

Capítulo 8

Aprovechamiento de subproductos frutihortícolas como alternativa para la prevención de PDA

Gustavo Alberto Polenta
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)
Argentina

Introducción

Como parte de las actividades que permitan prevenir pérdida y desperdicio de alimentos (PDA) y en función de su perfil productivo, la recuperación de compuestos de alto valor agregado resulta estratégica para nuestra región en general, y para Argentina en particular. Esta temática, que está despertando un creciente interés a nivel académico y empresario, puede promover la viabilidad y la diversificación de economías regionales, tanto rurales como urbanas, creando nuevos empleos de calidad en industrias innovadoras, y mitigando el impacto ambiental de las actividades industriales a través de la optimización en la utilización de recursos primarios. Sin embargo, por su complejidad, resulta necesario el abordaje multidisciplinario y el involucramiento de distintos sectores. En este sentido, un ejemplo a imitar en nuestra región sería la denominada Red de Recuperación de Desechos Alimentarios (Food Waste Recovery Group), la cual constituye una red abierta de innovación iniciada en la Unión Europea y que cuenta actualmente con un gran número de investigadores y profesio-

nales asociados de más de 60 países, formando una plataforma para el intercambio de conocimientos y la realización de proyectos conjuntos.

En un primer ejercicio de estimación de PDA realizado en Argentina, en la cual se trabajó sobre los principales sectores agroalimentarios representativos de la actividad económica del país, en términos de producción, de exportaciones y de importancia relativa para las economías regionales, se estableció un volumen estimativo total de PDA de 16 millones de toneladas (T) de alimentos en su “equivalente primario”. Este valor representa un 12,5 % de la producción agroalimentaria, en donde las “pérdidas” explican el 90 % del total, mientras que el “desperdicio” sólo el 10 %. Si bien estas cifras están muy por debajo del promedio mundial (30 % de PDA total), igualmente resultan alarmantes, ya que significan 14,5 millones de T de “pérdida” y 1,5 millones de T de “desperdicio”. Entre los distintos sectores evaluados, tanto en el sector hortícola como en el frutícola, los porcentajes ascienden al 45 % y 55 %, similares al promedio mundial (45 %) y que coinciden con otras apreciaciones que consignan que en Argentina sólo se consume la mitad de las frutas y hortalizas que se cosechan, y aproximadamente el 80 % de esa pérdida se registra en las etapas de producción, poscosecha y procesamiento.

En función de estos datos, surge claramente la necesidad de reforzar la inversión en investigación y desarrollo en esta temática, de manera de permitir a la industria alimenticia innovar en tecnologías que garanticen la inocuidad, extiendan la vida útil de los productos, minimicen el desperdicio, extiendan el desarrollo de productos con procesamientos mínimos y aumenten la eficiencia de la cadena a través de la recuperación de compuestos de interés a partir de efluentes y residuos del procesamiento.

Situación general de la industria de alimentos en cuanto a la generación de PDA

El análisis de los porcentajes, desagregados según los distintos eslabones de la cadena de producción de alimentos, muestra que la etapa de industrialización representa aproximadamente un 6 % del total de PDA. Si bien este número es bajo en relación a otros segmentos como el

de la producción o el consumo (cada uno representando aproximadamente un 30 %), esta etapa presenta un gran valor estratégico por las siguientes razones:

- Las pérdidas se producen en un mismo lugar físico (planta elaboradora), a diferencia de otros eslabones de la cadena.
- Los volúmenes de residuos generados son relativamente altos, por lo que potencialmente pueden convertirse en una abundante fuente de materias primas.
- Muchos de los desechos generados tienen una baja tasa de deterioro, lo cual permitiría su conservación a bajo costo.
- Estarían potencialmente disponibles en el mismo lugar de la generación de los desechos tanto la infraestructura necesaria para su conservación como las tecnologías y recursos humanos capacitados para su manipulación y procesamiento.
- Los residuos generados presentan un cierto grado de estandarización, en función de que existe un determinado control sobre la generación de los mismos.

Como fuera mencionado, la temática del aprovechamiento de subproductos ha despertado en los últimos años el interés tanto de la comunidad científica como de la industria de alimentos. Esto se ve reflejado en el número creciente de publicaciones científicas que exploran específicamente alternativas de gestión para los residuos generados, incluyendo tanto a la reducción de la generación como a la valorización de los subproductos. Además, factores como cambios en las regulaciones, la preocupación por el medio ambiente y una mayor atención en cuestiones de sustentabilidad han estimulado a la industria a reconsiderar el concepto de “recuperación” como una verdadera oportunidad. Esta alternativa para la creación de nuevas oportunidades y para el surgimiento de mercados para ingredientes de alto valor obtenidos a partir de desechos había sido subestimada hasta hace poco tiempo atrás. En consecuencia, esto puede ser considerado como una verdadera oportunidad para las industrias procesadoras, para la obtención de subproductos de alto valor agregado, lo cual mejoraría sustancialmente la competitividad de toda la cadena en su conjunto.

Es importante mencionar que otras estrategias comúnmente utilizadas en la actualidad para reducir o valorizar los residuos industriales, como la fermentación anaeróbica, el compostaje, el relleno sanitario, u otras aplicaciones agrícolas como fertilización o alimentación animal sólo permiten una conversión parcial, por lo que están dando lugar a otros métodos innovadores como la recuperación o reutilización de constituyentes de alto valor agregado.

Los residuos generados por la industria alimenticia consisten principalmente en compuestos orgánicos derivados del procesamiento de las materias primas. En este sentido, el término “subproducto” hace referencia a un producto generado durante el procesamiento, que no representa directamente un recurso útil para quien los genera. Sin embargo, estos subproductos contienen sustancias con un importante valor de mercado, por lo que pueden ser convertidos en productos de alto valor agregado. Los residuos generados están compuestos por pieles, cueros, huesos, cáscaras y otras cubiertas como vainas, epidermis de frutas y hortalizas, semillas, cáscaras de huevo, entre otros. El tipo de compuesto que puede ser recuperado varía ampliamente entre las distintas cadenas. Por ejemplo, la industria láctea genera residuos que contienen proteínas activas, péptidos, sales, materia grasa y lactosa, mientras que los subproductos de la industria cárnica representan una fuente de proteínas e hidrolizados funcionales. En el caso particular de la industria procesadora de frutas y hortalizas, se podrían generar productos innovadores y altamente valorados por los consumidores actuales como fibra dietaria, saborizantes y aromatizantes, antioxidantes como polifenoles, glucosinolatos, concentrados proteicos, pectinas y distintas enzimas vegetales de uso industrial.

La estrategia de los Productos Alimentarios Intermedios (PAI)

El desarrollo de tecnologías de procesamiento podría convertirse en una verdadera política de desarrollo agroindustrial, que demande mano de obra altamente especializada y genere productos de alto valor agregado, los cuales pueden ser utilizados en distintas industrias, como la de alimentos, la farmacéutica y la de cosméticos.

En este sentido, sería interesante encuadrar a los subproductos en los que se conoce como PAI (Productos Alimentarios Intermedios). La idea de generar un desarrollo agroindustrial a partir de este tipo de productos encuentra una interesante analogía en países como Francia, en donde también existen grandes extensiones y zonas productoras de productos agrícolas por un lado y centros urbanos a donde se destinan estas producciones.

Las características principales de los PAI son las siguientes:

- Son ingredientes o productos complementarios que se incorporan a los alimentos en los procesos de elaboración y cumplen funciones específicas.
- Mediante su incorporación se obtiene un mayor valor agregado.
- Su producción requiere de un cierto grado de especialización, ya que exigen un alto grado de conocimientos tanto de las materias primas como de las tecnologías de obtención, extracción y aplicación.
- Dado que pueden mejorar significativamente la calidad, facilitar la preparación y diversificar la presentación de los productos finales, pueden tener un rol esencial en la elaboración de alimentos diferenciados.
- Si bien constituyen sólo una pequeña parte del producto final en peso y costo, su incorporación puede influir considerablemente en su aceptación.

Los PAI constituyen una extensa familia sin una definición y fronteras precisas, aunque si hubiera que establecer un sistema de clasificación, podrían definirse grupos con características distintivas entre ellos según el siguiente esquema:

- PAI con valor nutricional
- PAI con valor tecno-funcional
- PAI nutracéuticos.

Los siguientes compuestos, que forman parte de distintos desechos de la industria de alimentos de origen vegetal, presentan un potencial interés, ya que pueden ser o bien compuestos promotores de la salud,

poseer propiedades de interés para la industria como antimicrobianos o antioxidantes, o pueden conferirles a los alimentos distintas propiedades tecno-funcionales:

- Compuestos a partir de subproductos del procesamiento de cereales: hemicelulosas (xilanos-xilooligosacáridos, arabinoxilanos, β -glucanos), ácidos hidroxicinámicos, ácido benzoico, lignanos, esteroides, folatos.
- Compuestos a partir de subproductos del procesamiento de raíces y tubérculos: ácidos gálico y clorogénico, caféico, p-cumárico, ferúlico, vainillínico, fibra dietaria, enzimas manasas, amilasas, proteasas, pectinas, almidón, β -caroteno, α -tocoferol.
- Compuestos a partir de subproductos del procesamiento de oleaginosas: flavonoides, fitoesteroides, proteínas, almidón, fibras, colorantes, antioxidantes, films biodegradables y comestibles, (inhibidores de tripsina, de amilasas, ácidos fíticos, glucosinolatos).
- Compuestos a partir de subproductos del procesamiento de frutas y hortalizas: polifenoles, glucosinolatos, fibra dietaria, aceites esenciales, pigmentos, enzimas, ácidos orgánicos, pectinas, celulosa, enzimas como bromelina, carotenoides, vitaminas, licopeno, vitamina C.

De esta manera, el concepto de desarrollar métodos apropiados de valorización de residuos de la industria alimenticia requiere identificar los ingredientes de alto valor agregado susceptibles de ser recuperados y utilizados para desarrollar nuevos productos alimenticios, o incluso extender la vida útil de productos existentes, para ser conservados por períodos mayores de tiempo sin alterar su calidad. Entre los usos potenciales, los compuestos fenólicos y carotenoides obtenidos a partir de subproductos frutícolas pueden ser utilizados como conservantes y antioxidantes, extendiendo la vida útil y estabilizando desde el punto de vista oxidativo un producto alimenticio.

La recuperación de compuestos de alto valor agregado puede promover la viabilidad y la diversificación de economías regionales, tanto rurales como urbanas, creando nuevas oportunidades de empleos de calidad en industrias innovadoras, reduciendo el impacto ambiental de las actividades industriales a través de la reducción de la utilización de

recursos primarios. Sin embargo, para que esto ocurra, sería necesario encarar acciones públicas y privadas capaces de promover la generación de conocimientos, y el desarrollo de proyectos productivos específicos, para lo cual resulta necesario involucrar a la academia y centros de investigación para que coordinen las acciones de investigación, desarrollo tecnológico y difusión del conocimiento, vinculadas con la empresa y el gobierno como socios facilitadores del proceso. Por otro lado, deberían desarrollarse proyectos integrales (investigación, innovación, gestión, tecnología, comunicacionales, transferencia, etc.) sobre reducción de pérdidas en los eslabones de producción, transporte y procesamiento con base en las necesidades de los actores de cada país.

En el caso de Argentina, entre las distintas acciones concretas iniciadas para abordar la problemática general de la PDA, la más relevante fue la creación, en el año 2015 del Plan Nacional de Reducción de PDA, y que a partir del año 2018 ha sido elevado en jerarquía normativa por Ley Nacional 27.454. El objetivo es coordinar, proponer e implementar políticas públicas que atiendan las causas y los efectos de la PDA, en consenso entre el sector público y privado, entidades civiles, organismos internacionales, y academia, entre otros. Este plan tiene en cuenta los tres pilares fundamentales acordados a nivel regional: *a)* gobernanza y alianzas; *b)* investigación, tecnología y conocimiento, y *c)* comunicación, siendo precisamente a través del segundo pilar que se están encarando distintas actividades de colaboración entre empresas privadas, universidades e instituciones de investigación para promover y desarrollar la temática del aprovechamiento de subproductos.

Tecnologías y estrategias para la recuperación de compuesto de interés a partir de residuos de la industria alimentaria

Los residuos alimentarios se generan en diferentes formas y composiciones, de acuerdo con las características regionales, estacionales y de procesamiento en cada caso. Además, las concentraciones de los compuestos de interés son generalmente más bajas en comparación con las fuentes iniciales (es decir, frutas u hortalizas). Este hecho da como resultado un mayor costo de procesamiento, menor rendimiento de recuperación.

Si bien en algunos casos pueden presentar una cierta estabilidad, lo cual favorecería su almacenamiento, en general los desechos generados en la industria de alimentos ya poseen un cierto nivel de procesamiento, siendo en general susceptibles al crecimiento microbiano, por lo que requieren tanto una conservación como un tratamiento rápido. De este modo, resulta de gran importancia la recolección y el procesamiento cercanos al lugar en donde se origina, debiendo en lo posible evitarse su transporte prolongado. De acuerdo con lo mencionado, el desarrollo de una recuperación económicamente viable, sostenible y segura de los compuestos de interés a partir de los desechos alimentarios requiere de un *enfoque integral*, teniendo en cuenta los parámetros como:

1. Minimización de descartes antes del proceso de recuperación.
2. La abundancia y distribución de desechos alimentarios en la fuente de su producción (por lo general, industrias de alimentos).
3. La recolección y mezcla adecuadas de los desechos alimentarios a fin de minimizar las variaciones en el contenido de sus componentes (de esta manera también se evitan variaciones en los productos finales).
4. El desarrollo de una línea de producción cerca, aunque idealmente no dentro mismo de las industrias alimentarias con el fin de garantizar transporte mínimo y al mismo tiempo evitar problemas con sistemas como el HACCP.
5. El desarrollo de metodologías que proporcionen el mayor rendimiento de recuperación de diferentes compuestos, minimizando el vertido de subproductos al medio ambiente.
6. La separación no destructiva de compuestos valiosos y su reutilización en diferentes productos.
7. La adición de materiales de calidad alimentaria y la utilización de solventes que tengan la característica de “verdes”.
8. La adecuada gestión de las etapas y tecnologías seleccionadas.
9. La conservación de las propiedades funcionales de los compuestos desde la fuente hasta el producto final.
10. El desarrollo de productos con concentraciones constantes de compuestos objetivo y con características sensoriales estables.

El siguiente paso sería la recopilación de toda la información necesaria sobre disponibilidad de desperdicios de alimentos, distribución en diferentes lugares, frecuencia de producción (por ejemplo, si esta tiene características estacionales), y finalmente las cantidades generadas, como para poder realizar una planificación adecuada, así como una cierta estandarización del producto generado. No todos estos datos pueden parecer de especial interés para el desarrollo del proceso de recuperación; sin embargo, son necesarios en los planes de negocios que evalúan la potencialidad y crecimiento económico del proceso desarrollado.

Posteriormente, deben recolectarse muestras y realizarse una caracterización, pudiendo distinguirse, si se quisiera sistematizar el proceso, seis niveles diferenciados:

- El primer nivel incluye la determinación de características macroscópicas, es decir, las diferentes fases (agua, aceites y sólidos) dentro de las mezclas de desechos. El ajuste del contenido de las fases podría ser una forma eficaz de encajar en las diferentes composiciones de los sustratos iniciales.
- El segundo nivel es la determinación de las características de la microestructura para obtener una descripción general de la matriz de residuos, antes de diseñar el proceso de recuperación.
- El tercer nivel es la determinación de grandes grupos compuestos como fenoles totales, azúcares totales, carotenoides, fibras dietéticas, proteínas, etc. Este paso permite tener una clara visión del contenido principal de macro y micro moléculas antes de diseñar su separación. Además, estas determinaciones permiten la evaluación rápida de numerosas muestras y condiciones de optimización.
- El cuarto nivel de caracterización es la identificación de macro y micro moléculas particulares que se desean recuperar.
- El quinto nivel de caracterización incluye la determinación de la carga microbiana y enzimática.
- El sexto nivel de caracterización está relacionado con la evaluación del deterioro que se puede provocar del sustrato, lo cual puede en muchos casos disminuir las propiedades funcionales

de los compuestos objetivos. Por ejemplo, enzimas como la pectinmetilesterasa y poligalacturonasa, que podrían provocar por ejemplo la solubilización de compuestos de interés como pectinas. Otras enzimas como las polifenoloxidasas pueden disminuir las propiedades antioxidantes de los polifenoles.

Selección de las etapas de recuperación

La recuperación de compuestos valiosos a partir de subproductos alimenticios sigue típicamente los principios de la química analítica. De hecho, dado que los compuestos de interés a recuperar suelen existir en cantidades más pequeñas, será necesario utilizar principios químicos específicos para una recuperación exitosa que permitan realizar con éxito, las distintas etapas como la preparación del sustrato, la extracción y la purificación de los compuestos objetivo.

Además, se deben introducir modificaciones en la estrategia de recuperación con el fin de:

1. Maximizar el rendimiento de los compuestos objetivo.
2. Adaptarse a las demandas del procesamiento industrial.
3. Purificar los ingredientes de alto valor agregado de compuestos co-extraídos, como impurezas y sustancias tóxicas.
4. Evitar el deterioro, la autooxidación y la disminución de las propiedades funcionales de los compuestos.
5. Garantizar la comestibilidad (características de calidad alimentaria) del producto final.
6. Asegurar la sostenibilidad del proceso dentro de la industria alimentaria.

La recuperación de los compuestos de interés podría lograrse en distintas etapas. En este sentido, se ha propuesto la denominada “Estrategia Universal de Recuperación de Subproductos”, la cual comprende 5 etapas principales sistematizadas, cada una de las cuales asociadas con alternativas tecnológicas específicas, aunque dependiendo del caso, se podrían eliminar uno o dos pasos y/o cambiar de orden. El problema más importante en el proceso de recuperación es separar de manera

efectiva los compuestos de la matriz de los residuos de alimentos. Una estrategia para realizar este procedimiento sería realizar una planificación secuencial que vaya desde la separación de lo macroscópico a lo macromolecular y luego al nivel micromolecular. A partir de entonces, se podría realizar un paso de aislamiento. Finalmente, se requiere la formación de productos o la encapsulación de los compuestos objetivo como se muestra en la siguiente figura:

Esta estrategia tiene la ventaja de que se puede aplicar para la recuperación simultánea de varios ingredientes en diferentes corrientes, es decir, una micromolécula (por ejemplo, polifenoles) se puede recuperar utilizando el extracto etanólico, mientras que las macromoléculas (por ejemplo, pectina) se podrían concentrar y recuperar a partir del residuo insoluble en etanol. Por otro lado, cuando el objetivo es solo una macromolécula (por ejemplo, una proteína), la segunda etapa podría omitirse. Como fuera mencionado, cada paso puede lograrse con diferentes tecnologías, las cuales pueden ser convencionales o emergentes, dependiendo sobre todo de los costos de procesamiento, la conveniencia y las restricciones específicas. Estas últimas deben ser cuidadosamente consideradas e incluyen:

1. Bajo rendimiento de recuperación.
2. Sobrecalentamiento de la matriz alimentaria.
3. Generación de residuos del solvente.
4. Alto consumo de energía, altos costos de capital y operativos.
5. Pérdida de funcionalidad.
6. Mala estabilidad del producto final.
7. Cumplimiento de requisitos legales cada vez más estrictos sobre seguridad de materiales.

Aplicaciones específicas en la industria procesadora de frutas y hortalizas

En el caso particular de la industria procesadora de frutas y hortalizas, las cantidades de descarte son altamente variables, pudiendo ser mínimas. Por ejemplo, en el caso de bayas que se transforman en mermelada. En otros casos, pueden alcanzar niveles desde el 5 % hasta el 10 %

cuando se trata de cáscaras de manzanas o peras que se utilizan para la producción de salsas de frutas, o hasta un 20 % 30 % cuando se extrae el jugo de distintas materias primas.

Dependiendo de la materia prima, los residuos del procesamiento de frutas pueden contener altas cantidades de compuestos bioactivos, entre los que se pueden mencionar a la fibra dietética, definiéndose a la misma como los carbohidratos poliméricos con al menos 10 unidades monoméricas que no pueden ser digeridos en el intestino delgado humano. Estos carbohidratos pueden ser solubles en agua (fibra dietética soluble), los cuales se metabolizan en el intestino grueso, o insolubles, siendo su destino final la excreción. En comparación con la fibra de los cereales, la cantidad de fibra dietética soluble en el orujo de frutas es significativamente mayor, habiéndose relacionado su ingesta, en conjunto con otros compuestos bioactivos, con muchos efectos beneficiosos para la salud. Entre estos efectos se pueden mencionar la reducción del riesgo de enfermedades cardiovasculares y cáncer, mediada por sus actividades antiinflamatoria y antioxidante. Se sabe que estos compuestos ayudan a prevenir el estrés oxidativo y a modular la microbiota intestinal.

Como ejemplo, en diversos estudios llevados a cabo con animales y humanos, se analizó la influencia de distintos compuestos extraídos de la manzana sobre la microbiota intestinal y sobre el riesgo de enfermedades cardiovasculares, habiéndose evidenciado un efecto benéfico significativo con respecto al metabolismo de los lípidos, reduciendo el colesterol total, así como una mejora en la relación entre metabolitos beneficiosos y perjudiciales producidos en el intestino.

En otro estudio, focalizado en los subproductos de la elaboración del vino, se analizó la actividad biológica de compuestos funcionales como los ácidos fenólicos, los flavonoides y los estilbenos. En este estudio se resalta el hecho de que, dado que muchos compuestos fenólicos se encuentran en las fracciones de la epidermis y las semillas de frutas, los respectivos subproductos resultan incluso más ricos en compuestos promotores de la salud, como estilbenos y flavonoides, que el mismo producto primario. En consecuencia, la incorporación de compuestos bioactivos de los residuos del procesamiento de frutas y hortalizas en

los alimentos permitirá aumentar la disponibilidad comercial de nutrientes valiosos, siendo para esto necesario el desarrollo de productos atractivos, así como el diseño de mecanismos efectivos de comunicación hacia los consumidores.

Recuperación de compuestos a partir de subproductos del procesamiento de frutas y hortalizas. El caso del orujo de frutas

- Condiciones de elaboración del orujo

El procedimiento convencional para la producción de jugos a partir de especies frutihortícolas como manzanas, peras o diferentes variedades de bayas comienza generalmente con el lavado de las materias primas y la eliminación de cuerpos extraños. Luego continúan otras etapas como la trituración de productos frescos o frutas congeladas para hacer puré, el calentamiento del puré a 40°C o 50°C y, en muchos casos, el tratamiento con enzimas pectinolíticas (pectina esterasas, poligalacturonasas y/o pectina liasas). Esto ayuda a romper las estructuras de la pared celular, lo que previene la formación de los geles de pectina altamente viscosos que se forman durante la maceración, además de mejorar el rendimiento de jugo durante el prensado. Este procedimiento permite extraer con el jugo un mayor contenido de polifenoles, los cuales dan lugar a un color más intenso especialmente en el caso de los frutos negros, que el consumidor suele asociar con una mayor calidad del jugo. El siguiente paso es la separación del jugo de los materiales celulares sólidos, para lo cual se utilizan distinto tipo de prensas (prensas de banda, prensas de cesta o prensas horizontales), cuya selección dependerá de la capacidad y de las condiciones de extracción requeridas. Por ejemplo, se sabe que las prensas de banda son más versátiles, aunque se debe considerar el alto riesgo de oxidación del jugo.

Posteriormente, el jugo se clarifica mediante centrífugas de disco o decantadores y finalmente se pasteuriza para garantizar una vida útil adecuada. En el caso del procesamiento de cítricos, el esquema tecnológico es algo diferente, siendo el paso más importante la recuperación del jugo de la fruta entera, realizada por extractores especialmente diseñados. Estos extractores permiten que los descartes del procesa-

miento de los diferentes tipos de frutas cítricas puedan utilizarse principalmente para la producción de pectina cítrica.

Los residuos de prensado que quedan después de la extracción de la fruta contienen entre un 50 % y un 80 % de humedad, por lo que serán altamente susceptibles al deterioro microbiano, especialmente por levaduras y mohos. Entre los factores que influyen sobre la humedad residual del orujo pueden mencionarse a la variedad de fruta, los procesos pectinolíticos asociados y las condiciones de procesamiento durante el prensado (método, presión). En los casos en los que se considere el uso posterior del orujo remanente para la generación de productos de alta calidad nutricional, resulta esencial su procesamiento inmediato para garantizar la reducción de la humedad. Después de la extracción del jugo, el orujo también contendrá en algunos casos tallos residuales, y algunas partes de madera y fragmentos de hojas que quedaron de la cosecha.

Para la elaboración de productos no perecederos, el paso más importante es el secado inmediato después del prensado del jugo, seguido de la molienda y el fraccionamiento. Los posibles métodos para el secado del orujo incluyen el secado convencional por convección de aire caliente, el secado al vacío a baja temperatura, el secado por congelación, el secado por infrarrojos y el secado por microondas. Las condiciones de procesamiento durante el secado tendrán una significativa influencia sobre la calidad del producto, afectando características como la apariencia, el color y la porosidad, aunque también en el contenido de compuestos bioactivos. Así, se puede observar que al aumentar la temperatura de secado disminuirá la capacidad de retención de agua y se reducirán la adsorción y solubilidad de las grasas.

Dependiendo de la composición y de otros requisitos, el material seco será sometido a molienda (en este caso, las semillas permanecen en el material) o será separado mediante tamizado antes del paso de molienda. La molienda con semillas podría ser útil para aumentar las propiedades beneficiosas del subproducto obtenido, ya que estas contienen y liberan compuestos promotores de la salud. En el caso de fibra dietética, el tamaño de partícula en el polvo influirá sobre sus propiedades de hidratación, dado que la disminución del tamaño de partículas suele estar relacionada con una menor capacidad de retención de

agua. Un paso final de procesamiento podría ser el fraccionamiento o la separación de las semillas, con el fin de utilizarlas para la posterior extracción de aceite.

- Influencia del procesamiento sobre la composición del orujo

Los métodos y condiciones aplicados durante el procesamiento de la fruta influirán significativamente sobre la composición del orujo y sobre sus propiedades funcionales y tecno-funcionales. Los cambios en la composición de la fibra dietética pueden ser inducidos por enzimas hidrolíticas o por degradación química, como ocurre por ejemplo luego de un tratamiento térmico. Una reducción del tamaño de los componentes de la fibra dietética por medio de un proceso hidrolítico resultará en una disminución de la viscosidad, debido a su reducida capacidad de hidratación. A su vez, las altas temperaturas pueden inducir la despolimerización de la lignina y por lo tanto, generar grupos hidroxilo y carbonilo libres. Por su parte, el tratamiento por maceración enzimática puede aumentar la capacidad de hinchamiento, aunque disminuirá la capacidad de retención de agua del orujo molido, ya que las enzimas pectinolítica degradarán partes de los fragmentos de la pared celular y, por lo tanto, harán que su estructura sea más laxa. La calidad y cantidad de compuestos fenólicos también estarán influenciados por las condiciones de procesamiento, ya sea porque su potencial descomposición generada por las temperaturas más altas, o porque mejore su extractabilidad luego de un tratamiento enzimático.

Otro factor que puede afectar (negativamente) el contenido de compuestos bioactivos en el orujo es la degradación enzimática que ocurre después del prensado, como resultado de la acción de enzimas endógenas como la polifenoloxidasas y la glucosidasas. La polifenoloxidasas es la principal responsable de los cambios de color causados por la degradación de los compuestos fenólicos, aunque la actividad de estas enzimas varía considerablemente entre diferentes frutos. Para la inactivación de enzimas endógenas se pueden utilizar tratamientos como el escaldado, aunque en algunos casos, este tratamiento puede resultar en una pérdida significativa de antocianinas.

- Propiedades tecno-funcionales del orujo. Utilización como fuente de fibra dietética y compuestos bioactivos.

Los orujos de diferentes variedades de frutas constituyen potenciales fuentes económicas de fibra dietética y de compuestos bioactivos. La fibra dietética deriva de las paredes celulares de las plantas, las cuales consisten en polisacáridos complejos, principalmente celulosa, hemicelulosa y sustancias pécticas, aunque la proporción relativa del tipo de fibra puede variar entre las distintas especies. Por ejemplo, el orujo de manzana tiene una proporción equilibrada de fibra dietética soluble e insoluble, así como una relativa abundancia de otros compuestos bioactivos como polifenoles, flavonoides y carotenos. Por su parte, los subproductos de la elaboración de jugo de cítricos son ricos en pectina, un aditivo alimentario de interés por sus propiedades gelificantes. Algunas variedades de naranja como la Valencia presentan un contenido importante de fibra dietética a comparación de otras como la Navel o la Salustiana, de menor contenido. A su vez, el orujo de uva es una rica fuente de compuestos bioactivos como compuestos fenólicos y ácidos grasos, pudiendo estar influenciada su composición por la variedad, las características del cultivo y los procedimientos de procesamiento del vino.

- Propiedades físicas del orujo

La capacidad de retención de agua de la fibra dietética es de gran importancia para las aplicaciones alimentarias, ya que influirá no sólo sobre la funcionalidad fisiológica del alimento, sino también sobre el rendimiento del producto, la funcionalidad de los ingredientes y la vida útil. En cuanto a la funcionalidad fisiológica, la capacidad de retención de agua está relacionada con su capacidad de aumentar el peso de las heces y de inducir la fermentación colónica. Por otra parte, sus propiedades particulares determinarán sus posibles aplicaciones alimentarias. Por ejemplo, la fibra con una alta capacidad de unión a grasa podría aplicarse mejor para estabilizar la grasa en productos emulsionados.

El agua contenida en una matriz alimentaria es retenida por fuerzas capilares o por enlaces de hidrógeno formados con otras moléculas alimenticias. Por consiguiente, la matriz alimentaria y las propiedades fisicoquímicas de la fibra tendrán una importante influencia sobre la

capacidad de unión de agua, la cual dependerá a su vez por la estructura y la forma de la fibra. Las fibras con un alto contenido en pectina en las paredes celulares primarias tendrán buenas propiedades hidrofílicas y elásticas, como pasa por ejemplo en el caso de la remolacha azucarera o en la fibra de cítricos. Por el contrario, la fibra con una gran cantidad de paredes celulares secundarias ricas en celulosa cristalina tendrá malas propiedades higroscópicas debido a su estructura rígida, como sucede típicamente con el salvado de trigo.

El método de preparación de la fibra también jugará un papel importante. Si la fibra se seca bajo condiciones más severas tendrá una menor capacidad de retención de agua. Así, las propiedades de hidratación se verán alteradas por procesos como la cocción, el autoclavado, la cocción por extrusión, el secado, ya sea tradicional, asistido por microondas o al vacío, además de por los tratamientos químicos.

En definitiva, dado que las distintas fuentes y métodos de procesamiento tendrán una importante influencia sobre el tipo de producto obtenido, se requiere de un estudio minucioso y de la determinación de las características particulares de cada uno de estos productos. Por ello, la generación de una alta gama de productos, no sólo generará actividades productivas, sino también servicios de asesoramiento para establecer y recomendar el producto adecuado y optimizado para cada uso.

Consideraciones finales

El aprovechamiento de subproductos representa un tema estrechamente relacionado con la prevención de pérdida y desperdicio de alimentos, teniendo un gran potencial como ingredientes alimentarios altamente demandados por los consumidores actuales, por lo que pueden aumentar los aspectos de sostenibilidad de la cadena de procesamiento de frutas a través de la reutilización de un producto que a menudo se considera un desecho. En el caso particular de la cadena en las que se generan los mismos (frutihortícola) sabor afrutado y el color de estos subproductos brindan oportunidades para el desarrollo de nuevos alimentos con alto valor nutricional. Un aspecto que debe considerarse está relacionado con la necesidad de contar con aditivos con

propiedades fisicoquímicas y tecno-funcionales específicas. Debido a sus características y su abundancia en fibra dietética, estos subproductos muestran en general una alta capacidad de retención de agua e hinchamiento, así como una alta capacidad de fijación de aceite, por lo que afectarán significativamente las características de los respectivos alimentos. Es importante también considerar que cada aplicación exige de investigaciones exhaustivas del posible nivel de integración para producir alimentos con propiedades sensoriales satisfactorias, siendo necesaria el abordaje multidisciplinario y la conformación de redes de innovación público-privadas para el desarrollo de iniciativas exitosas. De modo que, los subproductos son una oportunidad interesante para agregar valor mediante el reciclaje de desechos transformándolos en ingredientes alimenticios con interesantes características nutricionales y tecno-funcionales, con alto contenido de fibra dietética y otros compuestos promotores de la salud.

Referencias documentales

- Abrahamsson, V., Rodríguez-Meizoso, I., y Turner, C. (2015). Supercritical fluid extraction of lipids from linseed with on-line evaporative light scattering detection. *Anal. Chim. Acta* 853, 320-327.
- Auffret, A., Ralet, M. C., Guillon, F., Barry, J. L., y Thibault, J. F. (1994). Effect of grinding and experimental conditions on the measurement of hydration properties of dietary fibres. *LWT*, 27, 166-172.
- Brenes, L., Jiménez, M. F., Freire, M., Belik, W., Basso, N., Polenta, G., Giraldo, C., y Granados, S. (2020). *Challenges and initiatives in reducing food losses and waste: Latin America and the Caribbean*. Advances on Food Losses and Waste. Editor Elhadi Yahia, Burleigh Dodds Science. Preventing food losses and waste to achieve food security and sustainability / Editado por Elhadi M. Yahia. Cambridge, United Kingdom: Burleigh Dodds Science Publishing, 2020. ISBN 10 1786763001
- Figuerola, F., Hurtado, M. L., Estévez, A. M., Chiffelle, I., y Asenjo, F. (2005). Fibre concentrates from apple pomace and citrus peel as potential fibre sources for food enrichment. *Food Chem*, 91, 395-401.

- Galanakis, C. M. (Editor). (2015). *Food Waste Recovery: Processing Technologies and Industrial Techniques*. Elsevier Science Publishing Co Inc. ISBN10 0128003510. 412 pp.
- Galanakis, C. M. (Editor). (2020). *Valorization of Fruit Processing By-products*. Academic Press; 1er edición ISBN-10:0128171065. 324 pp.
- Helbig, D., Böhm, V., Wagner, A., Schubert, R., y Jahreis, G. (2008). Berry seed press residues and their valuable ingredients with special regard to black currant seed press residues. *Food Chem.*, *111*, 1043-1049.
- Hilz, H., Bakx, E. J., Schols, H. A., y Voragen, A. G. J. (2005). Cell wall polysaccharides in black currants and bilberries characterisation in berries, juice, and press cake. *Carbohydrate Polym.* *59*, 477-488.
- Holtung, L., Grimmer, S., y Aaby, K. (2011). Effect of processing of black currant press-residue on polyphenol composition and cell proliferation. *J. Agric. Food Chem.*, *59*, 3632-3640.
- Iora, S. R. F., Maciel, G. M., Zielinski, A. A. F., da Silva, M. V., Pontes, P.V., Haminiuk, C. W. I., y Granato, D. (2015). Evaluation of the bioactive compounds and the antioxidant capacity of grape pomace. *International Journal of Food Science & Technology*, *50*, 62-69.
- Koponen, J. M., Happonen, A. M., Auriola, S., Kontkanen, H., Buchert, J., Poutanen, K. S., y Riitta Törrönen, A. (2008). Characterization and fate of black currant and bilberry flavonols in enzyme-aided processing. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *56*, 3136-3144.
- Lee, J., y Wrolstad, R. E. (2006). Extraction of anthocyanins and polyphenolics from blueberry processing waste. *Journal of Food Science*, *69*, 564-573.
- López, G., Ros, G., Rincón, F., Periago, M. J., Martínez, M. C., y Ortuño, J. (1996). Relationship between physical and hydration properties of soluble and insoluble fiber of artichoke. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *44*, 2773-2778.
- Lorient, D., y Linden, G. (1997). *Bioquímica agroindustrial: Revalorización alimentaria de la producción agrícola*. Editorial Acribia. Madrid. ISBN 978-84-200-0805-9. 454 pp.
- Nyman, E. M. (2003). Importance of processing for physico-chemical and physiological properties of dietary fibre. *Proceedings of the Nutrition Society*, *62*, 187-192.

- Robertson, J. A., de Monredon, F. D., Dysseler, P., Guillon, F., Amado, R., y Thibault, J. F. (2000). Hydration properties of dietary fibre and resistant starch: a European collaborative study. *LWT*, 33, 72-79.
- Rosell, C. M., Santos, E., y Collar, C. (2009). *Physico-chemical properties of commercial fibres from different sources: a comparative approach*. *Food Research International*, 42, 176-184.
- Sudha, M. L. (2011). *Apple pomace (by-product of fruit juice industry) as a flour fortification strategy*. In: V.R., Preedy, R.R., Watson, y V.B. Patel. (Eds.), *Flour and Breads and Their Fortification in Health and Disease Prevention*. Elsevier, Ámsterdam, pp. 395-405.
- Teixeira, A., Baenas, N., Domínguez-Perles, R., Barros, A., Rosa, E., Moreno, D. A., y García-Viguera, C. (2014). Natural bioactive compounds from winery byproducts as health promoters: a review. *International Journal of Molecular Sciences*, 15, 15638-15678.
- Tejada, V., García, L. E., Serna, S. O., y Welti, J. (2017). The dietary fiber profile of fruit peels and functionality modifications induced by high hydrostatic pressure treatments. *Food Science and Technology International*, 23, 396-402.
- Viebke, C., Al-Assaf, S., y Phillips, G. O. (2014). Food hydrocolloids and health claims. *Bioact. Carbohydrate. Diet. Fibre*, 4, 101-114
- Wang, L., Xu, H., Yuan, F., Pan, Q., Fan, R., y Gao, Y. (2015). Physicochemical characterization of five types of citrus dietary fibers. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 4, 250-258.