

## RESUMEN

La industrialización de frutas y hortalizas genera una gran cantidad de residuos orgánicos en detrimento del medio ambiente, los cuales están infravalorados o no se utilizan. La eliminación de estos residuos mediante incineración o su almacenamiento en vertederos no es una opción sostenible, por lo que la industria debe dirigir sus esfuerzos a reducir su producción, así como a reintroducirlos en la cadena agroalimentaria. Estos residuos hortofrutícolas generalmente son ricos en compuestos bioactivos que pueden ejercer efectos beneficiosos para la salud, presentando un gran potencial para su valorización. La reintroducción de estos productos de deshecho en la cadena agroalimentaria, como ingredientes en la formulación de alimentos más nutritivos, por ejemplo, permitiría generar un sistema de economía circular, además de contribuir al consumo de dietas saludables y sostenibles, todo ello enmarcado en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) definidos por la FAO. En los últimos años, la fabricación de frutas y hortalizas deshidratadas en polvo ha suscitado un creciente interés puesto que se trata de productos estables, versátiles y concentrados. En línea con esta tendencia, el presente proyecto de tesis doctoral plantea la obtención de este tipo de productos en polvo a partir de los residuos de confección de hortalizas, en colaboración con la cooperativa Agrícola Villena Coop.V. Concretamente, el proyecto se centra en la valorización integral de residuos de zanahoria, col, apio, puerro y brócoli, mediante su transformación en ingredientes funcionales en polvo.

Los resultados de esta tesis se presentan por compendio de artículos organizados en cuatro capítulos. En el **primer capítulo** se presentan los resultados de una revisión bibliográfica sobre las tecnologías disponibles para la transformación de estos residuos en productos deshidratados en polvo, centrándose en el impacto de las operaciones unitarias sobre las propiedades fisicoquímicas, tecnológicas y funcionales del producto final, incluida la biodisponibilidad de los compuestos bioactivos contenidos en los polvos. Esta revisión bibliográfica permitió esclarecer que las condiciones de procesado y las técnicas utilizadas definen las características y la funcionalidad de los productos en polvo. Además, fue posible identificar las etapas principales del proceso y, de acuerdo a criterios de viabilidad técnica y económica, seleccionar las operaciones unitarias más adecuadas para tal fin.

En el **segundo capítulo** se recogen los trabajos realizados de cara a evaluar el impacto del procesado (pretratamientos, secado y molienda) sobre las propiedades de los productos en polvo obtenidos a partir de residuos generados en las líneas de confección de hortalizas (zanahoria, col, apio, puerro y brócoli). Concretamente, se evaluó la influencia del procesado sobre las propiedades fisicoquímicas, tecnológicas y funcionales de los productos en polvo obtenidos, así como los cambios experimentados por éstos durante el almacenamiento en condiciones controladas por un periodo de 4 meses. Como tratamientos previos a la deshidratación o pretratamientos se consideraron la congelación (fresco vs. congelado), la intensidad de disrupción del material vegetal (triturado vs. troceado) y la fermentación con *L. plantarum* (en tallos de brócoli); como técnicas de deshidratación, el secado por aire caliente (a 50, 60 y 70 °C) y la liofilización. Los resultados obtenidos mostraron que los métodos de deshidratación aplicados permitieron disminuir la actividad del agua del producto inicial hasta valores inferiores a 0,3, condición necesaria para garantizar su estabilidad. Asimismo, se demostró que las variables del proceso influyeron de forma diferente según el tipo de material vegetal deshidratado, determinando de este modo las características de los productos en polvo obtenidos. Con la fermentación se consiguió mejorar las propiedades antioxidantes de los residuos vegetales. La liofilización permitió además obtener polvos con potencial efecto

probiótico, mientras que el secado por aire caliente afectó negativamente la viabilidad microbiana.

Además de definir las propiedades fisicoquímicas y tecnológicas, la bioaccesibilidad de los compuestos bioactivos presentes en el polvo también queda determinada por el proceso y las características de los polvos obtenidos. En este sentido, se realizaron investigaciones dirigidas a evaluar el impacto del procesado sobre determinados compuestos bioactivos específicos, y sobre la respuesta de los productos en polvo a la digestión simulada *in vitro*. Se analizó por un lado el contenido en carotenoides en polvos de residuos de zanahoria y, por otro, el contenido en glucosinolatos e isotiocianatos en polvos de residuos de col blanca y brócoli. Del mismo modo, se evaluó la liberación de antioxidantes y carotenoides a lo largo de la digestión simulada *in vitro*. Todo ello queda recogido en el **tercer capítulo** de resultados de la presente tesis doctoral. En general, la liofilización dio lugar a productos en polvo más finos y con mayor contenido en compuestos bioactivos específicos (carotenoides y sulforafano), mientras que el secado por aire caliente mejoró las propiedades antioxidantes. Por su parte, el estudio de la digestión simulada *in vitro* reveló que la digestión favorece la extracción y liberación de compuestos antioxidantes y, en el caso de los polvos de zanahoria, de compuestos bioactivos específicos como son los carotenoides. En los polvos de zanahoria también se evaluó el efecto de dispersar estos polvos en diferentes matrices (agua, aceite o emulsión de aceite en agua) sobre la liberación de carotenoides durante la digestión *in vitro*. La respuesta al proceso de digestión quedó definida tanto por las condiciones de procesado como por la co-ingesta de los polvos con aceite.

En el **cuarto capítulo** de resultados de esta tesis se describe una primera aproximación a la aplicación de los productos en polvo obtenidos como ingrediente alimentario. En particular, se adicionaron productos en polvo obtenidos a partir de residuos de zanahoria y col a la formulación de magdalenas y grissinis, respectivamente, en diferentes porcentajes de sustitución de harina de arroz (5, 10, 20 y 30%). La aplicación de los polvos como ingrediente funcional en la formulación de productos de panadería sin gluten confirmó que la adición de harinas obtenidas a partir de residuos vegetales es una buena estrategia para fortificar y enriquecer nutricionalmente estos productos horneados. El nivel de sustitución tuvo una influencia significativa sobre las propiedades fisicoquímicas, reológicas y antioxidantes de las masas y los productos obtenidos, obteniéndose mejores propiedades antioxidantes a medida que se incrementó la proporción de harina vegetal en la mezcla.

Los resultados obtenidos en la presente tesis doctoral han demostrado el potencial de los residuos generados en la confección de bandejas y productos de IV gama de zanahoria, col, apio, puerro y brócoli para su valorización integral, habiéndose desarrollado un proceso de transformación de los mismos en productos deshidratados en polvo. Se prevé que esta aproximación pueda contribuir de manera efectiva al concepto de dietas saludables y sostenibles, y al desarrollo de un sistema alimentario más sostenible.