

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGRONÓMICA Y DEL MEDIO
NATURAL

GRADO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA DE SECADO EN LAS CARACTERÍSTICAS ANTIOXIDANTES Y LAS PROPIEDADES DE LA FIBRA DE MAGAYA DE SIDRA

TRABAJO FIN DE GRADO

CURSO 2019-2020

Autora: Rita Maria Torres López

Tutor: Juan Andrés Cárcel Carrión

Directora experimental: Beatriz Llavata Cabrero

Valencia, diciembre 2020.



Influencia de la temperatura de secado en las características antioxidantes y las propiedades de la fibra de magaya de sidra

Resumen:

La sidra se produce a partir de la fermentación del extracto obtenido a presión de diferentes variedades de manzana. El residuo sólido de dicho proceso se denomina magaya y actualmente no tiene un uso rentable. Sin embargo, este subproducto puede ser una fuente importante para la obtención de compuestos antioxidantes y/o compuestos bioactivos, como la fibra alimentaria. Para ello, y debido al elevado contenido en agua de este subproducto, se precisa de un tratamiento que permita conservarlo adecuadamente. El objetivo del presente trabajo fue la determinación del impacto de la temperatura en la velocidad del secado de magaya y su influencia en las características antioxidantes y en la calidad de la fibra de esta.

Para ello, se realizaron experiencias de secado de magaya a 5 temperaturas diferentes (40, 60, 80, 100 y 120 °C). En el producto seco se determinó la capacidad antioxidante, el contenido en vitamina C y de compuestos fenólicos totales. Además, se evaluó su contenido en fibra a través de la determinación del residuo insoluble en alcohol y su caracterización a partir de la determinación de la capacidad de hinchamiento y la capacidad de retención de agua y de grasa.

Las cinéticas de secado experimentales se ajustaron a un modelo difusivo permitiendo cuantificar la influencia de la temperatura en el proceso. Por otro lado, se obtuvo que la temperatura más favorable para la retención de los compuestos fenólicos totales y vitamina C fue de 80 °C, mientras que la mejor conservación de la capacidad antioxidante se observó a 100 °C. Sin embargo, fueron las temperaturas más bajas ensayadas (40 y 60 °C) las que proporcionaron un residuo insoluble en alcohol con mayor retención de la capacidad de hinchamiento, de retención de grasa y de agua.

Palabras clave: Manzana; Deshidratación; Vitamina C; Compuestos fenólicos; Retención de agua; Retención de grasa; Hinchamiento

Autora: Rita Maria Torres López

Tutor: Juan Andrés Cárcel Carrión

Directora experimental: Beatriz Llavata Cabrero

Valencia, diciembre 2020.

Influence of the drying temperature on the antioxidant characteristics and the fiber properties of the *magaya* cider

Abstract:

Cider is produced thanks to the fermentation of the extract, which is obtained under pressure, from different varieties of apples. The solid residue of this process is called *magaya*, which has not profit nowadays. However, this by-product can be an important source for the obtainment of antioxidant and/or bioactive compounds, such as dietary fiber. For this purpose, and due to the high content of water that this by-product has, it is necessary to carry out a treatment in order to preserve it properly. The aim of the present study was to determine the impact of the temperature on the drying rate of the *magaya* and its influence on the antioxidant characteristics and the quality of its fiber.

To this aim, *magaya* was dried at five different temperatures (40, 60, 80, 100 and 120 °C). The antioxidant capacity, the vitamin C content as well as the content of the total phenolic compounds were determined in the dry product. Moreover, its fiber content was evaluated by determining the alcohol-insoluble residue, and its characterisation was evaluated through the establishment of the swelling capacity and the water and fat retention capacity.

The experimental drying kinetics were adjusted to a diffusive model that allowed to realise which was the temperature's influence on this process. On the other hand, the study showed that the most favourable temperature for the retention of total phenolic compounds and vitamin C was 80 °C, while the best conservation of the antioxidant capacity was 100 °C. However, it was the lowest temperatures tested (40 and 60 °C) that provided an alcohol-insoluble residue with greater retention of the swelling capacity and the fat and water retention capacity.

Keywords: Apple; Dehydration; Vitamin C; Phenolic compounds; Water retention; Fat retention; Swelling

Author: Rita Maria Torres López

Tutor: Juan Andrés Cárcel Carrión

Experimental director: Beatriz Llavata Cabrero

Valencia, December 2020.

Influència de la temperatura d'assecatge en les característiques antioxidants i les propietats de la fibra de *magaya* de sidra

Resum:

La sidra es produeix a partir de la fermentació de l'extracte obtingut a pressió de diferents varietats de poma. El residu sòlid d'aquest procés s'anomena *magaya* i ara com ara no té cap ús rentable. Tanmateix, este subproducte pot ser una font important per a l'obtenció de compostos antioxidants i/o compostos bioactius, com ara la fibra alimentària. Amb aquest objectiu, i a causa de l'elevat contingut en aigua d'este subproducte, és necessari dur a terme un tractament que permeta conservar-lo adequadament. L'objectiu del present treball va ser la determinació de l'impacte de la temperatura en la velocitat d'assecatge de la *magaya* i la seua influència en les característiques antioxidants i en la qualitat de la fibra d'aquesta.

Així doncs, es van realitzar experiències d'assecatge de *magaya* a 5 temperatures diferents (40, 60, 80, 100 i 120 °C). En el producte sec es van determinar la capacitat antioxidant, el contingut en vitamina C i de compostos fenòlics totals. A més a més, es va avaluar el seu contingut en fibra mitjançant la determinació del residu insoluble en alcohol i la seua caracterització a partir de la determinació de la capacitat d'inflament i la capacitat de retenció d'aigua i de greix.

Les cinètiques d'assecatge experimentals es van ajustar a un model difusiu i van permetre quantificar la influència de la temperatura en el procés. D'altra banda, es va obtenir que la temperatura més favorable per a la retenció dels compostos fenòlics totals i vitamina C va ser de 80 °C, mentre que la conservació més gran de la capacitat antioxidant es va observar als 100 °C. No obstant això, van ser les temperatures més baixes assajades (40 i 60 °C) les que van proporcionar un residu insoluble en alcohol amb major retenció de la capacitat d'inflament, de retenció de greix i d'aigua.

Paraules clau: Poma; Deshidratació; Vitamina C, Compostos fenòlics; Retenció d'aigua; Retenció de greix; Inflament

Autora: Rita Maria Torres López

Tutor: Juan Andrés Cárcel Carrión

Directora experimental: Beatriz Llavata Cabrero

València, desembre 2020.

AGRADECIMIENTOS

A Juan Andrés Cárcel, por su ayuda, tiempo y conocimientos.

A Beatriz, por su ayuda, dedicación y paciencia.

A mis padres, por su apoyo incondicional y confianza durante estos años.

A mis amigos y amigas por acompañarme, aconsejarme y ayudarme.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. PROBLEMÁTICA DE LOS SUBPRODUCTOS EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA	1
1.1.1. Biorrefinería	2
1.1.2. Economía circular	2
1.2. ESTABILIZACIÓN DE SUBPRODUCTOS MEDIANTE SECADO	3
1.3. SECADO POR AIRE CALIENTE (SAC)	4
1.4. INDUSTRIA DE LA SIDRA	5
1.4.1. Proceso de elaboración de la sidra	6
1.4.2. Magaya de sidra	8
2. OBJETIVOS	9
3. MATERIALES Y MÉTODOS	10
3.1. MATERIA PRIMA	10
3.1.1. Determinación de humedad	11
3.2. SECADO POR AIRE CALIENTE	11
3.2.1. Cinéticas de secado	12
3.2.2. Modelización de cinéticas de secado	12
3.3. PARÁMETROS DE CALIDAD	14
3.3.1. Propiedades antioxidantes.....	14
3.3.1.1. Capacidad antioxidante (CA)	14
3.3.1.2. Vitamina C (VC).....	15
3.3.1.3. Compuestos fenólicos totales (CFT)	15
3.3.2. Caracterización de residuo insoluble en alcohol (RIA).....	16
3.3.2.1. Capacidad de hinchamiento (CH).....	16
3.3.2.2. Capacidad de retención de grasa (CRG)	16
3.3.2.3. Capacidad de retención de agua (CRA)	17
3.4. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE DATOS	17
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	18
4.1. CINÉTICAS DE SECADO.....	18
4.2. MODELIZACIÓN DE LAS CINÉTICAS EXPERIMENTALES DE SECADO	19
4.3. PARÁMETROS DE CALIDAD	21
4.3.1. Capacidad antioxidante (CA)	22
4.3.2. Vitamina C (AAE)	22
4.3.3. Compuestos fenólicos totales (CTF)	23
4.3.4. Residuo insoluble en alcohol (RIA).....	24
4.3.4.1. Capacidad de hinchamiento (CH).....	25
4.3.4.2. Capacidad de retención de grasa (CRG)	26
4.3.4.3. Capacidad de retención de agua (CRA)	26
5. CONCLUSIONES	28
6. BIBLIOGRAFÍA	29

ÍNDICE DE FIGURAS

1. INTRODUCCIÓN

Figura 1.1. Etapas del secado convectivo (García, 2007). A, Periodo de velocidad creciente; B, periodo de velocidad constante; C, periodo de velocidad decreciente..... 5

Figura 1.2. Proceso de elaboración de la sidra..... 7

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Figura 3.1. Magaya de sidra envasada al vacío..... 10

Figura 3.2. Pepitas y material leñoso eliminado..... 11

Figura 3.3. Equipo de secado utilizado..... 12

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Figura 4.1. Cinéticas de secado de la magaya de sidra a las diferentes temperaturas (40, 60, 80, 100 y 120 °C) 18

Figura 4.2. Relación entre la evolución de la humedad experimental y la calculada con el modelo difusional de muestras de magaya secadas a 40 °C..... 20

Figura 4.3. Relación entre el logaritmo neperiano de la difusividad efectiva identificada a partir de la modelización de las cinéticas de secado de magaya y la temperatura de secado... 21

Figura 4.4. Porcentaje de retención de vitamina C en muestras de magaya tras el secado a diferentes temperaturas..... 23

Figura 4.5. Contenido de compuestos fenólicos totales (AGE/g ms) en las muestras de magaya tras el secado a diferentes temperaturas..... 24

Figura 4.6. Capacidad de hinchamiento (mL/g RIA) del RIA de muestras de magaya secadas a diferentes temperaturas..... 25

Figura 4.7. Capacidad de retención de grasa del RIA procedente de muestras de magaya secadas a diferentes temperaturas..... 26

Figura 4.8. Capacidad de retención de agua del residuo insoluble en alcohol de muestras de magaya secadas a diferentes temperaturas..... 27

ÍNDICE DE TABLAS

1. INTRODUCCIÓN

Tabla 1.1. Porcentajes de subproductos generados en relación con la materia prima utilizada en diferentes sectores de la industria alimentaria en la Unión Europea (Restrepo, 2006) 1

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 4.1. Tiempo requerido en cada temperatura de secado ensayada para alcanzar peso constante y humedad final en las muestras en ese momento..... 19

Tabla 4.2. Valores de difusividad efectiva (D_e) y del coeficiente de transferencia de masa (k) identificados mediante la aplicación del modelo difusivo a las cinéticas experimentales de secado de magaya a diferentes temperaturas. Porcentaje de varianza (%Var) explicada por el modelo..... 20

Tabla 4.3. Capacidad antioxidante (mg Trolox/g m.s.) y porcentaje de retención de la capacidad antioxidante en muestras de magaya secadas a diferentes temperaturas..... 22

Tabla 4.4. Porcentaje de retención de los compuestos fenólicos en la muestra tras el secado..... 24

Tabla 4.5. Rendimiento de extracción del residuo insoluble en alcohol (RIA) después del secado..... 25

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Problemática de los subproductos en la industria alimentaria

La industria alimentaria es uno de los sectores productivos con mayor impacto medioambiental debido a la cantidad de agua que consume, las emisiones de gases contaminantes o el impacto en los recursos naturales (Restrepo, 2006). En este sentido, la generación de residuos constituye uno de los principales problemas, puesto que en la actualidad existen pocas alternativas para su aprovechamiento y, en muchos casos, únicamente se recurre a su vertido generando un importante impacto medioambiental (Cury *et al.*, 2017). Las cantidades generadas varían mucho en función del tipo de industria (Tabla 1.1.). La creciente demanda de nuevos productos hace los procesos más complejos, lo que, en muchos casos, aumenta aún más las cantidades de desechos producidos (Cury *et al.*, 2017). Sin embargo, estos residuos pueden ser la materia prima de procesos alterativos y, de esta manera, incrementar su valor y disminuir su impacto.

Tabla 1.1. Porcentajes de subproductos generados en relación con la materia prima utilizada en diferentes sectores de la industria alimentaria en la Unión Europea (Restrepo, 2006).

Industria	Porcentaje subproductos	Subproductos
Cárnica	30-52	Sangre, vísceras, huesos, intestinos, piel, grasas, pelo y plumas.
Pesquera	30-75	Cabezas, vísceras, colas, piel, espinas y conchas.
Vegetales	5-50	Hojas, semillas, pieles, tallos y pulpa
Láctea	90	Lactosuero
Oleaginosa	40-70	Hojas, orujo, goma y jabones
Azucarera	88	Pulpa, melazas y levaduras

Tradicionalmente, muchos residuos agroalimentarios se han empleado en alimentación animal y como fertilizantes o sustratos agrícolas. No obstante, estas aplicaciones no son suficientes para absorber el gran volumen producido en muchas ocasiones. Además, aportan poco valor económico e incluso llegan a suponer un coste para la industria (almacenamiento, transporte, etc.). Sin embargo, muchos de estos subproductos constituyen una fuente importante de carbohidratos complejos, proteínas, lípidos o nutraceuticos que pueden ser utilizados para diferentes fines, como la producción de biocombustibles, la obtención de enzimas, compuestos bioactivos, plásticos biodegradables o nanopartículas (Ravindran y Jaiswal, 2016).

El sector de las frutas y hortalizas es uno de los que mayor masa de residuos genera (INFOALIMENTA, 2020). Sin embargo, algunos de estos residuos contienen compuestos de

interés valiosos para su uso en la industria alimentaria (humana y animal), farmacéutica, cosmética, energética e incluso en agricultura, tanto en forma de enmiendas como plaguicidas. Algunos de estos compuestos bioactivos incluyen polifenoles, fitoestrógenos, isoprenoides, ácidos grasos vegetales, compuestos organosulfurados, monoterpénos, compuestos aromáticos, ácidos grasos y aceites, vitaminas, azúcares, materias gelificantes (pectinas) o ácidos (Ros *et al.*, 2012; Maribella *et al.*, 2013).

1.1.1. Biorrefinería

El concepto de biorrefinería surge ante la necesidad de valorizar los subproductos de la industria alimentaria, así como de la búsqueda de fuentes de energía renovables, más eficientes y menos contaminantes. La idea consiste en la transformación de la biomasa residual en nuevos productos con alto valor añadido mediante el empleo de un sistema integrado y complejo de procesos. Se trata de una opción análoga a las refinerías de petróleo, puesto que la conversión de un producto da lugar a una amplia gama de nuevos productos que se agrupan en tres tipos: bioproductos químicos y alimenticios, biocombustibles (bioetanol y biodiesel) y bioenergía (energía eléctrica y calefacción) (Gómez, 2015). Así, por ejemplo, en ciertos subproductos vegetales, se están empleando enzimas para la degradación de las paredes vegetales facilitando la extracción de los compuestos situados en el interior, y posteriormente el cultivo de hongos utilizando como sustrato los residuos generados. (Cury *et al.*, 2017).

La idea de biorrefinería constituye una forma de evitar que residuos de una industria agroalimentaria con elevado potencial de revalorización acaben en vertederos. Por tanto, contribuye también a la disminución de la contaminación. El proceso de valorización de la biomasa implica la utilización de operaciones de transformación simples y asequibles económicamente, el uso de la mínima energía posible, así como reducir el consumo de agua y el uso de productos químicos y la generación de desperdicios (Alonso *et al.*, 2011).

En cualquier caso, la existencia de biorrefinerías es clave para el progreso tecnológico en el área de la bioeconomía sostenible y rentable (RETEMA, 2017). De hecho, existe una gran necesidad de investigación innovadora para identificar subproductos agroindustriales adecuados, así como para desarrollar las metodologías de extracción más sostenibles y eficientes (Barreira *et al.*, 2019).

1.1.2. Economía circular

Para llevar a cabo un verdadero desarrollo económico sostenible, es necesario sustituir el modelo de economía lineal (producir, usar y tirar) por un modelo circular y regenerativo. De esta manera, se abastece a los procesos eficientemente disminuyendo de esta forma los residuos producidos, y se protege el medio ambiente (Balboa y Domínguez, 2014). Según Cerdá y Khalilova (2016), los tres principios en los que se basa una economía circular son: mantener y aumentar el capital natural equilibrando los flujos de recursos renovables, optimizar el

rendimiento de los recursos y promover la efectividad del sistema. La economía circular, por tanto, es una estrategia de aprovechamiento de recursos, tanto materiales como energéticos, que pretende mantenerlos el mayor tiempo posible en el ciclo productivo. De esta forma, se persigue la máxima reducción de residuos y la reutilización de aquellos que no se ha podido evitar producir (Prieto *et al.*, 2017). Este modelo se basa en los principios de las 3 Rs (Reducir, Reusar, Reciclar) y, por tanto, se centra en la reducción de la generación de desperdicios y su reutilización inteligente. De este modo, los ciclos productivos siguen un modelo circular en el que los residuos pueden volverse a incorporar en los mismos o formar parte de nuevos productos, con un gasto energético mínimo (Lett, 2014). Además de sacar el máximo provecho a los subproductos de las industrias, también es necesario conocer los puntos de producción de éstos, ya que son generados durante todo el procesado de la materia prima, incluso antes de llegar a la industria.

1.2. Estabilización de subproductos mediante secado

En general, los subproductos de la industria alimentaria se caracterizan por tener un contenido en agua elevado que condiciona su vida útil, y que los hace susceptibles de sufrir reacciones de degradación tanto enzimáticas como microbiológicas. Por ello, se requieren tratamientos de conservación que permitan mantener sus propiedades durante el almacenamiento y posibiliten su aprovechamiento posterior (Saavedra *et al.*, 2017; Uribe *et al.*, 2014). Entre los métodos de conservación existentes, la deshidratación mediante el secado por aire caliente (SAC) es una de las técnicas más utilizada en la industria alimentaria debido a su bajo coste y sencillez (Martins *et al.*, 2018). Según Saavedra *et al.* (2017) y Castillo *et al.* (2014), el secado es uno de los tratamientos de conservación más usado para productos derivados de frutas y hortalizas. Además, la operación de secado conlleva una reducción del peso y volumen de los productos implicados que permite una importante disminución en los costes de transporte y almacenamiento (Fito *et al.*, 2001).

Sin embargo, el proceso de secado puede producir cambios físicos (color, textura, sabor), químicos (pérdidas de compuestos bioactivos, vitaminas) y/o estructurales (modificaciones en macromoléculas como polisacáridos y proteínas) que afecten negativamente a las propiedades nutricionales y la calidad del producto final, disminuyendo de esta forma el valor añadido de los subproductos (Martins *et al.*, 2018; Saavedra *et al.*, 2017; Garau *et al.*, 2007). Estos cambios se producen en mayor o menor medida en función de la temperatura aplicada y el tiempo de exposición al secado (Fito *et al.*, 2001). Por tanto, la determinación de las mejores condiciones de secado resulta fundamental para la preservación de los compuestos de interés.

Por otro lado, el secado es una de las operaciones industriales que más energía consume. Una optimización de dicha operación contribuye a la disminución del impacto medioambiental del procesado (Saavedra *et al.*, 2017; Uribe *et al.*, 2014). De hecho, existen numerosos trabajos de investigación que tratan de establecer las condiciones óptimas de secado en diferentes subproductos para su posterior revalorización. Así, Saavedra *et al.* (2017) estudiaron la preservación de los compuestos funcionales de los subproductos del aguacate mediante un proceso de secado convectivo. Uribe *et al.* (2014) por su parte, estudiaron la influencia de la

temperatura de secado en las características fisicoquímicas y la capacidad antioxidante del residuo de las aceitunas.

También se ha estudiado la aplicación de tecnologías alternativas durante el secado con el fin de reducir la temperatura aplicada y las modificaciones en la composición de los subproductos. Un ejemplo de estas tecnologías alternativas es la utilización de ultrasonidos que, por ejemplo, se ha estudiado en el secado de piel de naranja (Mello *et al.*, 2020) o la piel de manzana (Martins *et al.*, 2018). Otro ejemplo podría ser el estudio de Izli *et al.* (2018) sobre el impacto de tres tecnologías de secado (secado por aire caliente, microondas y liofilización) en las características antioxidantes y el color de la piña. Por otra parte, Urrea *et al.* (2012) estudiaron el impacto de las condiciones de secado de zanahoria.

1.3. Secado por aire caliente (SAC)

El secado por aire caliente (SAC) consiste en la aplicación de una corriente de aire que transfiere un flujo de calor al producto que se desea secar. Esto provoca la evaporación de parte de su contenido en agua y el transporte de ésta desde el producto al aire de secado, debido al gradiente de actividad de agua-humedad relativa. De este modo, el producto se deshidrata hasta alcanzar una actividad de agua tan baja que garantice su estabilidad (Fito *et al.*, 2001).

La transmisión de calor se realiza mediante convección, ya que el aire caliente es el que transfiere calor al producto y es el medio que transporta el agua evaporada. Sin embargo, dentro del producto, el calor se transfiere mediante conducción. Esta energía es utilizada para la movilización del agua en el interior, lo que permite su migración hacia la superficie del producto. Por otro lado, se precisa un gradiente de concentración de agua entre el interior del producto y la corriente de aire que fuerce el transporte de esta. Por todo ello, es importante determinar las condiciones del aire de secado (temperatura, concentración de agua, velocidad) y conocer las características del producto (humedad, tamaño) para llevar a cabo un secado eficiente (Contreras, 2006).

Durante un proceso de secado por aire caliente se distinguen tres etapas (Figura 1.1.). La primera se caracteriza por una velocidad de secado creciente (A) en la que el producto se calienta y el agua presente en la superficie de este se evapora rápidamente. A continuación, la velocidad de secado se mantiene constante (B), ya que el agua del interior del producto se desplaza lo suficientemente rápida como para mantener saturada la superficie del producto. Por último, se encuentra la tercera fase en la que la velocidad de secado decrece (C) debido a la formación de zonas secas que limitan el paso de la materia (agua) hasta la superficie para ser evaporada. (García, 2007).

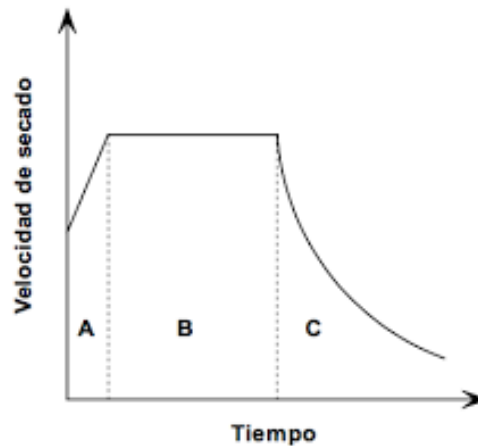


Figura 1.1. Etapas del secado convectivo (García, 2007). A, Periodo de velocidad creciente; B, periodo de velocidad constante; C, periodo de velocidad decreciente.

Por otro lado, es necesario conocer la isoterma de sorción del producto para determinar la humedad del producto en el punto de equilibrio con el aire de secado. Esta humedad se corresponde con una determinada actividad de agua en el producto, y es este valor el que debe garantizar su estabilidad (Castillo et al., 2014).

1.4. Industria de la sidra

España se sitúa entre los países europeos líderes en el mercado de la sidra, junto con el Reino Unido, Francia, Irlanda y Alemania. La Asociación europea de sidra y vinos de frutas (AICV) posiciona a España en segundo lugar, después del Reino Unido. La industria de la sidra en España se centra en el norte de la península, siendo Asturias la primera región productora. Según el Consejo Regulador de la sidra de Asturias, el 80% de la producción nacional pertenece al Principado de Asturias. Es una de las principales fuentes de su economía, junto con el sector de la leche y la carne. Sin embargo, también se produce sidra en el País Vasco, Navarra y Galicia. Además, la sidra de Asturias constituye todo un emblema para esta región, puesto que su elaboración y consumo desde tiempos antiguos se han convertido en una tradición. Por este motivo, la existencia de la denominación de origen protegida “Sidra de Asturias” que ampara toda la región del principado, garantiza la identidad de este producto.

No obstante, cualquier sidra producida en España debe cumplir con la normativa básica de calidad para la elaboración y comercialización de este producto, concretamente el Real Decreto 72/2017 del 10 de febrero. Según este documento, se diferencian dos tipos de sidra:

- Sidra natural: “producto resultante de la fermentación del mosto natural de manzana, cuyo contenido en gas carbónico y azúcares tiene origen endógeno exclusivamente.”

- Sidra: “producto resultante de la fermentación total o parcial del mosto de manzana, al que se puede incorporar, posteriormente a la fermentación, los azúcares o jarabes azucarados, regulados en la normativa sobre determinados azúcares destinados a la alimentación humana, y anhídrido carbónico.”

Asimismo, existen diferentes variantes de ambos tipos, como son la sidra natural dulce o espumosa, así como la sidra extra, sidra con zumos de frutas, sidra aromatizada, etc. Aunque todas ellas parten de las descritas inicialmente.

En cuanto a las variedades de manzanas empleadas en la elaboración del mosto, son seleccionadas en función de diferentes parámetros como son la acidez y la concentración en compuestos fenólicos. También influyen características como la época de floración, la sensibilidad a hongos y la época de maduración, entre otras. Algunas de las variedades utilizadas y permitidas por la D.O.P. Sidra de Asturias son: Blanquina, Carrió, Cladurina, Collaos, Coloradona, De la Riega, Durona de Tresali, Ernestina, Fuentes, Limón Montés, Meana, Panquerina, Perezosa, Perico, Prieta, Raxao, Regona, San Roqueña, Solarina, Teórica, Verdialona, Xuanina, etc. La mezcla de manzanas es imprescindible para conseguir la proporción adecuada de los parámetros mencionados anteriormente. (Consejo regulador de denominación de origen protegida *Sidra de Asturias*, 2020; Dapena y Blázquez, 2009).

1.4.1. Proceso de elaboración de la sidra

La elaboración de sidra sigue un proceso general que puede ser modificado en función del tipo de producto final que se desea obtener (Figura 1.2.).

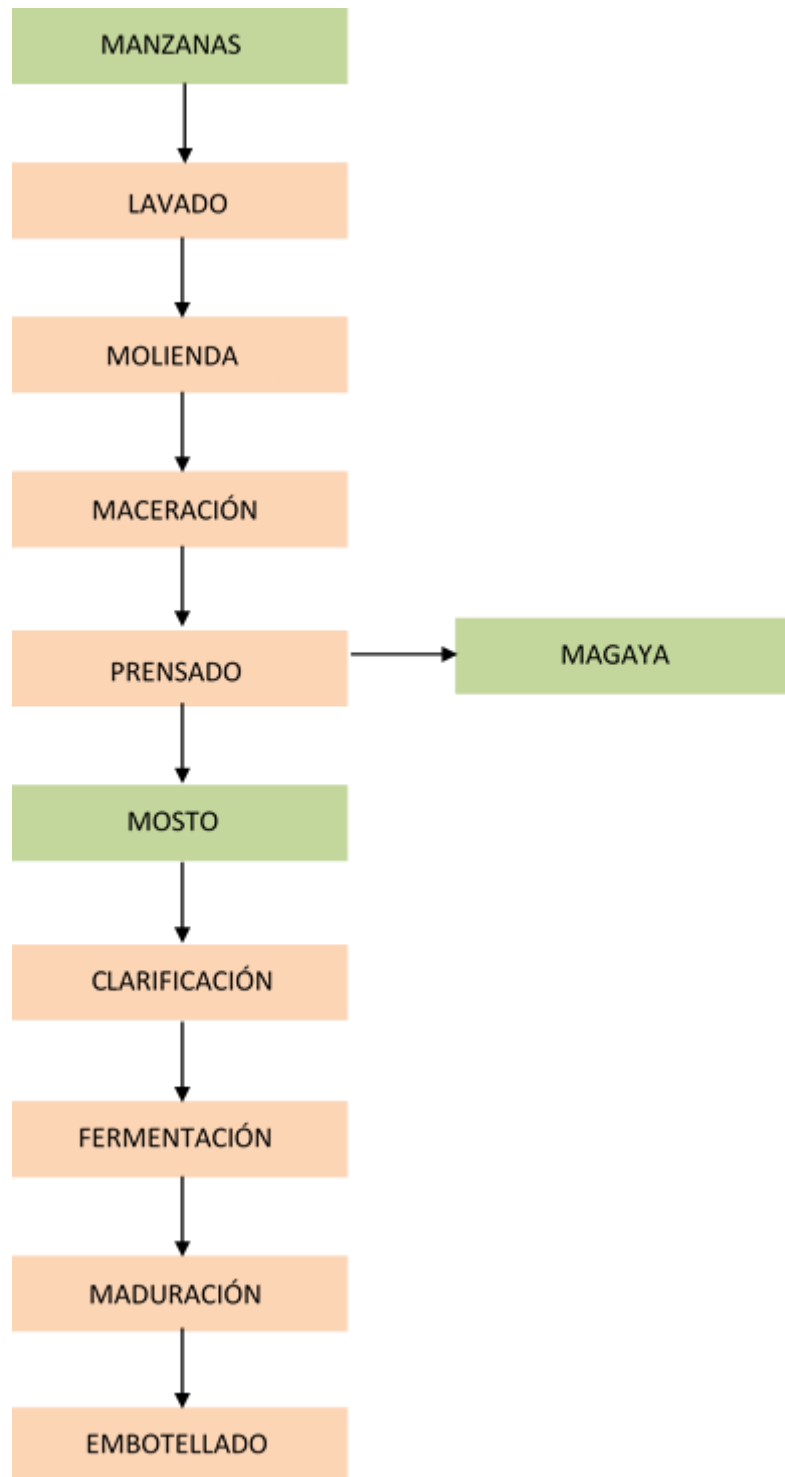


Figura 1.2. Proceso de elaboración de la sidra.

Así, una vez lavadas las manzanas, se trituran para facilitar la extracción del mosto en la etapa posterior de prensado. La maceración previa al prensado es una operación opcional que mejora la calidad del mosto aportándole diferentes aromas y compuestos de interés. Así mismo, la clarificación del mosto tras el prensado también es opcional y se pueden utilizar técnicas físicas, como la sedimentación o la centrifugación, o técnicas bioquímicas como la clarificación

enzimática. Posteriormente se realiza la fermentación del mosto, bien a partir de los microorganismos propios de la materia prima o con fermentos adicionados. En ambos casos, se trata de levaduras del género *Saccharomyces*, bacterias lácticas y acéticas. Igual que en la fermentación del mosto de uva tinta, se realiza la fermentación alcohólica seguida de una fermentación maloláctica. También se realizan trasiegos para homogeneizar el contenido del depósito durante la fermentación y separar las sustancias que van precipitando. Por último, la maduración permite estabilizar los compuestos de la sidra, así como adquirir nuevos aromas provenientes del recipiente donde se produce.

Entre las técnicas y/o modificaciones que se añaden al proceso base con el objeto de proporcionar las diferentes variantes de sidra se encuentran la segunda fermentación en botella o hacer una clarificación tras la fermentación en lugar de antes de esta (Mangas, 1996; Consejo regulador de denominación de origen protegida *Sidra de Asturias*, 2020).

1.4.2. Magaya de sidra

Como se observa en la Figura 1.2., tras el prensado de las manzanas aparece una serie de residuos constituidos por piel, pulpa, pepitas y pedúnculos, cuyo conjunto es denominado magaya de sidra. Este subproducto representa entre un 15 y un 30 % de la fruta fresca procesada (Vicente et al., 2005) y supone varios millones de toneladas anuales de residuos (Diñeiro et al., 2009). Esta magaya de sidra se ha reutilizado principalmente para alimentación animal, así como fertilizante en cultivos. Sin embargo, el crecimiento de la industria sidrera hace insuficiente este tipo de aprovechamientos, lo que la ha convertido en un problema medioambiental y económico.

La manzana es de las frutas más consumidas a nivel mundial y constituye una fuente importante de compuestos fenólicos y propiedades antioxidantes (Martins *et al.*, 2018). La magaya también tiene un contenido importante en compuestos antioxidantes y fibra que la convierten en un producto de valor añadido y objeto de numerosos estudios recientes para su revalorización. Entre sus posibles usos estudiados se encuentra la extracción de pectinas, su uso en productos alimentarios y en la producción de biocombustibles (Cruz et al., 2018). Por otro lado, la presencia de polifenoles, fibra dietética, polisacáridos y ácidos grasos convierten la magaya en una fuente de biomoléculas de interés.

Sin embargo, su elevado contenido en humedad dificulta su aprovechamiento, ya que se favorece la degradación. Es por ello necesaria la estabilización de este residuo que permita prolongar el tiempo de almacenamiento. En este sentido, el secado de la magaya podría ser una alternativa que permitiría no sólo alargar la vida útil del residuo si no también reducir las necesidades de almacenamiento y los costes del transporte (Barreira et al., 2019).

2. OBJETIVOS

El objetivo general del presente trabajo fue evaluar la influencia de la temperatura de secado en la cinética del proceso y sobre las características antioxidantes y las propiedades del residuo insoluble en alcohol de la magaya de sidra. Para ello, se plantearon diferentes objetivos específicos con la finalidad de conseguir el objetivo general. Estos fueron:

- Determinar y cuantificar la influencia de la temperatura de secado en la cinética de secado de la magaya.
- Identificar la influencia de la temperatura de secado en las características antioxidantes de la magaya.
- Cuantificar el contenido de residuo insoluble en alcohol de la magaya y evaluar la influencia de la temperatura de secado en sus propiedades funcionales.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Materia prima

La magaya de sidra utilizada en este trabajo fue proporcionada por el Servicio Regional de Investigación y Desarrollo Agroalimentario (Villaviciosa, Asturias, España) perteneciente a la red de centros INIA. Las muestras de magaya fueron tomadas en una industria de la zona justo tras el proceso de prensado y estaba constituida por entre 15 y 17 variedades de manzana específicas para la producción de sidra. Las muestras se refrigeraron inmediatamente y se transportaron en estas condiciones hasta las instalaciones del grupo ASPA de la Universitat Politècnica de València. Allí fueron envasadas a vacío (Figura 3.1.) y congeladas hasta su posterior procesado.



Figura 3.1. Magaya de sidra envasada al vacío.

Las muestras se descongelaron a 40 °C en estufa y durante 3 horas sin romper vacío para evitar pérdidas de humedad y mantener los compuestos inalterados. Para obtener un producto más homogéneo, se separaron las pepitas y el material leñoso (pedúnculos de las manzanas) de la magaya, ya que la estructura y composición de éstos difieren significativamente de la pulpa de la magaya de sidra (Figura 3.2.). De este modo, se eliminó su influencia en la cinética de secado y en las determinaciones analíticas posteriores. En todos los casos, se intentó reducir al máximo el tiempo transcurrido durante todo este proceso para evitar oxidaciones y/o pérdidas de agua.



Figura 3.2. Pepitas y material leñoso eliminado.

3.1.1. Determinación de humedad

La determinación de humedad de la magaya se realizó gravimétricamente según el procedimiento número 934.01 de la AOAC (AOAC, 1997). Para ello, entre 2 y 3 gramos de muestra descongelada según el protocolo de preparación descrito en el apartado anterior, fueron colocados en una flanera. Esta se introdujo en estufa a 100 °C hasta alcanzar peso constante. El contenido en humedad se calculó por diferencia de peso utilizando una balanza analítica Ultra Mark 500 de BEL (Italia). Este proceso se repitió por quintuplicado para las muestras utilizadas en cada secado.

3.2. Secado por aire caliente

El secado de la magaya se hizo a cinco temperaturas diferentes, 40, 60, 80, 100 y 120 °C (S40, S60, S80, S100, S120, respectivamente), a una velocidad del aire de secado constante de 1 m/s. Para ello, la muestra se colocó en bandejas de aluminio (Figura 3.3.) a razón de 180 gramos por bandeja y se introdujeron en el equipo de secado

Equipo de secado

El equipo utilizado para la realización de las experiencias fue un secadero convectivo con recirculación de aire caliente (modelo Binder FD 260, Tuttlingen, Alemania). Este dispone de dos baldas (Figura 3.3.) donde se situaron las bandejas de aluminio con la muestra durante el secado.



Figura 3.3. Equipo de secado utilizado.

3.2.1. Cinéticas de secado

Para la determinación de las cinéticas de secado, se pesaron las muestras (balanza mod. PB3002-2 de Mettler Toledo, España) a intervalos de tiempo predeterminados (10 min). Los secados se prolongaron hasta conseguir peso contante (3 pesadas seguidas con una variación de peso inferior a 0,1 %). Este procedimiento se realizó por cuadruplicado para cada una de las temperaturas estudiadas. Una vez terminadas las experiencias de secado, las muestras se trituraron y se envasaron a vacío hasta su posterior análisis.

3.2.2. Modelización de cinéticas de secado

La modelización de las cinéticas de secado permitió cuantificar la influencia de la temperatura en el proceso de secado de la magaya. Para ello, se empleó un modelo difusivo basado en la segunda Ley de Fick (Ecuación 3.1.) considerando tanto la resistencia interna y como la externa que ofrece el producto a la transferencia de agua. Se asumió que la muestra de magaya se comportó como una lámina infinita donde el flujo de humedad se produjo en una única dirección durante todo el proceso, siendo la difusividad efectiva (D_e) constante (Do Nascimento et al., 2016).

$$\frac{\partial W(x,t)}{\partial t} = D_e \frac{\partial^2 W(x,t)}{\partial x^2} \quad (\text{Ec. 3.1.})$$

donde W es el contenido en humedad (kg agua/kg de materia seca (m.s.)); D_e es la difusividad efectiva (m^2/s); t es el tiempo (s) y x es la dirección de transporte (m).

Para poder resolver la ecuación anterior se asumieron una serie de condiciones. En primer lugar, se consideró que durante el secado de la magaya las condiciones permanecieron constantes en cuanto a temperatura y homogeneidad de la muestra, asumiendo un contenido de humedad inicial uniforme (Ec 3.2.) (Moreno et al., 2017):

$$W(x, 0) = W_0 \quad (\text{Ec. 3.2.})$$

Al considerar tanto resistencia interna como externa, se asume que la humedad fluye desde el interior de la matriz hacia la superficie por difusión, para a continuación pasar al ambiente por convección (Ec. 3.3.). De esta forma, el ajuste del modelo a los datos experimentales se resuelve utilizando un método implícito de diferencias finitas, pudiendo identificar los parámetros cinéticos, D_e y k , correspondientes a la difusividad efectiva y coeficiente de transferencia de masa, respectivamente (Martins et al., 2018).

$$-D_e \rho_{ss} \frac{\partial W(L,t)}{\partial x} = k (a_w(L,t) - \varphi_{air}) \quad (\text{Ec. 3.3.})$$

donde ρ_{ss} es la densidad del sólido seco ($\text{kg materia seca/m}^3$); L es el semiespesor de magaya (m); k es el coeficiente de transferencia de masa ($\text{kg agua/m}^2\text{s}$); a_w es la actividad del agua y φ_{air} es la humedad relativa del aire de secado.

La identificación de los valores de D_e y k se realizó minimizando el sumatorio de las diferencias cuadráticas entre el contenido de humedad experimental y el calculado por el modelo utilizando el método SIMPLEX incluido en el programa Matlab (Matlab 2015™, Inc, Natick, EE. UU).

Para evaluar la bondad de los ajustes se obtuvo el porcentaje de varianza (% Var) (Ec. 3.4.) (Gamboa et al. 2014).

$$\% \text{ Var} = \left[1 - \frac{S_{ws}^2}{S_w^2} \right] \cdot 100 \quad (\text{Ec. 3.4.})$$

Donde S_w^2 y S_{ws}^2 corresponden con la desviación estándar de la muestra y de la estimación, respectivamente.

Además, con los valores de D_e , identificados a las diferentes temperaturas, se calculó la energía de activación mediante una ecuación de tipo Arrhenius (Ec. 3.5.) (Martins et al., 2018). Con ello, se cuantificó la influencia de la temperatura en el secado por aire caliente.

$$D_e = D_0 - e^{\frac{-E_a}{R \times T}} \quad (\text{Ec. 3.5.})$$

Donde D_0 es un parámetro pre-exponencial; E_a es la energía de activación (kJ/mol); R la constante de los gases ideales en ($\text{kJ/mol}\cdot\text{K}$) y T es la temperatura (K).

3.3. Parámetros de calidad

Con el objetivo de estudiar el efecto de la temperatura de secado sobre la calidad de la magaya con vistas a un futuro aprovechamiento, se determinó la capacidad antioxidante, el contenido en vitamina C y de los compuestos fenólicos totales, antes y después del secado. Además, también se cuantificó el residuo insoluble en alcohol y su capacidad de hinchamiento, de retención de grasa y de agua.

3.3.1. Propiedades antioxidantes

Las propiedades antioxidantes se analizaron a partir de un extracto etanólico obtenido según el procedimiento propuesto por Heredia *et al.* (2009). Para ello, se partió de muestra seca previamente triturada con un molinillo (Blixer 2 Robot-coupe, Francia). Así, se mezcló 1 g de la muestra triturada y 10 mL de etanol puro en un tubo Falcón y se refrigeró a 4 °C para a continuación añadir 10 mL más de etanol puro. La muestra se homogeneizó con ultra-turrax (T25 Digital, IKA, Alemania) durante 1 minuto a 13500 rpm. Posteriormente se envolvió con papel de aluminio para proteger de la incidencia de la luz y se mantuvo a 4 °C durante 24 horas. Finalmente se centrifugó (Medifriger BL-S, P. Selecta, España) a 4000 rpm durante 10 min a 4 °C. A continuación, el sobrenadante se filtró con un filtro de microfibra de vidrio de 90 mm (Prat Dumas, Francia), lavándolo con etanol puro para asegurar la máxima extracción y diluyendo la muestra hasta 20 mL. El extracto se mantuvo en nevera a 4 °C hasta su análisis, que se realizó en las siguientes horas. Estos extractos se prepararon por triplicado, tanto para la muestra de magaya antes de secar como para las muestras secadas cada temperatura de secado.

3.3.1.1. Capacidad antioxidante (CA)

La determinación de la capacidad antioxidante (CA) se llevó a cabo mediante el método espectrofotométrico del FRAP (Ferric Reducing Ability Power) descrito por Benzie y Strain (1996). El reactivo FRAP fue preparado a partir de la adición consecutiva de los siguientes reactivos: tampón acetato sódico anhidrido 0,3 M, solución TPTZ (2,4,6-tri(2-piridil)-s-(triazina)) 10 mM en ácido clorhídrico 40 mM y solución de cloruro férrico (III) 20 mM. La proporción utilizadas de estos compuestos fue 1:1:1. Posteriormente, la solución se incubó en baño a 37 °C durante 30 min. Se obtuvo un color caramelo previo a la incubación y que después oscureció por efecto de esta. Una vez obtenido el reactivo FRAP, se midió la capacidad antioxidante de las muestras. Para ello, se prepararon 3 cubetas para cada repetición y una para el blanco, añadiendo 30 µL de agua, 30 µL de extracto preparado (o etanol para el blanco) y 900 µL del reactivo FRAP, consecutivamente. Se incubó en baño a 37 °C durante 30 minutos. Por último, se procedió a la lectura en espectrofotómetro (Helios Gamma, Thermo Spectronic, Cambridge, UK) a la longitud de onda de 595 nm.

El cálculo de la CA se determinó a partir de una recta patrón que fue determinada anteriormente utilizando un estándar de Trolox a diferentes concentraciones conocidas (Ec. 3.6.).

$$\text{Concentración Trolox} = 6,3507 - 0,1548 \cdot \text{Absorbancia}_{595} \quad (\text{Ec. 3.6.})$$

La capacidad antioxidante se expresó en mg Trolox/g ms.

3.3.1.2. Vitamina C (AAE)

La determinación de vitamina C se realizó mediante una técnica colorimétrica utilizando el reactivo Folin-Ciocalteu, descrita por Jagota y Dani (1982). En primer lugar, la muestra se trató con una solución de ácido tricloroacético al 7,5 %. Para ello, se añadió 0,5 mL de la muestra (extracto inicial o etanol para el blanco) y 0,5 mL de la solución citada. La mezcla se agitó enérgicamente y se dejó en reposo a 4 °C durante 5 min. A continuación, se filtró con filtros hidrofóbicos. En una cubeta se añadió 0,2 mL del extracto obtenido, 2 mL de agua destilada y 0,2 mL de solución Folin-Ciocalteu diluida 1:10 y se incubó a temperatura ambiente durante 10 minutos. Finalmente, se hizo la lectura en espectrofotómetro (Helios Gamma, Thermo Spectronic, Cambridge, UK) a la longitud de onda de 760 nm.

La cuantificación de la vitamina C en la muestra se realizó con respecto a una recta patrón determinada anteriormente utilizando un estándar a diferentes concentraciones de ascórbico equivalente (AAE) (Ec. 3.7.).

$$\text{AAE} = 352,47 \cdot \text{Absorbancia}_{760} - 2,4334 \quad (\text{Ec. 3.7.})$$

El resultado fue expresado en mg AAE/mg ms.

3.3.1.3. Compuestos fenólicos totales (CFT)

Los compuestos fenólicos totales (CFT) fueron analizados mediante el método espectrofotométrico descrito por Gao *et al.* (2000) utilizando de nuevo el reactivo Folin-Ciocalteu. Para ello, se añadieron 100 µL de extracto de la muestra (o etanol para el blanco), 200 µL del reactivo Folin-Ciocalteu y 2 mL de agua destilada. La mezcla se incubó a temperatura ambiente durante 3 min y se añadió 1 mL de carbonato de sodio al 20% y se mantuvo de nuevo a temperatura ambiente durante 1 hora, protegida de la luz. La medida de la absorbancia se realizó en el mismo espectrofotómetro (Helios Gamma, Thermo Spectronic, Cambridge, UK) a la longitud de onda de 765 nm. La curva de calibrado utilizada para la cuantificación del CFT se calculó previamente utilizando un estándar de concentraciones de ácido gálico equivalente (AGE) conocidas. Se presenta a continuación:

$$\text{AGE} = 8,8513 \cdot \text{Absorbancia}_{765} - 1,2785 \quad (\text{Ec. 3.8.})$$

El resultado del contenido en compuestos fenólicos totales se expresó como mg AGE/mg ms.

3.3.2. Caracterización de residuo insoluble en alcohol (RIA)

Por otra parte, también se evaluó el contenido en residuo insoluble en alcohol (RIA), como medida del contenido de fibra, tanto de la muestra inicial de magaya como tras su secado a las diferentes temperaturas ensayadas. El método consistió en realizar sucesivos lavados de la muestra con etanol (Femenia *et al.*, 1998). Así, en primer lugar, 1,5 g de la muestra triturada se diluyó en 15 mL de etanol al 85 % para ser homogeneizados con ultra-turrax (T25 Digital, IKA, Alemania) durante 1 min a 13500 rpm. A continuación, se añadieron 100 mL más de etanol al 85%. Se homogenizó de nuevo durante 1 min a 13500 rpm y se llevó a ebullición durante 5 min. Se volvió a homogenizar durante 2 min más en ultra-turrax a 13500 rpm y se hirvió otro min más. El contenido, se filtró con papel Whatman a vacío y se recuperó la fibra del papel de filtro para diluir de nuevo en 100 mL de etanol al 85 %. Se llevó a ebullición durante 1 min y se filtró otra vez. Este último proceso se repitió una vez más utilizando etanol al 96 % y se realizó un último lavado con acetona. El RIA final obtenido junto con el filtro se dejó en estufa a vacío a 60°C durante 24 horas. Por diferencia de peso se determinó el rendimiento de la extracción. Estas determinaciones se realizaron por triplicado para la muestra fresca y para cada una de las temperaturas de secado ensayadas. Así mismo, con el objetivo de evaluar posibles cambios en las propiedades fisicoquímicas de la fibra de magaya tras el secado a las diferentes temperaturas, se estudiaron las propiedades funcionales del RIA obtenido. En este sentido, la capacidad de hinchamiento (CH), la capacidad de retención de grasa (CRG) y la capacidad de retención de agua (CRA) fue medida antes y después del secado.

3.3.2.1. Capacidad de hinchamiento (CH)

La capacidad de hinchamiento (CH) fue medida utilizando la metodología propuesta por Daou y Zang (2011). Así, se introdujeron 0,2 g de RIA en probetas de 10 mL y se anotó el volumen inicial que ocupó. Posteriormente se enrasó a 10 mL con agua destilada y se dejó reposar a temperatura ambiente durante 24 h. Transcurrido ese tiempo, se anotó el volumen final que ocupó el RIA. El resultado final se expresó en mL de agua/ g RIA. Esta determinación se hizo por triplicado para cada condición de temperatura de secado ensayada.

3.3.2.2. Capacidad de retención de grasa (CRG)

LA CRG se determinó siguiendo el protocolo descrito por Garau *et al.* (2007). Así, en tubos de centrífuga, previamente pesados, se añadieron 0,2 g de RIA y 10 mL de aceite vegetal. La mezcla se dejó reposar a temperatura ambiente durante 24 h. Transcurrido ese tiempo, se centrifugó (Medifriger BL-S, P. Selecta, España) a 6000 rpm durante 15 min a 4 °C. Después se eliminó el aceite sobrante de los tubos para tomar el peso final del tubo con el RIA y el aceite retenido. Por diferencia de pesos se obtuvo el valor de la cantidad de aceite retenido en el RIA. El resultado final se expresó en g aceite/g RIA. La CRG se realizó por triplicado.

3.3.2.3. Capacidad de retención de agua (CRA)

La capacidad de retención de agua (CRA) se determinó de manera similar a la CRG (Garau *et al.*, 2007). Para ello, en tubos de centrifuga, previamente pesados, se añadieron 0,2 g de RIA y 10 mL de agua destilada. El conjunto se dejó reposar a temperatura ambiente durante 24 h. Transcurrido ese tiempo, se centrifugó (Medifriger BL-S, P. Selecta, España) a 6000 rpm y 4 °C durante 15 min. Después se eliminó el agua sobrante y se tomó el peso final del tubo con el RIA y el agua retenida. Por diferencia de peso se obtuvo el valor de la cantidad de agua retenida en el RIA. El resultado final también se expresó en g agua/g RIA. La CRG se realizó por triplicado.

3.4. Tratamiento estadístico de datos

Para comprobar la significación estadística de los resultados obtenidos, se realizó un análisis de la varianza (ANOVA simple), así como la determinación de las diferencias significativas (LSD) de las variables estudiadas en función del factor temperatura de secado. Para ello, se utilizó el programa informático Statgraphics Centurion XVII.II (Statistical Graphics Corporation, Warrenton, USA). De esta forma, se pudo establecer la significación de la influencia de la temperatura sobre la cinética de secado (D_e y k) y las diferentes propiedades de calidad de la magaya de sidra analizadas (CA, AAE, CFT, RIA, CH, CRG y CRA).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Cinéticas de secado

Las muestras de magaya utilizadas presentaron una humedad media inicial de $3,22 \pm 0,14$ kg agua/ kg de materia seca (m.s.). Como era de esperar, se observó una importante influencia de la temperatura sobre la cinética de secado de las muestras, siendo el secado más rápido cuánto mayor fue la temperatura utilizada (Figura 4.1.). El aumento de la temperatura supone un aumento de la energía disponible en el sistema para generar el transporte de agua. Además, reduce la humedad relativa del aire de secado, aumentando el gradiente de humedad entre el producto y el aire de secado (Do Nascimento *et al.*, 2016), y provoca un aumento de la presión de vapor en el interior de la muestra que favorece la difusividad de las moléculas de agua y, consecuentemente, su evaporación (Saavedra *et al.*, 2017; Fito, 2001). Así, por ejemplo, el tiempo que se necesitó para alcanzar una humedad de 1 kg de agua/kg m.s. en el secado realizado a mayor temperatura, 120 °C (63 ± 6 min) fue un 85,6 % menor que el que se necesitó en los secados realizados a la menor temperatura ensayada, 40 °C (439 ± 10 min). A 60 °C (202 ± 6 min) la reducción fue de un 54 %, a 80 °C (124 ± 6 min) de un 71,8 % y a 100 °C (86 ± 7 min) de 86 %.

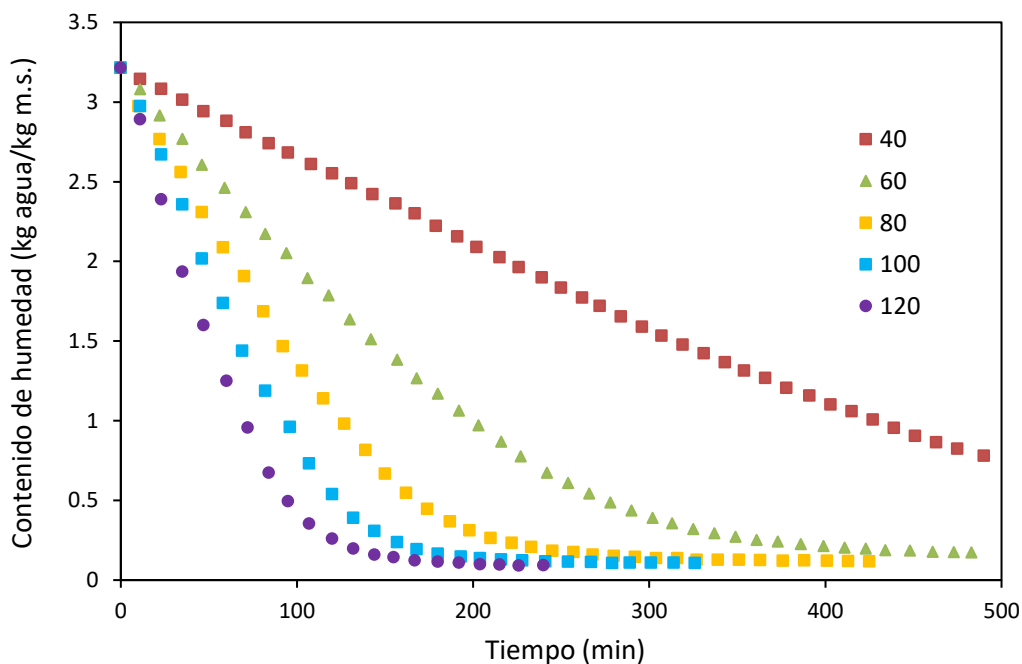


Figura 4.1. Cinéticas de secado de la magaya de sidra a las diferentes temperaturas (40, 60, 80, 100 y 120 °C).

Como se indica en la sección de “Materiales y métodos”, los secados se prolongaron hasta que el peso alcanzado por las muestras fue constante. Sin embargo, la humedad final alcanzada por las muestras fue ligeramente diferente dependiendo de la temperatura empleada en cada una

de ellas. Como muestra la tabla 4.1., la humedad final fue menor cuanto mayor fue la temperatura de secado. Así, las muestras secadas a 40 °C prácticamente doblaron la humedad final de las muestras secadas a 120 °C. El aumento de la temperatura disminuye la humedad relativa del aire de secado y, consecuentemente se reduce la humedad de equilibrio (Do Nascimento *et al.*, 2016).

Tabla 4.1. Tiempo requerido en cada temperatura de secado ensayada para alcanzar peso constante y humedad final en las muestras en ese momento.

TEMPERATURA (°C)	TIEMPO DE SECADO (MIN)	HUMEDAD (B.S.)
40	1485	0,153 ± 0,015
60	483	0,158 ± 0,019
80	425	0,105 ± 0,009
100	326	0,11 ± 0,04
120	240	0,079 ± 0,011

Estos resultados muestran la gran influencia de la temperatura en las cinéticas de secado. Do Nascimento *et al.* (2016) obtuvieron resultados similares en piel de maracuyá. Estos autores observaron un 75 % de reducción del tiempo de secado 70 °C comparado con 40 °C. También Garau *et al.* (2007) y Martins *et al.* (2018) encontraron reducciones de tiempo significativas entre los secados realizados a 70 °C respecto a los de 30 °C de hasta el 70 % para los subproductos de naranja y del 78 % para la piel de manzana (Royal Gala var.), respectivamente.

4.2. Modelización de las cinéticas experimentales de secado

La modelización de los datos experimentales permitió cuantificar la influencia de la temperatura en las cinéticas de secado. Así, el modelo difusivo propuesto, que considera la influencia tanto de la resistencia interna como la resistencia externa en el transporte de agua, ajustó correctamente a los datos de evolución de humedad como muestran los valores de porcentaje de varianza explicada (%Var), superiores al 99,7% en todos los casos (Tabla 4.2.). Además, como se muestra en la Figura 4.2., para el ajuste del modelo a los datos experimentales del secado a 40 °C, la tendencia de los datos experimentales y los calculados por el modelo fue la misma.

En cuanto a los valores de difusividad efectiva (D_e) identificados mediante el modelo difusivo, se encontraron en el mismo orden de magnitud que los que se observaron en la bibliografía (Martins *et al.*, 2018; Rodríguez *et al.*, 2014) para diferentes partes de la manzana. Las posibles variaciones con los valores de la bibliografía son debidas a los diferentes tipos de muestra utilizadas en cada estudio, puesto que en el presente trabajo se utilizó tanto la piel como la pulpa de la manzana, mientras que en los otros estudios se centraron únicamente en la piel (Martins *et al.*, 2018) o en la pulpa (Rodríguez *et al.*, 2014). Como cabía esperar, se observó una relación creciente entre dichos valores y la temperatura de secado. De hecho, se observaron que dichas diferencias resultaron significativas ($p < 0,05$) entre los secados realizados con las temperaturas más elevadas (100 y 120 °C) y los secados realizados con temperaturas más moderadas (40, 60 y 80 °C). El aumento de la temperatura supuso un incremento en la energía

disponible en el sistema que facilitó la movilidad del agua en el interior de las muestras (Do Nascimento *et al.*, 2016).

En el caso del coeficiente de transferencia de materia (k), también se apreció la misma tendencia creciente de sus valores a medida que lo hacía la temperatura. Los valores obtenidos de k fueron similares a los de Martins *et al.* (2018) para la piel de manzana. En este caso, las diferencias entre cada uno de los valores identificados a las distintas temperaturas fueron significativas ($p < 0,05$) en todos los casos. El aumento de temperatura incrementó el valor de k debido a que se mejoró la transferencia de energía desde el aire de secado, lo que a su vez incrementó el transporte de materia. Este hecho demuestra que el aumento de la temperatura de secado induce tanto una disminución de la resistencia interna como de la resistencia externa que explican lo observado con anterioridad al analizar los resultados experimentales.

Tabla 4.2. Valores de difusividad efectiva (D_e) y del coeficiente de transferencia de masa (k) identificados mediante la aplicación del modelo difusivo a las cinéticas experimentales de secado de magaya a diferentes temperaturas. Porcentaje de varianza (%Var) explicada por el modelo.

TEMPERATURA (°C)	D_e ($\times 10^9 \text{ m}^2/\text{s}$)	k ($\times 10^{-3} \text{ kg agua}/\text{m}^2 \text{ s}$)	% Var
40	$0,48 \pm 0,13^a$	$0,297 \pm 0,007^a$	99,9
60	$1,3 \pm 0,4^a$	$0,628 \pm 0,014^b$	99,9
80	$3,25 \pm 1,13^a$	$1,09 \pm 0,04^c$	99,9
100	6 ± 2^b	$1,67 \pm 0,09^d$	99,8
120	9 ± 3^b	$2,47 \pm 0,16^e$	99,7

En la misma columna, valores con la misma letra muestran que no hay diferencias significativas entre los valores ($p > 0,05$)

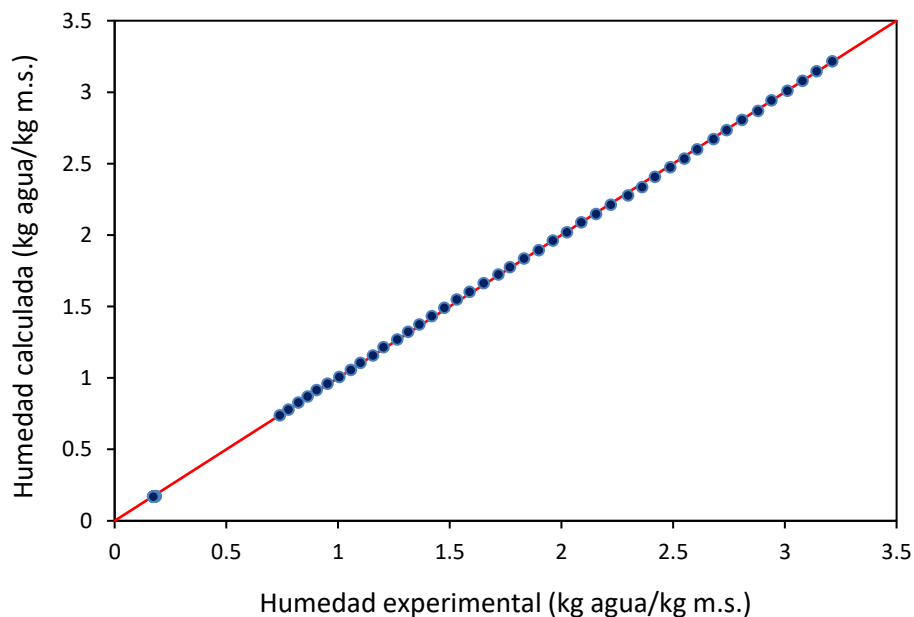


Figura 4.2. Relación entre la evolución de la humedad experimental y la calculada con el modelo difusional de muestras de magaya secadas a 40 °C.

La cuantificación de la influencia de la temperatura en el secado por aire caliente se realizó mediante el ajuste de una ecuación de tipo Arrhenius a los datos de D_e identificados con el modelo difusivo (Ec. 3.5.). La Figura 4.3. muestra que el ajuste de los datos a dicha ecuación fue adecuado ($r^2=0,9891$).

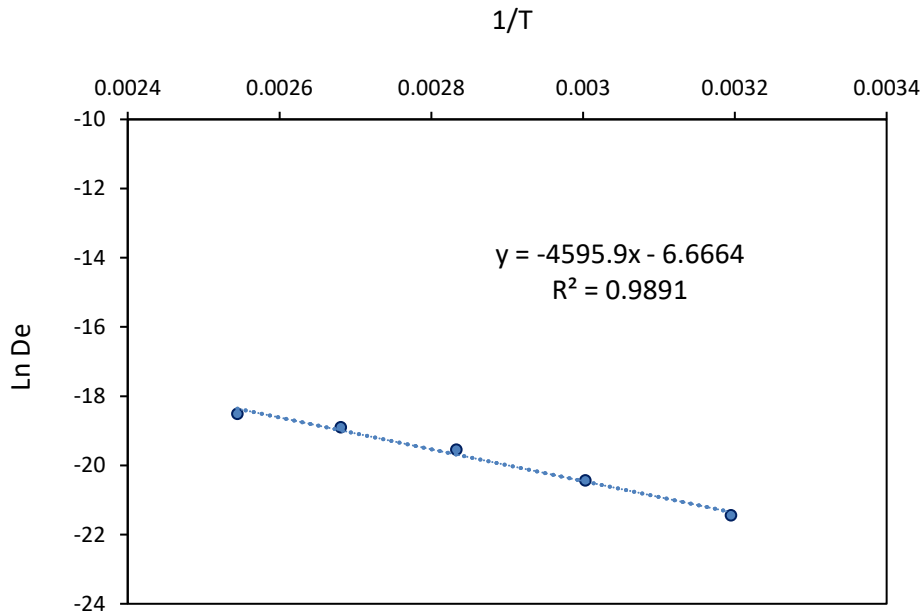


Figura 4.3. Relación entre el logaritmo neperiano de la difusividad efectiva identificada a partir de la modelización de las cinéticas de secado de magaya y la temperatura de secado.

La energía de activación obtenida fue de 38,21 kJ/mol. Este valor fue ligeramente superior al obtenido por Martins *et al.* (2018) para el secado con aire de la piel de manzana (Royal Gala var.) con un valor de 32,51 kJ/mol.

4.3. Parámetros de calidad

También se estudió la influencia de la temperatura de secado en la calidad de la magaya obtenida.

4.3.1. Capacidad antioxidante (CA)

La capacidad antioxidante (CA) de las muestras iniciales de magaya fue de $0,32 \pm 0,07$ mg Trolox/g ms. Este valor es inferior al obtenido por otros autores en pulpa de manzana Granny Smith (Rodríguez *et al.*, 2014; Santacatalina *et al.*, 2014) o piel de manzana Royal Gala (Martins *et al.*, 2018). Sin embargo, es necesario considerar en este caso, la diferente composición en variedades y partes de la manzana que constituyen la magaya. A esto se suma que la magaya es el subproducto que se obtiene después del prensado de las manzanas para la obtención de la sidra, con lo cual ha sufrido importantes reacciones de oxidación.

El secado redujo la capacidad antioxidante más de un 50 % en todas las temperaturas ensayadas. La degradación de los compuestos antioxidantes durante el secado es la causa de la reducción de la capacidad antioxidante, ya que algunos de estos compuestos son inestables a la temperatura, es decir, termolábiles (Izli *et al.*, 2018; Henríquez *et al.*, 2013). La temperatura de secado afectó a la retención de la CA. Así, el porcentaje de retención más elevado se consiguió con la temperatura de 100 °C, mientras que la menor retención fue a la temperatura de 40 °C (Tabla 4.3.). Estos resultados podrían indicar que el efecto del secado sobre la CA puede deberse a una combinación de tiempo-temperatura. En las muestras secadas a 40 °C, a pesar de aplicar una temperatura de tratamiento baja, el gran tiempo de exposición incrementó la degradación de compuestos antioxidantes. Por el contrario a 120 °C, aunque el tiempo de tratamiento fue muy corto, la temperatura tan elevada también afectó a la CA. En el caso del secado a 100 °C se alcanzaría un tratamiento de compromiso, que supondría un secado rápido a una temperatura no tan dañina.

Tabla 4.3. Capacidad antioxidante (mg Trolox/g m.s.) y porcentaje de retención de la capacidad antioxidante en muestras de magaya secadas a diferentes temperaturas.

Temperatura (°C)	mg Trolox/g m.s.	% retención CA
40	$0,089 \pm 0,012^a$	28 ± 5^a
60	$0,09 \pm 0,02^{ab}$	30 ± 3^{ab}
80	$0,11 \pm 0,02^{bc}$	35 ± 6^{bc}
100	$0,1299 \pm 0,0105^d$	41 ± 7^d
120	$0,114 \pm 0,016^c$	36 ± 4^c

En la misma columna, valores con la misma letra muestran que no hay diferencias significativas entre los valores ($p > 0,05$)

4.3.2. Vitamina C (AAE)

El contenido de vitamina C es uno de los indicadores más importantes para evaluar el secado de frutas y vegetales, debido a su alta sensibilidad a la temperatura y la humedad (Gamboa *et al.*, 2014). El contenido inicial de ácido ascórbico equivalente (AAE) en las muestras de magaya fue de $0,21 \pm 0,03$ mg AAE/g ms. El secado produjo una degradación de la vitamina C obteniendo unos porcentajes de retención en la muestra inferiores al 50 % de su contenido inicial (Figura 4.4.). La temperatura de secado también afectó al nivel de retención de AAE. En este caso, la

temperatura más favorable observada fue la de 80 °C, con una retención del $46 \pm 7 \%$ ($0,098 \pm 0,016$ mg AAE/g ms). En el caso de las muestras secadas a 100 y 120 °C, los contenidos en AAE retenidos (37 ± 8 y $43 \pm 4 \%$ respectivamente) fueron ligeramente inferiores, aunque estas diferencias no llegaron a ser significativas ($p > 0,05$). En cuanto a las experiencias realizadas a 40 y 60 °C, sus contenidos en ácido ascórbico equivalente fueron de $0,046 \pm 0,011$ mg AAE/ g ms ($21 \pm 5 \%$) y $0,080 \pm 0,018$ mg AAE/g ms ($31 \pm 4\%$), respectivamente, siendo los valores obtenidos significativamente ($p < 0,05$) más bajos. De nuevo, el tiempo prolongado de secado asociado al uso de las temperaturas de secado más bajas ensayadas podría favorecer la aparición de reacciones de oxidación y, por lo tanto, de degradación de la vitamina C.

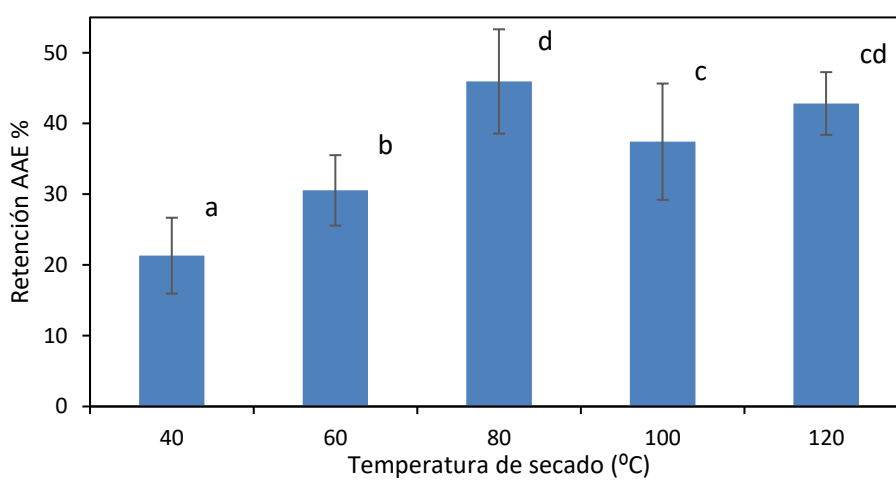


Figura 4.4. Porcentaje de retención de vitamina C en muestras de magaya tras el secado a diferentes temperaturas.

4.3.3. Compuestos fenólicos totales (CTF)

El contenido inicial de compuestos fenólicos totales de la magaya fue de $0,075 \pm 0,012$ mg de ácido gálico equivalente (AGE)/g ms. Este valor fue superior que el obtenido tras el secado como se puede ver en la Figura 4.5. En este caso, en la mayor parte de las temperaturas ensayadas, se obtuvieron porcentajes de retención de dichos compuestos superiores al 50 % (Tabla 4.4.). De la misma forma que se observó para la vitamina C, las experiencias realizadas a 80 °C presentaron el máximo valor de CTF, significativamente superior al resto ($p < 0,05$) con un porcentaje de retención del $66 \pm 11 \%$ (Tabla 4.4.). Las muestras secadas a 60 y 100 °C consiguieron retener un $55 \pm 4 \%$ y $57 \pm 6 \%$, respectivamente, no resultando significativas ($p > 0,05$) las diferencias entre dichas temperaturas de secado. Por último, los valores más bajos de CTF se obtuvieron en las muestras secadas a 120 y 40 °C con un $45 \pm 10 \%$ y $22 \pm 5 \%$ de compuestos fenólicos totales retenidos respectivamente. Esta tendencia evidenció de nuevo, que el efecto de la temperatura y del tiempo de exposición al aire de secado influyó en la degradación de los compuestos fenólicos. Como en el caso de AAE, los secados realizados a 80 °C combinaron un tiempo relativamente corto y temperatura menos dañina para el CTF.

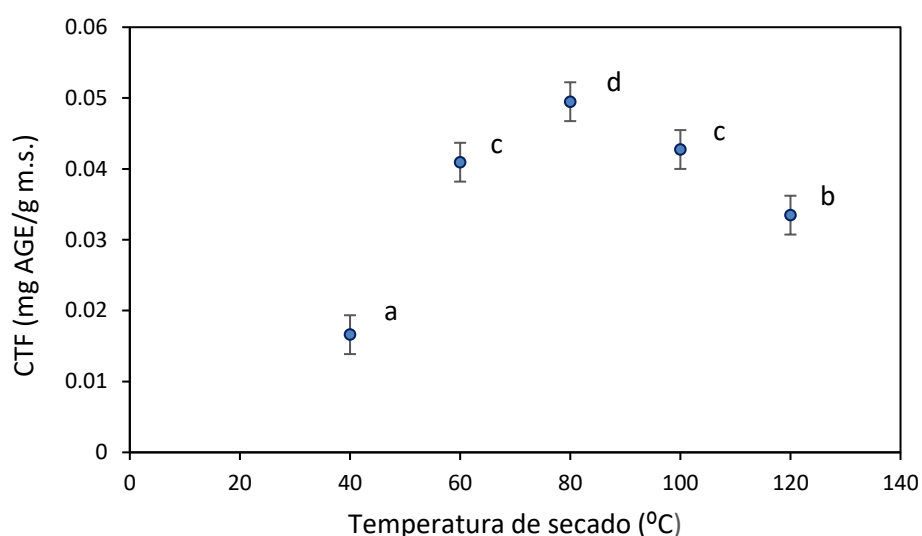


Figura 4.5. Contenido de compuestos fenólicos totales (AGE/g ms) en las muestras de magaya tras el secado a diferentes temperaturas.

Tabla 4.4. Porcentaje de retención de los compuestos fenólicos en la muestra tras el secado.

Temperatura (°C)	% retención CTF
40	22 ± 5 ^a
60	55 ± 4 ^c
80	66 ± 11 ^d
100	57 ± 6 ^c
120	45 ± 10 ^b

4.3.4. Residuo insoluble en alcohol (RIA)

Además de las características antioxidantes de la magaya, también se evaluó la influencia de la temperatura de secado en el residuo insoluble en alcohol (RIA) como una medida de la fibra alimentaria de este subproducto. El rendimiento de extracción del residuo insoluble en alcohol (RIA) fue de 68 ± 4 % para la muestra fresca, valor similar al obtenido en subproducto de manzana por Kosmala *et al.* (2011). Tras el secado, el rendimiento de RIA varió para las diferentes temperaturas de secado entre 66 % y 70 % (Tabla 4.5.), sin mostrar diferencias significativas entre ellas. Por lo tanto, ni el secado ni la temperatura de secado afectó al rendimiento del RIA de la magaya.

Tabla 4.5. Rendimiento de extracción del residuo insoluble en alcohol (RIA) después del secado.

Temperatura (°C)	Rendimiento RIA (g fibra/g ms)
40	69,5 ± 0,11 ^a
60	69,0 ± 0,4 ^a
80	69,0 ± 0,5 ^a
100	66,3 ± 0,9 ^a
120	66,5 ± 0,9 ^a

Por otro lado, también se estudió la influencia sobre las propiedades funcionales del RIA.

4.3.4.1. Capacidad de hinchamiento (CH)

La CH de las muestras se determinó a partir del incremento de volumen del RIA después de su hidratación durante 24 horas. Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 4.6. Aunque las diferencias de volumen entre las muestras secadas a las cinco temperaturas ensayadas fueron mínimas, se observó una disminución de la CH a medida que aumentó la temperatura de secado (Figura 4.6.). Esto puede deberse al cambio de estructura de las fibras producido por la aplicación de elevadas temperaturas. De esta forma, el RIA correspondiente a las experiencias realizadas a 120 °C mostró un incremento de volumen de 10,6 ± 0,4 mL/g RIA frente a los 13,2 ± 0,6 mL/g RIA que se observó en las muestras de las experiencias a 40 °C. Garau *et al.* (2007) obtuvieron una tendencia similar con los valores de CH para la pulpa de naranja. En este caso los valores obtenidos en ese estudio fueron superiores (entre 23,6 ml agua/g RIA y los 30 ml agua/g RIA) a los obtenidos en el RIA de la magaya. Sin embargo, estos autores también observaron un descenso en la CH al aumentar la temperatura de secado.

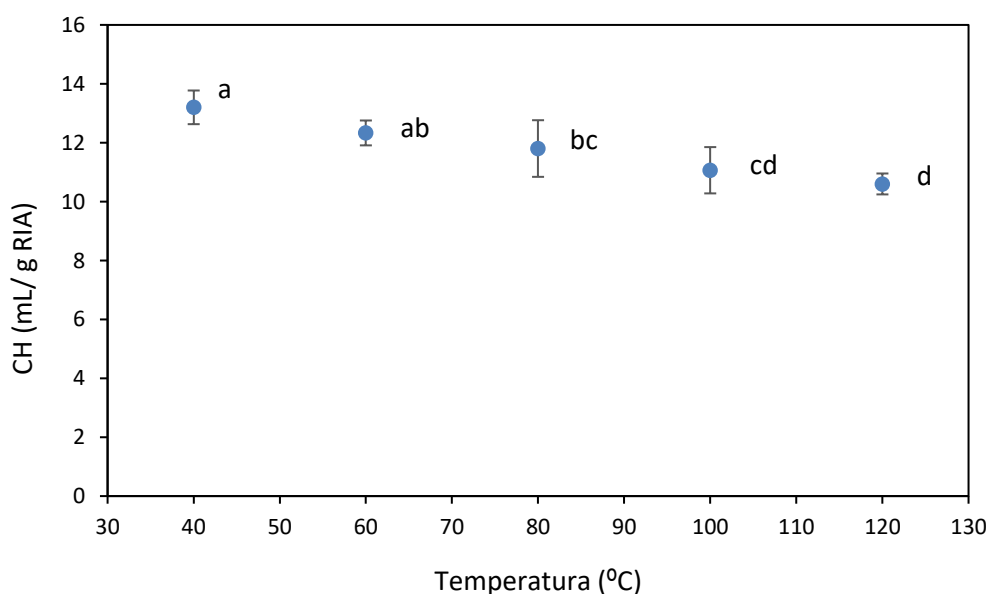


Figura 4.6. Capacidad de hinchamiento (mL/g RIA) del RIA de muestras de magaya secadas a diferentes temperaturas.

4.3.4.2. Capacidad de retención de grasa (CRG)

La capacidad de retención de grasa (CRG) se expresó en g aceite absorbido/g RIA. En este caso, las muestras de las experiencias realizadas a 60 °C presentaron una CRG ($7,6 \pm 0,7$ g aceite /g RIA) superior al resto de experiencias. Los secados a temperaturas superiores mostraron valores progresivamente inferiores con el incremento de la temperatura (Figura 4.7.). El ANOVA indicó que la temperatura fue factor significativo en la CRG de las muestras ($p < 0,05$). Los intervalos LSD mostraron que las experiencias realizadas a 40 °C y 60 °C no presentaron diferencias significativas entre ellas, pero sí con el resto de las experiencias.

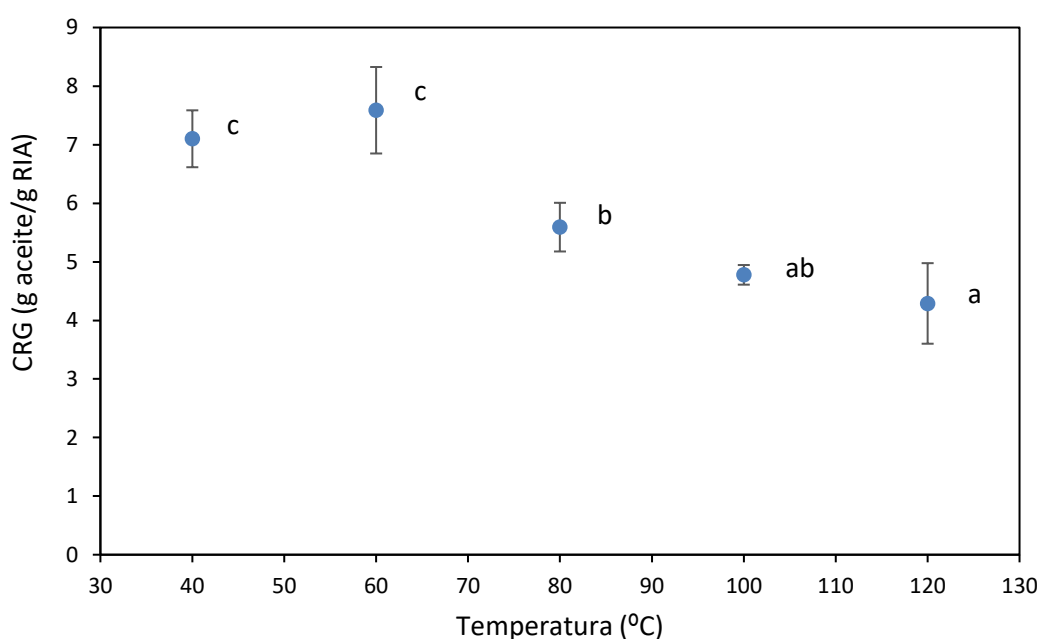


Figura 4.7. Capacidad de retención de grasa del RIA procedente de muestras de magaya secadas a diferentes temperaturas.

4.3.4.3. Capacidad de retención de agua (CRA)

El comportamiento del RIA en relación con la capacidad de retención (CRA) de agua fue muy similares al de la CRG. Así, las muestras secadas a 60 °C fueron las que presentaron el máximo valor ($14,64 \pm 1,08$ g agua retenidos/g RIA). Las otras temperaturas de secado ensayadas proporcionaron RIA con valores inferiores de CRA (Figura 4.8). Los valores obtenidos fueron muy similares a los que se encuentran en la bibliografía (Garau *et al.*, 2007). El análisis estadístico confirmó que la temperatura fue un factor significativo en la CRA ($p < 0,05$).

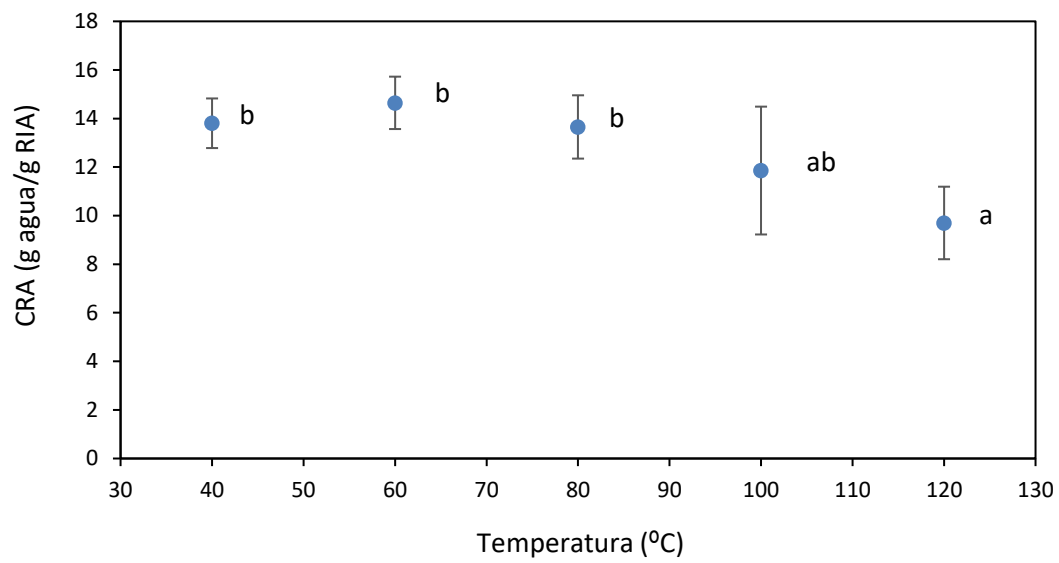


Figura 4.8. Capacidad de retención de agua del residuo insoluble en alcohol de muestras de magaya secadas a diferentes temperaturas.

5. CONCLUSIONES

Las principales conclusiones obtenidas del presente trabajo se muestran a continuación:

- La temperatura influyó significativamente en la velocidad de secado. Conforme aumentó la temperatura se redujo el tiempo de proceso.
- El modelo difusivo resultó adecuado para describir las cinéticas de secado a las diferentes temperaturas aplicadas. Tanto la difusividad efectiva como el coeficiente de transferencia de materia se incrementaron con la temperatura de secado. Esto indica que la temperatura afectó tanto a la resistencia interna a la transferencia de agua como a la externa.
- La relación de la difusividad efectiva con la temperatura siguió una relación de tipo Arrhenius.
- El secado afectó a la retención de las propiedades antioxidantes y las propiedades funcionales del residuo insoluble en alcohol.
- El secado a la temperatura de 80 °C resultó el más favorable para la retención de los compuestos fenólicos totales y de la vitamina C, mientras que, para la retención de la capacidad antioxidante, la temperatura con mejores resultados fue la de 100 °C.
- El rendimiento del residuo insoluble en alcohol en la muestra fresca fue de 68 ± 4 %, y tras el secado no se observó una disminución de su contenido.
- Las temperaturas más bajas ensayadas (40 y 60 °C) resultaron ser las más favorables para la retención de la capacidad de hinchamiento, capacidad de retención de grasa y agua del residuo insoluble en alcohol.

6. BIBLIOGRAFÍA

AICV & Global Data, 2019. *European Cider Trends 2019*, visto el 12 de marzo de 2020, https://aicv.org/files/attachments/.74/AICV_Cider_Trends_2019.pdf

ALONSO, J.L.; DOMÍNGUEZ, H.; GARROTE, G.; GONZÁLEZ MUÑOZ, M.J.; GULLÓN, B.; MOURE, A.; SANTOS, V.; VILA, C. & YÁÑEZ, R., 2011. Biorefinery processes for the integral valorization of agroindustrial and forestal wastes. *CyTA Journal of Food*, 9(4): 282–289.

AOAC, Association of Official Analytical Chemist, 1997. *Official methods of analysis*, Arlington, Virginia, EEUU.

BALBOA, C.H & DOMÍNGUEZ, M., 2014. Economía circular como marco para el ecodiseño: el modelo ECO-3. *Informador Técnico (Colombia)*, 78(1): 82-90.

BARREIRA, J.C.M.; ALVAREZ, A. & FERREIRA, I.C.F.R., 2019. Bioactive and functional compounds in apple pomace from juice and cider manufacturing: Potential use in dermal formulations. *Trends in Food Science & Technology*, 90: 76–87.

BENZIE, I. & STRAIN, J., 1996. The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a Measure of Antioxidant Power: The FRAP Assay. *Analytical Biochemistry*, 239: 70- 76.

CASTILLO, W.; MANAYAY, D.; DOMINGEZ, J.; PALACIOS, A.; QUEZADA, S & GONZALES, J., 2014. Evaluación del proceso de secado por aire caliente de manzana (*Pyrus malus*) variedad San Antonio. *Revista ingeniería: Tecnología e innovación*, 1(2): 17-28.

CERDÁ, E. & KHALILOVA, A., 2016. Economía circular. *Economía Industrial*, 401: 11-20.

CONSEJO REGULADOR DE DENOMINACIÓN DE ORIGEN PROTEGIDA *SIDRA DE ASTURIAS*, 2020. Visto el 12 de mayo de 2020, <https://sidradeasturias.es/>

CONTRERAS, C., 2006. *Influencia del método de secado en parámetros de calidad relacionados con la estructura y el color de manzana y fresa deshidratadas*. Tesis doctoral, Universitat Politècnica de València.

CRUZ, M.G.; BASTOS, R.; PINTO, M.; FERREIRA, J.M.; SANTOS, J.F.; WESSEL, D.F. & COIMBRA, M.A., 2018. Waste mitigation: From an effluent of apple juice concentrate industry to a valuable ingredient for food and feed applications. *Journal of Cleaner Production*, 193: 652-660.

CURY, K.; AGUAS, Y.; MARTÍNEZ, A.; OLIVERO, R. & CHAMS, L., 2017. Residuos agroindustriales su impacto, manejo y aprovechamiento. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, 9: 122-132.

DAPENA, E. & BLÁZQUEZ, M.D., 2009. *Descripción de las variedades de manzana de la DOP Sidra de Asturias*. SERIDA, Villaviciosa.

DAOU, C. & ZHANG, H., 2011. Physico-chemical properties and antioxidant activities of dietary fiber derived from defatted rice bran. *Advance Journal of Food Science and Technology*, 3(5): 339-347.

DIÑEIRO, Y.; SUÁREZ, B. & PICINELLI, A., 2009. Phenolic and antioxidant composition of by-products from the cider industry: Apple pomace. *Food Chemistry*, 117: 731-738.

DO NASCIMENTO, E.M.G.C; MULET, A.; RAMÍREZ, J.L.; PILER DE CARVALHO, C.W. & CÁRCEL, J.A., 2016. Effects of high-intensity ultrasound on drying kinetics and antioxidant properties of passion fruit peel. *Journal of Food Engineering*, 170: 108-118.

FITO, P.; ANDRÉS, A.M.; BARAT, J.M. & ALBORS, A.M., 2001. *Introducción al secado de alimentos por aire caliente*. Editorial Universitat Politècnica de València.

FEMENIA, A.; ROBERTSON, J.A.; WALDRON, K.W. & SELVENDRAN, R.R., 1998. Cauliflower (*Brassica oleracea* L), globe artichoke (*Cynara scolymus*) and chicory witloof (*Cichorium intybus*) processing by-products as sources of dietary fibre. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 77(4): 511-518.

GARAU, M. C.; SIMAL, S.; ROSSELLO, C. & FEMENIA, A., 2007. Effect of air-drying temperature on physico-chemical properties of dietary fibre and antioxidant capacity of orange (*Citrus aurantium* v. *Canoneta*) by-products. *Food chemistry*, 104(3): 1014-1024.

GARCÍA, J.V., 2007. *Contribución al estudio de la aplicación de ultrasonidos de potencia en el secado convectivo de alimentos*. Tesis doctoral, Universitat Politècnica de València.

GAMBOA, J.; MEGÍAS, R.; SORIA, A.C.; OLANO, A.; MONTILLA, A. & VILLAMIEL, M., 2014. Impact of processing conditions on the kinetic of vitamin C degradation and 2-furoylmethyl amino acid formation in dried strawberries. *Food chemistry*, 153: 164-170.

GAMBOA, J.; MONTILLA, A.; CÁRCEL, J.A.; VILLAMIEL, M. & GARCÍA, J.V., 2014. Air-borne ultrasound application in the convective drying of strawberry. *Journal of Food Engineering*, 128: 132-139.

GAO, X.; BJÖRK, L.; TRAJKOVSKI, V. & UGGLA, M, 2000. Evaluation of antioxidant activities of rosehip ethanol extracts in different test systems. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80(14): 2021-2027.

GÓMEZ, G., 2015. Biorrefinerías, sistemas integrados para el futuro. *Ciencia y desarrollo*, mayo-junio 2015: 34-57.

HENRÍQUEZ, M.; ALMONACID, S; LUTZ, M.; SIMPSON, R. & VALDENEGRO, M., 2013. Comparison of three drying processes to obtain an apple peel food ingredient, *CyTA Journal of Food*, 11: 127-135.

HEREDIA, J.B & CISNEROS-ZEVALLOS, L.,2009. The effects of exogenous ethylene and methyl jasmonate on the accumulation of phenolic antioxidants in selected whole and wounded fresh produce. *Food Chemistry*, 115(4): 1500-1508.

INFOALIMENTA 2020, Aprovechamiento de subproductos de la industria alimentaria. Visto el 11 de febrero de 2020, <http://www.infoalimenta.com/ciencia/80/65/aprovechamiento-de-subproductos-de-la-industria-alimentaria/>

IZLI, N.; IZLI, G. & TASKIN, O., 2018. Impact of different drying methods on the drying kinetics, color, total phenolic content and antioxidant capacity of pineapple. *CyTA Journal of Food*, 16(1): 213-221.

JAGOTA, S. K. & DANI, H.M., 1982. A new colorimetric technique for the estimation of vitamin C using Folin phenol reagent. *Analytical biochemistry*, 127(1): 178-182.

KOSMALA, M.; KOLODZIEJCZYK, K.; ZDUNCZYK, Z.; JUSKIEWICZ, J. & BOROS, D., 2011. Chemical composition of natural and polyphenol-free apple pomace and the effect of this dietary ingredient on intestinal fermentation and serum lipid parameters in rats. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(17): 9177–9185.

LETT, L.A., 2014. Las amenazas globales, el reciclaje de residuos y el concepto de economía circular. *Revista Argentina de Microbiología*, 46(1):1-2.

MANGAS, J.J., 1996. *Guía práctica de elaboración de la sidra artesana*. Centro de Investigación Aplicada y Tecnología Agroalimentaria (CIATA). <http://www.serida.org/pdfs/772.pdf>

MARTINS, M.P.; CORTÉS, E.J.; EIM, V.; MULET, A. & CÁRCEL, J.A., 2018. Stabilization of apple peel by drying. Influence of temperature and ultrasound application on drying kinetics and product quality. *Drying Technology*, 37: 559-568.

MELLO, R. E.; FONTANA, A.; MULET, A.; CORREA, J.L.G. & CÁRCEL, J. A., 2020. Ultrasound-assisted drying of orange peel in atmospheric freeze-dryer and convective dryer operated at moderate temperature. *Drying Technology*, 38(1–2): 259–267.

MIRABELLA, N.; CASTELLANI, V. & SALA, S., 2014. Current options for the valorization of food manufacturing waste: a review. *Journal of Cleaner Production*, 65: 28-41.

MORENO, C.; BRINES, C.; MULET, A.; ROSSELLÓ, C.; & CÁRCEL, J. A., 2017. Antioxidant potential of atmospheric freeze-dried apples as affected by ultrasound application and sample surface. *Drying Technology*, 35(8), 957-968.

PRIETO, V.; JACA, C. & ORMAZABAL, M., 2017. Economía circular: Relación con la evolución del concepto de sostenibilidad y estrategias para su implementación. *Memoria Investigaciones en Ingeniería*, 15: 85-95.

RAVINDRAN, R. & JAISWAL K, A., 2016. Exploitation of Food Industry Waste for High-Value Products. *Trends in Biotechnology*, 34: 58-69.

Real Decreto 72/2017, de 10 de febrero, por el que se aprueba la norma de calidad de las diferentes categorías de la sidra natural y de la sidra. Ministerio de la Presidencia y para las Administraciones Territoriales, *BOE* núm. 44, de 21 de febrero de 2017. Referencia: BOE-A-2017-1749.

RESTREPO, M., 2006. Producción más limpia en la industria alimentaria. *Producción + Limpia*, 1: 87-101.

RETEMA, 2017. Un innovador concepto de biorrefinería transformará los residuos en nuevos productos biotecnológicos. Visto el 15 de febrero de 2020, <https://www.retema.es/noticia/un-innovador-concepto-de-biorrefineria-transformara-los-residuos-en-nuevos-productos--M2vLt>

ROS, M.; PASCUAL, J.A.; AYUSO, M.; MORALES, A.B.; MIRALLES, J.R. & SOLERA, C., 2012. Salidas valorizables de los residuos y subproductos orgánicos de la industria de los transformados de frutas y hortalizas: proyecto Life+ Agrowaste. *Residuos*, 130: 28-35.

RODRÍGUEZ, O; SANTACATALINA, J.V.; SIMAL, S.; GARCÍA, J.V.; FEMENIA, A. & ROSSELLÓ, C., 2014. Influence of power ultrasound application on drying kinetics of apple and its antioxidant and microstructural properties. *Journal of Food Engineering*, 129: 21-29.

SAAVEDRA, J.; CÓRDOVA, A.; NAVARRO, R.; DÍAZ, P.; FUENTEALBA, C.; ASTUDILLO, C.; TOLEDO, L.; ENRIONE, J. & GÁLVEZ, L., 2017. Industrial avocado waste: Functional compounds preservation by convective drying process. *Journal of Food Engineering*, 198: 81–90.

SANTACATALINA, J.V.; RODRÍGUEZ, O.; SIMAL, S.; CÁRCEL, J.A.; MULET, A. & GARCÍA, J.V., 2014. Ultrasonically enhanced low-temperature drying of apple: Influence on drying kinetics and antioxidant potential. *Journal of Food Engineering*, 138: 35-44.

VICENTE, F., CUETO, M.A., DE LA ROZA, B. & ARGAMENTERÍA, A., 2005. Caracterización de subproductos de la manzana para su uso en nutrición animal. *ITEA*, 26: 560-562.

URIBE, E.; LEMUS, R.; VEGA, A.; ZAMORANO, M.; QUISPE, I.; PASTEN, A. & DI SCALA, K., 2014. Influence of process temperature on drying kinetics, physicochemical properties and antioxidant capacity of the olive-waste cake. *Food Chemistry*, 147: 170–176.

URREA, D.; EIM, V.; ROSSELLÓ, C. & SIMAL, S., 2012. Modelos cinéticos de degradación de carotenoides, polifenoles y actividad antioxidante durante el secado convectivo de zanahoria (*Daucus carota* V. Nantesa). *Revista Alimentos Hoy*, 21(27): 68-101.