



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERIA  
AGRONÒMICA I DEL MEDI NATURAL

# UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERIA  
AGRONÒMICA I DEL MEDI NATURAL



## PROPUESTA DE PLANTA PILOTO PARA LA OBTENCIÓN DE POLVOS FUNCIONALES A PARTIR DE RESIDUOS PROCEDENTES DE LAS LÍNEAS DE CONFECCIÓN DE HORTALIZAS DE LA COOPERATIVA AGRÍCOLA DE VILLENA

GRADO EN INGENIERÍA AGROALIMENTARIA Y DEL MEDIO RURAL TRABAJO FIN DE GRADO

**ALUMNA:** Carla Faus Ferrer

**TUTORA:** Dra. Lucía Seguí Gil

**COTUTORA:** Dra. M<sup>a</sup> Cristina Barrera Puigdollers

**Directora experimental:** Claudia Bas Bellver

Curso Académico: 2019/2020

Julio 2020



## RESUMEN

En la actualidad, el procesado industrial de alimentos genera elevados volúmenes de residuos alimentarios, este es un grave problema al que las industrias deben enfrentarse mediante la reintroducción de los subproductos en el ciclo productivo para así contribuir a la economía circular, reducir el desperdicio alimentario y a su vez el impacto medioambiental. El presente trabajo se enmarca en un proyecto de colaboración entre el Instituto U. de Ingeniería de Alimentos para el Desarrollo y la Cooperativa Agrícola de Villena, cuyo objetivo es la revalorización de los desechos vegetales de las líneas de hortalizas frescas y listas para comer de la cooperativa. El desarrollo del proyecto pretende proponer un proceso de fabricación de polvos a partir de dichas hortalizas, para ser utilizados como ingrediente funcional en la fabricación de alimentos. El trabajo de laboratorio desarrollado con anterioridad al presente trabajo habría permitido avanzar en la selección del material vegetal aprovechable y las condiciones de almacenamiento previo al procesado, así como iniciar el estudio de las operaciones de secado y molienda para la obtención de los polvos. El objetivo principal del presente trabajo final de grado consistió en desarrollar una propuesta de planta piloto para la obtención de polvos funcionales a partir de los residuos procedentes de las líneas de confección de puerro, zanahoria, apio y col. Para ello, se estudió el impacto de las condiciones de secado (por aire caliente a 60 y 70 °C, y liofilización), y de desestructuración previa (triturado/troceado), sobre las propiedades fisicoquímicas: humedad, actividad del agua, y propiedades antioxidantes de los polvos; asimismo, se estudió la evolución de los residuos durante el secado (curvas de secado) y definieron los tiempos necesarios para disminuir la  $a_w$  por debajo de 0,3. El estado de alarma decretado en el tiempo de ejecución del Trabajo Fin de Grado impidieron disponer de todos los resultados experimentales necesarios para definir las condiciones de procesado concretas para cada residuo, aunque sí se pudo seleccionar el secado por aire caliente como método más adecuado. A falta de concretar las aplicaciones finales de los polvos y el volumen de procesado, se decide proponer una planta piloto experimental de pequeña capacidad para ser ubicada en las instalaciones de la cooperativa, así como una planta de producción capaz de gestionar volúmenes de residuo mayores.

**Palabras clave:** valorización de residuos agroalimentarios, subproducto, economía circular, polvos funcionales, actividad antioxidante, secado por aire caliente, planta piloto.



## ABSTRACT

Currently, industrial food processing generates high volumes of food waste, which is a serious problem that industries must face by reintroducing by-products into the production cycle in order to contribute to circular economy and to reduce both food waste and environmental impact. This investigation is in line with a collaboration project between Instituto U. de Ingeniería de Alimentos para el Desarrollo and Cooperativa Agrícola de Villena which main objective is the valorization of plant waste from the lines of fresh and ready-to-eat vegetables from the cooperative. The development of this project aims to propose a process for the manufacture of powders from these vegetables, to be used as a functional ingredient in the manufacture of food. The prior laboratory work made possible the advance in the selection of usable plant matter and storage conditions before processing, as well as to begin the study of drying and grinding operations to obtain powders. The general objective of the final degree project will be to develop a proposal for a pilot plant to obtain functional powders from the the leek, carrot, celery, and cabbage residues. For this, the impact of the drying conditions (by hot air at 60 and 70 C, and lyophilization), and of previous destructureation (crushed/chopped), on the physicochemical properties: humidity, water activity, and antioxidant properties of the powders was studied; Also, the evolution of the residues during drying was studied (drying curves) and the time required to decrease the  $a_w$  below 0,3 were defined. The state of alarm declared at the time of execution of the final degree project prevented all the experimental results necessary to define the specific processing conditions for each residue, although hot air drying could be selected as the most appropriate method. In the absence of specifying the final applications of the powders and the volume of processing, it was decided to propose a small-capacity experimental pilot plant to be located in the cooperative's facilities, as well as a production plant capable of managing higher volumes of waste.

**Keywords:** food waste valorization, by-product, circular economy, functional powders, antioxidant activity, hot air drying, pilot plant.



## AGRADECIMIENTOS

A mis tutoras, Lucia y Cristina por ayudarme en este último peldaño.

A cada una de las personas que me han acompañado en este camino, juntos hemos formado una gran piña.

A vosotros papá, mama, tata y tete por estar siempre a mi lado, apoyarme en cada momento y por creer que podía cuando no lo creía ni yo.

Pero sobre todo a ti abuela, esto también es tuyo espero que estés orgullosa, te fuiste antes de poder verlo.

***“Nadie va a hacer que apruebes, nadie va a hacer tu examen, y, sobre todo, nadie va a librar tus batallas. Aquí todo depende de ti, exclusivamente de ti, porque es tu sueño y eres la única persona capaz de cumplirlo.”***



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

**ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERIA  
AGRONÒMICA I DEL MEDI NATURAL**



## ÍNDICE

<b>1. JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO .....</b>	<b>1</b>
<b>2. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>3</b>
2.1 Situación actual de los residuos generados por la actividad agraria y la industria de procesado de alimentos.....	3
2.2 Valorización de los residuos generados por la actividad agraria y la industria de procesado de alimentos. Obtención de polvos como ingrediente funcional. ....	6
2.3 Efecto del procesado sobre las características de los polvos y su funcionalidad .....	8
<b>3. OBJETIVOS Y PLAN DE TRABAJO .....</b>	<b>11</b>
<b>4. MATERIAL Y MÉTODOS .....</b>	<b>12</b>
4.1 Materia prima .....	12
4.2 Proceso de obtención de los polvos .....	13
4.3 Determinaciones analíticas.....	14
4.3.1 Actividad del agua.....	14
4.3.2 Humedad.....	14
4.3.3 Propiedades antioxidantes.....	15
4.3.4 Análisis estadístico.....	16
<b>5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....</b>	<b>17</b>
5.1 Estabilidad de los polvos.....	16
5.2 Curvas de secado y velocidad de secado.....	18
5.3 Propiedades antioxidantes de los polvos.....	22
5.4 Diseño de la planta piloto.....	26
<b>6. CONCLUSIONES .....</b>	<b>33</b>
<b>7. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>34</b>
<b>8. ANEXOS .....</b>	<b>39</b>
8.1 Plano de situación de la planta piloto.....	39
8.2 Plano de distribución de la planta piloto experimental.....	40



## ÍNDICE DE TABLAS

**Tabla 1.** Condiciones aplicadas para reducir el tamaño de partícula de los diferentes residuos vegetales con el procesador de alimentos Thermomix® TM6 (Vorwerk).. Página 13.

**Tabla 2.** Porcentaje de humedad ( $x_w$ ) y actividad del agua ( $a_w$ ) de los residuos frescos y de los troceados o triturados y posteriormente deshidratados mediante secado con aire caliente a 60 y 70 °C o liofilización. Valores medios  $\pm$  desviación estándar de tres determinaciones. abc... diferentes superíndices para un mismo tipo de residuo indican diferencias significativas con un nivel de confianza del 95% ( $p$ -valor  $< 0,05$ ); ABC... diferentes subíndices para un mismo tratamiento indican diferencias significativas con un nivel de confianza del 95% ( $p$ -valor  $< 0,05$ ). Página 17.

**Tabla 3.** Tiempos de secado a 60 °C y 70 °C para alcanzar una actividad del agua  $< 0,3$ . Página 22.



## ÍNDICE DE FIGURAS

**Figura 1.** Evolución del número de artículos que incluyen las palabras clave alimento o ingrediente funcional, combinadas con residuo o subproducto, en los últimos 20 años, según la base de datos ScienceDirect. Página 7.

**Figura 2.** Diagrama de flujo para la obtención de bandejas que incluyen ajo puerro y apio. Página 12.

**Figura 3.** Diagrama de flujo para la obtención de bandejas que incluyen col repollo. Página 12.

**Figura 4.** Diagrama de flujo de la zanahoria para la obtención de productos de IV. Página 13.

**Figura 5.** Curvas de secado a 60 °C y 70 °C para los distintos residuos triturados (TRI) y troceados (TRO). Página 19.

**Figura 6.** Curvas de velocidad de secado a 60 °C y 70 °C para los distintos residuos triturados (TRI) y troceados (TRO). Página 21.

**Figura 7.** Contenido en fenoles totales (mg EAG/g ss), de los residuos frescos y de los troceados o triturados y posteriormente deshidratados mediante SAC a 70 °C o mediante liofilización. Página 23.

**Figura 8.** Contenido en flavonoides totales (mg EQ/g ss) de los residuos frescos y de los troceados o triturados y posteriormente deshidratados mediante SAC a 70 °C o mediante liofilización. Página 24.

**Figura 9.** Actividad antioxidante (mg ET/g ss) de los residuos frescos y de los troceados o triturados y posteriormente deshidratados mediante SAC a 70 °C o mediante liofilización. Página 25.

**Figura 10.** Diagrama de flujo del proceso de obtención de polvos a partir de los residuos vegetales. Página 26.





## ÍNDICE DE IMÁGENES

**Imagen 1.** Máquina de lavado, modelo cesta, fabricante Favrin, S.L. Página 27.

**Imagen 2.** Molino de cuchillas, modelo GRINDOMIX GM 300, fabricante Retsch S.L. Página 28.

**Imagen 3.** Estufa de secado de aire forzado, fabricante POL-EKO APARATURA. Página 28.

**Imagen 4.** Máquina de lavado, fabricante Favrin, S.L. Página 29.

**Imagen 5.** Molino de martillos, fabricante Gémina procesos alimentarios S.L. Página 30.

**Imagen 6.** Secador convectivo de lecho fluidizado, fabricante Ingetecsa, S.A. Página 31.

**Imagen 7.** Envasadora Doy Pack, modelo ITKP-PBP-300-DOY, fabricante Pymar Group. Página 31.

**Imagen 8.** Cámara frigorífica, fabricante Aiscold. Página 32.



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

**ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERIA  
AGRONÒMICA I DEL MEDI NATURAL**



## 1. JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO

La industria hortofrutícola genera una gran cantidad de residuos que impactan de manera notable en el medio ambiente (**Scheel, 2016**). La gestión de los desechos producidos supone un problema y coste adicional para la industria y, en caso de reutilizarse, suele hacerse como productos de bajo valor, infravalorando sus cualidades. Sin embargo, los subproductos de frutas y hortalizas destacan por poseer un alto valor añadido, ya que son ricos en compuestos bioactivos tales como fibra y compuestos con actividad antioxidante (**Ayala-Zavala et al., 2011**).

Según lo definido por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), un sistema alimentario sostenible debe ser capaz de garantizar patrones de consumo y producción sostenibles, así como ofrecer dietas seguras, saludables y nutritivas (**Food and Agricultural Organization of the United Nations. Sustainable Development Goals, 2019**). En consecuencia, la industria alimentaria debe incorporar procesos y productos que disminuyan el impacto ambiental y proporcionen un impacto positivo en las dietas y la salud. Además, el desarrollo de nuevos ingredientes con propiedades funcionales para reformular los alimentos brinda una verdadera oportunidad para mejorar la salud de las personas al modificar las características nutricionales de los alimentos procesados que se consumen habitualmente, por lo tanto, aborda otro de los objetivos de desarrollo sostenible de la FAO: "Garantizar vidas saludables y promover el bienestar para todos en todas las edades" (**Bas-Bellver et al., 2020**).

En este sentido, la Cooperativa Agrícola de Villena junto con el Instituto Universitario de Ingeniería de Alimentos para el Desarrollo (UPV) se plantea mejorar la sostenibilidad de sus procesos y productos, mediante el aprovechamiento de los residuos generados en las líneas de confección de hortalizas, en una colaboración formalizada a través de un proyecto de investigación financiado por la Agencia Valenciana de Fomento y Garantía Agraria (Generalitat Valenciana. Programa de Desarrollo Rural 2014-2020, Ayudas para la cooperación en el marco del Programa de desarrollo Rural de la Comunitat Valenciana 2014–2020. Experiencias de transformación agroalimentaria innovadoras, especialmente vinculadas a figuras de calidad diferenciada y producción ecológica. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Fondos Europeo Agrícola de Desarrollo Rural) y que lleva por título "OBTENCIÓN DE POLVOS DE USO ALIMENTARIO CON PROPIEDADES FUNCIONALES A PARTIR DE RESIDUOS DE LAS LÍNEAS DE CONFECCIÓN DE HORTALIZAS" (AGCOOP\_D/2018/025).

Debido a la actividad que desarrolla Agrícola Villena Coop., basada en la confección de hortalizas (lavado, pelado y troceado de las piezas) para su posterior



incorporación en distintos formatos de venta, genera un volumen importante de desechos orgánicos que podrían ser reutilizados. En las fases iniciales del proyecto, se decide incluir en este desarrollo los subproductos de ajo puerro, zanahoria, col repollo y apio, debido a la abundancia de producción de residuo, a que se trata de un residuo limpio o fácil de limpiar y al interés de los compuestos bioactivos potencialmente presentes en dichos productos. Se trata de subproductos que corresponden a las siguientes líneas de confección:

- Confección de ajo puerro (*Alium porrum*, L.) en bolsas y bandejas. Esta hortaliza es rica en fibra y compuestos organosulfurados. Según los datos de la cooperativa, se generan 178.000 kg de residuos al año.
- Confección de la col (*Brassica Rubra oleracea*, L.) en bandejas. Esta hortaliza destaca por su elevado contenido en flavonoides, fibra y glucosinolatos. Según los datos de la cooperativa, se generan 250.000 kg de residuos al año.
- Confección de la zanahoria (*Dacus carota*, L.) en palitos (IV gama). Se trata de una hortaliza rica en antioxidantes (carotenoides) y fibra. Según los datos de la cooperativa, esta línea genera 2.925.000 kg de residuos al año.
- Confección del apio (*Apium graveolens*, L.). Inicialmente se introdujo en el proyecto por haber sido incorporado a la línea de IV gama. Al dejar de comercializarse en palitos, pasa a trabajarse con el residuo generado en la línea de confección de bandejas (1.500.000 kg de residuos anuales).

El objetivo principal del proyecto de colaboración IAD-Agrícola Villena Coop., es la obtención de polvos a partir de los residuos mencionados, que puedan utilizarse como ingrediente funcional en la formulación de alimentos. Para ello, los objetivos particulares incluyen, entre otros, estudiar las condiciones de secado más adecuadas para obtener polvos estables de elevada funcionalidad, con buenas características fisicoquímicas y tecnológicas. Otro de los objetivos particulares es presentar un diseño de planta piloto en las instalaciones de la propia cooperativa destinada a la obtención de dichos polvos, lo que constituye el objetivo principal del presente Trabajo Final de Grado.



## 2. INTRODUCCIÓN

### 2.1 *Situación actual de los residuos generados por la actividad agraria y la industria de procesado de alimentos*

En la actualidad, el volumen mundial de desperdicio de alimentos ronda los 1600 millones de toneladas. El derroche total de los alimentos para la parte comestible de este volumen equivale a 1300 millones de toneladas **(FAO, 2013)**. Es decir 1/3 de los alimentos producidos globalmente es desperdiciado, mientras que 821 millones de personas, el 12% de la población mundial, sufren desnutrición en el mundo **(UNICEF, 2018)**. Esta situación genera una preocupación social, ética y medioambiental que desemboca en el estudio y desarrollo de estrategias, con el objetivo de disminuir los residuos alimentarios. El desperdicio alimentario tiene lugar en toda la cadena alimentaria, que es el sistema de organizaciones, personas y actividades encargadas de hacer llegar los alimentos desde el productor hasta el consumidor **(Beretta et al., 2013)**, y que engloba varias etapas: producción, procesado/manufacturación, venta y consumo **(Dou et al., 2016)**.

Según un informe elaborado en el contexto del proyecto europeo FUSIONS (Food Use for Social Innovation by Optimising Waste Prevention Strategies), durante la etapa de producción se generan en los Estados Miembros entorno al 11% de los residuos alimentarios, equivalente a unos 17 millones de toneladas **(FUSIONS, 2016)**. La etapa de venta es la que menos residuos genera, correspondiéndole un 5% del total generado en la UE. Por último, la etapa de consumo es la responsable en mayor medida de la generación de residuos, al abarcar tanto el consumo en establecimientos de restauración (12%) como en los hogares (53%) **(FUSIONS, 2016)**. Por su parte, la industria de transformación genera el 40% de los residuos producidos en la cadena alimentaria. Cabe mencionar que para hacer estos cálculos se ha considerado que "Residuo alimentario es cualquier alimento, y partes no comestibles del mismo, separado de la cadena de suministro de alimentos para ser recuperado o desechado (incluyendo el compostaje, las producciones no cosechadas, la digestión anaerobia, la producción de bio-energía, la co-generación, la incineración, y el vertido por alcantarillado, en vertedero o al mar)".

En la etapa de producción se generan los denominados residuos vegetales de cosechas, cultivos que a lo largo de su ciclo productivo o al final de las campañas suelen generar restos vegetales en los campos donde se originan. No existen estimaciones globales para todo el territorio español sobre los residuos generados, pero se trata de



unos volúmenes considerables, que dependen de los modos de conducción de los cultivos y de las prácticas agrícolas de poda **(MAPAMA, 2012)**.

El aprovechamiento de los restos vegetales de los cultivos puede estar comprometido por la presencia de restos de productos fitosanitarios y, más aún en el caso de los productos hortícolas, por la presencia de rafia sintética o de malla de soporte. Estos materiales mezclados con las plantas obstaculizan su reutilización y valorización. Es por esto que entre los destinos más habituales de estos restos se encuentran la reincorporación directa al suelo, la alimentación animal, la quema, controlada o no, y el abandono. El destino depende de la combinación de múltiples factores como, por ejemplo, del tipo de cultivo, la proximidad geográfica de la cabaña ganadera, el grado de automatización de las granjas, la cercanía de infraestructuras de tratamiento como plantas de compostaje o de valorización de biomasa y las prácticas culturales relativas al compostaje en fincas y ensilado **(MAPAMA, 2012)**.

Por lo que respecta a los residuos procedentes de la industria agroalimentaria, se debe tener presente que todo proceso de transformación de alimentos genera residuos. En la comercialización de frutas y hortalizas frescas, productos que no sufren una transformación como tal, también se generan residuos, denominados destrío. Se entiende por destrío, las frutas o verduras que han sido rechazadas para la comercialización durante el proceso de selección en el lugar del empaquetado, por estar mal formadas, inmaduras, afectadas por algún patógeno, con presencia abundante de manchas y rajados o por no responder a los estándares de tamaño mínimos de calidad. Si bien no existen estimaciones reales de la cantidad de residuos generados, se entiende que, dada la importancia del sector agroindustrial en España, se trata de grandes volúmenes. Se estima que en el momento de selección de las frutas y hortalizas el destrío se eleva al 10% de la producción. En cuanto a los posibles destinos de reciclado, son similares a los de los restos vegetales, exceptuando la quema **(MAPAMA, 2012)**.

En estas etapas productivas iniciales de confección de frutas y hortalizas, la forma actual de comercialización incluye, además de la comercialización tradicional, procesos de confección en fresco y IV gama que generan otro tipo de residuos, además del destrío. Estos productos atraviesan operaciones de cortado, troceado y, en algunos casos, pelado, por lo que generan residuos en forma de trozos y pieles. En esta confección también se separan hojas externas para mejorar la apariencia del producto comercializado (caso de la col, por ejemplo) o partes vegetativas no consumidas habitualmente (caso del ajo puerro). Esta confección llevada a cabo en cooperativa, sumada al destrío habitual, genera una gran cantidad de desechos con una gran carga orgánica, que se almacena temporalmente al aire libre e inicia procesos de



descomposició. Actualment, el aprofitament d'aquests residus es basa en l'alimentació animal i en la seva reincorporació al camp.

Tant la indústria de processat en fresc i IV gamma, com la indústria transformadora i processadora de sucres de fruites o vegetals, mermelades u altres productes com batuts o *smoothies*, generen pèrdues i rebuïts significatius que s'estan convertint en un greu problema nutricional, econòmic i ambiental (**Ayala-Zavala et al., 2014; Sagar et al., 2018**). És per això que la indústria necessita proposar processos de valorització dels rebuïts dels processos alimentaris amb l'objectiu de contribuir a la sostenibilitat de la indústria alimentària, així com al desenvolupament de sistemes d'economia circular (**Bas-Bellver et al., 2020**) per així reduir la huella de carboni.

En aquesta línia s'han posat en marxa diverses iniciatives, entre les que destaca la iniciativa "SAVE FOOD" liderada per la FAO i Messe Düsseldorf, el seu objectiu és "promoure la creació de xarxes entre els interessats en la indústria d'aliments (incluint els fabricants de la indústria d'embalatge, creadors de polítiques i investigadors), amb miras a desenvolupar solucions per reduir el desperdici a llarg termini de les cadenes de subministrament d'aliments" (**FAO, 2017**). Per un altre costat, la declaració dels objectius de desenvolupament sostenible per part de la FAO i la estratègia Food 2030 (<https://fit4food2030.eu/>) per part de la Unió Europea, estan dirigint actualment la transformació dels sistemes alimentaris (Food System) cap a sistemes més sostenibles, en els que el terme sostenibilitat adquireix perspectiva més holística: mediambiental, social i econòmica, i en els que un Sistema Alimentari Sostenible es defineix com aquell capaç de garantir patrons de consum i producció sostenibles, així com oferir dietes segures, saludables i nutritives.

Així doncs, segons el comentat anteriorment, la indústria agroalimentària genera el 40% dels residus produïts en la cadena alimentària. Per reduir el volum i garantir la sostenibilitat de la producció agrícola regional i dels processos industrials de transformació, no basta amb assegurar una bona gestió dels residus, també s'exigeix l'utilització dels rebuïts per generar un valor social i econòmic, respectant i aprofitant els recursos naturals, assegurant així la continuïtat de l'activitat agrícola i promouent el desenvolupament rural (**Mirabella et al., 2014; Stahel, 2010**). Tenint en compte aquests dades, la indústria alimentària es enfrenta al repte d'innovar en la reutilització dels subproductes, de manera que puguin ser reintroduïts en el cicle productiu de manera alternativa al ús que han rebut tradicionalment, principalment l'alimentació animal, el compostatge u altres formes de fertilitzants.



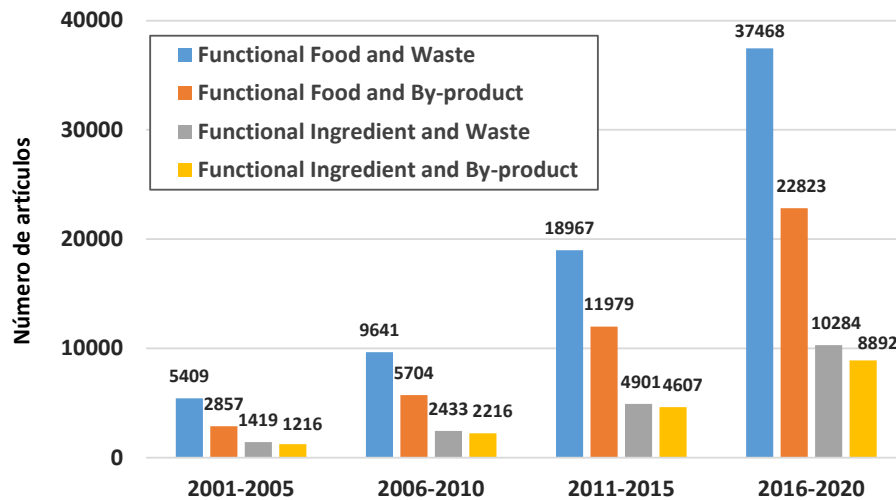
## 2.2 *Valorización de los residuos generados por la actividad agraria y la industria de procesamiento de alimentos. Obtención de polvos como ingrediente funcional.*

El interés en el desarrollo de alimentos funcionales se basa en el binomio alimentación-salud. Se ha referido anteriormente en este texto que los alimentos de origen vegetal y los residuos generados por éstos son ricos en compuestos bioactivos beneficiosos para la salud (**Ayala-Zavala et al., 2011**) entre los que cabe destacar: las vitaminas, que se encargan del correcto funcionamiento de los distintos órganos; los antioxidantes, que son los responsables de destruir los radicales libres que produce el organismo durante el metabolismo, evitando así el daño celular que con el tiempo es responsable del envejecimiento y de algunas enfermedades; la fibra, que ayuda a regular el tránsito intestinal; y los minerales, que son un nutriente importante para los músculos (**AECC, 2020**). Con respecto a las hortalizas objeto del presente estudio, los residuos procedentes del procesamiento de zanahoria son ricos en carotenoides y fibra, los derivados de la col destacan por su elevado contenido en flavonoides, fibra y glucosinolatos, los del puerro por su alto contenido en fibra y compuestos organosulfurados y el apio por ser rico en flavonoides y fibra.

La literatura científica demuestra que existe un interés creciente en desarrollar procesos y productos que permitan reutilizar los residuos generados por la actividad agraria y la industria de procesamiento de alimentos en el ciclo productivo, tanto en la propia industria alimentaria como en otras industrias como por ejemplo la industria cosmética (**Gironés-Vilaplana et al., 2014**). Este interés en la obtención de alimentos o ingredientes funcionales a partir de residuos de la industria alimentaria queda manifiesto en **la figura 1**, donde se representa la evolución en los últimos 20 años del número de artículos publicados que incluyen los términos alimento/ingrediente funcional y residuo/subproducto, según la base de datos ScienceDirect.

Así pues, la estrecha relación que existe entre la ingesta de dietas ricas en vegetales y la reducción en el riesgo por padecer determinadas enfermedades ha promovido que se lleven a cabo diversos estudios con el fin de reintroducir los residuos generados por la industria agroalimentaria en el ciclo productivo. Destaca el creciente interés por la obtención de polvos a partir de los residuos procedentes de la transformación de frutas y hortalizas (**Jiang et al., 2013; Karam et al. 2016; Neacsu et al., 2015**), pues proporciona productos estables, muy concentrados y versátiles, que pueden ser utilizados de manera directa o como ingrediente en la formulación de alimentos, además de ser una forma sencilla de convertir material de desecho en un producto con alto valor añadido.





**Figura 1.** Evolución del número de artículos que incluyen las palabras clave alimento o ingrediente funcional, combinadas con residuo o subproducto, en los últimos 20 años, según la base de datos ScienceDirect.

A modo de ejemplo, un grupo de investigadores del Departamento de Nutrición y Bromatología II de la Universidad Complutense de Madrid, ha llevado a cabo un estudio a partir del cual ha logrado formular nuevos alimentos para consumo humano (fundamentalmente zumos y salsas de tomate enriquecidas, pastas alimenticias y golosinas) utilizando como ingrediente el subproducto (piel y semillas) resultante del procesado del tomate en forma de polvo o de oleoresina. Por una parte, la piel del tomate es rica en fibra y licopeno, cuya ingesta está asociada con una menor incidencia de cáncer de próstata en hombres y de mama en mujeres. Por otra parte, las semillas son ricas en ácidos grasos insaturados que previenen la enfermedad cardiovascular. De esta forma se obtienen alimentos con unas propiedades nutritivas mejoradas (<https://www.ucm.es/otri/complutransfer-productos-extractos-y-subproductos-del-tomate-como-nuevos-ingredientes-alimentarios>). Otro ejemplo de aprovechamiento de los residuos generados por la industria agroalimentaria para la obtención de alimentos funcionales sería la tesis doctoral llevada a cabo por el Departamento de Agroindustria y Enología en la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile. En este caso, fue posible elaborar un alimento tipo "snack" rico en fibra a partir del residuo generado en el proceso de elaboración de zumo de naranja previamente convertido en polvo (Sáenz *et al.*, 2007). Del mismo modo, el grupo del IIAD-UPV en el que se desarrolla el presente trabajo, ha dirigido diversos estudios sobre la obtención de polvos. Por un lado, se han obtenido polvos a partir del bagazo resultante del proceso de elaboración de zumo de arándano y de la piel del caqui (Bas-Bellver, 2018; Bas-Bellver *et al.*, 2019), así como de la piel de mandarina (Sáez, 2017), los cuales presentaron buenas propiedades de interacción con el aceite y el agua, además de un



elevado contenido en compuestos con actividad antioxidante, por lo que podrían incluirse en la formulación de diferentes alimentos para elevar su funcionalidad. A modo de ejemplo, el polvo de bagazo de arándano se ha empleado en la elaboración de galletas, dando como resultado un producto con propiedades funcionales mejoradas y propiedades organolépticas bien valoradas por un panel de catadores (**Medina, 2017**). También el polvo de piel de mandarina se ha incluido en diferentes concentraciones en la formulación de mermelada de fresa, mejorando no solo sus propiedades nutricionales, sino también su estabilidad frente al deterioro microbiano (**Arguero et al., 2018**).

En el presente trabajo se presenta la obtención de polvos funcionales a partir de los residuos generados en las líneas de confección de puerro, col, apio y zanahoria de la Cooperativa Agrícola de Villena, como una oportunidad de valorización del residuo y diversificación de la producción. Los polvos funcionales obtenidos podrían emplearse en la formulación de alimentos con el fin de mejorar su calidad nutritiva y, en función de sus propiedades tecnológicas, también podrían ser utilizados como colorantes, saborizantes, conservantes, espesantes o emulsionantes.

### 2.3 *Efecto del procesado sobre las características de los polvos y su funcionalidad*

Cuando se pretende obtener ingredientes que conserven o mejoren sus propiedades funcionales, es esencial conocer el impacto del procesado sobre los compuestos bioactivos de interés, así como sobre la estructura del producto y sus propiedades tecnológicas. Las distintas etapas del proceso al que se someten los vegetales (lavado, triturado, pelado, escaldado, deshidratación, etc.) tiene un impacto en las propiedades antioxidantes de los mismos. Si bien determinadas condiciones de procesado y/o almacenamiento pueden promover la formación de compuestos con nuevas propiedades antioxidantes, manteniendo o incluso mejorando el potencial antioxidante de los alimentos, otras pueden promover la pérdida de antioxidantes o la formación de compuestos con acción pro-oxidante (**Bas-Bellver et al., 2020**).

Por lo general, el lavado produce pérdidas de vitaminas hidrosolubles por lixiviación, en mayor o menor medida, dependiendo de factores como pH medio, la temperatura o la relación entre el volumen del alimento y el de disolvente de lavado (**Fennema, 2000**). Los procesos de pelado y troceado, aplicados con el fin de eliminar barreras impermeables y reducir el tamaño de la partícula, permite que la posterior estabilización por deshidratación sea más rápida o que el producto obtenido (en el caso de un polvo) sea más estable, no se apelmace o se disuelva mejor. Por otro lado, estas operaciones de transformación influyen en la calidad del producto ya que aceleran la



respiración, producen daño mecánico y un reblandecimiento del tejido vegetal (**Lobo-Rodrigo y González , 2003**).

Entre las técnicas de estabilización por deshidratación, el secado por aire caliente (SAC) es el método más empleado en la industria alimentaria, debido a su menor coste y elevados volúmenes de producción. Durante el SAC se produce el contacto entre un alimento sólido o líquido y una corriente de aire caliente y seco (baja humedad relativa), de forma que se genera un gradiente de actividad del agua entre el producto y el aire que provoca la transferencia de agua (evaporación) desde el producto que se deshidrata hacia la corriente de aire que atraviesa el secador. De esta forma, es posible alcanzar valores de actividad del agua ( $a_w$ ) suficientemente bajos ( $< 0,3$ ), que garantizan la estabilidad total del alimento. Sin embargo, es una técnica agresiva que puede ocasionar daños composicionales y estructurales en el producto final, que afectan a sus propiedades fisicoquímicas, organolépticas, nutricionales o sensoriales (**Fito *et al.*, 2001**). Algunos autores proponen combinar el secado convectivo con la energía de microondas con el fin de acortar los tiempos de secado y reducir el impacto sobre el producto final, basándose en que la energía de microondas favorece un calentamiento rápido y volumétrico del producto (**Bilbao, 2002; Feng y Tang, 1998; Funebo *et al.*, 2000**). Se obtienen así productos de mayor calidad en cuanto al aroma, la capacidad de rehidratación (**Funebo y Ohlsson, 1998**) o la textura y el sabor (**Giese, 1992**). Otro método habitualmente empleado cuando se pretenden conservar compuestos bioactivos especialmente sensible a las temperaturas elevadas es la liofilización, método de deshidratación basado en la eliminación de agua contenida en un alimento mediante sublimación (cambio de estado sólido a gaseoso sin pasar por el líquido). Además de llevarse a cabo a temperaturas de congelación, la liofilización se realiza a vacío, lo cual limita las reacciones de oxidación durante el secado. Las condiciones de vacío y bajas temperaturas mantenidas durante este tipo de secado permiten minimizar las pérdidas de compuestos lábiles al tiempo que se obtienen productos de muy baja humedad (2-3%) y baja actividad del agua, y por lo tanto estables durante largos periodos de tiempo. No obstante, el principal inconveniente que presenta esta operación unitaria es el elevado coste de adquisición y explotación, y la necesidad de personal cualificado en la técnica. La liofilización es una operación con un elevado gasto energético, necesario para las etapas de congelación y, principalmente, de sublimación. Por otro lado, el tiempo necesario para completar un ciclo de liofilización completo es largo, pudiéndose necesitar varios días, los equipos son caros y generalmente ofrecen una menor capacidad.

La molienda es otra de las etapas clave en el proceso de obtención de polvos. Además de la desestructuración previa, triturado o troceado previo al secado, discutido anteriormente, el material seco se tritura o muele para obtener el polvo de interés. El



proceso de molienda consiste en la reducción del tamaño de partículas sólidas mediante fuerzas mecánicas, que ocasionan una rotura entre las fuerzas de unión moleculares internas y las externas. Para el procesado de polvos los métodos más utilizados son: molienda convencional (con trituradoras, picadoras, etc.), micronización (tamaño de partícula menor a 10  $\mu\text{m}$ ) y trituración criogénica (**Karam et al., 2016**). La molienda se puede realizar antes o después del secado, o bien antes y después del secado (**Schweiggert et al., 2007**). Cabe destacar que el tamaño de partícula de los polvos influye significativamente en algunas de sus propiedades, ya que, un menor tamaño de partícula supone una mayor área superficial, lo que aumenta la interacción de las partículas con el medio, favoreciendo la extracción de compuestos bioactivos, por ejemplo. Otra de las propiedades que puede verse afectada es el contenido en fibra, puesto que la operación de molienda puede romper fibras generando cadenas más cortas y aumentando la proporción de elementos solubles. En definitiva, la molienda y el tamaño de partícula repercute sobre las propiedades antioxidantes, de hidratación y retención de agua, y de absorción de aceite (**Raghavendra et al., 2006; Martínez-Las Heras, 2016**). Por lo tanto, el secado y la molienda determinan las características sensoriales, funcionales y nutricionales, así como las propiedades mecánicas y estructurales del producto final (**Karam et al., 2016**).



### 3. OBJETIVOS Y PLAN DE TRABAJO

El objetivo principal del presente trabajo de final de grado es la ejecución de una propuesta de planta piloto para la obtención de polvos, formulados a partir de los subproductos generados en las líneas de confección de puerro, apio, col y zanahoria en las instalaciones de la Cooperativa Agrícola de Villena, Coop.V.

Para la consecución del objetivo principal se plantearon los siguientes objetivos particulares:

- Obtener las curvas de secado y de velocidad de secado para poder conocer el comportamiento de cada residuo, previamente triturado o troceado, y determinar los tiempos de secado necesarios para alcanzar una  $a_w < 0,3$ .
- Caracterizar fisicoquímicamente los polvos obtenidos:  $x_w$ ,  $a_w$ , y propiedades antioxidantes.
- Definir las variables de proceso más adecuadas para cada residuo, y seleccionar y dimensionar la maquinaria necesaria para proponer una planta piloto para las instalaciones de Agrícola Villena Coop.

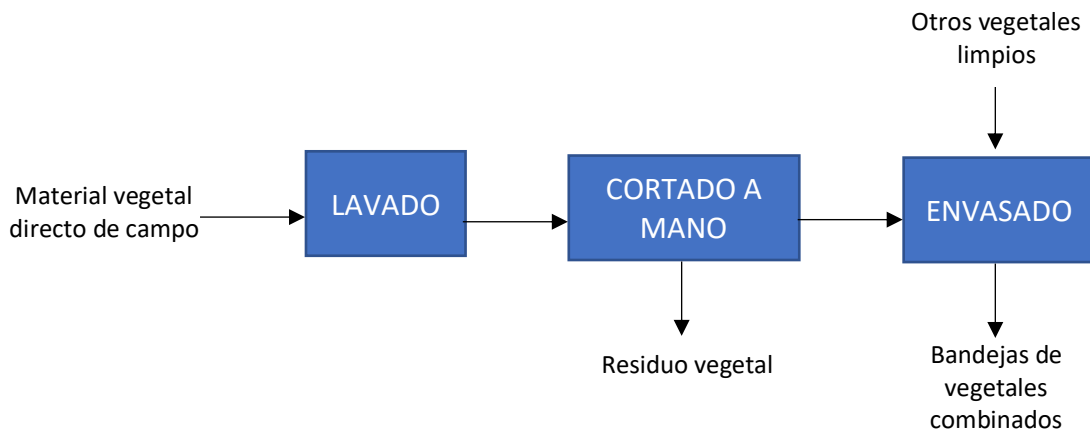
Teniendo en cuenta los objetivos definidos, el plan de trabajo llevado a cabo se resume en los siguientes puntos:

- Revisión bibliográfica y de trabajo previos realizados sobre el tema de estudio.
- Obtención de las curvas de secado y de velocidad de secado a 60 °C y 70 °C, para cada residuo, triturado y troceado.
- Obtención de los polvos secados por aire caliente y liofilizados.
- Caracterización fisicoquímica de los polvos ( $x_w$ ,  $a_w$ , y propiedades antioxidantes), con el fin de decidir las condiciones de estabilización más adecuadas para cada producto.
- Propuesta de planta piloto para la obtención de los polvos funcionales en las instalaciones de la cooperativa. Selección de equipos y distribución en planta.

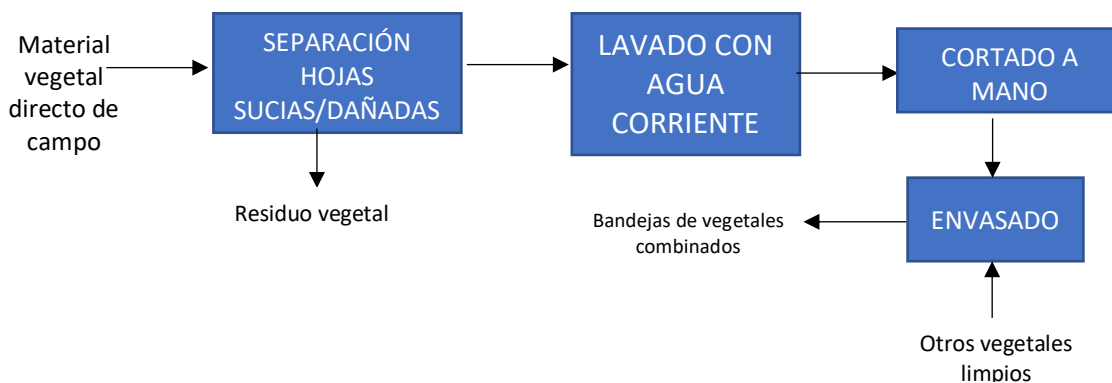
## 4. MATERIAL Y MÉTODOS

### 4.1 *Materia prima*

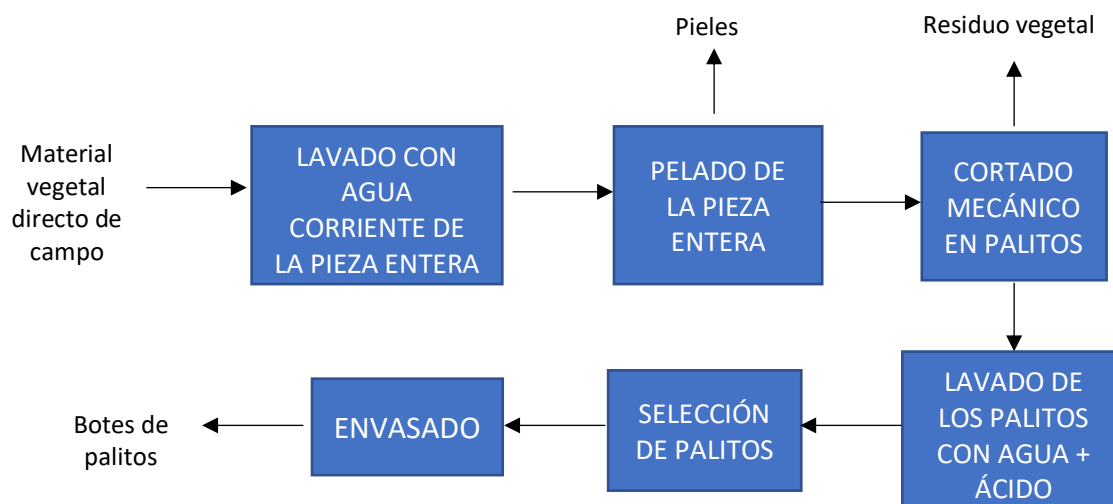
Los residuos vegetales empleados como materia prima para la realización del presente estudio fueron proporcionados por la Cooperativa Agrícola de Villena, COOP.V. En concreto se trata de hojas de col repollo (*Brassica Rubra oleracea, L.*), puerro (*Alium porrum, L.*) y apio (*Apium graveolens, L.*) generados en la línea de confección de bandejas vegetales combinados y trozos de zanahoria (*Dacus carota, L.*) procedentes de la línea de confección de palitos listos para comer (IV gama). Cabe mencionar que los residuos de puerro y apio se obtienen tras las etapas de lavado con agua corriente y cortado a mano con cuchillo para separar la parte comestible de la no comestible (**Figura 2**). En el caso del repollo, el residuo está formado por las hojas externas que se eliminan a mano antes del lavado de las piezas (**Figura 3**). Por lo que respecta al residuo de zanahoria, se trata de palitos que no cumplen con los estándares de calidad obtenidos tras las etapas de lavado con agua corriente de las piezas enteras, pelado y cortado mecánico de las piezas enteras (**Figura 4**).



**Figura 2.** Diagrama de flujo para la obtención de bandejas que incluyen ajo, puerro y apio.



**Figura 3.** Diagrama de flujo para la obtención de bandejas que incluyen col repollo.



**Figura 4.** Diagrama de flujo de la zanahoria para la obtención de palitos de IV gama.

#### 4.2 Proceso de obtención de los polvos

Los residuos vegetales recibidos se procesaron directamente tras su recepción, o bien se almacenaron en refrigeración no más de 24 h. Al presentar restos de tierra, las hojas de col se lavaron con agua corriente clorada antes de ser procesados. Con respecto al puerro, se consideró separar la parte blanca de la verde y procesarlas por separado. Previamente a la deshidratación, el tamaño de partícula de los residuos se redujo a trozos de tamaño medio  $\leq 10$  mm (TRO) o trozos de tamaño medio  $\leq 5$  mm (TRI). Para ello se empleó el procesador de alimentos Thermomix® TM6 (Vorwerk) y las condiciones de proceso recogidas indicadas en la **tabla 1**.

**Tabla 1.** Condiciones aplicadas para reducir el tamaño de partícula de los diferentes residuos vegetales con el procesador de alimentos Thermomix® TM6 (Vorwerk).

	Zanahoria	Apio	Col	Puerro(b)	Puerro(v)
<b>TRO</b>	10000 rpm, 10 s (350 g)	10000 rpm, 10 s (200 g)	10000 rpm, 10 s + 10s (150 g)	10000 rpm, 10 s + 20 s + 10 s (150 g)	10000 rpm, 10 s + 10 s (150 g)
<b>TRI</b>	5000 rpm, 5 s (350 g)	5000 rpm, 5s (200 g)	5000 rpm, 5 s (150 g)	10000 rpm, 5 s (150 g)	5000 rpm, 5 s (150 g)

Una vez reducido su tamaño, los residuos vegetales se deshidrataron mediante secado con aire caliente (muestras TRI y TRO) o liofilización (únicamente muestras TRI). El secado por aire caliente se llevó a cabo en un secador de bandejas convectivo (Pol-eko Aparatura, Katowice, Polonia) con aire a 60 y 70°C durante el tiempo necesario hasta que la actividad del agua ( $a_w$ ) se redujo a valores inferiores a 0,3. Para llevar a cabo el



secado, el producto se introdujo en bandejas perforadas en las que se dispuso aproximadamente una lámina de residuo de 1,5 cm de espesor. Con el fin de poder obtener las curvas de secado y de velocidad de secado para cada una de las condiciones de proceso ensayadas, se determinó la humedad de los residuos al final del proceso ( $x^w_f$ ), así como la variación de masa a diferentes tiempos a lo largo del proceso. De esta forma, mediante la aplicación de un balance de materia seca (**ecuación 1**), fue posible calcular la humedad de los residuos en cada instante del proceso ( $x^w_t$ ).

$$M_t \cdot (1-x^w_t) = M_f \cdot (1-x^w_f) \quad \text{ecuación 1}$$

donde  $M_t$  y  $M_f$  representan la masa total de residuo (g) medida en el instante t y final, respectivamente.

Previamente a la liofilización de los residuos triturados, estos se mantuvieron durante 24 h en un congelador a  $-40\text{ }^\circ\text{C}$  (Matek modelo CVN-40/105). A continuación, se introdujeron en un liofilizador a escala de plata piloto (TELSTAR LIOALFA 6-80) donde permanecieron a  $-45\text{ }^\circ\text{C}$  y una presión de vacío de 0,1 mbar durante otras 24 h.

Tras la deshidratación, el residuo deshidratado se trituró con el procesador de alimentos Thermomix® TM6 (Vorwerk) a 10000 rpm durante 2 min (a intervalos de 30 s) hasta obtener un tamaño de partícula fino. Se obtuvieron un total de 25 polvos, 5 de cada tipo de desecho: zanahoria, apio, repollo blanco, porción de puerro blanco y porción de puerro verde.

### 4.3 Determinaciones analíticas

En este apartado se describen las determinaciones analíticas necesarias para caracterizar tanto las materias primas como los polvos obtenidos a partir de ellas mediante deshidratación y posterior molienda.

#### 4.3.1 Actividad del agua

La actividad del agua ( $a_w$ ) se midió con un higrómetro de punto de rocío (Aqualab 4TE, Decagon devices, Inc., EE. UU.) previamente calibrado con disoluciones saturadas de referencia.

#### 4.3.2 Humedad

La humedad de las muestras se determinó según el método oficial 934.06 de la **AOAC (1996)** que consiste en cuantificar la pérdida de peso que experimenta una cantidad conocida de muestra durante su secado en una estufa de vacío (VACIOTEM-T J.P. SELECTA) a  $60\text{ }^\circ\text{C}$  y una presión de 200 mbar hasta alcanzar peso constante.





### 4.3.3 Propiedades antioxidantes

Las determinaciones se llevaron a cabo a partir de los extractos obtenidos al mezclar una cantidad conocida de muestra con un volumen determinado de una disolución de metanol en agua al 80% (v/v). Una vez en contacto las dos fases, la mezcla se dejó 1 h en agitación a 200 rpm y en ausencia de luz. Transcurrido este tiempo, las muestras se centrifugaron a 10000 rpm durante 5 min, quedando la mayor parte de los antioxidantes disueltos en el sobrenadante.

#### FENOLES TOTALES

El contenido en fenoles totales se determinó mediante el método del reactivo de Folin-Ciocalteu (**Singleton et al., 1999; Wolfe et al., 2003**) basado en la medida a 760 nm de la intensidad de una coloración azulada generada a partir de la reacción a pH básico de los compuestos fenólicos presentes en los extractos al entrar en contacto con el reactivo. La reacción se llevó a cabo mezclando en las cubetas de espectrofotometría 125 µL de extracto, 500 µL de agua bidestilada y 125 µL del reactivo de Folin-Ciocalteu. Tras 7 min en oscuridad se añadieron 1,25 mL de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> al 7% y 1 mL de agua bidestilada. Para completar el desarrollo del color, se dejó en oscuridad durante 90 min. Transcurrido este tiempo, se midió la absorbancia a una longitud de onda de 760 nm en un espectrofotómetro Helios Zeta UV/Vis Thermo Scientific. Los resultados obtenidos se expresaron en miligramos equivalentes de ácido gálico por gramo de muestra seca (mg EAG/g ss) obtenidos a partir de la recta de calibrado preparado con este fenol de referencia y en el rango de concentraciones entre 100 y 500 ppm.

#### FLAVONOIDES TOTALES

El contenido en flavonoides totales se determinó mediante el método colorimétrico del cloruro de aluminio (**Luximon-Ramma et al., 2006**) que consiste en hacer reaccionar el extracto con una disolución de cloruro de aluminio al 2% (w/v) en metanol. Para ello, se mezclaron en una cubeta de espectrofotometría 1,5 mL de extracto con 1,5 mL de la disolución de AlCl<sub>3</sub>. Tras 10 min de reacción en oscuridad, se midió la absorbancia a 368 nm en un espectrofotómetro Helios Zeta UV/Vis Thermo Scientific. Los resultados se expresaron en miligramos equivalentes de quercetina por gramo de muestra seca (mg EQ/g ss), obtenidos a partir de la recta de calibrado preparada con este flavonoide de referencia y en el rango de concentraciones comprendido entre 12,5 y 200 ppm.



#### CAPACIDAD ANTIOXIDANTE POR EL MÉTODO DPPH

Este método consiste en medir el cambio de coloración de una disolución del radical libre DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazil) en metanol con el extracto a 515 nm, debido a la capacidad que tiene de secuestrar los componentes antioxidantes presentes en la muestra y reducirlos, pasando de un color morado a un color amarillento (**Brand-Williams *et al.*, 1995**). El ensayo se realizó mezclando 100  $\mu$ L de extracto, 2000  $\mu$ L de una disolución 0.1 mM de DPPH en metanol y 900  $\mu$ L de metanol en una cubeta espectrofotométrica y dejando durante 60 min en oscuridad. Transcurrido este tiempo, se midió la absorbancia a 517 nm en un espectrofotómetro Helios Zeta UV/Vis Thermo Scientific. Los resultados se expresaron como miligramos equivalentes de trólox por gramo de muestra seca (mg ET/g ss), calculados a partir de la recta de calibrado preparada con este antioxidante de referencia en el rango de concentraciones comprendido entre 100 y 300 ppm.

#### *4.3.4 Análisis estadístico*

El grado de significancia estadística de las diferentes variables consideradas sobre los resultados obtenidos se evaluó con el programa Statgraphics Centurión XVII mediante análisis simple (ANOVA simple) y multifactorial.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

### 5.1 Estabilidad de los polvos

En la **tabla 2** se muestran los valores de humedad y actividad del agua de los residuos troceados o triturados y posteriormente deshidratados mediante secado con aire caliente o liofilización.

**Tabla 2.** Porcentaje de humedad ( $x_w$ ) y actividad del agua ( $a_w$ ) de los residuos frescos y de los troceados o triturados y posteriormente deshidratados mediante secado con aire caliente a 60 y 70 °C o liofilización. Valores medios  $\pm$  desviación estándar de tres determinaciones. <sup>abc...</sup> diferentes superíndices para un mismo tipo de residuo indican diferencias significativas con un nivel de confianza del 95% ( $p$ -valor  $< 0,05$ ); <sup>ABC...</sup> diferentes subíndices para un mismo tratamiento indican diferencias significativas con un nivel de confianza del 95% ( $p$ -valor  $< 0,05$ ).

Residuo	Tratamiento	$a_w$	$x_w$ (%)
COL	FRESCO	0,999 $\pm$ 0,005 <sup>c</sup> <sub>AB</sub>	90,2 $\pm$ 0,2 <sup>e</sup> <sub>C</sub>
	TRO_SAC 60	0,176 $\pm$ 0,007 <sup>a</sup> <sub>AB</sub>	2,25 $\pm$ 0,12 <sup>c</sup> <sub>B</sub>
	TRI_SAC 60	0,195 $\pm$ 0,008 <sup>a</sup> <sub>A</sub>	2,0 $\pm$ 0,2 <sup>bc</sup> <sub>C</sub>
	TRO_SAC 70	0,169 $\pm$ 0,002 <sup>a</sup> <sub>A</sub>	1,2 $\pm$ 0,2 <sup>a</sup> <sub>A</sub>
	TRI_SAC 70	0,219 $\pm$ 0,007 <sup>b</sup> <sub>C</sub>	1,70 $\pm$ 0,13 <sup>b</sup> <sub>C</sub>
	TRI_LIO	0,27 $\pm$ 0,02 <sup>b</sup> <sub>B</sub>	3,11 $\pm$ 0,14 <sup>d</sup> <sub>C</sub>
APIO	FRESCO	0,994 $\pm$ 0,008 <sup>e</sup> <sub>A</sub>	91,7 $\pm$ 0,4 <sup>d</sup> <sub>D</sub>
	TRO_SAC 60	0,165 $\pm$ 0,006 <sup>ab</sup> <sub>A</sub>	1,6 $\pm$ 0,3 <sup>ab</sup> <sub>A</sub>
	TRI_SAC 60	0,190 $\pm$ 0,011 <sup>c</sup> <sub>A</sub>	2,0 $\pm$ 0,2 <sup>b</sup> <sub>C</sub>
	TRO_SAC 70	0,152 $\pm$ 0,011 <sup>a</sup> <sub>A</sub>	1,49 $\pm$ 0,09 <sup>a</sup> <sub>A</sub>
	TRI_SAC 70	0,17 $\pm$ 0,02 <sup>bc</sup> <sub>A</sub>	2,00 $\pm$ 0,12 <sup>b</sup> <sub>D</sub>
	TRI_LIO	0,3363 $\pm$ 0,0013 <sup>d</sup> <sub>C</sub>	4,7 $\pm$ 0,2 <sup>c</sup> <sub>D</sub>
PUERRO (B)	FRESCO	1,001 $\pm$ 0,002 <sup>c</sup> <sub>B</sub>	86,62 $\pm$ 0,07 <sup>b</sup> <sub>A</sub>
	TRO_SAC 60	0,189 $\pm$ 0,011 <sup>b</sup> <sub>B</sub>	1,3 $\pm$ 0,3 <sup>a</sup> <sub>A</sub>
	TRI_SAC 60	0,190 $\pm$ 0,014 <sup>b</sup> <sub>A</sub>	1,24 $\pm$ 0,15 <sup>a</sup> <sub>A</sub>
	TRO_SAC 70	0,20 $\pm$ 0,02 <sup>b</sup> <sub>B</sub>	1,3 $\pm$ 0,3 <sup>a</sup> <sub>A</sub>
	TRI_SAC 70	0,20 $\pm$ 0,02 <sup>b</sup> <sub>A</sub>	1,02 $\pm$ 0,11 <sup>a</sup> <sub>A</sub>
	TRI_LIO	0,088 $\pm$ 0,013 <sup>a</sup> <sub>A</sub>	1,3 $\pm$ 0,3 <sup>a</sup> <sub>A</sub>
PUERRO (V)	FRESCO	1,006 $\pm$ 0,005 <sup>d</sup> <sub>AB</sub>	91,7 $\pm$ 0,2 <sup>b</sup> <sub>D</sub>
	TRO_SAC 60	0,19 $\pm$ 0,02 <sup>b</sup> <sub>B</sub>	1,42 $\pm$ 0,14 <sup>a</sup> <sub>A</sub>
	TRI_SAC 60	0,201 $\pm$ 0,009 <sup>b</sup> <sub>A</sub>	1,76 $\pm$ 0,04 <sup>a</sup> <sub>BC</sub>
	TRO_SAC 70	0,261 $\pm$ 0,013 <sup>c</sup> <sub>C</sub>	1,6 $\pm$ 0,4 <sup>a</sup> <sub>A</sub>
	TRI_SAC 70	0,264 $\pm$ 0,009 <sup>c</sup> <sub>B</sub>	1,38 $\pm$ 0,10 <sup>a</sup> <sub>B</sub>
	TRI_LIO	0,079 $\pm$ 0,003 <sup>a</sup> <sub>A</sub>	1,6 $\pm$ 0,5 <sup>a</sup> <sub>A</sub>
ZANAHORIA	FRESCO	0,996 $\pm$ 0,004 <sup>d</sup> <sub>A</sub>	87,32 $\pm$ 0,02 <sup>d</sup> <sub>B</sub>
	TRO_SAC 60	0,250 $\pm$ 0,002 <sup>b</sup> <sub>C</sub>	2,85 $\pm$ 0,08 <sup>c</sup> <sub>C</sub>
	TRI_SAC 60	0,161 $\pm$ 0,003 <sup>a</sup> <sub>A</sub>	1,56 $\pm$ 0,14 <sup>a</sup> <sub>B</sub>
	TRO_SAC 70	0,204 $\pm$ 0,013 <sup>a</sup> <sub>B</sub>	3,2 $\pm$ 0,5 <sup>c</sup> <sub>B</sub>
	TRI_SAC 70	0,190 $\pm$ 0,006 <sup>a</sup> <sub>A</sub>	2,4 $\pm$ 0,2 <sup>b</sup> <sub>E</sub>
	TRI_LIO	0,358 $\pm$ 0,013 <sup>c</sup> <sub>C</sub>	2,25 $\pm$ 0,11 <sup>b</sup> <sub>B</sub>

Como se deduce por los elevados valores de humedad (86-92%) y de actividad del agua ( $> 0.99$ ), los residuos vegetales sin procesar presentan un alto riesgo de deterioro. Sin embargo, la deshidratación mediante liofilización o secado con aire a 60 ó 70 °C permitió en la mayoría de los casos que la actividad del agua se redujera por



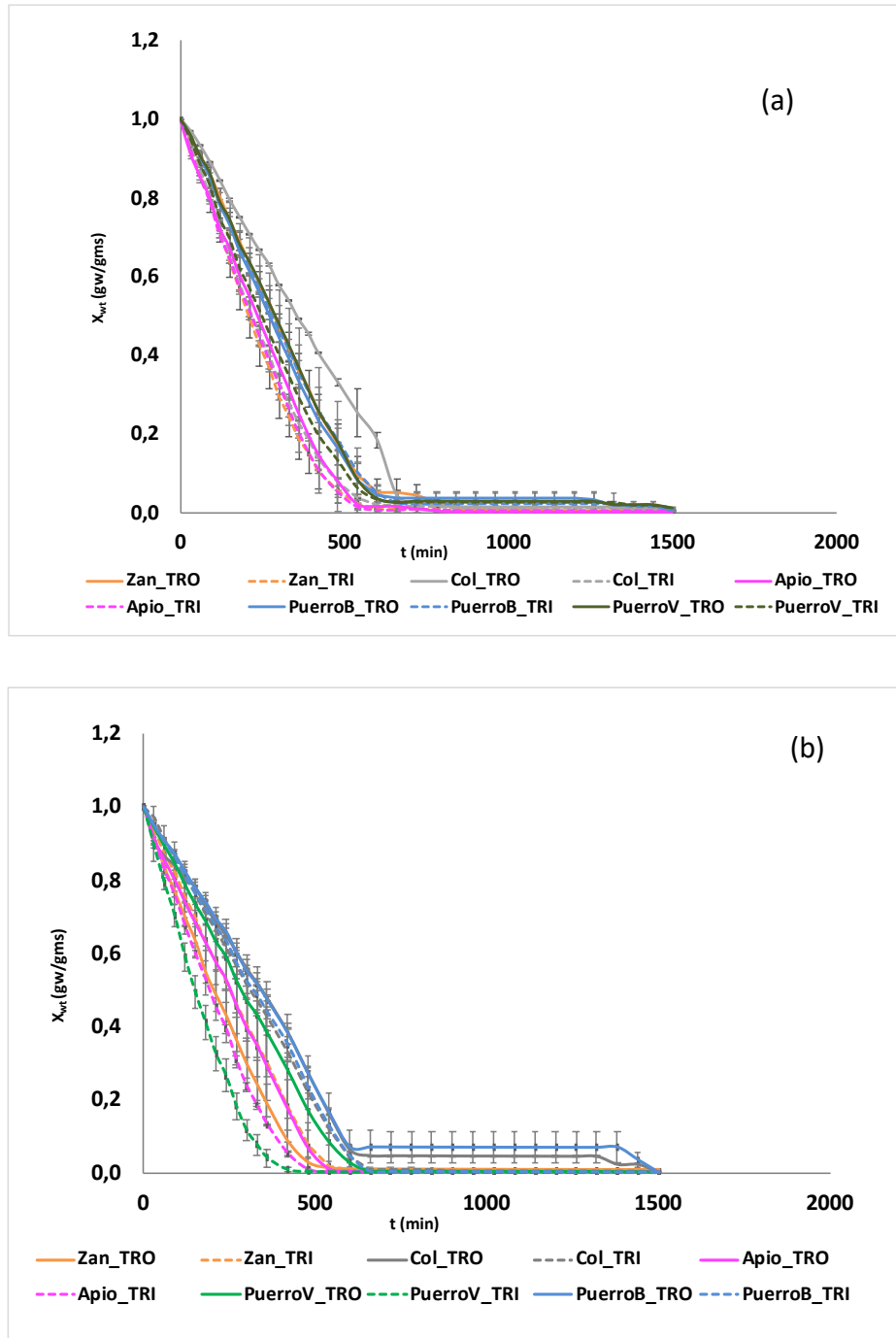
debajo de 0,3, considerado el valor límite por debajo del cual el agua apenas está disponible para intervenir en reacciones de deterioro causadas por agentes biológicos o físico-químicos. Únicamente los polvos de zanahoria y apio obtenidos mediante la técnica de liofilización presentaron unos valores de actividad del agua ligeramente superiores a los esperados, al mismo tiempo que resultaron ser los polvos con un contenido en agua más elevado.

En general, los polvos obtenidos mediante la técnica de secado por aire caliente presentaron valores de humedad y  $a_w$  inferiores a los de los polvos liofilizados. Esto se debe a que el secado por aire caliente se prolongó el tiempo necesario para alcanzar una actividad del agua menor a 0,3, mientras que el ciclo de liofilización se programó en todos los casos para una duración de 24 h.

## 5.2 *Curvas de secado y de velocidad de secado*

Las curvas de secado que se muestran en la **figura 4** representan la variación en el contenido en agua (expresado en base seca y en forma reducida) que experimentan los residuos vegetales troceados y triturados a lo largo del proceso de secado con aire caliente a 60 y 70 °C. Las curvas de secado proporcionan información acerca del tiempo que un producto ha de estar en contacto con el aire en unas condiciones concretas hasta alcanzar un valor de humedad determinado.

A partir de la forma de las curvas de secado se deduce que, para la mayoría de los productos analizados a excepción del residuo de zanahoria secado a 70 °C, sería más recomendable trocear que triturar para acortar el tiempo de secado. Esta diferencia en función del tamaño de partícula resultó especialmente acusado en el caso de la porción verde del residuo de puerro secado con aire a 70 °C, en el que el tiempo de secado requerido para reducir el contenido de humedad inicial en un 80% aumentó de 260 min (4,3 h) para muestras trituradas a 470 min (7,8 h) para muestras troceadas, y en el caso de las hojas de col secadas con aire a 60 °C, en el que el troceado redujo en 210 min (3,5 h) el tiempo de secado necesario para reducir el contenido de humedad inicial en un 80%. En general, las diferencias en el tiempo de secado en función del tipo de residuo y de la intensidad del triturado previo fueron menos acusadas en el secado de los residuos a 60 °C. Excepcionalmente, durante el secado del residuo de apio a 60 °C y el secado del residuo de col repollo a 70 °C apenas se encontraron diferencias entre las curvas de secado de las muestras trituradas y troceadas. En cuanto a los residuos de zanahoria secados con aire a 70 °C, el tiempo requerido para reducir el contenido de humedad inicial en un 80% disminuyó de 420 min (7 h), para muestras trituradas, a 350 min (5,8 h), para muestras troceadas.

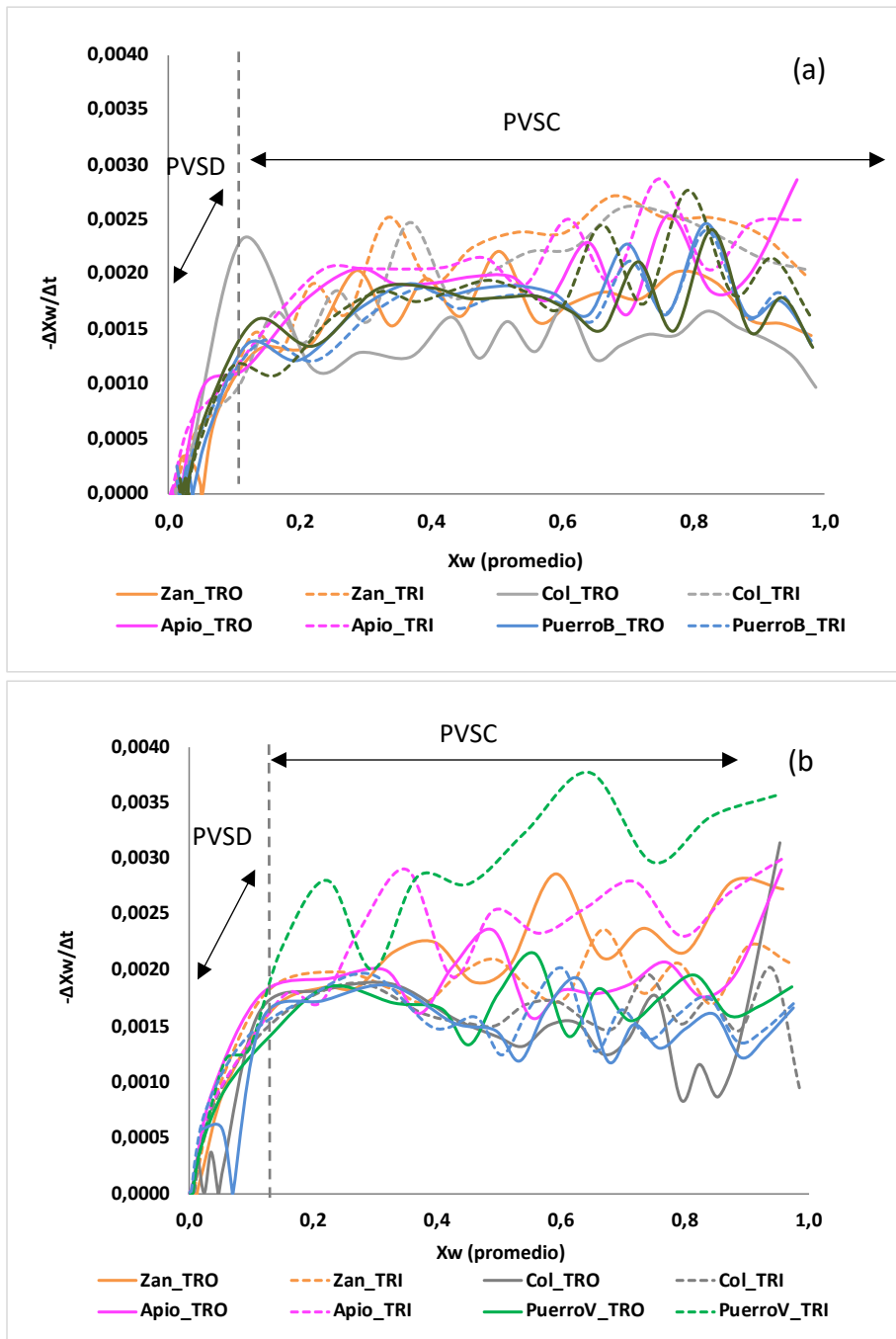


**Figura 5.** Curvas de secado a 60 °C (a) y 70 °C (b) para los distintos residuos, triturados (TRI) y troceados (TRO). Las barras de error representan la desviación estándar de tres medidas.



Del mismo modo que el efecto de la intensidad del triturado sobre el tiempo de secado se ve afectado por la temperatura del aire y el tipo de residuo, también el efecto de la temperatura del aire sobre el tiempo de secado resultó variable en función de la intensidad del triturado y del tipo de residuo. Únicamente en el caso de la parte verde del residuo de puerro troceado y en el caso del residuo de zanahoria triturado se pudo constatar una reducción notable en el tiempo de secado hasta alcanzar un valor de humedad final determinado al aumentar desde 60 hasta 70 °C la temperatura del aire. En los demás casos, el aumento en la temperatura de secado apenas afectó (en el caso de los residuos triturados de col repollo y de la parte verde del puerro) o incluso aumentó (en el caso de los residuos troceados de col repollo y zanahoria) el tiempo necesario para alcanzar la misma humedad final.

Para entender mejor estos fenómenos, en la **figura 5** se muestran las curvas de velocidad de secado obtenidas a partir de los datos experimentales para los residuos vegetales troceados y triturados y secados con aire caliente a 60 y 70 °C. Como se puede comprobar a partir de la forma de las curvas de velocidad de secado, el secado de los residuos transcurre fundamentalmente durante el periodo de velocidad de secado constante. Esto indica que el agua en los residuos se encuentra fundamentalmente en forma libre o poco ligada y que la máxima temperatura a la que se encontrará el sólido durante buena parte del secado será la de saturación de la mezcla de aire seco y vapor de agua en contacto con él. En relación a la humedad crítica o contenido en agua que define el paso del periodo de velocidad de secado constante (en el que se elimina el agua libre o poco ligada) al periodo de velocidad de secado decreciente (en el que se elimina el agua retenida, cuya transferencia a través del producto limita el secado), ésta resultó en todos los casos inferior al 80% del contenido en agua inicial. Por lo tanto, para preservar los compuestos termolábiles presentes en estos productos bastaría con reducir la temperatura de secado una vez el producto haya alcanzado su humedad crítica. Los resultados obtenidos sugieren que podría proponerse disminuir la temperatura de secado poco antes de alcanzar la humedad crítica, con el fin de optimizar tiempos de secado y preservar los compuestos termolábiles. No obstante, este planteamiento no forma parte de los objetivos del presente trabajo, y se abordará en trabajos futuros.



**Figura 6.** Curvas de velocidad de secado 60 °C (a) y 70 °C (b) para los distintos residuos, triturados (TRI) y troceados (TRO).

En la **tabla 3** se muestran los tiempos de secado necesarios para alcanzar una actividad del agua inferior a 0,3 para cada uno de los residuos. A pesar de las diferencias encontradas en el descenso en la humedad de los residuos en función de su triturado o troceado, la determinación experimental de la actividad del agua a lo largo del secado sugiere que el tiempo necesario para alcanzar una actividad del agua inferior a 0,3 depende notablemente del tipo de residuo y de la temperatura de secado. Para cualquiera de las dos temperaturas de secado ensayadas, el residuo de puerro tardó menos tiempo en alcanzar la actividad del agua objetivo. Por lo general, el aumento en la temperatura redujo el tiempo de secado. Excepcionalmente, el residuo de apio secado a 60 °C tardó el mismo tiempo en reducir su actividad del agua por debajo de 0,3 que el secado a 70 °C, lo que sugiere un mayor control interno del transporte de agua en comparación con los otros residuos empleados en este estudio.

**Tabla 3.** *Tiempos de secado a 60 °C y 70 °C para alcanzar una actividad del agua < 0,3.*

	SAC 60 °C	SAC 70 °C
ZANAHORIA TRI	16 h	12 h
ZANAHORIA TRO	17 h	12 h
APIO TRI	11 h	11 h
APIO TRO	12 h	11 h
COL TRI	14 h	12 h
COL TRO	14 h	12 h
PUERRO (BLANCO) TRI	11 h	9-10 h
PUERRO (BLANCO) TRO	12 h	9-10 h
PUERRO (VERDE) TRI	12 h	10 h
PUERRO (VERDE) TRO	12 h	10 h

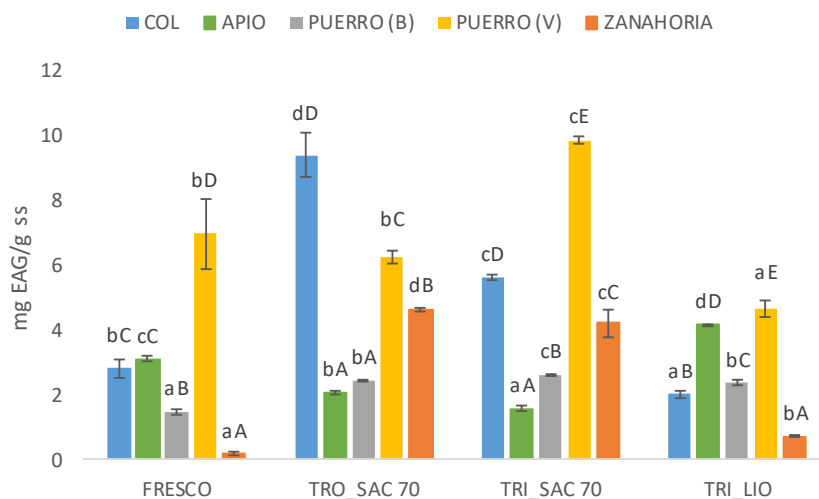
### 5.3 *Propiedades antioxidantes de los polvos*

Para verificar el impacto de la técnica de deshidratación aplicada sobre las propiedades antioxidantes de los diferentes residuos vegetales, se analizó el contenido en fenoles totales, flavonoides totales y la actividad antioxidante por el método del radical DPPH de cada uno de los polvos y se comparó con el del residuo fresco sin procesar. Debido a la declaración del estado de alarma y a la suspensión de toda actividad presencial en las instalaciones de la Universitat Politècnica de València, únicamente se pudo analizar las propiedades antioxidantes de los polvos obtenidos mediante secado del residuo con aire a 70 °C y mediante liofilización.

En la **figura 7** se muestra el efecto del procesado sobre el contenido en fenoles totales. Como se puede observar, la parte verde del residuo de puerro presentó antes del procesado un contenido en fenoles totales muy superior al de los demás residuos analizados, el cual aumentó notablemente tras el triturado y posterior secado a 70 °C. El secado con aire caliente a 70 °C también favoreció, con independencia de la



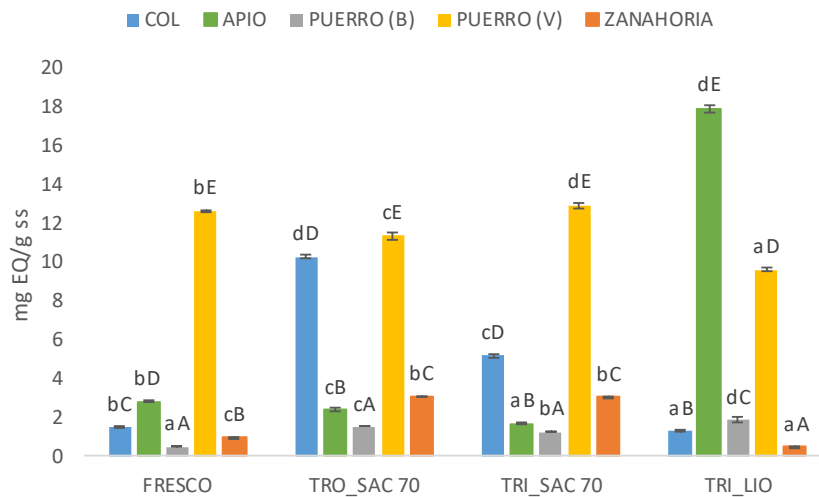
intensidad del triturado previo, un significativo aumento en el contenido en fenoles totales presentes en los demás residuos, puesto que la matriz sufre una desestructuración durante el proceso de triturado lo cual incrementa la posibilidad de extracción de compuestos fenólicos (Elleuch *et al.*, 2011). La liofilización, por su parte, disminuyó significativamente el contenido en fenoles totales presentes en las hojas de col repollo y en la parte verde del residuo de puerro, pero aumentó el del apio, la zanahoria y la parte blanca del residuo de puerro. Este aumento podría deberse a la formación de cristales de hielo que rompen la estructura celular y permiten mejor acceso y extracción de disolventes (Asami *et al.*, 2003). En relación al tamaño de las muestras, su efecto sobre la mejora en el contenido en fenoles totales que experimentan los residuos tras su secado a 70 °C resultó diferente en función del tipo de residuo. En el caso de la col convendría trocear el residuo, mientras que en el caso de la parte verde del puerro sería más conveniente triturarlo.



**Figura 7.** Contenido en fenoles totales (mg EAG/g ss) de los residuos frescos y de los troceados o triturados y posteriormente deshidratados mediante secado con aire caliente 70 °C o mediante liofilización. Las barras de error representan la desviación estándar de tres medidas. abc... diferentes letras para un mismo tipo de residuo indican diferencias significativas con un nivel de confianza del 95% ( $p$ -valor < 0,05); ABC... diferentes letras para un mismo tratamiento indican diferencias significativas con un nivel de confianza del 95% ( $p$ -valor < 0,05).

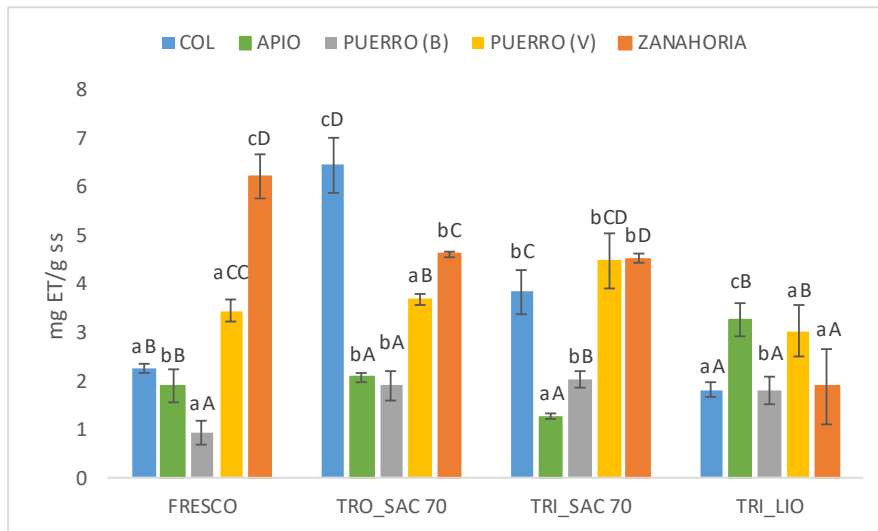
En la **figura 8** se muestra el efecto del procesado sobre el contenido en flavonoides totales. Al igual que se ha comentado anteriormente para el contenido en fenoles totales, la parte verde del residuo de puerro presentó antes del procesado un contenido en flavonoides totales muy superior al de los demás residuos analizados. Sin embargo, en este caso ni el secado con aire a 70 °C ni la liofilización consiguieron aumentar el contenido en flavonoides totales. Por el contrario, el secado a 70 °C aumentó significativamente el contenido en fenoles totales del residuo de col repollo y

zanahoria, mientras que la liofilización resultó ser la mejor técnica para elevar el contenido en flavonoides totales del apio y la parte blanca del residuo de puerro.



**Figura 8.** Contenido en flavonoides totales (mg EQ/g ss) de los residuos frescos y de los troceados o triturados y posteriormente deshidratados mediante secado con aire caliente 70 °C o mediante liofilización. Las barras de error representan la desviación estándar de tres medidas. abc... diferentes letras para un mismo tipo de residuo indican diferencias significativas con un nivel de confianza del 95% ( $p$ -valor < 0,05); ABC... diferentes letras para un mismo tratamiento indican diferencias significativas con un nivel de confianza del 95% ( $p$ -valor < 0,05).

A pesar de su bajo contenido en fenoles totales, el residuo de zanahoria presentó antes del procesado una actividad antioxidante muy superior al del resto de los residuos analizados (**figura 9**), la cual disminuyó tras el secado y, fundamentalmente, tras la liofilización. Esto podría ser debido a que la zanahoria contiene de forma natural gran cantidad de vitamina C, altamente sensible a la temperatura y al contacto con el oxígeno (**Villamizar et al., 2012**), además de betacarotenos, cuya capacidad antioxidante disminuye al pasar de la forma “trans” (en el producto fresco) a su isómero “cis” (en el producto procesado) (**Hiravancharat et al., 2008**). Por el contrario, la actividad antioxidante de la col mejoró considerablemente tras el secado del residuo triturado, pero especialmente tras el secado del residuo troceado, lo que podría deberse al aumento en el contenido en fenoles y flavonoides totales comentado anteriormente. En el caso del apio, destaca el ligero aumento en la capacidad antioxidante cuando el residuo es triturado y liofilizado, coincidiendo con el aumento en el contenido en fenoles totales, incluidos los del tipo flavonoides. En cuanto al puerro, la parte blanca del residuo aumentó en todos los casos y en la misma medida su capacidad antioxidante tras el procesado, mientras que la parte verde solo lo hizo tras el secado a 70 °C del residuo triturado.



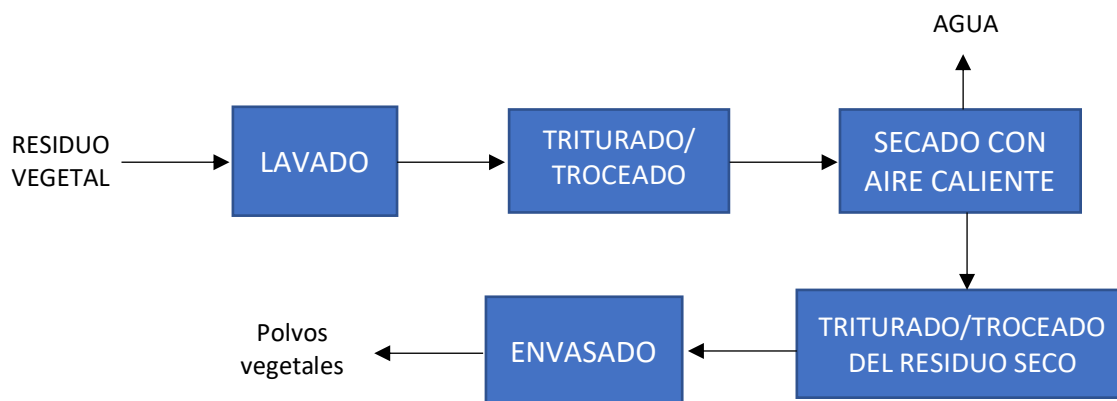
**Figura 9.** Actividad antioxidante (mg ET/g ss) de los residuos frescos y de los troceados o triturados y posteriormente deshidratados mediante secado con aire caliente 70 °C o mediante liofilización. Las barras de error representan la desviación estándar de tres medidas. abc... diferentes letras para un mismo tipo de residuo indican diferencias significativas con un nivel de confianza del 95% ( $p$ -valor < 0,05); ABC... diferentes letras para un mismo tratamiento indican diferencias significativas con un nivel de confianza del 95% ( $p$ -valor < 0,05).

Por lo tanto, se concluye que las condiciones de proceso que permiten obtener polvos con mejores propiedades antioxidantes son: troceado y secado a 70 °C para el caso de la col, triturado y liofilizado para el caso del apio y secado a 70 °C del residuo troceado o triturado en el caso de la zanahoria. Cualquiera de los tres tratamientos de estabilización ensayados mejoró las propiedades antioxidantes del residuo de puerro. A tenor de los resultados obtenidos, se concluye que es preferible secar el residuo con aire a 70 °C que liofilizar para obtener un polvo con unas propiedades antioxidantes mejoradas.

#### 5.4 DISEÑO DE LA PLANTA PILOTO

A partir de los resultados obtenidos en las instalaciones del IUIAD, se propone el diseño de la planta piloto a construir en las instalaciones de la Cooperativa Agrícola de Villena para la transformación de los residuos en polvos. En primer lugar, en la **figura 9** se muestra el diagrama de flujo del proceso.

Como operación de deshidratación para la estabilización de los residuos se propone el secado por aire caliente, no solo porque resulta económicamente más rentable y permite acortar los tiempos de procesado, sino también porque del análisis de las propiedades antioxidantes se deduce que, en términos generales, favorece el aumento en el contenido en compuestos fenólicos (incluidos los del tipo flavonoides) y la capacidad antioxidante total medida por el método del radical DPPH. En cuanto a la temperatura de secado, sería necesario completar el análisis de las propiedades antioxidantes de los polvos secados a 60 °C y analizar otras propiedades físico-químicas de los polvos (color, textura, tamaño de partícula, propiedades de interacción con el agua y el aceite, etc.) o incluso hacer ensayos de secado a otras temperaturas para poder afirmar cuál es la temperatura de secado óptima. En cuanto a la reducción en el tamaño de los residuos previo al secado, en unos casos parece más conveniente triturar (residuo de zanahoria), pero en la mayoría de los casos el troceado parece ser la mejor opción (residuo de col, apio y puerro). En cualquier caso, esta decisión no afectará en la selección del molino para moler el residuo húmedo, que será el mismo en todos los casos.



**Figura 10.** Diagrama de flujo del proceso de obtención de polvos a partir de los residuos vegetales.

Según el plano facilitado por la cooperativa (ver **Anexo 1**), la planta piloto se situaría en un patio exterior dentro de las instalaciones de la misma, con una superficie total de 100 m<sup>2</sup>, en el cual se tendría que construir el anexo necesario para ubicar la maquinaria. A continuación, se indica la relación de equipos seleccionados para llevar a cabo la valorización de los residuos generados por la cooperativa Agrícola Villena Coop. Dicha selección se ha basado en la información proporcionada por los distintos fabricantes a través de llamadas telefónicas, así como en la consulta de catálogos comerciales. También, se han tenido en cuenta los resultados del presente estudio. Debido a que en el momento de desarrollo del presente trabajo fin de grado se desconocen los usos finales de los polvos obtenidos, y no se ha realizado un estudio de mercado que permita justificar un volumen de producción determinado, se decide plantear una planta piloto experimental para procesar una cantidad reducida de residuo, basada en la capacidad del secador de bandejas y teniendo en cuenta las condiciones experimentales en las que se han obtenido las curvas de secado (78 kg/día de residuo fresco, equivalentes a unos 10,15 kg/día de polvo). Esta propuesta servirá de base para el diseño de la planta piloto a instalar en la cooperativa. Se propone también una selección de equipos de mayor tamaño, en caso de que la cooperativa decida finalmente implantar la línea de producción de polvos en sus instalaciones.

#### **PROPUESTA DE EQUIPOS PARA PLANTA PILOTO EXPERIMENTAL:**

- **Lavadora con cesto**

La máquina de lavado se encarga de eliminar cualquier tipo de impureza que pueda contener el residuo. Para ello se ha seleccionado una lavadora con cesto de la casa comercial Favrin. El equipo posee una capacidad de cesto de lavado de 44 L y sus dimensiones son 1,050 x 0,935 x 1,565 m.



**Imagen 1.** Máquina de lavado, modelo de cesta, fabricante Favrin S.L.

- **Molino de cuchillas**

Para reducir el tamaño de partícula tanto del residuo húmedo como del seco se propone emplear el molino de cuchillas GRINDOMIX GM 300 de la casa comercial Retsch. Sus dimensiones son 0,44 x 0,340 x 0,44 m. Se empleará el mismo molino tanto para el residuo en húmedo como para el residuo seco.



*Imagen 2. Molino de cuchillas, modelo GRINDOMIX GM 300, fabricante Retsch S.L.*

- **Secador convectivo de aire forzado.**

Para llevar a cabo la deshidratación del residuo vegetal se ha seleccionado una estufa de secado convectivo con aire forzado, concretamente el modelo SLW 400 Smart PRO que ofrece la casa comercial POL-EKO APARATURA. Posee una capacidad 14 estantes con una carga máxima de 25 kg, sus dimensiones son 1,02 x 1,43 m y la potencia eléctrica de 400 V. Según el experimental previo realizado, el residuo debe secarse en láminas de un espesor aproximado de 1-1,5 cm, lo cual supone una relación aproximada de 5 kg de residuo/m<sup>2</sup> de bandeja de secador. Teniendo en cuenta el número de bandejas (14) y las dimensiones interiores del secador (1,26 x 0,88 m<sup>2</sup>), esto resulta en una capacidad de procesado de 78 kg en cada ciclo de secado. Cada ciclo de secado durará unas 10-12 h (variando ligeramente entre residuos), asumiendo que la temperatura de secado es de 70 °C.



**Imagen 3.** Estufa de secado SLW Smart Pro, POL-EKO APARATURA.

- **Envasado**

Se propone un tipo de envasado manual a granel en sacos de 1 kg que luego se dispondrán en la zona de producto envasado indicado en la distribución de la planta **(Anexo 8.2)**.

#### **PROPUESTA DE EQUIPOS PARA PLANTA DE PRODUCCIÓN:**

Por otro lado, se propone una planta de mayor capacidad de producción, para que de este modo la cooperativa decida su instalación y puesta en marcha en función de sus oportunidades de comercialización y capacidad de inversión.

- **Túnel de lavado**

La máquina de lavado se encarga de eliminar cualquier tipo de impureza que pueda contener el residuo. Este túnel de lavado permite la limpieza con agua tanto en cajas como de forma individual. Para la planta piloto se ha seleccionado una máquina de lavado de la casa comercial Favrin. El equipo un caudal de lavado de 17 cajas/min y sus dimensiones aproximadas son de 3,78 x 1,95 x 1,49 metros.



**Imagen 4.** Túnel de lavado, fabricante Favrin S.L.



- **Molino de martillos**

Para reducir el tamaño de partícula tanto del residuo húmedo como del seco se propone emplear un molino de martillos, en este caso fabricado por la casa comercial Gémina Procesos Alimentarios, S.L. El molino de martillos seleccionado en este caso consta de diferentes tamices en función del grado de refinamiento que se quiera obtener. Las dimensiones generales sin tolvas son 2,1 x 0,7 x 1,30 m, y las tolvas de acumulación de entrada y salida del producto se adaptan en función de su aplicación. La capacidad de producción del molino es de 10.000 Kg/h y la potencia eléctrica de 400 V. En este caso se requerirían dos molinos, uno previo a la operación de secado para triturar el residuo húmedo, y otro posterior a la operación de secado para triturar el residuo seco.



<b>Diámetro de orificios (en mm)</b>	<b>Grado de refinamiento</b>
0,5 a 3	Muy fino
4 a 8	Fino
8 a 10	Medio
Mayor de 10	Grueso

*Imagen 5. Molino de martillos, fabricante Gémina procesos alimentarios S.L.*

- **Secador convectivo**

En el caso de manejar un volumen elevado de producto, la opción de secador más viable sería la que ofrece la empresa INGETECSA, S.A por su flexibilidad y adaptabilidad del diseño. Concretamente, se ha seleccionado un secador convectivo de lecho fluidizado por su tratamiento mecánico del producto sumamente cuidadoso y elevados rendimientos de evaporación con tiempos de permanencia relativamente cortos. La empresa dispone de módulos acoplables, lo que facilita aumentar el área de secado en caso de incrementar el volumen de desechos vegetales. Aunque para ello se tendrían que redefinir los tiempos de secado, puesto que los que se han obtenido han sido a partir de un secador de bandejas, en el que la superficie de contacto entre el aire de secado y el alimento a secar es bastante inferior.





**Imagen 6.** Secador convectivo de lecho fluidizado, fabricante Ingetecsa, S.A.

- **Envasadora**

La máquina seleccionada para envasar los polvos es la envasadora automática para bolsa preformada Doy Pack, modelo ITKP-PBP-300-DOY, de la casa comercial Pymar Group. Posee una capacidad de envasado aproximada de 18 bolsas/minuto, sus dimensiones son 1,650 x 0,510 x 1,635 m.



**Imagen 7.** Envasadora Doy Pack, modelo ITKP-PBP-300-DOY, fabricante Pymar Group

- **Cámara frigorífica**

Hasta su entrada en el proceso, los residuos vegetales podrían necesitar ser almacenados en una cámara frigorífica. Tras revisar diversas opciones, la que más se ajusta es la suministrada por la empresa AISCOLD S.A., especializada en la instalación de cámaras y de salas para la industria agroalimentaria, adaptando el diseño a las necesidades requeridas. En el caso del sector hortofrutícola se basa en el control total de la temperatura, humedad y gases del producto, de tal forma que el producto mantenga sus propiedades organolépticas y nutricionales.



*Imagen 8. Cámara frigorífica, fabricante Aiscold.*

## **PROPUESTA DE DISTRIBUCIÓN EN PLANTA PAR LA PLANTA PILOTO EXPERIMENTAL**

La distribución en planta piloto experimental se presenta en el **anexo 8.2**, aunque las dimensiones del espacio seleccionado admiten proyectar en un futuro la planta de producción de mayor capacidad en este mismo punto, ya que la superficie disponible se adapta a las dimensiones de la maquinaria seleccionada.

Así pues, la planta piloto quedaría dividida en dos partes claramente diferenciadas. En primer lugar, se propone la entrada de residuo a la zona de acopio; seguidamente se encontraría la zona de procesado del residuo, donde se incluiría la maquinaria descrita anteriormente (máquina de lavado, molino de cuchillas tanto para el residuo húmedo como seco y secador). Cabe nombrar que entre la zona de acopio y el molino se dispondrá de una mesa de trabajo, para poder cortar en trozos el residuo antes de introducirlo en el molino, también se empleará un mueble bandejero y una mesa de trabajo para recoger el residuo seco, triturarlo y proceder al llenado de sacos; finalmente, se distingue, la zona de almacenaje de producto envasado hasta su expedición. En segundo lugar, se tendría el acceso peatonal y una zona donde los operarios dispondrán de vestuarios y taquillas, para acceder a la zona de trabajo con los



uniformes pertinentes y sin objetos personales, de forma que se preserven al máximo la calidad final de los productos a procesar, evitando así posibles contaminaciones cruzadas. Asimismo, los operarios disponen de espacio suficiente para su propio movimiento y operaciones de limpieza y mantenimientos de los equipos.

## 6. CONCLUSIONES

En la actualidad existe la necesidad de desarrollar procesos de valorización que permitan la reutilización de los residuos de la industria agroalimentaria, mediante su reintroducción en el ciclo productivo y de esta forma contribuir a la economía circular. El presente trabajo constituye un ejemplo de colaboración entre la universidad y la producción regional (cooperativa) con el fin de contribuir al desarrollo de sistemas alimentarios más sostenibles, desde el punto de vista social, económico y medioambiental, aportando soluciones innovadoras y diferenciadoras. Los residuos originados en las líneas de confección de bandejas y IV gama de col, zanahoria, apio y ajo puerro se han transformado con éxito en ingredientes funcionales mediante un proceso de transformación que incluye como etapas principales una deshidratación por aire caliente, y una molienda pre y post- secado. De este modo, se han conseguido obtener polvos estables cuya actividad antioxidante ha sido constatada experimentalmente. Las condiciones de secado más adecuadas para cada residuo y triturado/troceado previo no han podido ser determinadas debido a la situación excepcional de estado de alarma, que impidió continuar el trabajo experimental en laboratorio. No obstante, a la espera de concretar las condiciones más adecuadas de procesado (tiempo y temperatura), así como los posibles usos de cada polvo funcional, y el correspondiente estudio de mercado que permita estimar la capacidad de producción necesaria, se ha considerado proponer una planta experimental y una planta de mayor producción. De este modo, en función de la evolución del proyecto y de la capacidad de inversión de la cooperativa, se podrá decidir por una opción u otra.



## 7. BIBLIOGRAFÍA

AISCOLD, visto el 29 de Junio de 2020, <http://aiscold.com/empresa/>

AOAC Official Method 934.06. Moisture in Dried Fruits.

Arguero, J; Seguí, L; Barrera, M<sup>a</sup> C. (2018). **Propiedades físicoquímicas y estabilidad microbiológica de mermeladas de fresa formuladas con polvo de piel de mandarina empleado como ingrediente funcional y sostenible.**

Asami, D. K., Hong, Y. J., Barrett, D. M., & Mitchell, A. E. (2003). **Comparison of the total phenolic and ascorbic acid content of freeze-dried and air-dried marionberry, strawberry, and corn grown using conventional, organic, and sustainable agricultural practices.** *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(5), 1237-1241.

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA CONTRA EL CÁNCER, visto el 15 de Mayo de 2020, <https://www.aecc.es/es/todo-sobre-cancer/viviendo-concancer/alimentacion/grupos-alimentos>

Ayala-Zavala, J., Vega-Vega, V., Rosas-Domínguez, C., Palafox-Carlos, H., Villa-Rodriguez, J., y Siddiqui, M. et al. (2014). **Agro-industrial potential of exotic fruit byproducts as a source of food additives.** *Food Research International*, 44(7), 1866-1874.

Ayala-Zavala, J.F., Vega-Vega, V., Palafox-Carlos, H., Villa-Rodriguez, J.A., Wasim Siddiqui, Md., Dávila-Aviña, J.E. González-Aguilar, G.A. (2011). **Agro-industrial potential of exotic fruit byproducts as a source of food additives.** *Food Research International* 44(7), 1866-1874.

Bas-Bellver, C. (2018). **Caracterización de residuo de caqui deshidratado para su uso como ingrediente funcional en alimentos.** Trabajo de Fin de Grado en Biotecnología. Universitat Politècnica de València.

Bas-Bellver, C. (2019). **Estudio de la digestión in vitro de polvos obtenidos a partir de residuos de piel de caqui y bagazo de arándano.** Universitat Politècnica de València. Departamento de Tecnología de Alimentos.

Bas-Bellver, C.; Barrera, C.; Betoret, N.; Seguí, L. (2020). **Turning Agri-Food Cooperative Vegetable Residues into Functional Powdered Ingredients for the Food Industry.** doi: 10.3390/su12041284

Beretta C., Stoessel F., Baier U., Hellweg S. **Quantifying food losses and the potential for reduction in Switzerland. 2013.** *Waste Management*, 33: 764-773.



Bilbao, C. (2002). *Estudio del secado combinado aire/microondas en manzana Granny Smith*. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.

Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., y Berset, C. L.W.T. (1995). *Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity*. LWT-Food science and Technology 28(1): 25-30.

Dou Z., Ferguson J.D., Galligan D.T., Kelly A.M., Finn S.M., Giegengack R. *Assessing US food wastage and opportunities for reduction*. 2016. Global Food Security, 8: 19-26.

Elleuch, M., Bedigian, D., Roiseux, O., Besbes, S., Blecker, C., Attia, H. (2011). *Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: Characterisation, technological functionality and commercial applications: A review*. Food Chemistry, 124(2), 411-421.

FAO, (2013). "Despilfarro alimentario", *Food wastage footprint impacts on natural resources*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, visto el 3 de Mayo de 2020, <http://www.fao.org/3/i3347e/i3347e.pdf>

FAO. FAO y Messe Düsseldorf lideran SAVE FOOD: *Iniciativa mundial sobre la reducción de la pérdida y el desperdicio de alimentos*. 2017.

FAVRIN, visto el 27 de Junio 2020, <https://www.favrinsrl.com/es/cat/maquinas-hortofruticolas/tunel-lavado-fruta-verdura>

Feng, H.; Tang, J. (1998). *Microwave finish drying of diced apples in a spouted bed*. Journal of Food Science, 63, 679-683.

Fennema, O. (2000). *Química de los alimentos*. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza, España.

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. Valencia (España). 211 pp.

Food and Agricultural Organization of the United Nations. Sustainable Development Goals | Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2019. Available online: <http://www.fao.org/sustainabledevelopment-goals> (accessed June 2020).

FOOD 2030. *Toward sustainable Food Systems*, <https://fit4food2030.eu/>, accessed June 2020.

Funebo, T., Ahrné, L., Kidman, S., Langton, M., Skjoldebrand, C. (2000). *Microwave heat treatment of apple before air dehydration. Effects on physical properties and microstructure*. Journal of Food Engineering, 46, 173-182.



Funebo, T.; Ohlsson, T. (1998). **Microwave assisted air dehydration of apple and mushroom**. Journal of Food Engineering, 38, 353-367.

Gémina, visto el 25 de junio de 2020, <https://www.gemina.es/es/>

Giese, J. (1992). **Advances in microwave food processing**. Food Technology, 46, 118-123.

Gironés-Vilaplana, A., Baenas, N., Villaño, D., Speisky, H., García-Viguera, C., y Moreno, D. A. (2014). **Evaluation of Latin-American fruits rich in phytochemicals with biological effects**. Journal of Functional Foods, 7, 599-608.

Holdsworth, S.D. 1993. Congelación y refrigeración. En: **Manual de industrias de los alimentos**. Raken, M.D. (ed). Editorial Acirbia, S.A. Zaragoza, España. pp. 475-498.

Ingetecsa, visto el 28 de junio de 2020, <http://www.ingetecsa.com>

IRTA GROUP, visto el 22 de Junio de 2020, <http://irtagroup.com/envasadoras/>

Hiravancharat, B., Suvarnakuta, P., Devahastin, S. (2008). **Isomerisation kinetics and antioxidant activities of  $\beta$ -carotene in carrots undergoing different drying techniques and conditions**. Food Chemistry 107(4): 1538-1546.

Jiang, H., Zhang, M., Adhikari, B. (2013). Fruit and vegetable powders. En: **Handbook of Food Powders**. B. Bhandari, N. Bansal, M. Zhang, P. Schuck (Eds.). Capítulo 21. pág. 532-552. Ed. Woodhead Publishing Series In Food Science Technology and Nutrition.

Karam, M.C., Petit, J., Zimmer, D., Djantou, E.B. Scher, J. (2016). **Effects of drying and grinding in production of fruit and vegetable powders: A review**. Journal of Food Engineering 188: 32-49.

Lazar, M.E., Lund, D.B. y Dietrich, W. 1971. IQB: **A new concept in blanching**. Food Technology. 25 (7): 24-26.

Lobo Rodrigo, M. G., González, M. (2003). **Productos hortofrutícolas mínimamente procesados**. Editorial: Gobierno de Canarias. Instituto de Investigaciones Agrarias.

Lund, D.B., Bruin S. Jr. y Lazar, M.E. 1972. **Internal temperature distribution during individual quick blanching**. Journal of Food Science. 37: 167.

Luximon-Ramma, A., Bahorun, T., Crozier, A., Zbarsky, V., Datla, K., Dexter, D. y Aruoma, O. (2006). **Assessment of the polyphenolic composition of the organic extracts of Mauritian black teas: a potential contributor to their antioxidant functions**. BioFactors 27: 79-91



MAPAMA, (2012). ***Producción y consumo sostenible y residuos agrarios***. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, visto el 13 de Mayo de 2020, [https://www.miteco.gob.es/images/es/Residuos%20agrarios\\_tcm30-193059.pdf](https://www.miteco.gob.es/images/es/Residuos%20agrarios_tcm30-193059.pdf)

Martínez Las Heras, R. (2016). ***Valorización del cultivo del caqui***. Universidad Politécnica de Valencia. Tesis doctoral. 1-221.

Medina, M. J. (2017). ***Caracterización de polvos deshidratados obtenidos a partir de bagazo de arándano y valoración de su utilización como ingrediente funcional***. Trabajo Fin de Máster Universitarios en Ciencia e Ingeniería de los Alimentos. Universitat Politècnica de València.

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.

Neacsu, M., Vaughan, N., Raikos, V., Multari, S., Duncan, G.J., Duthie, G.G., Russell, W.R. (2015) ***Phytochemical profile of commercially available food plant powders: their potential role in healthier food***. doi: 10.1016/j.foodchem.2015.01.128

Pol-eko Aparatura, visto el 24 de junio de 2020, <https://www.pol-eko.com.pl/estufas-de-secado/>

Pymar Group, visto el 3 de julio de 2020, <https://itepacp.com/maquinaria/envasadora-automatica-para-bolsa-preformada-doypack-itkp-pbp-300-doy/>

Raghavendra, S. N., Swamy, S. R., Rastogi, N. K., Raghavarao, K. S. M. S., Kumar, S., Tharanathan, R. N. (2006). ***Grinding characteristics and hydration properties of coconut residue: A source of dietary fiber***. Journal of Food Engineering, 72(3), pp. 281-286

Retsch, visto el 4 de julio 2020, <https://www.retsch.es/es/productos/molienda/molino-de-cuchillas/gm-300/funcionamiento-caracteristicas/>

Sáenz, C., Estévez, A., Sanhueza, S. (2007). ***Utilización de residuos de la industria de jugos de naranja como fuente de fibra dietética en la elaboración de alimentos***. Depto. de Agroindustria y Enología. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile. Santiago, Chile.

Sáez, R. (2017). ***Caracterización de polvos de piel de mandarina para su uso como ingrediente funcional en alimentos***. Trabajo de Fin de Máster Universitario en Ingeniería Agrnómica. Universitat Politècnica de València.

Sagar, N.; Pareek, S.; Sharma, S.; Yahia, E.; Lobo, M (2018). ***Fruit and Vegetable Waste: Bioactive Compounds, Their Extraction, and Possible Utilization***. Comprehensive Reviews in food Food Science Food Safety. 2018, 17, 512–531. doi: 10.1111/1541-4337.12330.



Singleton, V. L., Orthofer, R., y Lamuela-Raventós, R. M. (1999). ***Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent.*** Methods in enzymology, 299C(1): 152-178.

Scheel, C. (2016). ***Beyond sustainability. Transforming industrial zero-valued residues into increasing economic returns.*** Journal of Cleaner production 131(10), 376-386.

Schweiggert, U., Carle, R. and Schieber, A. (2007). ***Conventional and alternative processes for spice production – a review.*** Trends in Food Science & Technology, 18(5), pp. 260-268.

Stahel, W. (2010). ***The Performance Economy.*** Palgrave Macmillan, UK.

Stenmarck A., Jensen C., Quedsted T., Moates G. ***Estimates of European food waste levels (FUSIONS). 2016.***

UCM, Oficina de transferencia de resultados de investigación: ***Productos, extractos y subproductos del tomate como nuevos ingredientes alimentarios.*** Dpto. de Nutrición y Bromatología (Bromatología) Facultad de Farmacia, visto el 19 de Mayo de 2020, <https://www.ucm.es/otri/complutransfer-productos-extractos-y-subproductos-del-tomate-como-nuevos-ingredientes-alimentarios>

UNICEF, (2018). ***Aumenta el hambre el hambre en el mundo.*** Fondo Internacional de Emergencia de las Naciones Unidas para la Infancia, visto el 3 de Mayo de 2020, <https://www.unicef.es/noticia/aumenta-el-hambre-en-el-mundo>

Villamizar, D.C. (2012). ***Estudio de la estabilidad fisicoquímica y funcional de un snack simbiótico elaborado a partir de manzana por impregnación a vacío.*** Tesis Final de Máster en Gestión y Seguridad Alimentaria. Universitat Politècnica de València.

Wolfe, K., Wu, X., Liu, R. H. (2003). ***Antioxidant activity of apple peels.*** Journal of agricultural and food chemistry, 51(3), 609-614.





8.2 Plano de distribución de la planta piloto experimental

