



Upcycling (suprarreciclaje) de subproductos alimentarios: los beneficios de la granulación con doble husillo del orujo de manzana

Autora

Gabriela Saavedra
Thermo Fisher Scientific, Karlsruhe, Alemania

Palabras clave

Granulación, extrusora de doble husillo, orujo de manzana, suprarreciclaje

Introducción

La producción sostenible de alimentos y la circularidad en la industria alimentaria son de vital importancia para reducir nuestra huella de carbono. Los subproductos alimentarios, aunque ricos en nutrientes, suelen tener propiedades tecnofuncionales limitadas, lo que restringe su uso en la elaboración de alimentos. Un ejemplo de esto es el orujo de manzana, el principal subproducto de la industria del jugo, que apenas se utiliza más allá de la extracción de pectina o como alimento para animales. En la mayoría de los casos, termina como residuo, ya que su escasa solubilidad no permite su uso posterior como ingrediente alimentario.

Actualmente, todavía existe una falta de conocimiento y tecnología para modificar el orujo y mejorar sus propiedades. Algunos autores (1, 2, 3) han demostrado que los tratamientos químicos, enzimáticos o mecánicos llevan a la alteración de la pared celular, lo que puede modificar las propiedades tecnofuncionales del orujo de manzana. En este contexto, la tecnología de extrusión, como un proceso continuo y versátil, representa una opción prometedora para ampliar los usos del orujo de manzana. Durante el proceso de extrusión, el material se calienta y se cizalla simultáneamente.

Schmid *et al.* (2021) (4) ya han demostrado que, mediante la extrusión de orujo de manzana, se aumenta la capacidad de retención de agua y la cantidad de fibras solubles, lo que favorece la extracción acuosa de compuestos pécticos. Sin embargo, los autores utilizaron una matriz en forma de varilla en el extremo de la extrusora. Por lo tanto, se requirió un paso adicional de molienda del extruido para utilizar y caracterizar el orujo de manzana con sus nuevas propiedades mejoradas. Por este motivo, en este estudio, se optó por la granulación con doble husillo para optimizar las características del orujo de manzana. Al utilizar una salida abierta (consulte la figura 1) al

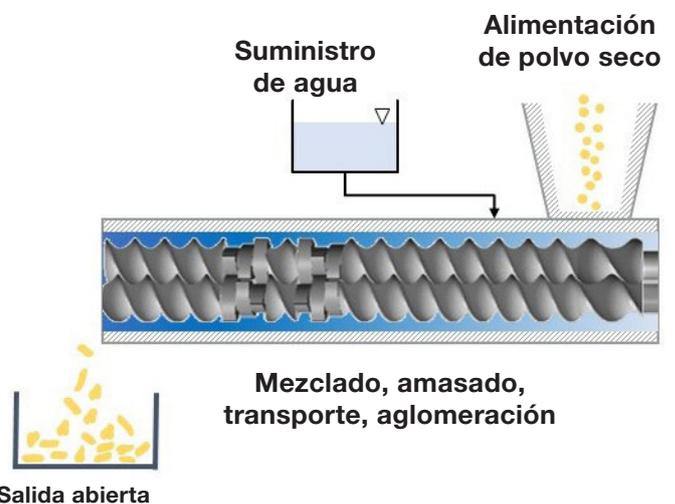


Figura 1: Esquema del proceso de granulación mediante extrusión de doble husillo.

final del barril de la extrusora, es posible granular o aglomerar el material. Este proceso mejora las propiedades de flujo del material, puede romper la pared celular y crear estructuras porosas que mejoran la capacidad de unión del agua. Todo ello es posible sin tener que moler el material extruido.

Materiales y métodos

Ensayos de extrusión

Los ensayos de extrusión se llevaron a cabo utilizando una extrusora de doble husillo Thermo Scientific™ Process 11 de 11 mm de co-rotación. La extrusora tiene un diseño de barril dividido, con una relación longitud/diámetro (L/D) de 40. El barril está completamente segmentado, permitiendo que cada una de sus ocho secciones se enfríe o se caliente de forma independiente. La extrusora se utilizó con el kit de granulación, compuesto por ejes de 40 % L/D de longitud, un soporte para ejes y una salida abierta. Los sólidos se alimentaron mediante un alimentador gravimétrico de doble husillo, mientras que el agua se suministró con una bomba peristáltica.

El orujo de manzana (0,2, 0,4 o 0,6 kg/h) se introdujo en la primera sección del barril, mientras que el agua (0,06, 0,12 o 0,18 kg/h) se agregó en la segunda sección. La relación agua/sólidos se mantuvo constante durante todo el proceso, con un 23 % en peso de agua añadida. Los experimentos de extrusión se realizaron aplicando velocidades de husillo de 400 o 600 rpm. Las temperaturas del barril se ajustaron a $T_{\text{barril2}} = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{barril3}} = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{barril4}} = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $T_{\text{barril5-7}} = 120\text{ }^{\circ}\text{C}$, según lo propuesto por Schmid *et al.* (2021) (4).

Caracterización reológica

Se prepararon dispersiones de orujo de manzana, en estado crudo o granulado, mezclando 1 g de muestra con 20 mL de agua de grifo. La dispersión se agitó rápidamente y se colocó de inmediato entre las placas del reómetro para su medición.

Las mediciones oscilatorias se realizaron con un reómetro rotacional Thermo Scientific HAAKE™ Mars™ iQ Air Rheometer, configurado con geometría de medición de placa a placa. La brecha de medición se ajustó a 1,5 mm.

Una vez colocadas para la medición, las muestras se sometieron a cizallamiento oscilatorio a 20 °C, con una amplitud del 1 % y una frecuencia de 1 Hz durante 20 minutos. Se registraron 60 puntos de medición. Las mediciones se realizaron dentro de la región viscoelástica lineal para evitar la destrucción de la estructura de la muestra.

Microscopio electrónico de barrido

Las muestras se analizaron con un microscopio electrónico de barrido Phenom XL, utilizando un vacío elevado. Todas las muestras se fijaron en soportes de aluminio con discos adhesivos de carbono de doble cara. Todas las imágenes se obtuvieron utilizando un voltaje de operación de 15 kV.

Resultados

El proceso de granulación húmeda mejoró las propiedades tecnofuncionales del orujo de manzana. El material resultante fue un polvo poroso con alta capacidad de unión del agua y la capacidad de formar gel inmediatamente después de la adición de agua (consulte la figura 2).

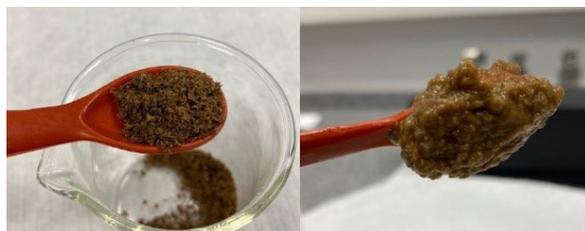


Figura 2: Orujo de manzana granulado (izquierda), orujo de manzana granulado con agua añadida (derecha).

Influencia del caudal

El tiempo de permanencia del orujo de manzana en la extrusora depende del caudal total. Si el caudal total se duplica, el tiempo de permanencia del material se reduce a la mitad. Tales cambios implican diferentes niveles de exposición al cizallamiento y al calor, lo que puede ocasionar distintos grados de ruptura de la pared celular. Por lo tanto, aunque el material esté expuesto a las mismas condiciones de procesamiento, las propiedades resultantes pueden variar.

Para evaluar si el tiempo de permanencia afecta la gelificación, se midieron las propiedades del orujo de manzana granulado mediante barridos temporales. Como se observa en la figura 3, todas las muestras forman un gel/pasta cuando se mezclan con agua, ya que los coeficientes de almacenamiento de todas las muestras son superiores a sus respectivos coeficientes de pérdida.

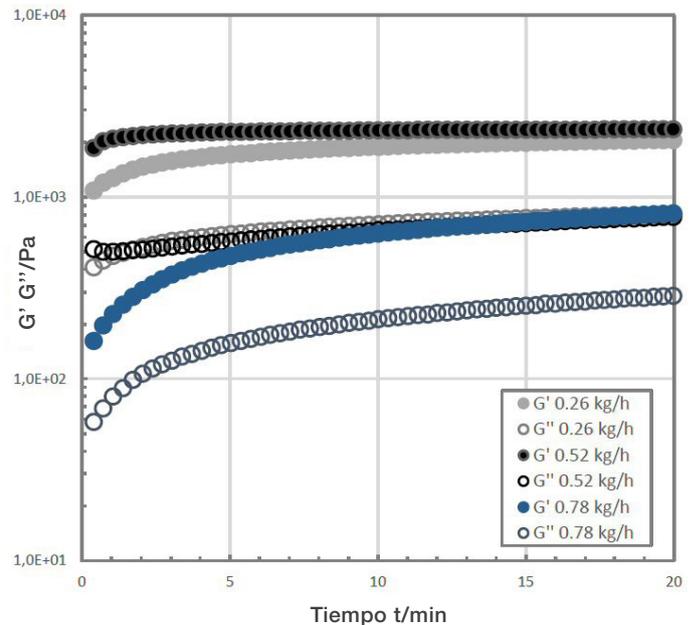


Figura 3: Barridos temporales de orujo de manzana granulado y agua procesada con diferentes caudales; condiciones de proceso constantes: 400 rpm de velocidad del tornillo, 40/60/80/100/120/120/120 °C de temperatura del barril, 23 % en peso de agua añadida.

Sin embargo, la resistencia del gel y la cinética de gelificación dependen del tiempo que el material pasa dentro de la extrusora, tal como se muestra en la figura 3. La ruptura de la pared celular requiere un aporte mínimo de energía durante un tiempo determinado, para que puedan liberarse los polisacáridos responsables de la gelificación y la unión del agua. Esto podría explicar por qué las muestras analizadas muestran diferentes comportamientos de gelificación a lo largo del tiempo, incluso cuando la velocidad de los husillos y las temperaturas permanecieron constantes.

Además de determinar el tiempo de permanencia dentro de la extrusora, el caudal afecta el tamaño de las partículas y su compactación en el proceso de granulación. La compactación también puede afectar la cinética de gelificación, ya que la distribución del tamaño de los poros en los gránulos determina las propiedades de hinchamiento de las partículas. Las propiedades superficiales de las partículas se evaluaron mediante un microscopio electrónico de barrido. En la figura 4 se presentan algunas imágenes seleccionadas.

Como se observa en la figura 4, el caudal total durante el proceso de extrusión influye en las características superficiales de los gránulos. Un caudal bajo da lugar a partículas más sueltas y porosas. Esto podría deberse al menor llenado de los husillos y el barril. En cambio, los caudales altos generan estructuras más compactas. La porosidad de los gránulos podría ser una de las razones por las que las muestras presentan diferentes comportamientos de gelificación, como se demuestra en la figura 3.

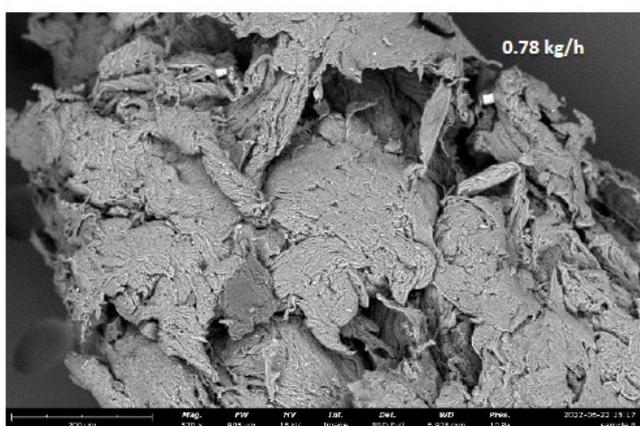
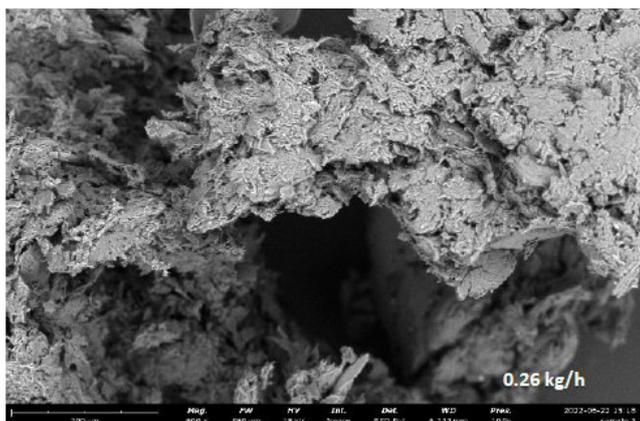


Figura 4: Micrografía electrónica de barrido de orujo de manzana granulado, con un 23 % en peso de agua añadida. Micrografía superior: caudal de 0,26 kg/h. Micrografía inferior: caudal de 0,78 kg/h.

Influencia de la velocidad de los husillos

Como se mencionó en la sección anterior, mejorar las propiedades del orujo de manzana requiere un aporte adecuado de energía mecánica y térmica para acceder correctamente a los polisacáridos intracelulares. Por lo tanto, se evaluó el efecto de la velocidad de los husillos en las propiedades de gelificación/hinchamiento del orujo de manzana granulado. Aumentar la velocidad de los husillos no afecta el tiempo de permanencia del material. Sin embargo, incrementa la tensión de cizallamiento y puede elevar la temperatura del material debido a la fricción. Esto podría causar una degradación durante el proceso de extrusión. Algunos autores han demostrado que el orujo de manzana no tratado enzimáticamente (5) y el orujo de aronia (6) son susceptibles a la sobrecarga termomecánica, lo que puede reducir su capacidad de gelificación y unión del agua.

Como se observa en la figura 5, el aumento de la velocidad de los husillos afecta la cinética de gelificación y la capacidad del orujo de manzana granulado.

El aumento de la velocidad de los husillos de 400 a 600 rpm modifica las propiedades de gelificación/hinchamiento. Dichas propiedades del orujo de manzana disminuyen significativamente, como se observa en la disminución general del coeficiente de almacenamiento y de pérdida. Como se indicó anteriormente, esto podría deberse a la degradación de los polisacáridos.

Para obtener más información, visite thermofisher.com/extruders

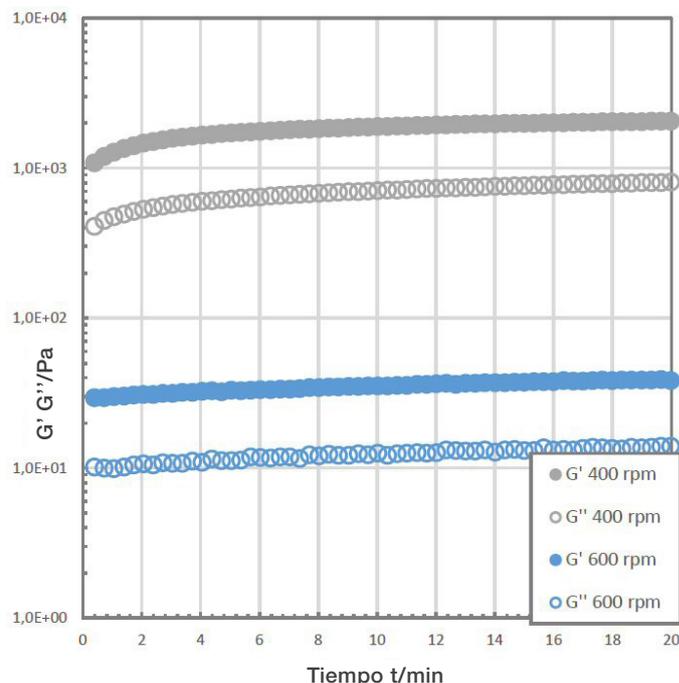


Figura 5: Barridos temporales de orujo de manzana granulado y agua procesada con diferentes velocidades de husillos; condiciones de proceso constantes: 0,26 kg/h de caudal, 40/60/80/100/120/120/120 °C de temperatura del barril, 23 % en peso de agua añadida.

Conclusiones

Esta nota de aplicación muestra cómo el proceso de granulación con doble husillo permite mejorar las propiedades del orujo de manzana proveniente de la producción comercial de jugos. Los resultados mostraron que, al variar el caudal, se pueden obtener diferentes propiedades de gelificación/hinchamiento. Además, se identificaron los límites del tratamiento. Se demostró que los tratamientos termomecánicos excesivos pueden degradar los polisacáridos, lo que reduce las propiedades de gelificación del orujo de manzana. En resumen, la granulación con doble husillo es una tecnología prometedora para mejorar las propiedades de los subproductos de la industria alimentaria.

Referencias

1. Elleuch, M.; Bedigian, D.; Roiseux, O.; Besbes, S.; Blecker, C.; Attia, H. Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: Characterisation, technological functionality and commercial applications: A review. *Food Chem.* 2011, 124, 411–421.
2. Cheftel, J.C. Nutritional effects of extrusion-cooking. *Food Chem.* 1986, 20, 263–283.
3. Hwang, J.-K.; Choi, J.-S.; Kim, C.-J.; Kim, C.-T. Solubilization of apple pomace by extrusion. *J. Food Process. Preserv.* 1998, 22, 477–491.
4. Schmid, V.; Trabert, A.; Keller, J.; Bunzel, M.; Karbstein, H. P.; Emin, M. A. Functionalization of Enzymatically Treated Apple Pomace from Juice Production by Extrusion Processing. *Foods* 2021, 10, 485.
5. Schmid, V.; Trabert, A.; Schäfer, J.; Bunzel, M.; Karbstein, H.P.; Emin, M.A. Modification of Apple Pomace by Extrusion Processing: Studies on the Composition, Polymer Structures, and Functional Properties. *Foods* 2020, 9, 1385.
6. Schmid, V.; Steck, J.; Mayer-Miebach, E.; Behnlian, D.; Briviba, K.; Bunzel, M.; Karbstein, H.P.; Emin, M.A. Impact of defined thermomechanical treatment on the structure and content of dietary fiber and the stability and bioaccessibility of polyphenols of chokeberry (*Aronia melanocarpa*) pomace. *Food Res. Int.* 2020, 134, 109232.