades de maltodextrina.

Normalmente se añade en proporción a los sólidos solubles (°Brix) de la fase líquida del producto, manteniendo la relación: 1 kg de maltodextrina /1 kg de sólidos solubles (Wu Ng et al., 2013). Pero también se suele analizar otras concentraciones tanto menores como mayores por ejemplo de 20%, 30%, 40% y 60% (Cano-Chauca, Stringheta, Ramos, & Cal-Vidal, 2005; Fontes et al., 2014; Goula & Adamopoulos, 2010; Phisut, 2012; Yousefi, Emam-Djomeh, & Mousavi, 2011).

### **1.5.2. Proceso de atomización**

Son varios los parámetros a fijar para realizar la atomización, como el caudal de aspiración de aire, el flujo del producto y la temperatura de entrada y salida del producto.

#### **1.5.2.1. Caudal de aspiración de aire**

El caudal de aspiración de aire es el que seca las partículas pulverizadas en el equipo y de él dependen algunas de las características del producto final. Al aumentar el caudal de aire, aumenta la humedad del producto y disminuye la solubilidad (Phisut, 2012), pero a bajos caudales, el producto permanece más tiempo en contacto con el aire caliente y puede favorecer la pérdida de nutrientes.

Estudios que emplearon el mismo modelo de atomizador para el deshidratado de frutas trabajaban en un rango de 60-100 % de la bomba de aspiración (Yousefi et al., 2011).

#### **1.5.2.2. Flujo de alimentación**

Altos caudales de producto implican menor tiempo de contacto entre el producto y el aire de secado y, como consecuencia, la transferencia de calor es menos eficiente y esto se traduce en una menor evaporación del agua del producto, además de tener un menor rendimiento ya que se favorece la adhesión a las paredes del equipo (Phisut, 2012).

Para la deshidratación por atomización de kiwi con leche se utilizó un caudal de 10 ml/min (Sun-Waterhouse & Waterhouse, 2014) y, en el caso de piña, melón y naranja, se utilizó una velocidad de 5 ml/min (Fontes et al., 2014).

#### **1.5.2.3. Temperatura de entrada y salida del aire**

El aumento de la temperatura de entrada del aire reduce el rendimiento y produce un aumento del pegado del producto en las paredes del equipo (Phisut, 2012).

Nuestro objetivo es conseguir una correcta atomización a la menor temperatura posible ya que, de esta manera, se verán menos afectadas las propiedades del kiwi y, debido a su alto contenido en azúcares, evitaremos una mayor concentración de producto pegado en las paredes del equipo. Para ello, no debemos de sobrepasar más de 20 °C la Tg del producto a deshidratar.

Para la pulverización de jugo de naranja se utilizaron unas temperaturas de entrada del aire de 127-133 °C y de salida del aire de 76-88 °C (Naddaf, Avalo, & Oliveros, 2012), otro estudio realizado también sobre zumo de naranja utiliza temperaturas de 130 °C para la entrada y de 85 °C para la salida (Chegini & Ghobadian, 2007), en el caso de la deshidratación de zumo de granada las temperaturas utilizadas fueron de 140 °C y 91 °C de entrada y salida del aire respectivamente (Yousefi et al., 2011). En un trabajo realizado sobre kiwi se atomizó a 150 °C y 90 °C (Wu Ng et al., 2013) y en otro de kiwi con leche también se utilizó una temperatura de entrada de 150 °C (Sun-Waterhouse & Waterhouse, 2014).



### **1.6. PARAMETROS DE CALIDAD DEL PRODUCTO DESHIDRATADO**

Es interesante ver si varían las propiedades finales respecto a las iniciales del producto. Siendo el cambio de color una de las propiedades que prácticamente siempre cambia en la deshidratación de frutas, debido a las reacciones de degradación de pigmentos que se producen en el procesado térmico.

La deshidratación es una de las técnicas más utilizadas para la conservación y aumento de la vida útil de las frutas. Evaluar los parámetros tecnológicos es necesario para determinar si se ha conseguido el grado adecuado de deshidratación y para asegurarnos de la inocuidad y larga vida útil del producto final. Para ello es necesario analizar si el producto final presenta unos valores bajos de actividad de agua y de humedad. Una vez que el producto haya disminuido la actividad de agua por debajo de 0,4 apenas podrán producirse reacciones enzimáticas y/o microbianas.

La higroscopicidad es una característica de calidad de los productos deshidratados muy importante, la cual nos indica la cantidad de humedad que se absorbe del ambiente. Esto afecta directamente a la calidad del producto final y a su almacenamiento. Por último, pero no menos importante, la mayoría de los productos deshidratados en polvo se consumen rehidratados, por lo que evaluar el tiempo de rehidratación es importante y será mejor cuanto menor sea y cuanto más eficaz, es decir, la solubilidad es otro de los parámetros más importantes, queriéndose alcanzar siempre valores cercanos al 100 %.

El tratamiento térmico sobre los parámetros nutricionales del producto suele ser agresivo, debido a que se suelen usar altas temperaturas de procesado, pero con la adición de agentes transportadores (como la maltodextrina) y manejando temperaturas bajas en el equipo, puede reducirse.

La actividad antioxidante principalmente fenoles, flavonoides, antocianinas y ácido ascórbico, es uno de los aspectos más importantes en cuanto a parámetros nutricionales de los kiwis, por ello ver cómo se ve afectada en el tratamiento es de gran relevancia.

### **1.7. OBJETIVOS**

El objetivo del presente Trabajo Fin de Grado es conseguir, a partir de subproductos de kiwi desarrollar un producto de larga vida útil, que mantenga en la medida en lo posible sus propiedades, mediante la técnica de deshidratación por atomización.

Por un lado, se estudiará el efecto de la concentración de solutos en el producto, es decir, de diferentes cantidades de maltodextrina y por otro lado el efecto que tiene la temperatura de procesado (la temperatura del aire de entrada del equipo) sobre sus parámetros tecnológicos (rendimiento), físico-químicos ( $^{\circ}$ Brix, pH, acidez, color, actividad de agua, humedad, higroscopicidad, tiempo de rehidratación y solubilidad) y nutricionales (Actividad antioxidante).

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. MATERIALES

#### 2.1.1. Kiwi

Se utilizaron kiwis cv. "Hayward", donados por la empresa KIBBI SAT, Baztán (Navarra).

#### 2.1.2. Maltodextrina

Como agente transportador se utilizó Maltodextrina DE 10-12.

#### 2.1.3. Reactivos

Los reactivos empleados en los análisis fueron: Hidróxido de sodio (NaOH) 0,1N, Metanol (CH<sub>4</sub>O), Acido clorhídrico (HCl), Trolox (6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid), DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) y Etano (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O).

#### 2.1.4. Equipos

Los equipos utilizados en el trabajo fueron: Batidora de mano (OK OSB102, 170W), centrifugadora (Selecta Medifringer BL-S), atomizador (mini spray dryer B-191, Reino Unido), anemómetro (Almemd 2290-8 VS), refractómetro manual (Atago, 0-32° Brix), pH-metro de punzón (Crison PH 25, con electrodo de pH de penetración 52-32, pH 2-11), espectrofotómetro portátil (Minolta CM-2500d), sensor LabMaster-aw Novasina (Suiza), balanza con cámara de desecación (Gram modelo ST-H50), estufa (BINDER), balanza Gram, campana de gases (laboratorios Navarra), agitador magnético (IKAMAG PCT) y desecadores.

### 2.2. MÉTODOS DE ANÁLISIS

#### 2.2.1. Cálculo de la temperatura de transición vítrea

- **Predicción de la temperatura de transición vítrea**

El modelo de Gordon y Taylor, permite predecir la temperatura de transición vítrea de los azúcares con diferentes contenidos de agua y ha sido usado para muestras de frutas. Alimentos como las frutas pueden considerarse como una mezcla binaria de sólidos y agua, como podemos ver en la ecuación 1 (Moraga et al., 2006).

$$Tg = \frac{(1 - X_w) * T_{g(as)} + k * X_w * T_{g(w)}}{(1 - X_w) + k * X_w} \quad (1)$$

Siendo:  $X_w$  = fracción másica de agua (g agua/g producto);  $Tg$  = Temperatura de transición vítrea (°C);  $T_{g(w)}$  = temperatura de transición vítrea del agua (°C);  $T_{g(as)}$  = temperatura de transición vítrea de los sólidos (°C);  $k$  = constante.

- **Cálculo de la Tg de la maltodextrina dependiendo de los equivalentes de dextrosa (Bhandari, Datta, & Howes, 1997):**

$$T_g = T_g^\infty - \frac{K_m}{M_o} \quad (2)$$

Siendo:  $T_g^\infty$  = valor máximo de la maltodextrina (243 °C);  $K_m$  = 54800 (g/mol/°C maltodextrina);  $M_o$  = peso molecular.

- **Cálculo de la Tg de una mezcla de componentes:**

La Tg de una mezcla de componentes sólidos, como zumo de kiwi con maltodextrina, puede determinarse usando una relación de masas. La mezcla de componentes se asume como una composición binaria de agua-sólidos "n" individual, donde "n" es el número de componentes sólidos. Primero, la Tg depende del contenido de humedad de la mezcla sólidos-agua determinada. Por último, se asume que los sólidos están en una perfecta mezcla y la Tg de la mezcla de multicomponentes es calculada como la masa de peso en base seca (Goula & Adamopoulos, 2010):

$$T_{gm} = \sum_{i=1}^n (T_{gi} * x_i) \quad (3)$$

Donde  $T_{gm}$  representa la Tg de la mezcla multicomponentes incluido el agua,  $T_{gi}$  es la Tg de la mezcla binaria de sólidos-agua, como la de maltodextrina-agua, determinada con la ecuación primera,  $x_i$  es la fracción másica de un componente sólido individual en base seca.

### 2.2.2. Caracterización de los kiwis

La caracterización de la materia prima se llevó a cabo a partir de kiwis siempre de la misma procedencia y de la misma calidad, trabajando desde febrero a abril. Los análisis se realizaron para estudiar la variabilidad de la materia cuando es sometida a un tratamiento térmico. Los parámetros analizados del líquido sobrenadante obtenido de la centrifugación antes de ser atomizado, fueron los siguientes: °Brix, pH, acidez, el color y la actividad antioxidante.

### Sólidos solubles totales (SST)

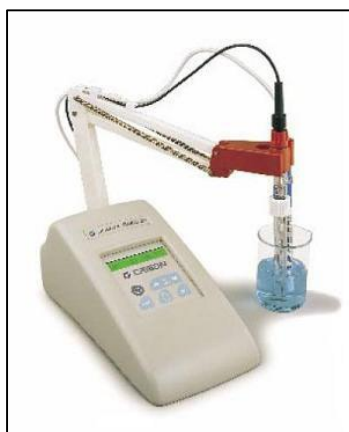
El contenido de sólidos solubles totales se determinó mediante un refractómetro manual (Atago, 0-32 °Brix, resolución 0,2 % con compensación automática de la temperatura) realizando seis mediciones para cada producto.



**Figura 3:** Refractómetro manual (fuente: imagen tomada de Atago, recuperada el 30 de abril de 2015 de [www.atago.net](http://www.atago.net))

### pH

Se midió con un pH-metro de punzón (Crison PH 25, con electrodo de pH de penetración 52-32, pH 2-11) realizando seis mediciones para cada producto.



**Figura 4:** pH-metro de punzón (fuente: imagen tomada de ICTSL, recuperada el 30 de abril de 2015 de [www.ictsl.net](http://www.ictsl.net))

### Acidez titulable

Se pesaron 10 g de muestra a los que se adicionaron 90 ml de agua destilada. El porcentaje de acidez se expresó en g de ácido cítrico/100 g de materia seca (MS) y se determinó por titulación de esta solución con NaOH 0,1 N, hasta pH final de 8,1 (A.O.A.C., 2005) utilizando un

valorador automático (Compact Titrator Crison, Italia) y se calculó mediante la fórmula 4. Se realizaron tres repeticiones de cada producto.

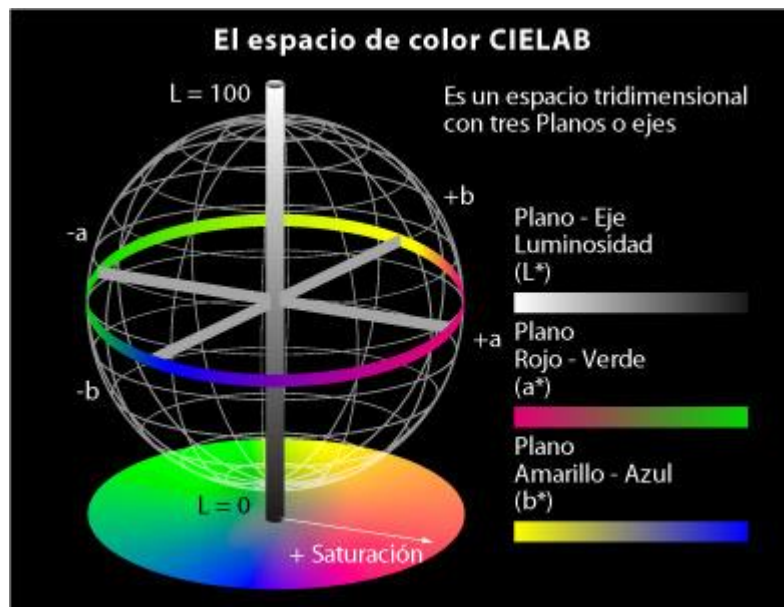
$$\% \text{ de acidez} = \frac{(ml \text{ NaOH}) \times (N_{\text{NaOH}}) \times (\text{Factor de acidez}) \times 100}{\text{Peso de la muestra g}} \quad (4)$$

Siendo N la normalidad del NaOH.

### Color

El color de las muestras se midió por reflexión, utilizando un espectrómetro portátil (Minolta CM-2500d) y el espacio de color CIELab. Se empleó el iluminante D65 (luz de día que contiene un componente ultravioleta, temperatura de color 6504K) y el ángulo de observador 10 °. El valor L\* es una medida de la luminosidad de la muestra, varía entre 0 (negro) y 100 (blanco) y cuanto mayor sea este valor más claro es el color. El valor representa un ángulo en un círculo de color de 360 °, donde 0, 90, 180 y 270 ° representan el color rojo/púrpura, amarillo, verde y azul, respectivamente (Maskan, 2001).

Para la medida de muestras líquidas se utilizó un adaptador cilíndrico de 3 cm de alto y 3,5 cm de diámetro, realizando diez lecturas de cada producto.



**Figura 5:** Espacio de color CIELAB (fuente: imagen tomada de Gusgsm, recuperada el 30 de abril de 2015 de [www.gusgsm.com](http://www.gusgsm.com))

### Actividad antioxidante

El potencial antioxidante total de las muestras se evaluó empleando el método DPPH, basado en la capacidad de las sustancias antioxidantes para captar radicales libres, midiendo la absorbancia a 515 nm en espectrofotómetro UV-visible (Bobo-Garcia et al., 2015).

En primer lugar se elaboró una recta patrón con 500µM Trolox (0,0125 g/ 100ml Agua: Etanol (50:50)) mediante diluciones de 50, 100, 200, 400 y 500 µM en un volumen final de 10ml (50:50, Agua: Etanol).

Para realizar la extracción se pesaron 0,4 g de muestra y se le añadieron 8ml de solvente (800g/l metanol + 10g/l ácido clorhídrico), se mezclaron 3h a 200rpm y 20°C, después se centrifugó 30min a 1089g; se cogió el sobrenadante y se añadió solvente hasta 10ml (Mrkic, Cocci, Rosa, & Sacchetti, 2006).

20 µl de extracto de la muestra se mezcló en una microplaca con 180 µl de solución DPPH (0,0058g DPPH en metanol con agua 80:20) y, pasados 40 minutos, se midió la absorbancia a 515 nm. El porcentaje de inhibición se calculó con la ecuación 5 y la capacidad antioxidante en la muestra se expresó en equivalentes de Trolox con la ecuación 6 obtenida a partir de la curva de calibración.

$$\% \text{ Inhibición DPPH} = \left( 1 - \left( \frac{\Delta Abs_{Muestra}}{Abs_{BR}} \right) \right) * 100 \quad (5)$$

Donde,  $\Delta Abs_{Muestra} = Abs_{Muestra} - Abs_{Blanco\ muestra}$

El blanco es 20 µl de solvente + 180 µl metanol con agua (80:20), el blanco de reactivo es 20 µl de solvente con 180 µl DPPH y el blanco de las muestra es 20 µl muestras y 180 µl metanol con agua (80:20).

$$mmol\ Trolox\ eq. = \frac{\% \text{ inhibición DPPH} - 3.163}{0.139 * 1000} \quad (6)$$

### 2.2.3. Kiwi deshidratado

#### Rendimiento

Para obtener el rendimiento se calculó la masa esperada de kiwi deshidratado, determinando para ello los °Brix y el peso de la muestra y se relacionó con la cantidad de masa obtenida (Fontes et al., 2014) utilizando para ello las formulas 7 y 8.

$$Masa_{esperada\ de\ polvo\ de\ kiwi}\ (g) = \frac{^{\circ}Brix_{muestra} * Masa_{muestra}}{100} \quad (7)$$

$$Rendimiento\ (\%) = \frac{Masa_{polvo\ obtenido}}{Masa_{esperada\ de\ polvo}} * 100 \quad (8)$$

### Actividad de agua ( $a_w$ )

Se utilizó un sensor LabMaster-aw Novasina (Suiza) que permite determinar la fracción de agua libre de las muestras de alimentos, cosméticos o fármacos. Previo a las determinaciones, el equipo fue calibrado con sales de calibración (SAL-T) de actividad de agua conocida realizando seis lecturas de cada producto.



**Figura 6:** Sensor LabMaster- aw (fuente: imagen tomada de Novasina, recuperada el 30 de abril de 2015 de <http://www.novasina.com/en/Products.htm>)

### Contenido de humedad

Para la medida de la humedad del producto deshidratado se utilizó una balanza con cámara de desecación Gram modelo ST-H50. Esta balanza está diseñada especialmente para la determinación de la humedad contenida en pequeñas muestras de materiales a través del secado de la muestra con un calentador halógeno incorporado. Se realizaron tres lecturas para cada producto.

Se utilizó el porcentaje de humedad respecto al peso inicial, como podemos ver en la ecuación (11).

$$Humedad\ (\%) = (Peso_{perdido} / Peso_{inicial}) * 100 \quad (9)$$

La muestra tiene que pesar de entre 2 y 4 gramos. Las variables del proceso fijadas fueron: temperatura de 100 °C e intervalos de 10 s. El ensayo finaliza cuando existan 3 intervalos consecutivos que sean del mismo valor o el tiempo límite se haya sobrepasado.



**Figura 7:** Balanza con cámara de desecación Gram modelo ST-H50 (fuente: imagen tomada de Gram Precision, el 7 de mayo de 2015 de <http://www.gram.es/esp/>)

### Higroscopicidad

La higroscopicidad de los polvos atomizados se evaluó en cada producto por triplicado, esparciendo 1 g, exactamente, (denominado " $P_{inicial}$ ") en una placa Petri (9 cm de diámetro), se dejaron las placas en un desecador a  $20 \pm 1$  °C y  $75 \pm 1$  % encima de una solución saturada de NaCl durante 7 días. Después se pesó ( $P_{final}$ ), (Sun-Waterhouse & Waterhouse, 2014) y se calculó con la ecuación 12.

$$\text{Higroscopicidad (g H}_2\text{O/g polvo)} = (P_{final} - P_{inicial})/P_{inicial} \quad (10)$$

Siendo P el peso de las muestras

### Tiempo de rehidratación

La rehidratación del polvo se llevó a cabo por triplicado para cada producto, mediante la adición de 1,0 g de cada muestra en 25 ml de agua destilada a 25 °C bajo agitación, con la ayuda de un agitador magnético (2,0 × 7,0 mm) hasta que el polvo se disolvió completamente. El tiempo de rehidratación se expresó como el tiempo requerido (segundos) para la disolución total del polvo (Fontes et al., 2014).

### Solubilidad

Para la determinación de la solubilidad, se añadió 1 g de kiwi deshidratado a 25 ml de agua destilada y se mantuvo en agitación durante 5 min. Se transfirió la solución a un tubo y se



centrifugó durante 5 min a 2600 rpm. Una alícuota de 20ml del líquido sobrenadante obtenido de la centrifugación, se transfirió a una placa Petri, se secó durante 5 horas a 105 °C. El porcentaje de solubilidad (masa de polvo/volumen de solución) se calculó sobre la base de la diferencia de peso (Marques et al., 2014) realizando tres repeticiones para cada producto.

$$\text{Solubilidad (\%)} = (P_{\text{final}}/P_{\text{inicial}}) * 100 \quad (11)$$

#### **pH, acidez titulable, color y actividad antioxidante**

El pH, la acidez, el color y la actividad antioxidante se determinaron al igual que lo indicado para el producto inicial, pero en el caso de la medida de pH, acidez y color se analizó a partir del producto rehidratado con agua potable hasta obtener un producto con la misma cantidad de sólidos solubles en la fracción líquida que los presentes en el producto inicial después de la adición de maltodextrina (Fontes et al., 2014).

Para calcular la cantidad de agua a añadir en cada caso se emplearon los correspondientes balances de materia:

$$M_{PR} = M_P + M_W \quad (12)$$

$$M_{PR} * X_{KS} = M_P * X_P + M_W * X_W \quad (13)$$

Siendo:  $M_{PR}$ = Masa final de producto en polvo rehidratado (g);  $M_W$ = Masa de agua (g);  $M_P$ = Masa de producto en polvo (g);  $X_{KS}$ = Humedad inicial de puré o licuado de kiwi con solutos (g agua/100g de producto);  $X_W=1$  (g agua/100g de producto);  $X_P$ = Humedad del producto en polvo (g agua/100g de producto).

#### **2.2.4. Análisis estadístico**

Los resultados obtenidos en este estudio fueron analizados estadísticamente utilizando el programa informático Statgraphics Centurion V.I. (Estados Unidos). El análisis estadístico de los datos se realizó mediante un análisis de varianza (ANOVA), para verificar la influencia de cada parámetro en las muestras evaluadas.

### **2.3. DISEÑO EXPERIMENTAL**

Se utilizó un diseño factorial de dos vías, para lo cual se eligieron dos variables experimentales (% de maltodextrina y temperatura) y se seleccionaron tres y dos niveles para cada una. El efecto de estos factores se estudió mediante la comparación de los diferentes análisis realizados sobre el producto.

Para llevar a cabo este diseño experimental fue necesario realizar las siguientes atomizaciones:

3 porcentajes de maltodextrina \* 2 temperaturas \* 2 repeticiones = 12 atomizaciones.

En la figura 9 se representa el diagrama de flujo del proceso, comenzando con la preparación de las muestras y seguido por el tratamiento de atomización, como podemos ver con más detalle a continuación.

### 2.3.1. Preparación de las muestras

Se utilizaron kiwis cv. "Hayward" almacenados en cajas de cartón, conservados en cámaras de refrigeración a 2 °C desde su recepción hasta su procesamiento.

Los kiwis se seleccionaron, pelaron mecánicamente con cuchillo, cortaron en trozos y a continuación se trituraron con la ayuda de una batidora durante 30 segundos

El puré se traspasó a unos tubos para ser centrifugados en una centrifugadora (Selecta Medifriger BL-S) a 5000 rpm, durante 25 minutos a 4 °C (Sun-Waterhouse & Waterhouse, 2014). Una vez centrifugadas las muestras, se separó el sobrenadante que será la parte destinada a la atomización.

La parte líquida antes de ser atomizada, se filtró con la ayuda de un paño de malla para eliminar los sólidos suspendidos. El rendimiento del puré y de la parte líquida fue de una fracción de 43 % y 57 % en peso húmedo. Se añadió un agente transportador, en este caso maltodextrina DE 10 para que proteja los compuestos más termolábiles del kiwi así como para que aumente la tg y no se produzca la transición vítrea de los azúcares, ya que esta fruta presenta un alto contenido glucémico. Para que este agente transportador se disuelva correctamente fue necesaria la ayuda con un agitador magnético (IKAMAG PCT).

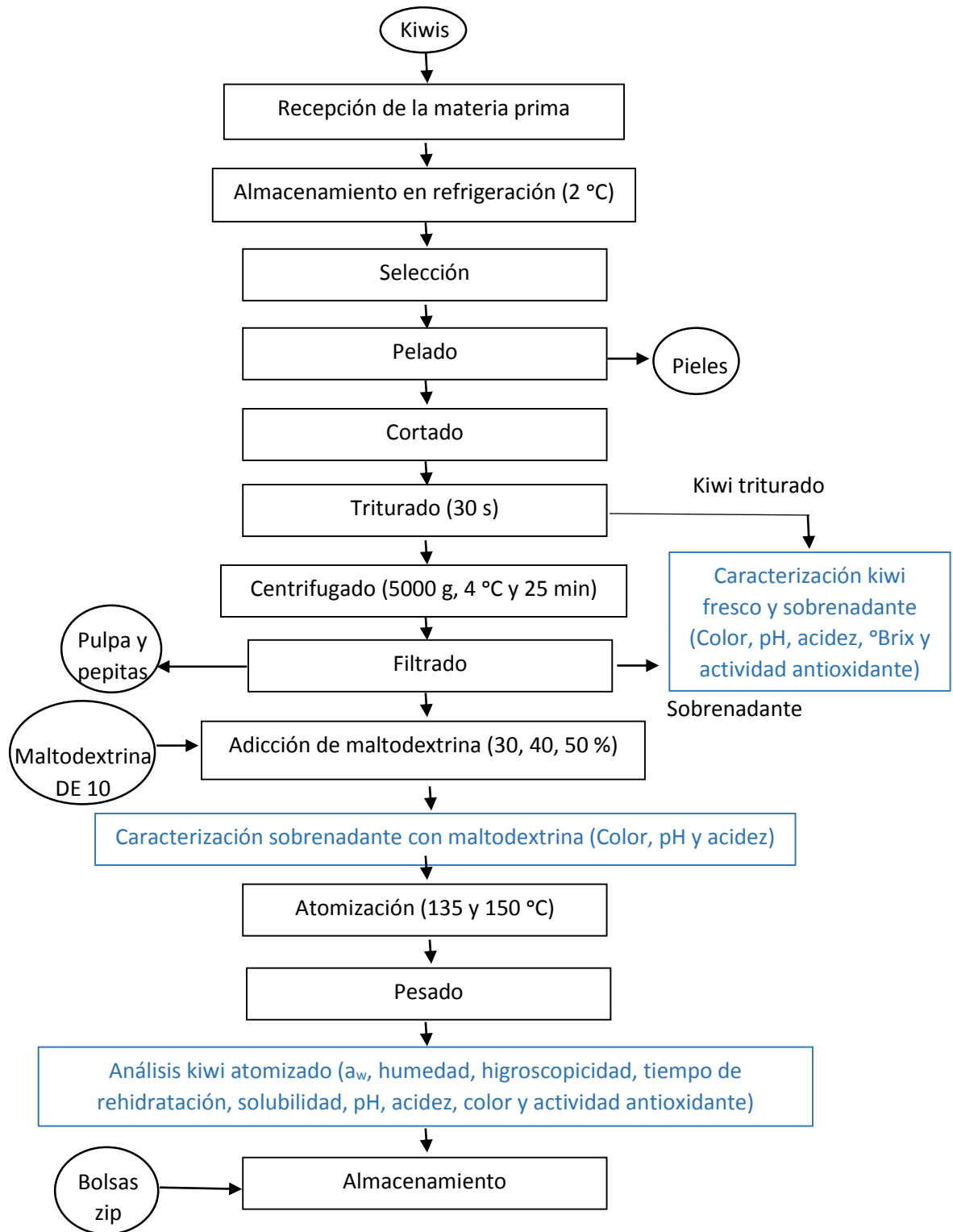
### 2.3.2. Tratamiento

Para la obtención del kiwi en polvo, se utilizó un atomizador Büchi (figura 8) a escala de laboratorio (mini spray dryer B-191, Reino Unido).



**Figura 8:** Mini spray dryer B-191 (fuente: imagen tomada de Net InterLab, el 20 de mayo de 2015 de [www.net-interlab.com](http://www.net-interlab.com)).

El producto deshidratado obtenido fue recogido, pesado y almacenado en bolsas zip (de 6 cm de ancho y 8 cm de alto), en un desecador con gel de sílice y cierre de silicona al resguardo de la luz hasta el momento de su análisis.



**Figura 9:** Diagrama de flujo del proceso de atomización del kiwi.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. DEFINICIÓN DE LA COMPOSICIÓN DEL PRODUCTO Y DE LAS CONDICIONES DE ATOMIZACIÓN

##### 3.1.1. Determinación de la concentración de maltodextrina

Las concentraciones elegidas en base a estudios previos sobre deshidratación de frutas y a las características del producto analizadas en el apartado de “introducción y objetivos”, fueron de 50, 40 y 30 % sobre el producto final deshidratado. Utilizando tres cantidades diferentes vimos la influencia que la maltodextrina tiene durante el deshidratado y si existen diferencias en cuanto al producto final. Para este estudio usamos una maltodextrina de 10 DE, que es moderada, para obtener un producto deshidratado con menor higroscopicidad, menor actividad de agua y mayor solubilidad, que con mayores o menores DE.

#### Temperatura de transición vítrea

La Tg del producto nos ayudó a fijar una temperatura del aire de entrada del equipo, por lo que en primer lugar, para poder determinar la Tg de la mezcla, estimamos cuál sería la Tg de del kiwi y de la maltodextrina.

- **Tg kiwi**

En un estudio se calculó la temperatura de transición vítrea del kiwi a partir de los azúcares que éste contiene a diferentes contenidos de agua, con el modelo de Gordon y Taylor, obteniendo unos valores de  $T_{g(as)} = 40,3^{\circ}\text{C}$  y  $k=4,88$  mediante cálculos experimentales (Moraga et al., 2006).

- **Tg maltodextrina**

Utilizamos una maltodextrina DE 10-12 que según Goula & Adamopoulos (2010) presenta una Tg de  $159,6^{\circ}\text{C}$ . Utilizando maltodextrina de equivalentes de dextrosa medios se obtiene un producto más soluble, menos higroscópico y con menos humedad que con DE mayores o menores.

- **Tg mezcla de kiwi con maltodextrina**

La Tg de una mezcla de componentes sólidos, como zumo de kiwi con maltodextrina, puede determinarse usando una relación de masas. A partir de los correspondientes cálculos (fórmula 3), se determinó que la Tg de la mezcla al 50 % de maltodextrina fue de  $99,95^{\circ}\text{C}$ , la de 40 %  $88,02^{\circ}\text{C}$  y la de 30 %  $76,09^{\circ}\text{C}$ . Podemos observar cómo varía la Tg en función del contenido de maltodextrina, viendo como aumenta al aumentar el contenido en solutos de la mezcla (Phisut, 2012). Una vez conocida la Tg del producto podemos ajustar las condiciones del proceso, pudiendo trabajar con temperaturas de salida del aire de hasta  $20^{\circ}\text{C}$  por encima de la Tg.

### 3.1.2. Estudio de los parámetros del atomizador

Son varios los parámetros a fijar antes de poner en marcha el equipo de atomización, como el caudal de aspiración de aire, el flujo del producto y la temperatura de entrada del aire.

#### 3.1.2.1. Caudal de aspiración de aire

El equipo nos indica el caudal del aire de secado mediante porcentajes de la bomba de aspiración por lo que, en primer lugar, para poder trabajar con datos reales, se determinó la velocidad de salida del aire a diferentes porcentajes, con la ayuda de un anemómetro (Almemd 2290-8 VS, Estados Unidos) y, de esta manera, se procedió a calcular el caudal, como podemos ver en la tabla 3.

**Tabla 3:** Caudal del aire de aspiración a diferentes porcentajes de la bomba de aspiración del equipo de atomización.

Bomba aspiración (%)	V (m/s)	D (m)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q (L/h)
50	1,925	0,043	0,0028	10063,75
60	5,100	0,043	0,0074	26662,41
70	6,340	0,043	0,0092	33145,04
80	7,070	0,043	0,0103	36961,43
90	7,770	0,043	0,0113	40620,97
100	8,030	0,043	0,0117	41980,23

Siendo, V: la velocidad del aire de salida, D: el diámetro del conducto de salida del aire y Q: el caudal de aspiración.

Estudios que emplearon el mismo modelo de atomizador para el deshidratado de frutas trabajaron en un rango de 60-100 % de la bomba de aspiración (Yousefi et al., 2011). La ficha técnica del equipo nos recomienda trabajar con 80 % para deshidratación de frutas, por lo que éste fue uno de los parámetros que se fijaron para el trabajo, lo que equivale a 0,0103 m<sup>3</sup>/s.

#### 3.1.2.2. Flujo de alimentación

Se calculó el flujo de alimentación del producto mediante la determinación de la cantidad que el equipo es capaz de procesar en un determinado tiempo.

Para ello se seleccionaron cuatro porcentajes de la bomba de producto medio-bajos (que son los habituales en el tratamiento de alimentos) y se determinó la velocidad de procesado en cada uno de los diferentes porcentajes midiendo los tiempos que necesita para pulverizar una determinada cantidad de producto. Los datos obtenidos están recogidos en la tabla 4.

**Tabla 4:** Caudal de pulverización del producto dependiendo del % de la bomba del producto del equipo de atomización.

Bomba de producto (%)	Q (ml/s)	Q (ml/min)	Q (kg/s)
20	0,07	4,49	$7,49 \times 10^{-5}$
30	0,10	5,85	$9,76 \times 10^{-5}$
40	0,13	7,89	$13,16 \times 10^{-5}$
50	0,15	9,02	$15,04 \times 10^{-5}$

Sabemos que altos caudales implican un menor contacto producto-aire de secado, por lo que utilizamos unos porcentajes de la bomba del producto bajo; de esta manera conseguimos que la transferencia de calor fuera más eficiente y reducimos la adherencia del producto en las paredes del equipo.

En nuestro caso, utilizamos un caudal del 25 % con una velocidad de flujo del producto aproximadamente de 5 ml/min, para conseguir una correcta evaporación del agua, al igual que utilizaron Fontes et al., (2014) utilizando en el mismo equipo una velocidad de 5 ml/min para piña, melón y naranja.

### 3.1.2.3. Determinación de la temperatura de entrada y salida del aire

Nuestro objetivo fue conseguir una correcta atomización a la menor temperatura posible ya que de esta manera se ven menos afectadas las propiedades del kiwi. Su alto contenido en azúcares nos indica que presenta una baja Tg, por lo que no sobrepasando más de 20 °C la Tg del producto a deshidratar, evitaremos una mayor concentración de producto adherido a las paredes del equipo.

Estudios previos muestran que el rango de temperatura del aire de entrada para la atomización de frutas es entre 130 y 150 °C. (Chegini & Ghobadian, 2007; Naddaf et al., 2012; Yousefi et al., 2011).

Para la determinación de las temperaturas a analizar en este trabajo, en primer lugar se estudió la temperatura de salida del aire a diferentes temperaturas de entrada y a tres porcentajes de la bomba de producto, fijando en 80% la bomba de aspiración, utilizado para ello el mismo producto a atomizar, el jugo de kiwi, como podemos ver en la tabla 5.

**Tabla 5:** Temperatura de salida del aire en función de la temperatura de entrada y el % de la bomba del producto del equipo de atomización.

Temperatura del aire de entrada (°C)	Temperatura del aire de salida (°C)		
	20% Bomba producto	25% Bomba producto	30% Bomba producto
130	84	80	74
135	90	85	79
140	93	89	82
145	99	93	88
150	103	97	93

Al igual que lo observado por Phisut (2012), el aumento de la temperatura del aire de entrada redujo el rendimiento y produjo un aumento de la adherencia del producto a las paredes del equipo

Como ya se ha comentado anteriormente, la Tg de la mezcla al 50 % de maltodextrina es de 99,95 °C, la de 40 % 88,02 °C y la de 30 % 76,09 °C. Como podemos trabajar a una temperatura hasta 20°C superior a la de la Tg, las dos temperaturas de entrada que fijamos fueron de 135 °C y 150 °C, con sus correspondientes temperaturas, de salida del producto 85 °C y 97 °C. Ambas temperaturas inferiores a Tg + 20 °C, favoreciendo una menor adherencia del producto a las paredes del equipo y, de esta manera, aumentando el rendimiento de la atomización.

### 3.2. CARACTERIZACIÓN DEL KIWI FRESCO Y DEL SOBRENADANTE

- **Parámetros físico-químicos**

Los valores obtenidos de sólidos solubles totales, pH, acidez y color del kiwi inicial, del sobrenadante obtenido de la centrifugación y de ese con tres porcentajes diferentes de maltodextrina (30, 40 y 50 % sobre el producto final) se muestran en la Tabla 6.

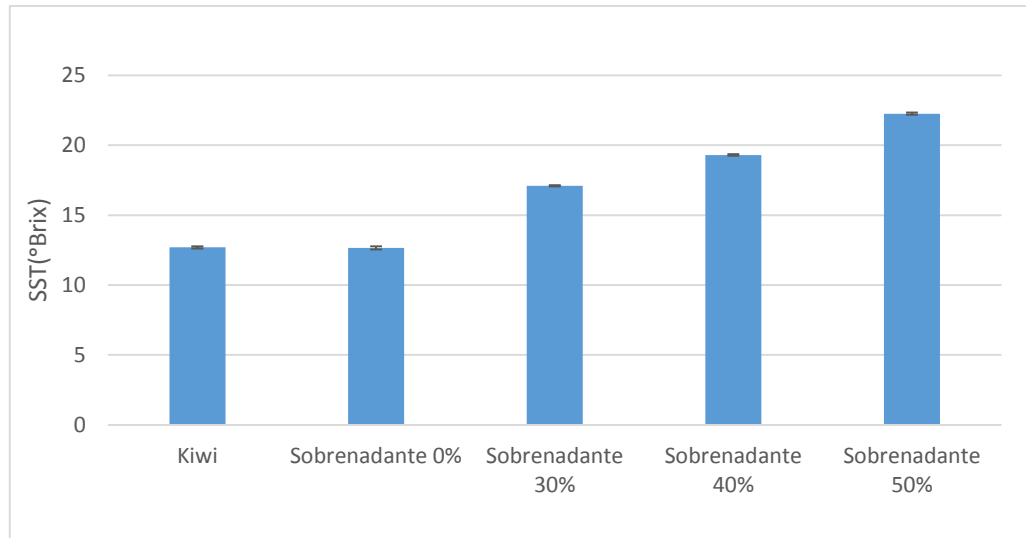
**Tabla 6:** Sólidos solubles totales (°Brix), pH, acidez (%) y coordenadas de color (L\*, a\* y b\*) del kiwi y del sobrenadante con maltodextrina (0, 30, 40 y 50%).

Muestra	SST(°Brix)	PH	Acidez (%)	L*	a*	b*
Kiwi	12,69 ± 0,08 <sup>a</sup>	3,41 ± 0,08 <sup>a</sup>	1,30 ± 0,00 <sup>a</sup>	38,4 ± 3,14 <sup>a</sup>	-4,26 ± 0,83 <sup>a</sup>	25,47 ± 2,86 <sup>a</sup>
Sobrenadante 0%	12,66 ± 0,11 <sup>a</sup>	3,40 ± 0,09 <sup>a</sup>	1,30 ± 0,00 <sup>a</sup>	0,30 ± 0,05 <sup>b</sup>	1,49 ± 0,33 <sup>b</sup>	0,38 ± 0,09 <sup>b</sup>
Sobrenadante 30%	17,10 ± 0,05 <sup>b</sup>	3,40 ± 0,00 <sup>a</sup>	1,30 ± 0,00 <sup>a</sup>	1,97 ± 0,13 <sup>c</sup>	10,51 ± 0,44 <sup>c</sup>	3,21 ± 0,17 <sup>c</sup>
Sobrenadante 40%	19,30 ± 0,06 <sup>c</sup>	3,41 ± 0,03 <sup>a</sup>	1,30 ± 0,00 <sup>a</sup>	2,22 ± 0,12 <sup>c</sup>	11,63 ± 0,43 <sup>d</sup>	3,68 ± 0,20 <sup>c</sup>
Sobrenadante 50%	22,26 ± 0,09 <sup>d</sup>	3,40 ± 0,00 <sup>a</sup>	1,30 ± 0,00 <sup>a</sup>	4,95 ± 0,20 <sup>d</sup>	19,71 ± 0,31 <sup>e</sup>	8,38 ± 0,35 <sup>d</sup>

Valor medio ± SD (desviación estándar). Superíndices: letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas en cada columna (p<0,05).



En primer lugar, si analizamos los valores obtenidos de sólidos solubles, observamos que el kiwi inicial no presentó diferencias significativas con el centrifugado ( $p < 0,05$ ), siendo de 12,7 °Brix, pero si le añadimos maltodextrina (ya que este producto está compuesto por carbohidratos solubles), conforme aumentamos la cantidad, también lo hacen los °Brix (figura 10).



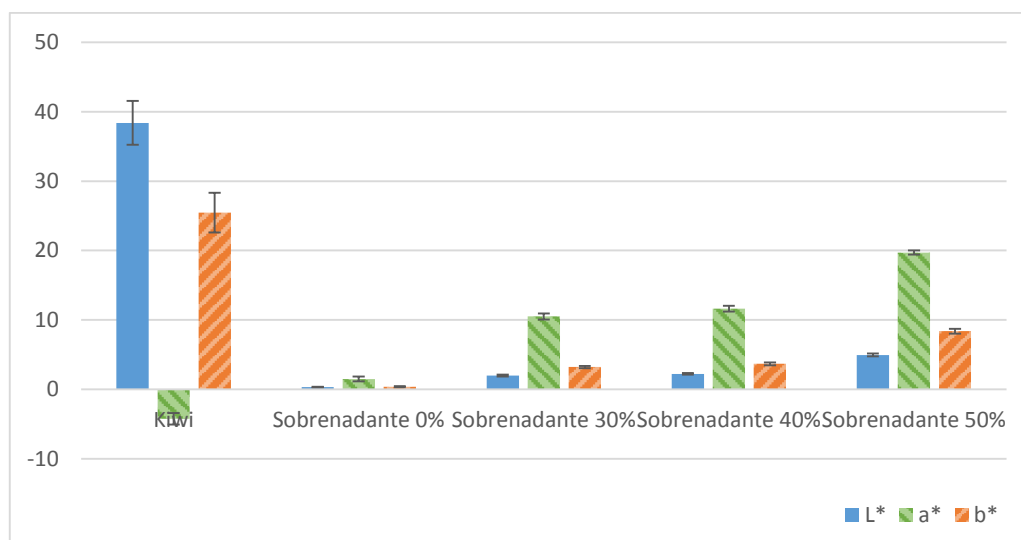
**Figura 10:** Sólidos solubles totales (°Brix) correspondientes al kiwi fresco y centrifugado con diferentes concentraciones de maltodextrina (valores medios y desviación estándar,  $n =$  seis).

En la tabla 6, podemos observar que no existen diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en cuanto al pH y acidez de las diferentes muestras analizadas, por lo que ninguno de los dos parámetros se vio influenciado al añadir maltodextrina ni al centrifugar. Tenemos un valor medio de 3,4 en cuanto a pH y de 1,3 para la acidez, en todos los casos. Valores similares fueron obtenidos en otros estudios (Benlloch-Tinoco et al., 2014; Celik, Ercisli, & Turgut, 2007; Zolfaghari, Sahari, Barzegar, & Samadloiy, 2010).

Por el contrario, el color sí que se vio afectado significativamente ( $p < 0,05$ ) en todos los casos en sus tres coordenadas, aumentando el valor de estas a mayor contenido de maltodextrina como podemos ver en la figura 11.

En primer lugar comprobamos que, al centrifugar el kiwi, la coordenada  $L^*$  bajaba debido a que el sobrenadante es un producto más diluido y presenta menos saturación de luminosidad; por la misma razón, al añadir maltodextrina fue aumentando debido a que aumentan los sólidos solubles dándole un color más blanquecino.

La coordenada  $a^*$  aumentó pasando de un valor negativo en el caso del kiwi (verde) a unos tonos más claros y la  $b^*$  disminuyó a unos tonos menos amarillos pero que van aumentando cuando lo hace la cantidad de maltodextrina.



**Figura 11:** Coordenadas de color (L\*, a\* y b\*) correspondientes al kiwi fresco y centrifugado con diferentes concentraciones de solutos (valores medios y desviación estándar, n = diez).

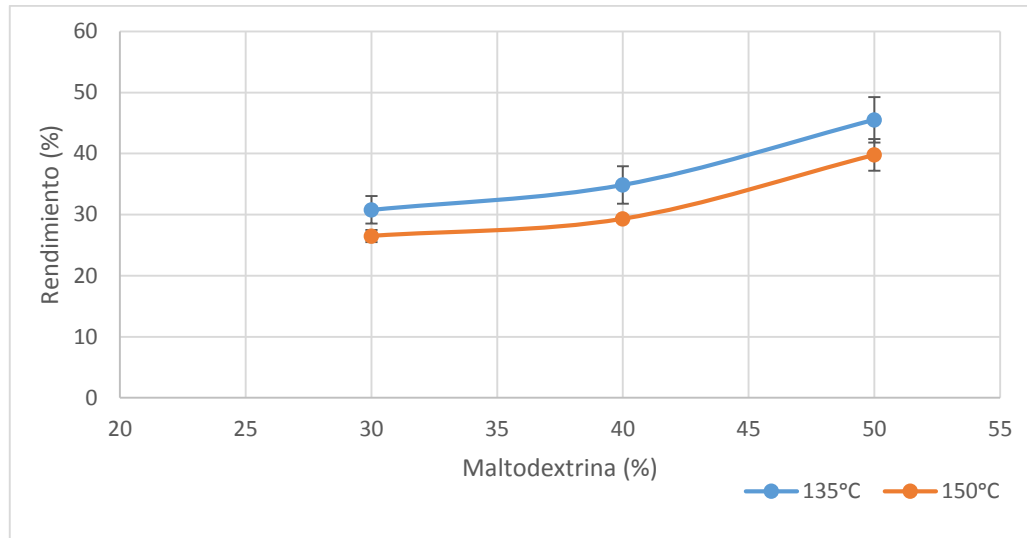
- **Parámetros nutricionales**

La actividad antioxidante fue similar tanto en el kiwi fresco ( $3,29 \pm 0,21$ ) como en el producto a atomizar, el sobrenadante ( $2,78 \pm 0,06$ ), siendo significativamente ( $p < 0,05$ ) menor en este último que en el kiwi. En otros trabajos sobre kiwi fresco, WU NG (2013) evaluó el potencial antioxidante obteniendo un valor de 4,19 mM Trolox /g y Benlloch-Tinoco et al., (2014) un valor de 5,81 mM Trolox /g, siendo esto valores mayores que los obtenidos en este trabajo.

### 3.3. EFECTO DEL TRATAMIENTO A DIFERENTES TEMPERATURAS Y CONCENTRACIONES DE MALTODEXTRINA

- **Parámetros tecnológicos**

En primer lugar, si analizamos los valores de rendimiento obtenidos podemos ver que se obtuvieron mejores resultados a menor temperatura y con la mayor cantidad de maltodextrina (figura 12). Esto puede ser debido a que, cuanto más maltodextrina tenga el producto, mayor será su Tg y, como consecuencia, durante el secado en el atomizador se produce menos adherencia del producto a las paredes del equipo. De acuerdo con Phisut (2012) y Chegini & Ghobadian (2007), cuanto menor es la temperatura de tratamiento y cuanto mayor sea la concentración de maltodextrina mayor es el rendimiento.



**Figura 12:** Rendimiento (%) correspondiente a la atomización de kiwi con diferentes concentraciones de solutos y diferente temperatura de procesado (valores medios y desviación estándar, n= dos).

### 3.3.1. Calidad del kiwi deshidratado en polvo

- **Parámetros físico-químicos**

En primer lugar se analizó el color sobre el producto deshidratado. Las diferencias en las propiedades ópticas del kiwi deshidratado, se debieron a las diferentes concentraciones de solutos y a la temperatura del tratamiento recibido como podemos ver en la tabla 7.

**Tabla 7:** Coordenadas de color del kiwi atomizado a diferentes temperaturas y cantidad de maltodextrina.

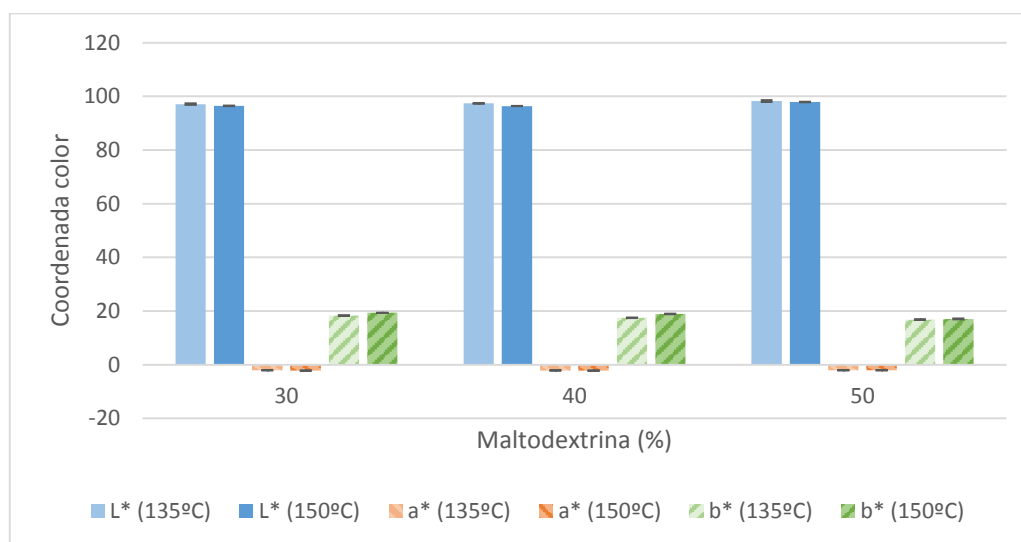
Temperatura (°C)	Maltodextrina (%)	L*	a*	b*
135	50	98,26±0,40 <sup>a</sup>	-2,08±0,03 <sup>a</sup>	16,84±0,12 <sup>a</sup>
135	40	97,38±0,08 <sup>b</sup>	-2,13±0,08 <sup>b</sup>	17,50±0,13 <sup>b</sup>
135	30	97,09±0,29 <sup>b</sup>	-2,08±0,03 <sup>c</sup>	18,35±0,09 <sup>c</sup>
150	50	97,87±0,15 <sup>c</sup>	-2,10±0,01 <sup>d</sup>	17,06±0,10 <sup>d</sup>
150	40	96,35±0,06 <sup>d</sup>	-2,22±0,01 <sup>e</sup>	18,94±0,07 <sup>e</sup>
150	30	96,45±0,12 <sup>d</sup>	-2,15±0,02 <sup>f</sup>	19,36 ±0,16 <sup>f</sup>

Valor medio ± SD (desviación estándar). Superíndices: letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas en cada columna (p<0,05).

La luminosidad del color del producto se vio significativamente afectada por la temperatura del tratamiento y la concentración de maltodextrina. Se observó un aumento de  $L^*$  al aumentar la concentración de solutos del 40 al 50% pero no del 30 al 40%, con unos valores de  $L^*$  de 96,35 a 98,26, esto quiere decir que el producto es muy claro.

La coordenada  $a^*$  presentó unos valores negativos (de -2,08 a -2,22), es decir con tonos verdes. La  $b^*$  presentó valores positivos (de 16,84 a 19,36) con tonos amarillentos que, al igual que la coordenada  $a^*$ , disminuyó al aumentar la temperatura del tratamiento (figura 15).

Estos valores de color fueron similares a los obtenidos por Sun- Waterhouse & Waterhouse (2014) en kiwi atomizado con leche.



**Figura 13:** Coordenadas de color ( $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ ) correspondientes al kiwi deshidratado con diferentes concentraciones de solutos y diferentes temperaturas de procesado (valores medios y desviación estándar, n = diez).

Una vez medido el color, se realizaron análisis para comprobar la estabilidad del producto:  $a_w$ , humedad, higroscopicidad, tiempo de rehidratación y solubilidad (tabla 8).

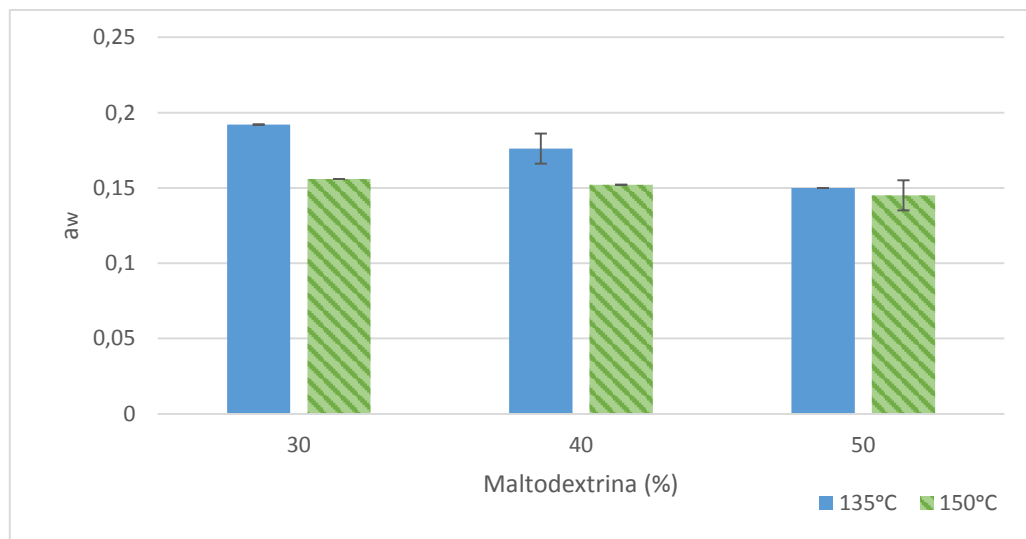
**Tabla 8:** Actividad de agua, humedad (%), higroscopicidad ( $g H_2O/g$  polvo), tiempo de rehidratación (s) y solubilidad (%) del kiwi atomizado a diferentes temperaturas de tratamiento y porcentajes de maltodextrina.

Temperatura (°C)	Maltodextrina (%)	$a_w$	Humedad (%)	Higroscopicidad ( $g H_2O/g$ polvo)	Tiempo de rehidratación (s)	Solubilidad (%)
135	50	0,150±0,000 <sup>a</sup>	3,15±0,16 <sup>a</sup>	0,21±0,00 <sup>a</sup>	60,00±1,00 <sup>a</sup>	99,19 ±0,20 <sup>a</sup>
135	40	0,176±0,001 <sup>b</sup>	3,19±0,09 <sup>ab</sup>	0,22±0,01 <sup>b</sup>	61,33±0,58 <sup>b</sup>	92,00±3,31 <sup>b</sup>
135	30	0,192±0,000 <sup>c</sup>	3,25±0,24 <sup>b</sup>	0,23±0,00 <sup>c</sup>	61,67±1,53 <sup>c</sup>	88,75±2,50 <sup>c</sup>
150	50	0,145 ±0,000 <sup>d</sup>	2,66±0,12 <sup>c</sup>	0,25±0,01 <sup>d</sup>	84,33±5,69 <sup>d</sup>	98,24±0,00 <sup>d</sup>
150	40	0,152±0,000 <sup>e</sup>	2,72±0,06 <sup>cd</sup>	0,27±0,01 <sup>e</sup>	91,00±1,00 <sup>e</sup>	95,09±0,63 <sup>e</sup>
150	30	0,156±0,001 <sup>f</sup>	2,86±0,17 <sup>d</sup>	0,30±0,00 <sup>f</sup>	98,00±3,61 <sup>f</sup>	89,99±0,07 <sup>f</sup>

Valor medio  $\pm$  SD (desviación estándar). Superíndices: letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas en cada columna ( $p < 0,05$ ).

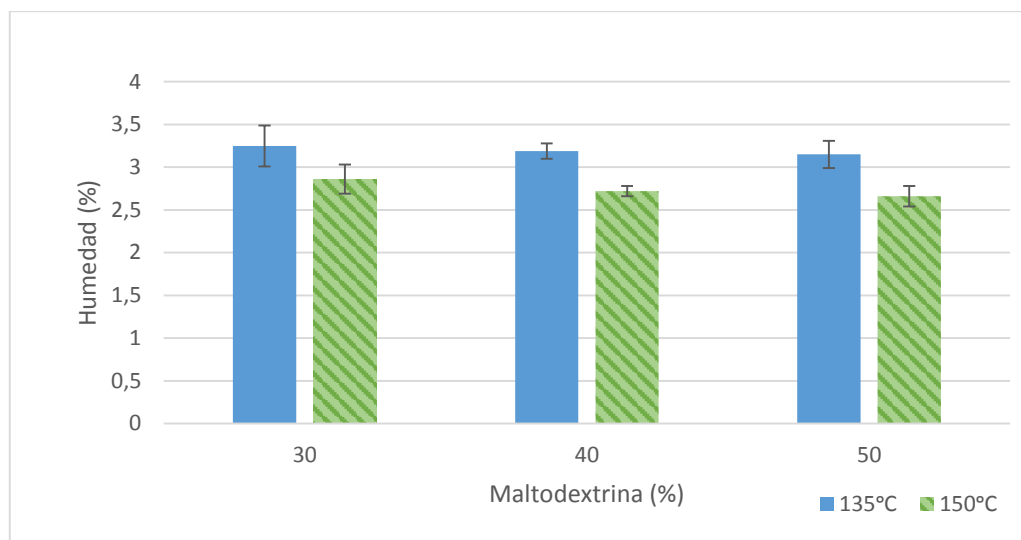
Una alta actividad de agua nos indica más agua libre disponible para el crecimiento microbiano, más facilidad para que se produzcan reacciones bioquímicas y una vida útil más corta, pero estos cambios pueden evitarse con  $a_w < 0,6$  (Fontes et al., 2014).

Como podemos ver en la tabla 8, existen diferencias significativas en cuanto a la  $a_w$  ( $p < 0,05$ ). Presentó unos valores desde 0,145 a 0,192 (figura 14) por lo que podemos clasificar los productos como estables microbiológica y bioquímicamente. Estos resultados son menores que los recogidos en un estudio sobre kiwi con leche en polvo (0,26-0,28) (Sun-Waterhouse & Waterhouse, 2014) y piña, melón y naranja donde, como máximo, fue de 0,212 (Fontes et al., 2014).



**Figura 14:** Actividad de agua correspondiente al kiwi atomizado con diferentes concentraciones de solutos y diferente temperatura de procesado (valores medios y desviación estándar,  $n = seis$ ).

En cuanto a la humedad, encontramos diferencias significativas entre diferentes temperaturas de atomización y los porcentajes de 30 y 50 de maltodextrina, pero no entre éstos y el de 40. Al incrementar la temperatura, disminuyó la humedad y al aumentar la cantidad de maltodextrina, también lo hizo la humedad (figura 15), de acuerdo a lo observado con Phisut, (2012) y Duduku, Rajesh, & Sarabatly (2014), presentando en todos los casos unos valores bajos (desde  $2,86 \pm 0,17$  hasta  $3,25 \pm 0,24$ ), lo cual nos garantiza una buena estabilidad del producto.

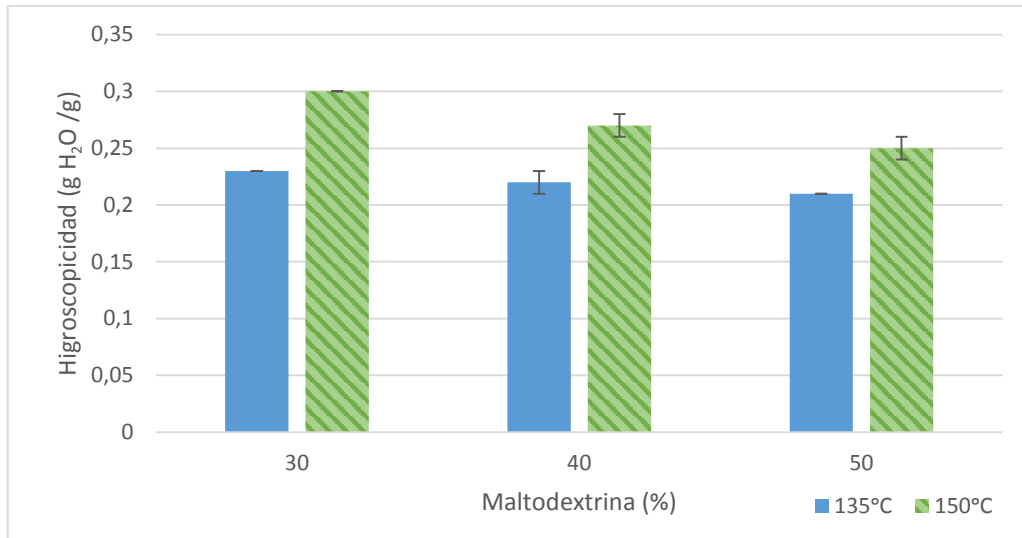


**Figura 15:** humedad (%) correspondiente al kiwi atomizado con diferentes concentraciones de solutos y diferente temperatura de procesado (valores medios y desviación estándar,  $n = tres$ ).

La  $a_w$  y humedad presentaron una correlación positiva de 0,4077, es decir, al aumentar una variable lo hace también la otra. El mismo efecto se observó en otros estudios, donde se vio que la humedad aumentaba al aumentar la  $a_w$  y ambas disminuyen al aumentar la temperatura de tratamiento (Sagar & Rajesh, 2014).

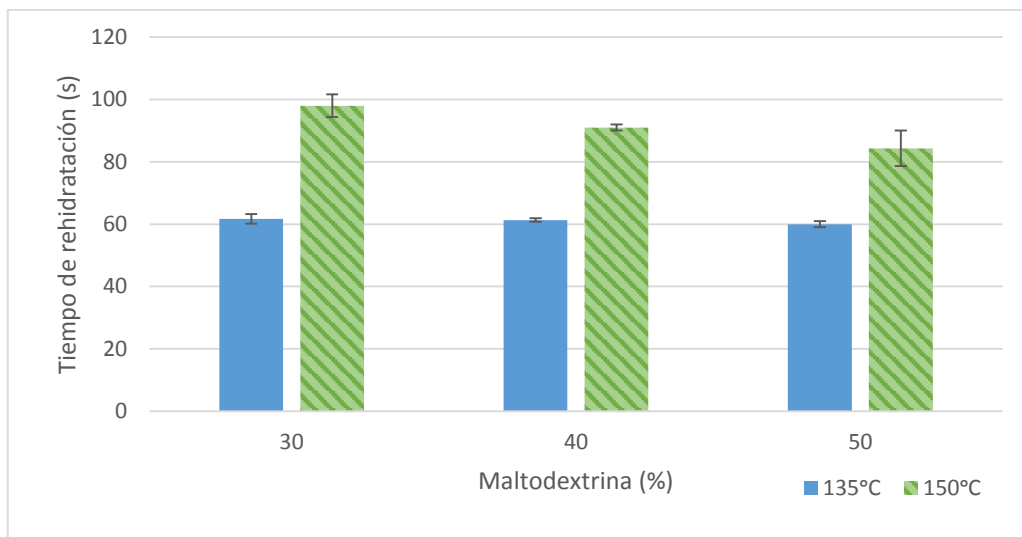
La higroscopicidad es un parámetro de calidad de los productos deshidratados muy importante; nos indica la cantidad de humedad que se absorbe del ambiente, lo cual afecta directamente a la calidad del producto final. Como podemos ver en la figura 16, tenemos unos valores desde 0,21 a 0,3 g  $H_2O/g$  producto.

Se observaron diferencias significativas entre las muestras con diferentes tratamiento en cuanto higroscopicidad ( $p < 0,05$ ) como podemos ver en la tabla 8. Al aumentar la temperatura y al disminuir la cantidad de maltodextrina, aumentó la higroscopicidad. Los resultados concuerdan con los de Phisut, (2012), quién señaló también que la temperatura de entrada del aire tiene un papel importante en la higroscopicidad del producto, determinado que al aumentar ésta aumenta la higroscopicidad del polvo, así como que, al aumentar la cantidad de maltodextrina se reduce la higroscopicidad, debido a que la maltodextrina tiene una higroscopicidad baja (Duduku, Rajesh, & Sarbatly, 2014).



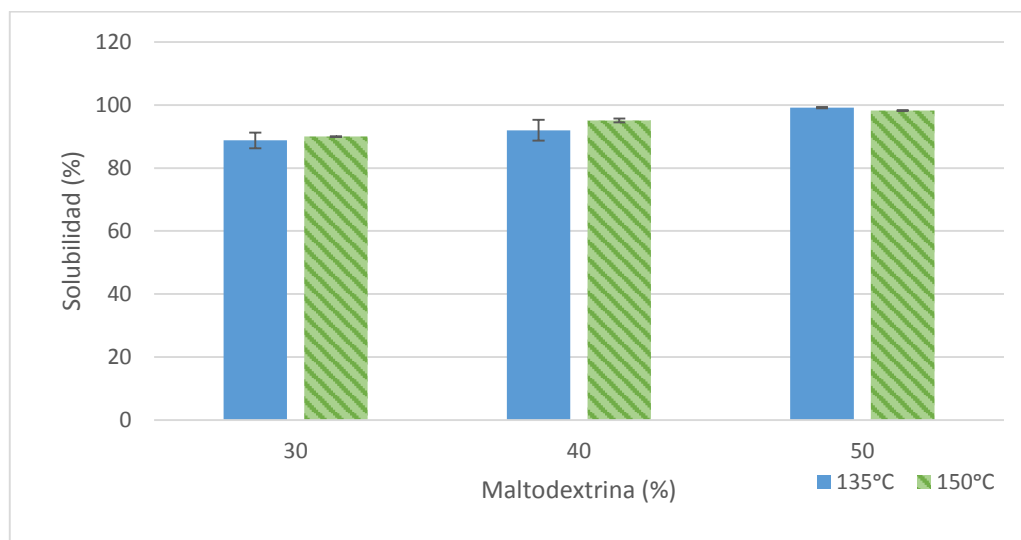
**Figura 16:** Higroscopicidad (g H<sub>2</sub>O / g) correspondiente al kiwi atomizado con diferentes concentraciones de solutos y diferente temperatura de procesado (valores medios y desviación estándar, n = tres).

El tiempo de rehidratación es otra de las características determinantes de los productos deshidratados en polvo. Podemos ver en la tabla 8 la existencia de diferencias significativas respecto a la concentración de solutos y a la temperatura del tratamiento ( $p < 0,05$ ). Al aumentar la temperatura, aumenta el tiempo de rehidratación y al aumentar la maltodextrina disminuye. Los mismos resultados obtuvieron Fontes et al. (2014) y Duduku et al. (2014) según los cuales la maltodextrina contribuye a un menor tiempo de rehidratación debido a su alta solubilidad en agua (figura 17).



**Figura 17:** Tiempo de rehidratación (s) correspondiente al kiwi atomizado con diferentes concentraciones de solutos y diferente temperatura de procesado (valores medios y desviación estándar, n = tres).

En cuanto a la solubilidad, también se vieron diferencias significativas en todos los casos ( $p < 0,05$ ), con unos valores entre 88 y 99 %. El producto deshidratado presentó mayor solubilidad al aumentar la cantidad de maltodextrina, de acuerdo con Phisut, (2012), debido a la alta solubilidad que presenta este producto (figura 18).



**Figura 18:** Solubilidad (%) correspondiente al kiwi atomizado con diferentes concentraciones de solutos y diferente temperatura de procesado (valores medios y desviación estándar,  $n =$  tres).

- **Parámetros nutricionales**

La cantidad de maltodextrina y la temperatura del tratamiento afectó significativamente ( $p < 0,05$ ) a la actividad antioxidante del producto final (tabla 9). Podemos observar que cuanto mayor fue la temperatura del aire del equipo y menor el porcentaje de solutos, menor actividad antioxidante presentaron las muestras. El mismo efecto sobre la temperatura observaron Duduku et al., (2014). Esto se debe a que la maltodextrina protege los compuestos responsables de la actividad antioxidante durante el tratamiento térmico y a que, a mayor temperatura a la que se exponen dichos compuestos, mayor degradación de la actividad antioxidante se produce.



**Tabla 9:** Contenido de actividad antioxidante del kiwi atomizado a diferentes temperaturas y concentraciones de solutos.

Temperatura (°C)	Maltodextrina (%)	Actividad antioxidante
135	50	3,84 ± 0,12 <sup>a</sup>
135	40	3,31 ± 0,08 <sup>b</sup>
135	30	3,12 ± 0,22 <sup>c</sup>
150	50	3,41 ± 0,03 <sup>a</sup>
150	40	3,24 ± 0,06 <sup>b</sup>
150	30	2,88 ± 0,09 <sup>c</sup>

Valor medio ± SD (desviación estándar). Superíndices: letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas en cada columna ( $p < 0,05$ ).

### 3.3.2. Análisis del kiwi atomizado rehidratado

- **Parámetros físico-químicos**

Sobre el producto rehidratado (a los °brix iniciales una vez añadida la maltodextrina) se realizaron análisis del pH, acidez y coordenadas de color (tabla 10).

**Tabla 10:** pH, acidez y coordenadas de color del kiwi atomizado rehidratado a diferentes temperaturas y concentraciones de maltodextrina.

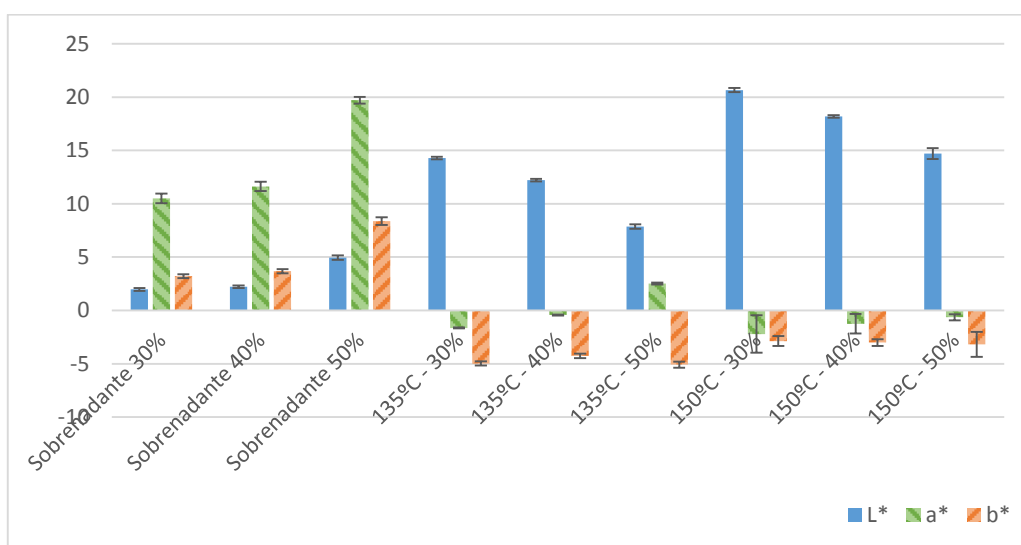
Temperatura (°C)	Maltodextrina (%)	PH	Acidez	L*	a*	b*
135	50	3,33±0,03 <sup>a</sup>	1,30±0,00 <sup>a</sup>	7,87±0,21 <sup>a</sup>	2,52 ±0,09 <sup>a</sup>	-5,08±0,29 <sup>a</sup>
135	40	3,31±0,01 <sup>a</sup>	1,30±0,01 <sup>a</sup>	12,22±0,13 <sup>b</sup>	-0,43 ±0,04 <sup>b</sup>	-4,26±0,20 <sup>ab</sup>
135	30	3,38±0,01 <sup>a</sup>	1,30±0,00 <sup>a</sup>	14,30±0,12 <sup>c</sup>	-1,64 ±0,04 <sup>c</sup>	-4,97±0,20 <sup>b</sup>
150	50	3,38±0,01 <sup>a</sup>	1,30±0,01 <sup>a</sup>	14,71±0,52 <sup>d</sup>	-0,64 ±0,28 <sup>d</sup>	-3,18±1,18 <sup>c</sup>
150	40	3,30±0,01 <sup>a</sup>	1,30±0,00 <sup>a</sup>	18,20±0,12 <sup>e</sup>	-1,25 ±0,92 <sup>e</sup>	-3,01±0,32 <sup>cd</sup>
150	30	3,39±0,01 <sup>a</sup>	1,30±0,00 <sup>a</sup>	20,66±0,19 <sup>f</sup>	-2,21 ±1,76 <sup>f</sup>	-2,87±0,47 <sup>d</sup>

Valor medio ± SD (desviación estándar). Superíndices: letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas en cada columna ( $p < 0,05$ ).

Al igual que en las muestras antes de atomizar, tanto el pH (3,4) como la acidez (1,3 %) no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes tratamientos ni

cantidad de maltodextrina ( $p < 0,05$ ), por lo que podemos asegurar que no influye la temperatura de procesado ni la concentración de solutos sobre pH y la acidez. Otros estudios sobre atomización de frutas vieron el mismo efecto (Costa, Rocha, & Costa, 2014).

En cuanto al color del producto rehidratado, podemos ver que sí que hay diferencias significativas entre los distintos tratamientos ( $p < 0,05$ ). Las coordenadas  $L^*$  y  $a^*$  presentaron diferencias significativas en todos los casos; sin embargo en la  $b^*$  se vieron diferencias entre los porcentajes de 50 y 30, y no entre estos y el de 40%. Como podemos ver en la figura 19, el producto rehidratado respecto al inicial, presenta un aumento en la luminosidad y una disminución de  $a^*$  hacia tonos más verdesos y  $b^*$  disminuyendo el tono amarillo.



**Figura 19:** Coordenadas de color ( $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ ) correspondientes al producto antes y después de atomizar con diferentes concentraciones de solutos y diferente temperatura de tratamiento (valores medios y desviación estándar).

#### 4. CONCLUSIONES

**A)** Se observaron diferencias entre el zumo clarificado de kiwi y el producto atomizado rehidratado, por lo que el proceso de atomización, aunque no afecta al pH ni a la acidez, si tuvo un efecto sobre el color.

**B)** En cuanto al efecto de la temperatura de entrada del aire caliente de secado, del equipo de atomización, sobre las propiedades del producto deshidratado podemos decir que:

**B1)** El rendimiento aumentó al disminuir la temperatura.

**B2)** Al aumentar la temperatura del aire de entrada en el tratamiento, tanto la actividad de agua como la humedad se vieron disminuidas debido a que a altas temperaturas aumenta el gradiente de transmisión de calor entre el producto y el aire de secado y como consecuencia se favorece la evaporación del agua. Por el contrario, la higroscopicidad y el tiempo de rehidratación disminuyen significativamente al disminuir la temperatura.

**B3)** La actividad antioxidante disminuyó al aumentar la temperatura.

**C)** Por otro lado, la concentración de maltodextrina en el producto deshidratado, sobre las características del producto presentó los siguientes efectos:

**C1)** El rendimiento del proceso aumentó al aumentar la cantidad de maltodextrina.

**C2)** Al aumentar la cantidad de maltodextrina en el producto, la actividad de agua se vio disminuida, al igual que la higroscopicidad y el tiempo de rehidratación, mientras que la solubilidad aumentó al aumentar los sólidos solubles debido a que la maltodextrina es un producto muy soluble.

**C3)** La actividad antioxidante aumentó al aumentar la concentración de solutos ya que la maltodextrina tiene un efecto protector sobre la temperatura durante el tratamiento.

**D)** En este estudio sobre deshidratación de subproductos de kiwi mediante la técnica de atomización con maltodextrina, obtuvimos un producto de buena calidad con todos tratamientos analizados, teniendo los mejores resultados a menor temperatura del aire de entrada en el equipo y a mayor concentración de maltodextrina en el producto.

- E)** Las mejores condiciones de atomización se obtuvieron con una temperatura de entrada del aire de 135 °C y 50 % de maltodextrina DE 10 (sobre el producto deshidratado). Se obtuvo un producto estable, con baja actividad de agua e higroscopicidad y poca humedad residual. Presentó una alta solubilidad (prácticamente del 100 %), bajos tiempos de rehidratación (< 1 min) y la mayor concentración de antioxidantes de los tratamientos analizados ( $3,84 \pm 0,12$  mM Trolox / g kiwi en polvo).

## 5. BIBLIOGRAFÍA

- A.O.A.C. (2005). Association of analytical chemist. Official methods of analysis. 942.15. Washington, DC.
- Adhikari, B., Howes, T., Bhandari, B. R., & Troung, V. (2004). Effect of addition of maltodextrin on drying kinetics and stickiness of sugar and acid-rich foods during convective drying: Experiments and modelling. *Journal of Food Engineering*, 62(1), 53-68.
- Benlloch-Tinoco, M., Igual, M., Salvador, A., Rodrigo, D., & Martinez-Navarrete, N. (2014). Quality and acceptability of microwave and conventionally pasteurised kiwifruit puree. *Food and Bioprocess Technology*, 7(11), 3282-3292.
- Bhandari, B. R., Datta, N., Crooks, R., Howes, T., & Rigby, S. (1997). A semi-empirical approach to optimise the quantity of drying AIDS required to spray dry sugar-rich foods. *Drying Technology*, 15(10), 2509-2525.
- Bhandari, B. R., Datta, N., & Howes, T. (1997). Problems associated with spray drying of sugar-rich foods. *Drying Technology*, 15(2), 671-684.
- Bhandari, B. R., & Howes, T. (1999). Implication of glass transition for the drying and stability of dried foods. *Journal of Food Engineering*, 40(1), 71-79.
- Bobo-Garcia, G., Davidov-Pardo, G., Arroqui, C., Virseda, P., Marin-Arroyo, M. R., & Navarro, M. (2015). Intra-laboratory validation of microplate methods for total phenolic content and antioxidant activity on polyphenolic extracts, and comparison with conventional spectrophotometric methods. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(1), 204-209.
- Cano-Chauca, M., Stringheta, P. C., Ramos, A. M., & Cal-Vidal, J. (2005). Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 6(4), 420-428.
- Casp, A., & Abril, J. (2008). *Procesos de conservación de alimentos*: Mundi-Prensa.
- Celik, A., Ercisli, S., & Turgut, N. (2007). Some physical, pomological and nutritional properties of kiwifruit cv. Hayward. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 58(6), 411-418. doi: 10.1080/09637480701252518
- Costa, J. d. P. d., Rocha, E. M. d. F. F., & Costa, J. M. C. d. (2014). Study of the physicochemical characteristics of soursop powder obtained by spray-drying. *Ciencia e Tecnologia de Alimentos*, 34(4), 663-666.

- Chegini, G. R., & Ghobadian, B. (2007). Spray dryer parameters for fruit juice drying. *World Journal of Agricultural Sciences*, 3(2), 230-236.
- Chen, X. D., & Mujumdar, A. (2009). *Drying Technologies in Food Processing*. Hoboken, NJ, USA: Wiley-Blackwell.
- Duduku, K., Rajesh, N., & Sarbatly, R. (2014). A critical review on the spray drying of fruit extract: effect of additives on physicochemical properties. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 54(4), 449-473.
- Fontes, C. P. M. L., Silva, J. L. A., Sampaio-Neta, N. A., Costa, J. M. C. d., & Rodrigues, S. (2014). Dehydration of prebiotic fruit drinks by spray drying: operating conditions and powder characterization. *Food and Bioprocess Technology*, 7(10), 2942-2950.
- Goula, A. M., & Adamopoulos, K. G. (2010). A new technique for spray drying orange juice concentrate. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 11(2), 342-351.
- Marques, G. R., Borges, S. V., Botrel, D. A., Costa, J. M. G., Silva, E. K., & Corrêa, J. L. G. (2014). Spray Drying of Green Corn Pulp. *Drying Technology*, 32(7), 861-868. doi: 10.1080/07373937.2013.873452
- Maskan, M. (2001). Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering*, 48(2), 177-182.
- Montoya, C. A., Hindmarsh, J. P., Gonzalez, L., Boland, M. J., Moughan, P. J., & Rutherford, S. M. (2014). Dietary actinidin from kiwifruit (*Actinidia deliciosa* cv. Hayward) increases gastric digestion and the gastric emptying rate of several dietary proteins in growing rats. *Journal of Nutrition*, 144(4), 440-446.
- Moraga, G., Martínez-Navarrete, N., & Chiralt, A. (2006). Water sorption isotherms and phase transitions in kiwifruit. *Journal of Food Engineering*, 72(2), 147-156.
- Mrkic, V., Cocci, E., Rosa, M. d., & Sacchetti, G. (2006). Effect of drying conditions on bioactive compounds and antioxidant activity of broccoli (*Brassica oleracea* L.). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86(10), 1559-1566. doi: 10.1002/jsfa.2554
- Naddaf, L., Avalo, B., & Oliveros, M. (2012). Spray-dried natural orange juice encapsulants using maltodextrin and gum arabic. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, 35(1), 20-27.
- Osés, L. (2011). "Evaluación de la calidad de kiwis almacenados en refrigeración envasados en distintas atmósferas modificadas y el uso del 1-MCP". *Proyecto Final de Carrera, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Universidad Pública de Navarra, Pamplona*.
- Patel, R. P., Patel, M. P., & Suthar, A. M. (2009). Spray drying technology: An overview. *Indian Journal of Science and Technology*, 2(10), 44-47. doi: 10.17485/ijst/2009/v2i10/30719

- Phisut, N. (2012). Spray drying technique of fruit juice powder: Some factors influencing the properties of product. *International Food Research Journal*, 19(4), 1297-1306.
- Sagar, V. R., & Rajesh, K. (2014). Effect of drying treatments and storage stability on quality characteristics of bael powder. *Journal of Food Science and Technology*, 51(9), 2162-2168.
- Sun-Waterhouse, D., & Waterhouse, G. I. N. (2014). Spray-Drying of Green or Gold Kiwifruit Juice-Milk Mixtures; Novel Formulations and Processes to Retain Natural Fruit Colour and Antioxidants. *Food and Bioprocess Technology*.
- USDA. (2015). National Nutrient Database for Standard Reference Release 27, Basic Report 09148, Kiwifruit, green, raw. *Recuperado el 3 de mayo, 2015 de <http://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/2300?format=Abridged&reportfmt=pdf&pdfQvs=%7B%7D>*.
- Wu Ng, Y., Benlloch Tinoco, M., García Martínez, E., & Martínez Navarrete, N. (2013). "Impacto de la adición de carboximetilcelulosa en la calidad de kiwi en polvo obtenido por liofilización y atomización". *Trabajo final de master, Escuela Técnica Superior del Medio Rural y Enología, Universidad Politecnica de Valencia, Valencia*.
- Yousefi, S., Emam-Djomeh, Z., & Mousavi, S. M. (2011). Effect of carrier type and spray drying on the physicochemical properties of powdered and reconstituted pomegranate juice (*Punica Granatum L.*). *Journal of Food Science and Technology*, 48(6), 677-684. doi: 10.1007/s13197-010-0195-x
- Zolfaghari, M., Sahari, M. A., Barzegar, M., & Samadloiy, H. (2010). Physicochemical and enzymatic properties of five kiwifruit cultivars during cold storage. *Food and Bioprocess Technology*, 3(2), 239-246. doi: 10.1007/s11947-008-0114-6