



Empacado de paja de arroz en un campo de L'Albufera de València (foto: V. L.).

Valorización de residuos agroalimentarios en la producción de envases biodegradables activos para la conservación de alimentos

La producción global de envases plásticos ha crecido exponencialmente en las últimas décadas. Se estima que alrededor de un 60-70% de los residuos plásticos generados provienen del envasado y solamente alrededor de un 15-20% son reciclables. El uso y la acumulación de estos plásticos convencionales han acabado generando graves problemas de contaminación ambiental en ecosistemas terrestres y marinos, así como dependencia de los recursos fósiles.

Por otro lado, el envasado es fundamental para conservar los alimentos, alargar su vida útil y reducir su desperdicio. Para afrontar esta problemática de relevancia mundial, se están realizando esfuerzos de investigación con el objetivo de reducir el uso de material plástico, promover el reciclado y desarrollar envases alternativos biodegradables con materiales obtenidos a partir de fuentes renovables, como los residuos agroalimentarios. Estos materiales tienen funciones adicionales, como propiedades an-

tioxidantes o antimicrobianas que permiten inhibir los procesos oxidativos o el deterioro microbiano del alimento y alargar su vida útil. Son, por tanto, de gran interés para su aplicación a la industria de alimentos mediante el desarrollo de envases activos.

En este sentido, el Grupo de Biopolímeros que dirige la catedrática Amparo Chiralt, del **Instituto de Ingeniería de Alimentos - Food UPV**, está trabajando en la producción y evaluación de nuevos materiales biodegradables activos, utilizando subproductos valorizables del sector agroalimentario, para la obtención de compuestos activos, polímeros biodegradables y agentes de refuerzo. Así, se han obtenido fibras de celulosa, almidones, extractos fenólicos activos y otras fibras a partir de residuos agroalimentarios como paja de arroz, pieles de almendras, subproductos de vinificación, residuo de chufa de la obtención de la horchata, bagazo de cerveza y restos de posidonia acumulada en la costa.

La mezcla adecuada de las diferentes fracciones obtenidas de los subproductos agroalimentarios con polímeros biodegradables del mercado permite el desarrollo de materiales de envasado más sostenible, a la vez que se revaloriza el residuo de bajo valor y de poder contaminante.

En el proceso de transición hacia un aprovechamiento y valorización integral en la cadena agroalimentaria, la economía circular del sector y la mejora global de su sostenibilidad, los proyectos de investigación desarrollados se centran en el aprovechamiento integral de subproductos agroalimentarios para la obtención de materiales biodegradables avanzados para el envasado de alimentos.

LOS RESIDUOS: GENERACIÓN Y COMPOSICIÓN

La selección de los residuos para su fraccionamiento y valorización se ha llevado a cabo considerando el volumen generado y su disponibilidad, especialmente a escala local. A continuación, se describen algunos datos de producción y composición de algunos de los residuos estudiados.

1

Paja de arroz



A escala mundial, se producen grandes cantidades de arroz cada año: 512.860 miles de toneladas. En España, la producción se sitúa en torno a los 632 miles de toneladas. De ella, un 18% corresponde a la Comunitat Valenciana (Mercasa, 2023), donde, según el Informe del Sector Agrario Valenciano (ISAV, 2022), de las 15.000 hectáreas dedicadas a este cultivo se obtiene una producción que supera las cien toneladas anuales. Si se tiene en cuenta que, por cada kilo de arroz, se genera uno y medio de paja, este residuo alcanzaría en la Comunitat Valenciana las 170.000 toneladas al año. Esta situación se agrava al tener lugar el cultivo en un espacio protegido, el Parque Natural de L'Albufera (València), donde la gestión de este residuo tiene probadas implicaciones ambientales.

CARACTERÍSTICAS

Contiene aproximadamente un 35% de celulosa, un 20% de lignina, un 18% de hemicelulosa y un 15% de cenizas (mayoritariamente sílice).

Tiene interesantes compuestos bioactivos de naturaleza fenólica con poder antioxidante y antimicrobiano: ácidos ferúlico, protocatecuico, p-cumárico, cafeico y vinílico; tricina, y vainillina.

2

Subproductos de la vinificación



España cuenta con la mayor superficie dedicada a viñedos de la Unión Europea, unas 960.000 hectáreas, y su industria vinícola asociada produce anualmente entre dos y tres millones de toneladas de residuos o subproductos. En la Comunitat Valenciana, también es este uno de los principales cultivos, así como su industria asociada, con más de 56.000 hectáreas y 310.000 toneladas de producción para vinificación (ISAV, 2022). De los subproductos de esta industria, hay que destacar los orujos de uva, que constituye el mayor porcentaje del total de los subproductos (62%). El orujo se produce durante el prensado de la uva y se compone de hollejos y semillas. Otros residuos son las lías (14%), que se generan durante la etapa de clarificación del mosto fermentado; el raspón (12%), que incluye también restos de ramas y hojas de la vid, y los lodos derivados del tratamiento de las aguas residuales obtenidas durante el proceso (12%).

CARACTERÍSTICAS

La composición química de los orujos incluye monosacáridos (C6 —glucosa, fructosa, fucosa, galactosa, manosa y ramnosa— y C5 —xilosa y arabinosa—), estructurados principalmente como celulosa y hemicelulosa, junto con lignina, proteínas, lípidos y pectinas.

La fracción de celulosa puede alcanzar el 26% del peso seco de los orujos. Posee también azúcares libres en cantidades muy variables y alto contenido en taninos condensados (procianidinas) de la piel y semillas.

El alto contenido en carbono de los orujos los convierte en una fuente potencial de energía. Los de mayor contenido en azúcar podrían considerarse para aplicaciones como la producción de etanol y para compostaje, abonos y alimentación del ganado.

Estudios recientes han señalado el gran potencial de esta biomasa lignocelulósica para producir extractos ricos en compuestos fenólicos: fenoles simples y polifenoles, como taninos o flavonoides con propiedades antioxidantes. Se ha estimado que alrededor del 70% de los compuestos fenólicos de la uva permanecen en el orujo.

3

Cáscara y piel de almendra



La almendra es un cultivo muy importante en todas las regiones templadas del mundo, con una producción mundial de 4,6 millones de toneladas en 2021. Estados Unidos es el primer productor, con alrededor de dos millones de toneladas al año (*Anuario estadístico internacional de frutos secos*). En la Comunitat Valenciana, hay una superficie de más de 91.000 hectáreas dedicadas al cultivo y la producción ronda las 34.000 toneladas (ISAV, 2022). La almendra fresca se divide en la semilla (11%), la cáscara (33%), la cubierta exterior o cáscara verde (52%) y una fina capa coriácea conocida como piel marrón (4 %).

CARACTERÍSTICAS

Los subproductos del procesado de la almendra (cáscaras) representan más del 50% del peso seco de los frutos. En el pasado, se utilizaban como alimento para animales y se quemaban para producir energía.

En el pelado industrial de la almendra, la piel marrón, que se elimina mediante escaldado, genera un producto residual que constituye alrededor del 6-8% en peso de la semilla. También se ha utilizado como alimento para animales o quemado como combustible en plantas procesadoras.

Todos los subproductos de la almendra tienen alta riqueza celulósica y fenólica y sus fracciones podrían utilizarse en el desarrollo de materiales de envasado.

4

Residuo de la horchata de chufa



La chufa se produce en muchas partes del mundo, pero la bebida que se obtiene de ella, la horchata, se elabora tradicionalmente en la Comunitat Valenciana. La producción de chufa en nuestro territorio supera las 9.000 toneladas en una superficie de 610 hectáreas (ISAV, 2022). Según el **Consejo Regulador D. O. Chufa de València**, el cultivo de la chufa (*Cyperus esculentus* L. var. *sativus* Boeck) y la producción de su principal derivado alimentario, la horchata, se concentran en España en 19 municipios de L'Horta Nord de València. En la campaña 2019-2020, el entorno agrícola norte/noreste de València y el término municipal de Alboraya lideraron su cultivo, con el 35% y el 27%, respectivamente, de la superficie total.

En el Grupo de Biopolímeros, se ha desarrollado un proceso para la recuperación del almidón del residuo de chufa, con muy buen rendimiento (70% de recuperación), que permite, además, la separación del aceite para diferentes aplicaciones y la obtención de fibra con alto contenido en antioxidantes.



CARACTERÍSTICAS

El residuo resultante de la etapa de filtración del proceso de elaboración de la horchata representa el 60% del peso de los tubérculos utilizados en el proceso y tiene altos contenidos en almidón.

En la elaboración de la horchata se extrae sólo un 2-3,4% del almidón total de la chufa (alrededor del 31% en el tubérculo), por lo que queda un alto contenido en el residuo de fabricación. Generalmente, este residuo se elimina mediante combustión, se composta o se utiliza como alimento para animales.

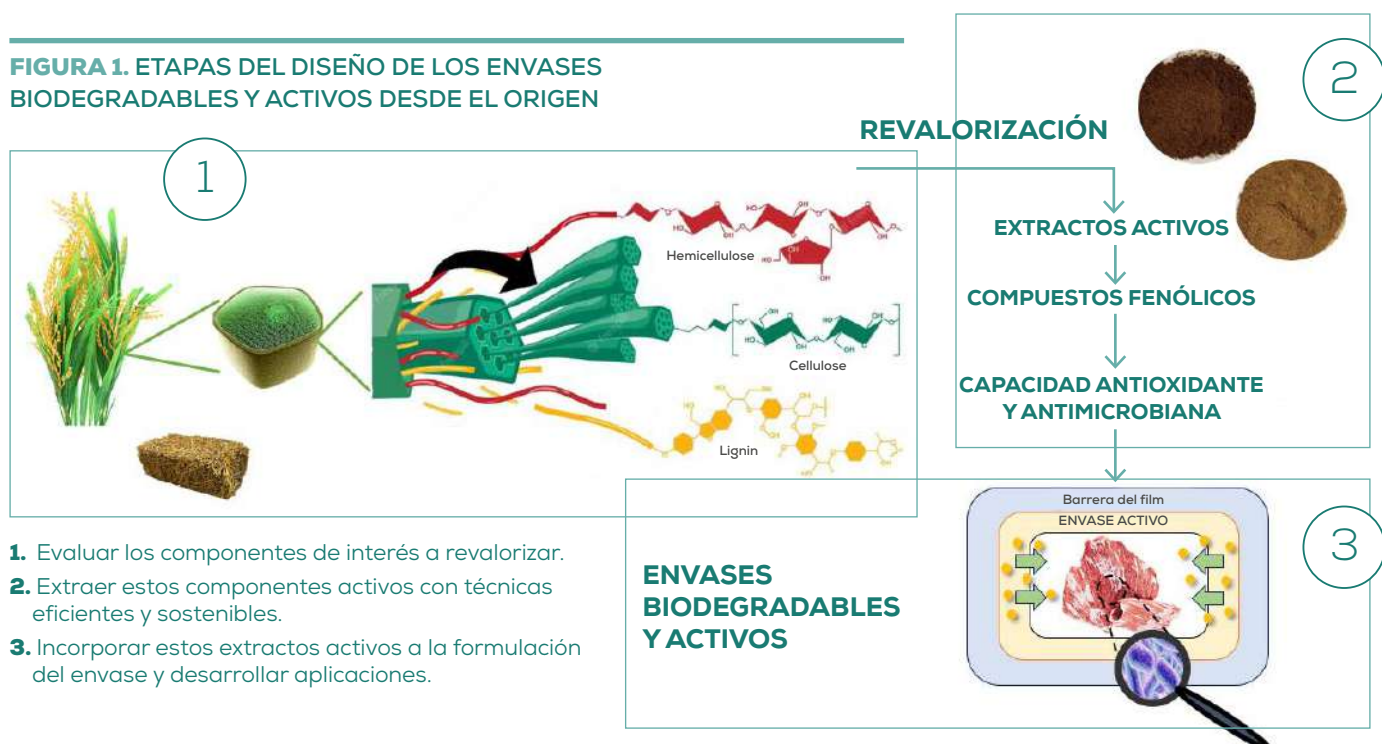
Aceite insaturado, fibras y compuestos antioxidantes son otros componentes de interés contenidos en el residuo.

El fraccionamiento de residuos agroalimentarios ricos en compuestos fenólicos mediante su extracción en agua subcrítica permite la obtención de extractos activos con buena funcionalidad antioxidante y antimicrobiana, con potencial aplicación en la industria alimentaria, farmacéutica y cosmética, y en el desarrollo de materiales activos para el envasado de alimentos.

ESTRATEGIA DE FRACCIONAMIENTO Y VALORIZACIÓN

Para la valorización de los residuos se está utilizando una metodología eficiente, sostenible y respetuosa con el medio ambiente que consiste en la **extracción con agua subcrítica**. Este método permite extraer compuestos de interés, como los compuestos activos, y obtener materiales celulósicos del residuo sólido de la extracción (**Figura 1**). La utilización de agua como solvente, en lugar de solventes orgánicos, tiene la ventaja de no generar residuos tóxicos ni problemas de contaminación asociados al uso de estos solventes.

FIGURA 1. ETAPAS DEL DISEÑO DE LOS ENVASES BIODEGRADABLES Y ACTIVOS DESDE EL ORIGEN



El agua subcrítica es agua a alta temperatura y presión —por debajo del punto crítico— que tiene propiedades solventes diferentes, dependiendo de los valores de estas variables de proceso. A alta temperatura y presión, la polaridad del agua disminuye, con lo que puede comportarse como algunos solventes orgánicos, caso del etanol o el metanol, disolviendo la forma de los compuestos orgánicos como los polifenoles, las hemicelulosas y otros polímeros. Por tanto, esta tecnología permite obtener **extractos activos** de los residuos agroalimentarios ricos en fenoles y otros compuestos que, como los arabino-xilanos, tienen muchos fenoles ligados.

La eliminación del agua de los extractos, mediante secado por atomización o liofilización, permite obtener extractos en polvo con buena fluidez y estabilidad, con altos contenidos en componentes bioactivos —ricos en fenoles— que se pueden utilizar como ingredientes funcionales en las industrias alimentaria, cosmética y farmacéutica, y como aditivos para la obtención de materiales de envasado activo.

Por otro lado, los residuos sólidos de la extracción en agua subcrítica están enriquecidos en **celulosa**, que no se disuelve durante la extracción y que puede purificarse con mayor facilidad para su utilización como producto de valor para diferentes aplicaciones. En el desarrollo de materiales de envasado, las fibras de celulosa se utilizan como agentes de refuerzo para mejorar las propiedades mecánicas y de barrera de los materiales.

Diferentes trabajos de investigación del grupo de Biopolímeros han identificado condiciones adecuadas para obtener extractos activos y fracciones celulósicas utilizando esta tecnología para diferentes subproductos agroalimentarios.

Investigaciones con paja de arroz y piel de almendra



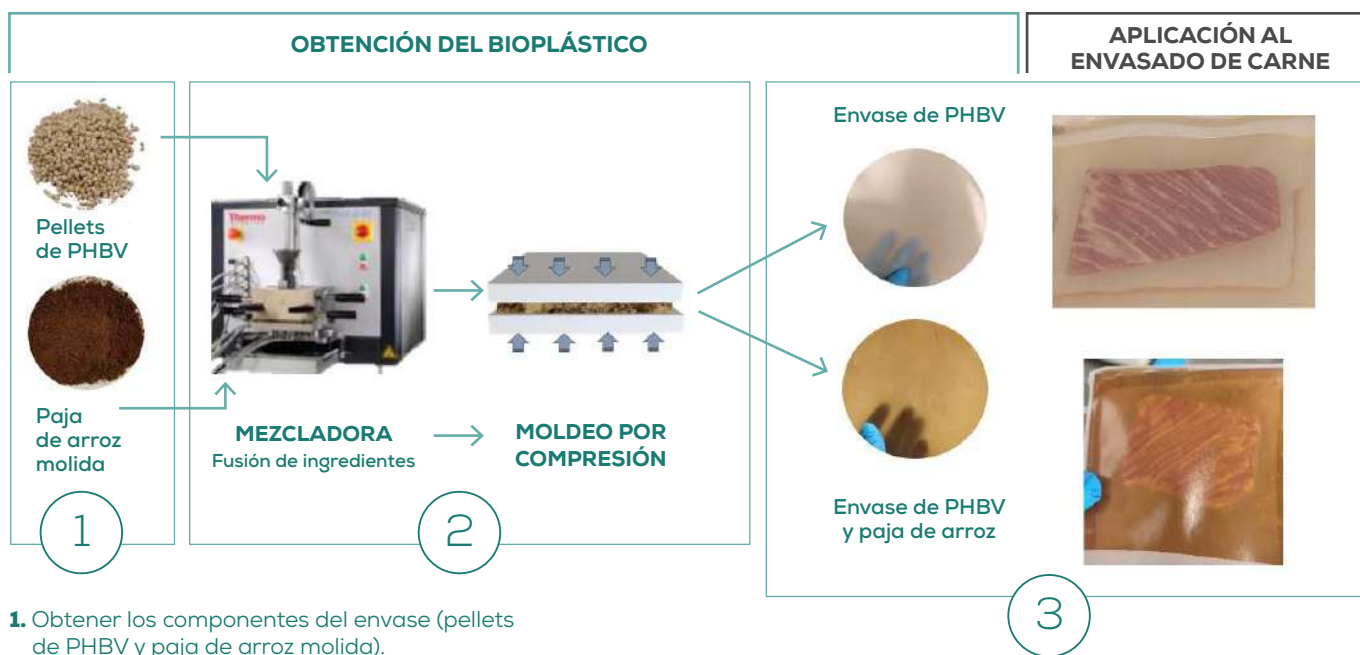
En el caso de la paja de arroz, la extracción a 160 y 180 °C permitió obtener extractos con un alto rendimiento en sólidos y una gran riqueza fenólica (5,1-8,3 g de ácido gálico equivalente/100 g extracto), además de proteínas (9-10 g/100 g extracto), lignina (23 g/100 g extracto), cenizas (principalmente sílice, 9-10 g/100 g extracto) y carbohidratos. Los extractos presentaron alta actividad antioxidante evaluada a través de su capacidad para inhibir radicales libres. Específicamente, se ha estimado en 1.2-2 mg extracto/mg del radical DPPH, próximo a la de antioxidantes típicos como la vitamina C o el tocoferol (0.12-0.26 mg/mg de DPPH). Los extractos presentan también una actividad antibacteriana significativa frente a bacterias Gram-positivas y Gram-negativas. Además, el proceso de extracción en agua subcrítica fue efectivo para la separación de componentes no celulósicos del residuo de extracción, lo cual permitió la obtención de fibras de celulosa a partir del mismo mediante blanqueo con agua oxigenada. Las fibras purificadas y funcionalizadas, así como los extractos activos, se han incorporado en diferentes polímeros biodegradables para la **obtención de materiales de envasado activos**.

Igualmente, la extracción con agua subcrítica fue efectiva para la obtención de extractos de la piel de almendra proveniente del pelado industrial y fibras celulósicas de la cáscara. Los extractos obtenidos de la piel tuvieron altos contenidos en fenoles (10,1-16,1 g ácido gálico equivalente/100 g piel de almendra desgrasada), elevado potencial antioxidante (1,063-1,490 mg piel/mg DPPH) y considerable efecto antibacteriano, lo que les confiere gran potencial como ingredientes activos para diferentes aplicaciones en la industria alimentaria, farmacéutica y cosmética, y también para el desarrollo de materiales activos de envasado.

APLICACIONES EN LA OBTENCIÓN DE ENVASES ACTIVOS BIODEGRADABLES

Los extractos activos y las fracciones celulósicas se han incorporado en la formulación de materiales de envase producidos a partir de polímeros biodegradables, como el almidón, el ácido poliláctico (PLA) o los polihidroxitbutirato-valerato (PHBV) para desarrollar films flexibles (mono o multicapa) y barquetas y bandejas, tal y como se detalla en la **Figura 2**.

FIGURA 2. ETAPAS DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE LOS ENVASES BIODEGRADABLES Y ACTIVOS



1. Obtener los componentes del envase (pellets de PHBV y paja de arroz molida).
2. Elaboración del envase (mezclado y moldeo).
3. Aplicar los envases (carne).

En cuanto al uso de estos polímeros, en su mayoría aún presentan una baja disponibilidad y producción y un elevado coste.

La incorporación a la formulación de las distintas fracciones celulósicas obtenidas a partir de residuos agroalimentarios permite reducir el coste de los materiales de envase compostables, al mismo tiempo que se mejoran su funcionalidad y sus propiedades, modulando así sus propiedades de barrera a los gases y resistencia mecánica para su mejor adaptación a los requerimientos del envasado de alimentos, con composición y problemáticas de conservación muy diversas.

Los materiales activos desarrollados han sido validados de acuerdo con su capacidad para la conservación de diferentes tipos de alimentos mediante **estudios de vida útil** de los productos envasados y almacenados en condiciones controladas. Algunos de los desarrollos realizados han sido efectivos para extender la vida útil de alimentos.



Por ejemplo, se han desarrollado laminados bicapa formados con una capa de PLA con extractos activos de la paja de arroz, y una capa de almidón termoplástico de maíz reforzada con la fracción celulósica. Con estos laminados se obtuvieron bolsas biodegradables con capacidad de barrera al vapor de agua y al oxígeno adecuadas para la conservación de filetes de carne de cerdo en refrigeración. Estas bolsas fueron capaces de ralentizar el deterioro microbiano y oxidativo de la carne, alargando su vida útil hasta 16 días.

También se obtuvieron buenos resultados en la conservación en filetes de carne almacenados en refrigeración cuando se envasaron en bolsas obtenidas a partir de mezclas de otros polímeros biodegradables (PLA, PHBV o mezclas de almidón de yuca) con extractos activos de la paja de arroz o algunos de sus fenoles mayoritarios.

En otras aplicaciones, se analizó la capacidad de los materiales para reducir la oxidación de aceites insaturados (girasol) envasados en bolsas monodosis. En concreto, las bolsas de PLA con extractos activos de raspones de uva y las obtenidas con laminados de PLA y almidón con extracto activo de paja de arroz fueron muy efectivas en la conservación del aceite.

Estos resultados evidencian la efectividad del uso de los extractos acuosos de algunos residuos agroalimentarios para obtener materiales biodegradables activos para la conservación de alimentos, ya que inhiben su deterioro oxidativo o microbiano y alargan su vida útil.

Los envases activos biodegradables permiten reducir el desperdicio de alimentos al aumentar su vida útil y pueden ser compostados con los restos de alimentos generados en la cadena de distribución y consumo, incorporándose así al ciclo de la materia orgánica.

AGRADECIMIENTOS

Las autoras agradecen la financiación recibida a través de los siguientes proyectos competitivos:

- *Valorisation of agri-food waste to obtain biodegradable materials for active food packaging (BARBIOPAC)*. CIPROM/2021/071.
- **Aprovechamiento integral de residuos agroalimentarios y su aplicación en el desarrollo de envases biodegradables activos para alimentos (RES4PACK)**. AGROALNEXT/2022/026.
- **Revalorización de Residuos Ligno-celulósicos para el Desarrollo de Envases Alimentarios Biodegradables de Bajo Coste (WASTE4BIOPACK)**. TED2021-132295B-I00.

REFERENCIAS

Bioeconomía circular: nuevos procesos y materiales para la conservación de alimentos. Torres-Giner, S., Chiralt, A., González-Martínez, C. *Foods*, 12 (23), 4341.

Valorisation of rice straw by obtaining active compounds and cellulosic materials for the development of biodegradable food packaging systems. [Tesis doctoral]. Vieira de Freitas, P. A. (2022). Universitat Politècnica de València.

Extracción de agua subcrítica para la valorización de la piel de almendra procedente del procesamiento industrial de almendras. Vieira de Freitas, P. A., Martín Pérez, L., Gil Guillén, I., González-Martínez, C. y Chiralt, A. 2023. *Foods*, 12(20). 3759.

Incorporación de antioxidantes naturales de la paja de arroz en películas de almidón renovables. Menzel, C., González-Martínez, C., Vilaplana, F., Directo, G. Chiralt, A. 2020. En t. J. Biol. Macromol., 146, 976–986.

>Autoras del artículo:

Maite Cháfer, María Vargas, Lorena Atarés, Eugenia Martín, Chelo González y Amparo Chiralt

Universitat Politècnica de València. Grupo de Biopolímeros - Instituto Food UPV.
mtchafer@tal.upv.es