

# REUTILIZACIÓN DE SUBPRODUCTOS RESULTANTES DE LA INDUSTRIA DE LA SIDRA EN LA ELABORACIÓN DE ALIMENTOS

eman ta zabal zazu



Universidad  
del País Vasco

Euskal Herriko  
Unibertsitatea

ENARA JIMÉNEZ CARRILLO

4º CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS

## ÍNDICE

<b>1. RESUMEN</b> .....	3
<b>2. INTRODUCCIÓN</b> .....	4
<b>3. OBJETIVOS</b> .....	6
<b>4. DESARROLLO</b> .....	7
4.1. Subproductos generados en la industria de la sidra .....	7
4.1.1. Subproductos Pre-fermentativos .....	7
4.1.1.1. Componentes de interés alimentario en la magaya de manzana.....	7
4.1.1.2. Propiedades tecnológicas y nutricionales del orujo de manzana .....	8
4.2.2. Subproductos Post-fermentativos .....	9
4.2.2.1. Componentes de interés alimentario de las lías .....	9
4.2.2.2. Propiedades tecnológicas y nutricionales de las lías .....	10
4.2. Algunas aplicaciones para la revalorización de los subproductos de la sidra....	10
4.2.1. Alimentos con fibra de manzana .....	11
4.2.2. Elaboración de bebidas espirituosas a partir de orujo de manzana.....	15
4.3. Extracción de compuestos fenólicos de la manzana y su utilización como ingrediente alimentario .....	16
4.4. Seguridad alimentaria de los extractos de manzana.....	19
<b>5. CONCLUSIONES</b> .....	21
<b>6. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	23

## 1. RESUMEN

La elaboración de la sidra conlleva la generación de cierta cantidad de residuos, los cuales son difíciles de gestionar y suponen un coste adicional a la industria sidrera. Estos residuos contienen componentes de gran valor añadido que hacen que puedan ser aprovechados dentro de la industria alimentaria, haciendo la industria de la sidra una industria más sostenible y consiguiéndose una economía circular.

El objetivo de este trabajo es recopilar información acerca de la naturaleza, compuestos de interés y las propiedades tecnológicas y nutricionales que pueden aportar los dos principales subproductos de la sidra, además de analizar las principales aplicaciones alimentarias para la revalorización de estos. Los compuestos de mayor interés presentes en los subproductos de la sidra son la fibra dietética y los compuestos fenólicos. Las aplicaciones que se ha visto que pueden utilizarse para la reutilización del orujo de manzana son la incorporación de fibra de orujo de manzana en alimentos para aumentar el contenido total de fibra, la utilización de extractos de compuestos fenólicos de la manzana como aditivos antioxidantes, la elaboración de bebidas espirituosas y la producción de films a base de fibra de manzana. En cuanto a las lías, aunque son menos las aplicaciones que se han estudiado, se ha planteado la posibilidad de emplearlas como sustrato de fermentaciones industriales para la generación de aditivos alimentarios. Por último, se han descrito algunas de los riesgos que puede conllevar el uso de extractos de manzana en alimentos.

## 2. INTRODUCCIÓN

Actualmente existe una gran preocupación por el despilfarro de alimentos, ya que supone casi una tercera parte de los alimentos producidos para el consumo. La reducción de este derroche de alimentos es fundamental para la seguridad alimentaria y para reducir la huella medioambiental. Otro aspecto en el que se está haciendo hincapié es en el concepto de la economía circular, dado que los residuos biodegradables al ser depositados en vertederos emiten gases de efecto invernadero que contribuyen al cambio climático (Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular).

Al hacer frente al derroche de alimentos y disminuir la generación de residuos también se contribuye a lograr los Objetivos de Desarrollo Sostenible, incluidos en la Agenda 2030, en particular a los objetivos 12 (producción y consumo sostenibles) y 13 (acción por el clima).

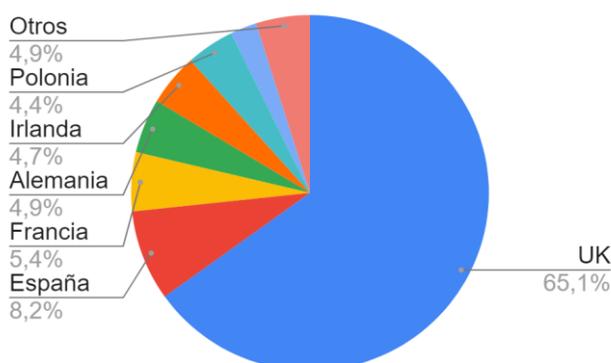
Esta tendencia se ve reflejada incluso en la legislación y es por ello que cada vez más empresas se ven empujadas a desarrollar estrategias que mejoren su sostenibilidad.

A partir del 10 de abril de 2022 como dicta la “Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular”, las industrias alimentarias deberán priorizar la reutilización o donación de sus subproductos.

Según los informes publicados por la Asociación Europea de Sidra y Vino de Frutas (AICV), en España se producen alrededor de 90 millones de litros de sidra al año, siendo el segundo país que más produce después de Reino Unido y seguido de Francia (Figura 1).

### Figura 1

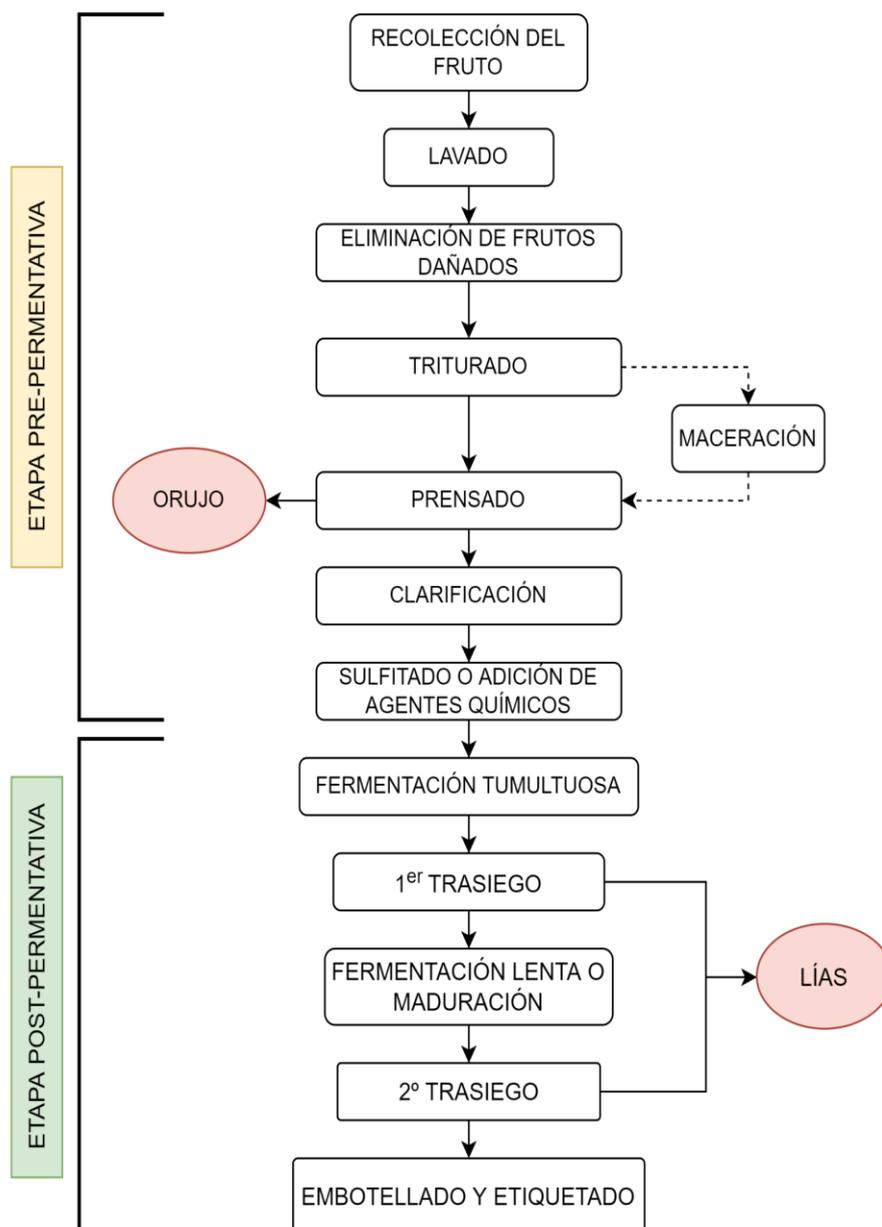
Gráfico de la producción de sidra en los diferentes países. Basado en datos del informe de 2020 de la AICV



El proceso de elaboración de la sidra (Figura 2) está compuesto por diversas etapas, las cuales pueden ser divididas en procesos pre-fermentativos y procesos post-fermentativos. Dentro de los procesos pre-fermentativos se encuentran la recolección de la manzana, lavado, eliminación de frutos dañados o no adecuados, triturado, maceración (opcional), prensado y clarificación. En todo este proceso el mayor subproducto generado es el orujo o magaya de manzana, que está compuesto por la pulpa, piel, pepitas y pedúnculo de la manzana (Galanakis, 2019).

**Figura 2**

Diagrama de flujo elaboración de la sidra. Elaboración propia



Entre los procesos post-fermentativos, que son aquellos que ocurren tras la fermentación tumultuosa, se encuentran los trasiegos, la fermentación lenta o maduración y el embotellado y etiquetado de la sidra. En esta segunda parte del proceso de elaboración de la sidra se generan como residuo las lías, que se forman durante la fermentación del mosto de manzana. Esta es una biomasa compuesta por bacterias y levaduras, que junto con restos de materiales vegetales y otras partículas insolubles del zumo, se depositan en el fondo de los barriles en los que se produce la fermentación (Rodríguez et al., 2019).

Los residuos generados por la industria sidrera, mayoritariamente orujo y lías, contienen componentes de gran valor y es por ello que una alternativa sostenible para estos residuos es su reutilización como ingredientes en alimentos, extracción de compuestos de valor añadido o cualquier otra aplicación que permita incorporarlos en la industria alimentaria.

### **3. OBJETIVOS**

El objetivo principal de este trabajo es conocer los subproductos generados durante todo el proceso de fabricación de la sidra y contemplar las diferentes estrategias para el aprovechamiento de estos en la industria alimentaria. Para lograr este objetivo principal se han establecido los siguientes objetivos secundarios:

- Conocer los diferentes subproductos que genera la industria de la sidra
- Describir los componentes de estos subproductos aprovechables para la industria alimentaria
- Recopilar las diferentes aplicaciones alimentarias para la revalorización de los subproductos de la elaboración de sidra
- Profundizar en la extracción de compuestos fenólicos de la manzana y su utilización como ingrediente alimentario

## **4. DESARROLLO**

### 4.1. Subproductos generados en la industria de la sidra

La composición y las propiedades nutricionales y tecnológicas de los subproductos de la industria sidrera varían en función de la etapa de la que provienen (etapa pre-fermentativa o post-fermentativa). Al igual que varía su composición, también varían los usos que se les dan dentro de la industria alimentaria.

#### 4.1.1. Subproductos Pre-fermentativos

La mayoría de los subproductos de la industria de la sidra se generan en las primeras etapas de la producción, los denominados procesos pre-fermentativos. Dentro de estos procesos pre-fermentativos se encuentran la recolección de la manzana, selección, prensado y clarificación. Tras la recolección de la manzana se realiza un lavado y una selección, retirando los frutos dañados o podridos que no son adecuados para la producción de la sidra. El siguiente paso es el proceso de extracción, que a su vez está compuesto por tres etapas: molienda, maceración y prensado. Durante estas etapas se genera la magaya, también denominada orujo o patxa, que es el residuo resultante tras el prensado de la manzana (García et al., 2010). La cantidad de magaya producida en la elaboración de la sidra es elevada. Por ejemplo, en Asturias cada año se producen alrededor de 10.500 toneladas de sidra (Lobo et al., 2021). Anteriormente la magaya era utilizada para la elaboración de piensos para la alimentación animal o como fertilizante, pero su contenido en compuestos fenólicos y fibra dietética ha hecho que se considere de interés para la elaboración de alimentos (Usman et al., 2020).

##### 4.1.1.1. Componentes de interés alimentario en la magaya de manzana

El interés alimentario del orujo de manzana está relacionado con un alto contenido en fibra dietética y polifenoles. El contenido en fibra del orujo de manzana es de un 60-90 g/100 g de materia seca (MS), lo cual es superior al contenido en fibra del fruto entero, aproximadamente de 30 g/100 g MS, aunque varía en función de la variedad de manzana. La fibra presente en el orujo de manzana está principalmente compuesta por pectina, un homopolisacárido, que concretamente representa un 10-15% en materia seca de la pulpa de manzana (Galanakis, 2019). La fibra de la manzana, además, es de mayor interés que otras fibras dietéticas, debido a que contiene junto a ella ciertos compuestos bioactivos (Figuerola et al., 2005), como son los polifenoles y xiloglucanos. Se ha visto que el perfil fenólico depende de la variedad de manzana, siendo el ácido salicílico el ácido fenólico predominante, aunque también se han encontrado cantidades

considerables de derivados del ácido hidroxicinámico, principalmente el ácido clorogénico (Soares et al., 2008).

#### 4.1.1.2. Propiedades tecnológicas y nutricionales del orujo de manzana

Los compuestos presentes en el orujo o magaya de manzana pueden proporcionar ciertos beneficios tanto tecnológicos como nutricionales. La fibra dietética que puede extraerse de la magaya, al ser añadida a una matriz acuosa aumentando la capacidad de retención de agua. Este aumento de la retención de agua, por un lado, es útil desde un punto de vista reológico, aumentando la viscosidad del alimento al que se añade, por otro lado, aumenta el volumen de las heces mejorando el tracto gastrointestinal y disminuyendo la tasa de absorción de nutrientes en el intestino (Figuerola et al., 2005).

Los compuestos fenólicos son otro de los componentes de interés del orujo, son compuestos generados como metabolitos secundarios de los vegetales que tienen una estructura molecular compuesta por uno o más grupos fenólicos. Pueden encontrarse en forma de moléculas simples como los ácidos fenólicos o en forma de compuestos polimerizados, como es el caso de los taninos. Su interés se debe a su capacidad antioxidante elevada, por ser capaces de secuestrar metales; capacidad de inhibir las enzimas lipoxigenasas, evitando la oxidación de lípidos; lograr neutralizar radicales libres y ser capaces de inhibir la oxidación de lipoproteínas de baja densidad (LDL), reduciendo el riesgo de enfermedades cardiovasculares (Agüero et al., 2017).

En la manzana los compuestos fenólicos se encuentran principalmente en la piel, paredes celulares y vacuolas intracelulares. Los más presentes son los ácidos hidroxibenzoicos, ácido hidroxicinámico y derivados, flavonoides y antocianidinas. Su concentración depende de factores tales como la madurez, condiciones de cultivo, almacenamiento, procesamiento y la porción del fruto (piel, pulpa o semillas) (Corona et al., 2020).

Durante el procesado de la sidra se pueden utilizar dos técnicas de prensado, por un lado, la técnica tradicional que lleva varios días y por otro lado el prensado mediante una prensa neumática, proceso que dura unas pocas horas. Esto podría dar lugar a distintos niveles de oxidación en los orujos obtenidos, en cambio, en estudios se ha visto que el tiempo de prensado y exposición al aire no afecta significativamente a la capacidad antioxidante (Diñeiro et al., 2009).

#### 4.2.2. Subproductos Post-fermentativos

Las lías son un producto con un alto contenido de materia orgánica, fenoles, metales pesados y concentraciones altas de nitrógeno, fosfato y potasio. Por lo tanto, es un residuo difícil y económicamente costoso de tratar. La cantidad de lías frescas que produce la industria sidrera representa un 2-3% de la sidra elaborada (Pérez-Bibbins et al., 2015), esto significa que si en España se produjeron 94,9 millones de litros de sidra en 2021, resultaron 23,7 millones de litros de lías como residuo.

Las lías tienen una fracción sólida y una fracción líquida. La fracción sólida está compuesta por biomasa microbiana (levaduras y bacterias), carbohidratos insolubles (celulosa y hemicelulosa), compuestos fenólicos, lignina, proteínas, metales, sales inorgánicas, ácidos orgánicos y otros sólidos como pepitas, pieles, granos y semillas. La fracción líquida está compuesta por caldo de fermentación, en este caso sidra, que contiene etanol y ácidos orgánicos (ácido láctico y acético). (Rodríguez et al., 2019)

##### 4.2.2.1. Componentes de interés alimentario de las lías

La fibra dietética, los ácidos grasos y las proteínas son los componentes de interés alimentario presentes en las lías de sidra. El contenido en fibra dietética de las lías es de un 61,3%, el de proteína de un 19,4% y el de grasa total de un 4,7%.

La fibra, el principal componente de las lías, proviene en parte de la manzana y en parte de los microorganismos responsables de la fermentación. La fibra insoluble está compuesta por restos de manzana (lignina, hemicelulosa y celulosa) y por polímeros de quitina de los microorganismos y la fibra soluble por pectinas y oligosacáridos. (Rodríguez et al., 2019)

En la fracción lipídica, el ácido graso insaturado con mayor presencia es el ácido linoleico (C18:2) y entre los saturados, el ácido palmítico (C16:0). Otro compuesto de interés dentro de esta fracción es el escualeno, el cual se ha encontrado en valores de 2,19 mg por g de materia seca. También es interesante el contenido de polifenoles extraíbles (17,5 mg/g), taninos hidrolizables en fibra dietética insoluble (92,9 mg/g) y el contenido fenólico total en fibra soluble (48,4 mg/g) dentro de las lías. (Rodríguez et al., 2019)

Desde el punto de vista microbiológico, se pueden encontrar diferentes géneros de microorganismos en función de las condiciones de la manzana, la fermentación, maduración, adición de conservantes. Las bacterias ácido lácticas y las levaduras son las más presentes, aunque en las lías de sidras estropeadas en ausencia de SO<sub>2</sub> son

más abundantes las bacterias acéticas (Rodríguez et al., 2019). Entre las levaduras, las predominantes son el género *Saccharomyces*, especialmente *S. cerevisiae* al final de la fermentación, aunque en etapas más iniciales de la fermentación se pueden encontrar géneros como *Kloeckera*, *Candida*, *Pichia*, *Hansenula*, *Hanseniaspora* y *Metschnikowia* (Valles et al., 2007).

#### 4.2.2.2. Propiedades tecnológicas y nutricionales de las lías

Al igual que ocurre en la magaya, la fibra de las lías es un compuesto de interés. En la fibra insoluble de las lías se encuentra el 1,3-betaglucano, que es un compuesto que proviene de la pared celular de las levaduras. Este compuesto ha sido estudiado por su efecto estimulante de la respuesta inmune y se ha encontrado que su efecto permanece al administrarse por vía oral, en cambio actualmente la Autoridad Europea de Seguridad alimentaria no ha aceptado las solicitudes de declaración de propiedades saludables para los betaglucanos con este origen (Heike et al., 2014).

Otro compuesto de interés son los polifenoles asociados a la fibra, ya que son un modo de transportar los antioxidantes a través del tracto digestivo.

Dentro de la fracción grasa, el ácido linoleico y el ácido linolénico son los más interesantes desde el punto de vista nutricional, dado que pertenecen a las series omega-6 y omega-3 (Rodríguez et al., 2019). Los ácidos grasos omega-6 y 3 son ácidos grasos esenciales en la dieta ya que no pueden ser sintetizados por el organismo y además tienen importancia en la salud, ya que participan en procesos como la permeabilidad celular y transmisión nerviosa. Además de participar en estos procesos, se ha visto que proporcionan efectos beneficiosos sobre enfermedades cardiovasculares. También es destacable la presencia de ácido oleico por su carácter insaturado (Herrera et al., 2006). Tanto declaraciones nutricionales pertenecientes a los ácidos grasos omega-3 como la declaración de propiedades saludables que alega que el alfa-linolénico contribuye a mantener niveles normales de colesterol sanguíneo han sido aceptadas por la EFSA (European Food Safety Authority), aunque es importante destacar que estas declaraciones solo se podrán realizar si estos compuestos se encuentran en una cantidad mínima preestablecida.

#### 4.2. Algunas aplicaciones para la revalorización de los subproductos de la sidra

Aunque por muchos años el destino final de la magaya y lías de la sidra haya sido la alimentación animal, gracias a los compuestos de interés que contiene, hoy en día se están estudiando diversas maneras de utilizarlos en la propia industria alimentaria. Uno de los componentes que más interés ha despertado para su incorporación en alimentos

es la fibra de manzana, que se pretende introducir como ingrediente en diversos alimentos. Por otro lado, también se han estudiado otras aplicaciones como la utilización de polifenoles como antioxidante en los alimentos, la elaboración de bebidas espirituosas a partir de orujo de manzana y la extracción de compuestos bioactivos, entre otras.

La mayoría de las aplicaciones estudiadas se basan en la reutilización del orujo de manzana, en cambio, son pocas las alternativas para la reutilización de las lías. La aplicación más extendida es el uso de las lías para el tratamiento de algunos defectos en la elaboración de la sidra como el elevado dulzor o malos olores. Aunque son pocas las aplicaciones estudiadas, es cierto que algunos estudios indican que teniendo en cuenta la fuente de nutrientes que suponen, podrían utilizarse para el enriquecimiento de medios de cultivo para fermentaciones industriales. En un artículo publicado por Pérez-Bibbins et al. en 2015 se sugiere el uso de las lías como fuente de nutrientes para la bioproducción de aditivos alimentarios de alto valor añadido como son los ácidos xilitol, láctico y cítrico. Las lías se utilizarían en sustitución del licor de maíz como sustrato de fermentación, siendo una fuente de nutrientes más efectiva y menos costosa, aunque todavía son necesarios más estudios para comprobar la viabilidad de esta aplicación.

#### 4.2.1. Alimentos con fibra de manzana

Hoy en día existe un déficit de fibra en la dieta, es por ello que se recomienda un aumento de nivel de fibra a la población. En España se recomienda una ingesta de 25-30 g de fibra dietética al día, ya que se ha visto que una dieta alta en fibra está relacionada con la prevención, reducción y tratamiento de algunas enfermedades. La fibra dietética actúa como probiótico fortaleciendo la microbiota intestinal, la cual protege frente a la colonización de otros microorganismos patógenos, mejora el tránsito intestinal, fermentan los hidratos de carbono no digeridos y produce vitaminas. También tiene un efecto beneficioso frente a patologías como el estreñimiento, obesidad, enfermedad inflamatoria intestinal, diabetes mellitus tipo II, hipercolesterolemia, cáncer o enfermedades cardiovasculares (Alanís-García et al., 2021).

Un modo de lograr este incremento de fibra en la dieta es el consumo de alimentos suplementados en fibra, de este modo se puede lograr llegar a los requerimientos nutricionales mediante prácticas dietéticas normales.

Cuando se habla de fibra dietética suele separarse la fibra dietética soluble y la fibra dietética insoluble. La relación de fibra soluble e insoluble influye en las propiedades

dietéticas y funcionales de la fibra como ingrediente, es por ello que se define una relación 1:2 FDS/FDI como la mejor relación para las fibras a emplear como ingrediente alimentario.

La fibra extraída de las frutas y hortalizas tiene una mayor proporción de fibra dietética soluble, en cambio, debido a su estructura formada por cadenas de polisacáridos aporta algunas propiedades funcionales como viscosidad, capacidad de retención de agua y formación de geles (Figuerola et al.,2005).

La fibra dietética como ingrediente debe cumplir ciertos requisitos, en el caso ideal debe: no contener ningún elemento nutricionalmente cuestionable, ser lo más concentrada posible, tener el mínimo color, sabor y olor, tener una composición equilibrada, poseer una cantidad adecuada de compuestos bioactivos asociados, una buena vida útil, ser compatible con los tratamientos alimenticios que van a realizarse en el alimento y provocar los efectos fisiológicos esperados (Alanís-García et al., 2021).

Además, como se indica en el estudio de Alanís-García et al. al incorporar fibra en alimentos hay que tener en cuenta su capacidad para solubilizarse en la matriz, en el caso de las galletas, panes o pastas se puede utilizar tanto fibra soluble como insoluble, en cambio en alimentos como las bebidas se suele incorporar fibra soluble.

La fibra de manzana es una buena opción como ingrediente alimentario ya que además de la propia fibra contiene compuestos bioactivos como flavonoides, polifenoles y carotenos los cuales hacen ésta de mayor calidad (Figuerola et al.,2005).

En la (Tabla 1), se han recopilado algunos de los estudios que se han realizado en los últimos años para la incorporación de fibra de manzana en diversos alimentos y otras aplicaciones en la industria alimentaria como la elaboración de materiales de envasado.

**Tabla 1**

Recopilación de aplicaciones de la fibra de manzana en alimentos. Elaboración propia.

Aplicación	Efecto adición de fibra de manzana	Referencia
Helado probiótico de leche de oveja adicionado con fibra de manzana	↓ pH ↑ ácido láctico Cambio de brillo y color ↑ aumento de volumen ↑ T <sup>a</sup> Congelación	Kowalczyk, M. et al. (2021)

Aplicación	Efecto adición de fibra de manzana	Referencia
Kéfir enriquecido con fibra de manzana	↑ Viscosidad Fibra 0,5% <ul style="list-style-type: none"> <li>- ↓pH ↑ ácido láctico</li> <li>- ↑ efecto probiótico</li> </ul> Fibra > 1% <ul style="list-style-type: none"> <li>- ↑pH ↓ ácido láctico</li> </ul>	Busra, G. et al. (2017)
Films de biocomposite pululan-fibra de manzana como nuevo material de envasado de alimentos	↑ Elasticidad ↑ Hidrofobicidad Capacidad antimicrobiana	Luís, Â., et al. (2021)
Chips de trigo enriquecidos con fibra de manzana	↑ Materia seca y contenido de cenizas ↓ Luminosidad ↑ T <sup>a</sup> de fritura	Kayacier, A. et al. (2014)

Leyenda: ↓ disminución, ↑ aumento

En el estudio realizado por Kowalczyk, M. et al. en 2021, se evaluaron los efectos de la adición y sustitución de inulina con fibra de manzana en las propiedades fisicoquímicas y organolépticas de helado probiótico de leche de oveja. Se vio que las muestras de helado con fibra de manzana presentaban un pH menor a las que contenían inulina, al igual que una mayor concentración de ácido láctico. Aunque este descenso del pH produce una disminución de las bacterias probióticas (Bifidobacterias), tras la congelación el número de células bacterianas viables no varía en comparación con el helado sin fibra de manzana. También se apreció un efecto significativo en el brillo y el color de los helados que contenían fibra, lo cual puede explicarse por la presencia de compuestos fenólicos y pectina. Por otro lado, los helados adicionados con fibra de manzana presentaron un mayor aumento de volumen, lo cual depende del contenido en azúcar e inulina. La pectina de la fibra de manzana interactúa con componentes de la leche formando una red, lo cual reduce la velocidad de transferencia de calor, aumentando la temperatura de congelación y disminuyendo los cristales de hielo y el porcentaje de agua congelada. Con las observaciones de este estudio se puede concluir que la adición de fibra de manzana afecta significativamente a las cualidades

organolépticas y fisicoquímicas de los helados lo cual puede ver afectada la aceptabilidad de estos.

Otro alimento en el que se ha estudiado la adición de fibra de manzana es el kéfir. En 2017 Busra, G. et al analizaron las propiedades del kéfir al ser adicionado con fibra de manzana y limón. Pudieron ver que las muestras que contenían fibra en un 0,5% obtenían un mayor valor de extracto seco, un menor pH y una mayor acidez, lo mismo que ocurría en el helado. El aumento de la acidez podría estar relacionado con la estimulación de las bacterias ácido lácticas por el aumento de fibra. En cambio, cuando la tasa de fibra era superior a un 1%, los valores de pH se veían aumentados y la acidez disminuida, esto pudo ocurrir por la gran capacidad de retención de agua de la fibra, que disminuye la actividad de agua y por tanto es menor la cantidad de agua a la que pueden acceder las bacterias lácticas para crecer y producir ácido láctico. También vieron que el kéfir con fibra de manzana presenta una mayor viscosidad y concluyeron que hasta un 0,5% de fibra el recuento de bacterias se veía aumentado y por tanto también su efecto probiótico.

Otra aplicación que ha sido estudiada es la elaboración de virutas de trigo enriquecidas con fibra de manzana. En el estudio realizado por Kayacier et al en 2014 se analizaron algunas propiedades fisicoquímicas, texturales y sensoriales de este tipo de producto y se vio que la adición de fibra en chips de trigo aumenta la materia seca y contenido de cenizas. Los chips con fibra de manzana también presentan menor luminosidad, lo cual está relacionado con el menor contenido de azúcares y presentan un aumento de la temperatura de fritura, que se traduce en mayor dureza, lo cual afecta en la aceptabilidad del producto. En cambio, los chips de trigo y fibra de manzana fritos a bajas temperaturas obtienen una muy alta aceptabilidad sensorial, superior a los que no contienen fibra.

Luís, A., et al. realizaron un estudio en 2021 en el que analizaron la posibilidad de elaborar films de biocomposite pululan-fibra de manzana para utilizarlo como nuevo material de envasado de alimentos. Estudiaron las propiedades ópticas, mecánicas y de barrera de este tipo de películas además de su actividad antioxidante y antibacteriana. Pudieron concluir que este tipo de películas presentan una mayor elasticidad que las películas de únicamente pululan y son igual de permeables al vapor de agua. Estas películas también son más hidrofóbicas y presentan capacidad de inhibición del crecimiento microbiano.

#### 4.2.2. Elaboración de bebidas espirituosas a partir de orujo de manzana

Es bastante común el uso del orujo de manzana para la elaboración de aguardientes mediante métodos tradicionales. Actualmente el reglamento europeo (Reglamento (UE) 2019/787), considera bajo la denominación de “aguardiente de sidra” a las bebidas espirituosas que cumplen los siguientes requisitos:

- Producirse exclusivamente por destilación de sidra a menos de 86% de modo que mantenga el aroma y sabor de la sidra.
- Contener 200 g/hL de alcohol o más
- Tener un contenido máximo de metanol de 1000 g/hL

El mismo reglamento define el grado alcohólico mínimo admitido, siendo de 37,5%, no estando permitida la adición de alcohol. Tampoco puede contener aromatizantes, pero sí permite la adición de caramelo para ajustar el color y la adición de edulcorante con el fin de redondear el sabor. El límite de sustancias edulcorantes es de 15 g en unidades de azúcar invertido.

La elaboración del aguardiente de orujo de manzana se realiza mediante una primera etapa de ensilado en la cual los azúcares presentes en el orujo son fermentados y una segunda etapa de destilación. La fermentación se suele producir por los microorganismos presentes en la propia materia prima y ocurre de manera espontánea en situación de anaerobiosis dentro de recipientes de plástico, acero, madera u hormigón. En caso de darse condiciones no adecuadas se puede generar el crecimiento de microorganismos no deseados que dan lugar a defectos organolépticos por la formación de compuestos como el 2-butanol, 1-propanol, ácido acético y ácidos grasos de cadena corta. También se pueden formar otros compuestos como el lactato de etilo, acetato de metilo y acetato de etilo en casos de condiciones aeróbicas o un almacenamiento inadecuado.

Un problema que presenta esta aplicación es la estacionalidad de la materia prima utilizada, ya que la producción de la sidra y por tanto de orujo de manzana se concentra en una época del año y limitaría la producción del aguardiente a estos meses. Una solución propuesta en la bibliografía para este problema, es el secado del orujo mediante un horno con circulación de aire a 60 °C durante 48 h (Rodríguez M. et al., 2013).

#### 4.3. Extracción de compuestos fenólicos de la manzana y su utilización como ingrediente alimentario

El orujo de manzana es una fuente valiosa de polifenoles con actividad antioxidante como son los flavanoles y flavonoides. En un estudio realizado en 2014 por Vrhovsek et al. en el que se estudió el contenido en polifenoles de distintas variedades de manzanas (Fuji, Braeburn, Royal Gala, Golden Delicious, Morgenduft, Granny Smith, Red Delicious y Renetta) y se obtuvo que el contenido medio de polifenoles totales es de entre 66,2 y 211,9 mg por cada 100 gramos de producto fresco. Además, pudieron separar en cinco clases los polifenoles presentes en las manzanas (ácidos hidroxicinámicos, flavanoles, antocianinas, dihidroxihalonas y flavonoles) y conocer en las proporciones en las que se encuentran en cada variedad (Tabla 2).

Una de las causas más comunes de pérdida de calidad en los alimentos es la oxidación de lípidos, la cual ocurre especialmente en alimentos con altas cantidades de ácidos grasos insaturados. La oxidación de los lípidos genera aromas desagradables, una reducción del valor nutritivo de los alimentos e incluso la formación de compuestos tóxicos. Una opción para combatir esto es la incorporación de aditivos alimentarios que retrasen este proceso de alteración. Puesto que actualmente existe una demanda desde el consumidor de alimentos naturales, una alternativa es el uso de aditivos antioxidantes extraídos de frutas y vegetales como es el caso de la manzana (López et al., 2022).

**Tabla 2**

Composición de compuestos fenólicos de diferentes variedades de manzanas (porcentaje). Vrhovsek et al. 2014

	Renatta	Red Delicious	Granny Smith	Morgenduft	Golden Delicious	Royal Gala	Braeburn	Fuji
<b>Ácidos hidroxicinámicos</b>	15	7	4	15	12	13	8	18
<b>Flavanoles</b>	78	84	90	76	77	78	77	71
<b>Antocianinas</b>	0	2	0	3	0	1	1	1
<b>Dihidrochalconas</b>	6	3	2	2	3	2	3	3

	<b>Renata</b>	<b>Red Delic ius</b>	<b>Granny Smith</b>	<b>Morge nduft</b>	<b>Golden Delicio us</b>	<b>Royal Gala</b>	<b>Braebu rn</b>	<b>Fuji</b>
<b>Flavon oles</b>	1	4	4	4	8	6	11	7

De los parámetros más importantes a tener en cuenta en la extracción de compuestos fenólicos de frutas es la elección del disolvente a utilizar. Para la extracción de ácidos hidroxicinámicos, dihidrocalonas, flavonoides, flavanoles y flavonas presentes en el orujo de manzana el disolvente más apropiado es el agua. De hecho, en un estudio realizado por Agüero et al. 2017 determinaron que existe una correlación entre la concentración de fenoles extraídos y la polaridad de los solventes empleados, siendo el más polar el que mayor concentración de polifenoles logra extraer. Para compuestos fenólicos más polares no es suficiente el uso de disolventes orgánicos puros. En el caso de querer extraer este tipo de compuestos en la bibliografía se recomienda el uso de metanol en comparación con la acetona y etanol. También se han estudiado métodos de extracción múltiples en los que se realiza una primera extracción con agua y a continuación otras dos con una mezcla de etanol y acetona, en cambio se ha visto que la mayoría del extracto se obtiene en la primera etapa con agua y se han considerado mejoras como la extracción asistida por ultrasonidos y con maduración previa, siendo el primer método el más eficiente.

Un aspecto importante en la extracción de polifenoles de la manzana es la conservación de la materia prima, se ha visto que la degradación enzimática está influida por el método de secado utilizado (secado o liofilización). Mantienen un mayor contenido total de polifenoles las muestras liofilizadas que las muestras secas, dado que la congelación de las muestras liofilizadas dificulta la degradación enzimática de los compuestos bioactivos (López et al., 2022).

Desde el punto de vista de la aplicación, los extractos de compuestos fenólicos de la manzana son utilizados como aditivos alimentarios de origen natural, especialmente como antioxidantes. Ha sido estudiado el efecto de los aditivos antioxidantes naturales de la manzana en diversos alimentos (carne, pescado, aceites y zumos). Su utilización no modifica notoriamente las cualidades organolépticas de los alimentos y además aporta capacidad antioxidante que evita la oxidación de lípidos y proteínas, aumenta el contenido total de compuestos fenólicos y evita cambios en el color de los alimentos.

En la (Tabla 3), se han recopilado diversos estudios que tratan de la aplicación de extracto de manzana y piel de manzana en alimentos de distintas naturalezas.

**Tabla 3**

Recopilación de aplicaciones y efectos del extracto de manzana y piel de manzana en alimentos. Basada en López et al., 2022

Alimento	Material	Dosis	Efectos	Referencia
Trucha arcoíris	Extracto de piel de manzana	10, 20, 30, 50 y 100 mg/kg	↓Oxidación de lípidos y proteínas	Bitalebi et al. (2019)
Surimi	Extracto de manzana	0,05% y 0,10%	↓Oxidación de lípidos y proteínas; ↓ Decoloración	Sun et al. (2017)
Zumo de zanahoria y tomate	Extracto de piel de manzana	160, 400 y 800 mg/L	↓Oxidación de lípidos; ↑Capacidad antioxidante	Massin et al. (2016)
Jamón cocido de cerdo loncheado	Extracto de piel de manzana	300, 500 y 1000 mg/kg	↓Oxidación; ↓ Decoloración	Sun et al. (2010)
Aceite de pescado	Extracto de piel de manzana	200, 4000 y 200000 µg/mL	↑ Compuestos fenólicos totales; ↓Oxidación de lípidos	Rupasinghe et al. (2010)

Uno de los efectos producido al adicionar extractos de manzana en alimentos proteicos es el efecto protector frente a la oxidación de proteínas (carbonilación y formación de derivados del carbonilo). Este efecto protector es muy favorable dado que esta oxidación tiene un impacto negativo en la textura (entrecruzamiento de proteínas), propiedades fisicoquímicas (capacidad de retención de agua) y atributos sensoriales (textura, sabor y jugosidad) (Bitalebi et al., 2019).

La estabilización del color en carne es otro de los beneficios que se pueden lograr al adicionar extracto de manzana. El color de la carne y productos cárnicos está relacionado con la estabilidad oxidativa de la mioglobina, el efecto antioxidante de los

polifenoles de la manzana permite mantener el color cereza característico de la carne fresca que es aportado por la oxi-mioglobina evitando que se oxide a meta-mioglobina dando lugar un color marrón (López et al., 2022). Al igual que ocurre con la carne el color es de gran importancia en el pescado dado que se utiliza como un indicativo de la calidad y frescura. En el estudio realizado por Sun et al. en 2017 se vio que este efecto estabilizador del color también se produce en surimi, aunque hay que tener en cuenta que algunos de los polifenoles (procianidina B2, flozina, ácido clorogénico, hiperósido, rutina y quercetina) pueden aportar colores amarillentos y marronáceos si se utiliza el extracto en altas concentraciones.

Un aspecto en el que coinciden todos los artículos revisados es en la disminución de la oxidación lipídica. El pescado es muy propenso a la oxidación de lípidos por su contenido de ácidos grasos poliinsaturados, hierro y hemoglobina. Se ha visto que la presencia de grupos hidroxilo en los anillos aromáticos de los compuestos fenólicos permite neutralizar los radicales libres generados durante la etapa inicial de oxidación. Esto reduce la oxidación de los lípidos y evita la generación de más agentes oxidantes (Bitalebi et al., 2019).

El efecto antioxidante de los polifenoles de manzana en zumos ha sido estudiado por Massin et al. 2016 y se ha visto que en este tipo de matriz el efecto protector frente a la oxidación es similar al que aportan los antioxidantes sintéticos BHA/BHT (hidroxianisol butilado y el hidroxitolueno butilado).

En cuanto al efecto antioxidante de lípidos en aceite de pescado, en el estudio realizado por Rupasinghe et al. en 2010, se vio que el extracto de manzana es efectivo para reducir la oxidación inducida por el calor, luz UV y radicales peroxilo. Así mismo, se comprobó que al eliminar los azúcares y ácidos orgánicos del extracto de piel de manzana mejoran las propiedades antioxidantes en emulsiones y aceites de pescado.

#### 4.4. Seguridad alimentaria de los extractos de manzana

Un tema a tener en cuenta para la utilización de los extractos de manzana como ingredientes en la elaboración de alimentos, es la seguridad de estos. Existen tres puntos que generan preocupación:

A. Los plaguicidas que se pueden encontrar en la piel de la manzana:

Los pesticidas son utilizados para controlar el crecimiento de hongos y bacterias, prevenir la presencia de insectos y limitar las enfermedades de las plantas. Se ha visto que el 50% de las manzanas cultivadas convencionales contienen residuos de plaguicidas, mayoritariamente en la piel. Pese a la presencia de

plaguicidas en la piel de la manzana, un lavado previo al prensado de la manzana con bicarbonato de sodio es una forma eficaz de eliminar estos y de que no lleguen al producto final. Otra opción que se ha sido sugerida en la bibliografía es la exposición de las manzanas a ozono, agua ozonizada y gas ozonizado (López et al., 2022).

B. La liberación de cianuro glicosilado de las semillas de la manzana:

Las semillas de manzana contienen amigdalina, un compuesto químico que cuando se expone a ciertas enzimas que se encuentran en el sistema digestivo de los humanos puede generar cianuro de hidrógeno. La dosis letal de cianuro es de 20 µg/kg de peso corporal y las semillas de manzana contienen 2,96 mg de amigdalina por gramo, por tanto, este es un aspecto a tener en cuenta al utilizar extractos de semillas de manzana. Aunque es cierto que la proporción de semillas en el orujo de manzana es pequeña (3,5%), podría estudiarse la posibilidad de eliminarlas antes de obtener los extractos (López et al., 2022).

C. La acumulación de patulina debido al posible crecimiento fúngico

La patulina es una micotoxina que es producida por dos especies de hongos (*Penicillium expansum* y *Aspergillus clavatus*) y se acumula en frutas y verduras, especialmente en manzana (López et al., 2022). El consumo de cantidades elevadas de patulina puede generar problemas gastrointestinales como la hiperemia, distensión, hemorragia y úlcera. En el reglamento (CE) nº 1881/2006 por el que se fija el contenido máximo de determinados contaminantes de los productos alimenticios se establecen ciertos límites máximos para esta sustancia en función de los productos alimenticios. En la (Tabla 4), se recogen los límites establecidos para productos elaborados a partir de manzana. En la generación de nuevos ingredientes alimentarios a partir de los subproductos de manzana sería necesaria también una vigilancia de este contaminante.

**Tabla 4**

Contenidos máximos de patulina en alimentos a base de manzana. Reglamento (CE) 1881/2006 de la Comisión de 19 de diciembre de 2006

<b>Productos Alimenticios</b>	<b>Contenidos máximos</b>
Zumos de frutas, zumos de frutas concentrados recons-tituidos y néctares de frutas	50 µg/kg

<b>Productos Alimenticios</b>	<b>Contenidos máximos</b>
Bebidas espirituosas, sidra y otras bebidas fermentadas elaboradas con manzanas o que contengan zumo de manzana	50 µg/kg
Productos sólidos elaborados con manzanas, incluidos la compota y el puré de manzana destinados al consumo directo	25 µg/kg
Zumo de manzana y productos sólidos elaborados a base de manzanas, incluidos la compota y el puré de manzana destinados a los lactantes y niños de corta edad	10 µg/kg

## 5. CONCLUSIONES

Los dos principales subproductos de la industria de la sidra son el orujo de manzana generado en las etapas pre-fermentativas y las lías, generadas tras la fermentación del mosto de manzana.

El orujo de manzana contiene un alto contenido de fibra dietética, que además está acompañado de compuestos bioactivos como los polifenoles. Son varios los artículos en los que se ha estudiado la adición de fibra de manzana en diversos alimentos (helado probiótico de leche de oveja, kéfir y chips de trigo). La fibra de manzana al ser adicionada en los alimentos, además de proporcionar beneficios nutricionales, también repercute en el color y brillo y, por tanto, en sus cualidades organolépticas. Un aspecto a tener en cuenta es que dependiendo de la concentración en la que sea añadida la fibra, los efectos pueden ser contrarios, especialmente en la acidez y el pH.

Debido a la fuente valiosa de polifenoles que es el orujo de manzana, se ha estudiado la extracción de este tipo de compuestos para su utilización como ingrediente alimentario. Se ha observado que los polifenoles actúan como antioxidantes evitando la oxidación de lípidos y proteínas, aumentando el contenido total de compuestos fenólicos y evitando cambios de color en carnes, pescados y zumos de frutas. De este modo, los polifenoles de la manzana podrían utilizarse como aditivos antioxidantes de origen natural y dar respuesta a la demanda de alimentos naturales que existe por parte de los consumidores.

Un modo de revalorización del orujo de manzana más tradicional es la elaboración de bebidas espirituosas como el aguardiente, el cual actualmente se encuentra regulado. También, se han estudiado otras aplicaciones más novedosas como la fabricación de films como nuevos materiales de envasados, obteniéndose buenos resultados.

Las lías de sidra además de contener fibra dietética como el orujo, contienen compuestos como el 1,3-betaglucano con potencial efecto beneficioso para la salud y ácidos grasos esenciales (omega-6 y omega-3) que contribuyen a mantener los niveles normales de colesterol sanguíneo.

A pesar de contener estos componentes de gran interés, son pocas las aplicaciones estudiadas para la revalorización de las lías de sidra. La más extendida es su utilización para eliminar defectos de la sidra como olores o sabores indeseados, aunque también se plantea su uso como fuente de nutrientes para la bioproducción de aditivos alimentarios. Dado el contenido en ácidos grasos esenciales y compuestos bioactivos de las lías, es posible que en los próximos años se estudien más aplicaciones para la revalorización de estas.

Por último, es importante destacar que la elaboración de alimentos a partir de extractos de manzana puede conllevar ciertos riesgos y que es importante tener en cuenta la seguridad de estos alimentos.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- Agüero, M. S., Buglione, M. B., Martínez, D. A., Filippi, M. V., Cayolo, F., & Maldonado, F. (2017). Compuestos polifenólicos en bagazo de pera y manzana. Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos.
- Alanís-García, E., González-Rubio, P. Y., Delgado-Olivares, L., & del Socorro Cruz-Cansino, N. (2021). Fibra dietética: historia, definición y efectos en la salud. *Educación y Salud Boletín Científico Instituto de Ciencias de la Salud Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*, 9(18), 187-195.
- Bitalebi, S., Nikoo, M., Rahmanifarah, K., Noori, F., & Ahmadi Gavlighi, H. (2019). Effect of apple peel extract as natural antioxidant on lipid and protein oxidation of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) mince. *International Aquatic Research*, 11(2), 135-146.
- Busra, G., Asli, C., Mutlu, B. G.-A., & M, S. A. (2017). Some properties of kefir enriched with apple and lemon fiber. *Mljekarstvo*, 67(3), 208–216.
- Corona Leo, L. S., Hernández-Martínez, D. M., & Meza-Márquez, O. G. (2020). Análisis de parámetros fisicoquímicos, compuestos fenólicos y capacidad antioxidante en piel, pulpa y fruto entero de cinco cultivares de manzana (*Malus domestica*) cosechadas en México. *Biotecnia*, 22(1), 166-174.
- Diñeiro García, Y., Valles, B. S., & Picinelli Lobo, A. (2009). Phenolic and antioxidant composition of by-products from the cider industry: apple pomace. *Food Chemistry*, 117(4), 731–738.
- Unión Europea (2019). Reglamento (UE) 2019/787 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 17 de abril de 2019, sobre la definición, designación, presentación y etiquetado de las bebidas espirituosas, la utilización de los nombres de las bebidas espirituosas en la presentación y etiquetado de otros productos alimenticios, la protección de las indicaciones geográficas de las bebidas espirituosas y la utilización de alcohol etílico y destilados de origen agrícola en las bebidas alcohólicas, y por el que se deroga el Reglamento. *Diario Oficial de la Unión Europea (DOUE)*, 17 de mayo de 2019).
- Figuerola, F., Hurtado María Luz, Estévez Ana María, Chiffelle, I., & Asenjo, F. (2005). Fibre concentrates from apple pomace and citrus peel as potential fibre sources for food enrichment. *Food Chemistry*, 91(3), 395–401.
- Galanakis, C. (2019). *Valorization of Fruit Processing By-Products*. Academic Press.
- García, L., Herrero, M. & González, A. (2010). *Tecnología de la elaboración de sidra*. Equipamiento industrial.

- Heike, S., Veronika, E., & Joerg, G. (2014). Immune-modulatory effects of dietary yeast beta-1,3/1,6-d-glucan. *Nutrition Journal*, 13(1), 38–38.
- Herrera, M. C., y León, S. V., Tolentino, R. G., Fernández, B. G., & González, G. D. (2006). Los ácidos grasos omega-3 y omega-6: nutrición, bioquímica y salud. *Revista de educación bioquímica*, 25(3), 72-79.
- Kayacier, A., Yüksel Ferhat, & Karaman, S. (2014). Response surface methodology study for optimization of effects of fiber level, frying temperature, and frying time on some physicochemical, textural, and sensory properties of wheat chips enriched with apple fiber. *Food and Bioprocess Technology: An International Journal*, 7(1), 133–147.
- Kowalczyk, M., Znamirska, A., Buniowska, M., & Fernández, J. (2021). Probiotic sheep milk ice cream with inulin and apple fiber. *Foods*, 10(3).
- Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular. *Boletín Oficial del Estado*, 85, 9 de abril de 2022.
- Lobo, A. P., Bullón, A. G., & Valles, B. S. (2021). La magaya de la actividad sidrera: fuente de compuestos bioactivos de elevado interés Ácidos triterpénicos. *Tecnología agroalimentaria: Boletín informativo del SERIDA*, (24), 48-51
- López, F. O., Bohrer, B. M., Munekata, P. E., Domínguez, R., Pateiro, M., & Lorenzo, J. M. (2022). Improving oxidative stability of foods with apple-derived polyphenols. *Comp Rev Food Sci Food Saf.* 21,296-320
- Luís, Â., Ramos, A., & Domingues, F. (2021). Pullulan-apple fiber biocomposite films: optical, mechanical, barrier, antioxidant and antibacterial properties. *Polymers*, 13(6).
- Massini, L., Rico, D., Martin D, A. B., & Barry, R. C. (2016). Apple peel flavonoids as natural antioxidants for vegetable juice applications. *European Food Research and Technology*, 242(9), 1459-1469.
- Pérez, B. B., Torrado, A. A., Salgado, J. M., Oliveira, R. P. de S., & Domínguez, J. M. (2015). Potential of lees from wine, beer and cider manufacturing as a source of economic nutrients: an overview. *Waste Management*, 40, 72–81.
- Pérez, B.B., Torrado, A. A, Pérez, R. N., Aguilar, U. M., & Domínguez J. (2015). Evaluation of the liquid, solid and total fractions of beer, cider and wine lees as economic nutrient for xylitol production. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 90(6), 1027–1039.
- Reglamento (CE) 1881/2006 de la Comisión de 19 de diciembre de 2006 por el que se fija el contenido máximo de determinados contaminantes en los productos alimenticios. *Diario Oficial de la Unión Europea*. 364/5, 20 de diciembre de 2006.

- Rodríguez M. R., Pando, B. R., García B. J., Gómez B. L., & Suárez V., B. (2019). Cider Lees: An Interest Resource From the Cidermaking Industry. *Waste and Biomass Valorization*, 10(6), 1639-1647.
- Rodríguez M. R., Pando B. R., García J., & Suárez V. B. (2016) Caracterización microbiológica y química de borras de sidra. *Tecnología alimentaria*, 18, 53 – 57
- Rodríguez M. R., Pando B. R., García H. A., Arce, M. B & Suárez V. Belén. (2013). Production of spirits from dry apple pomace and selected yeasts. *Food and Bioproducts Processing*, 91(4), 623–631.
- Rupasinghe, H. V., Erkan, N., & Yasmin, A. (2010). Antioxidant protection of eicosapentaenoic acid and fish oil oxidation by polyphenolic-enriched apple skin extract. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(2), 1233-1239.
- Soares, M. C., Ribeiro, É. T., Kuskoski, E. M., Gonzaga, L. V., Lima, A., Mancini Filho, J., & Fett, R. (2008). Composition of phenolic acids content in apple (*Malus sp*) pomace. *Semina: Ciências Agrárias*, 29(2), 339-347.
- Sun, W. Q., Zhang, Y. J., Zhou, G. H., Xu, X. L., & Peng, Z. Q. (2010). Effect of apple polyphenol on oxidative stability of sliced cooked cured beef and pork hams during chilled storage. *Journal of Muscle Foods*, 21(4), 722-737.
- Sun, L., Sun, J., Thavaraj, P., Yang, X., & Guo, Y. (2017). Effects of thinned young apple polyphenols on the quality of grass carp (*ctenopharyngodon idellus*) surimi during cold storage. *Food Chemistry*, 224, 372–381.
- The European Cider & Fruit Wine Association (2021). European Cide Trends 2021. Global Data. Recuperado en junio de 2022.
- Usman, M., Ahmed, S., Mehmood, A., Bilal, M., Patil, P. J., Akram, K., & Farooq, U. (2020). Effect of apple pomace on nutrition, rheology of dough and cookies quality. *Journal of Food Science and Technology*, 57(9), 3244–3251.
- Valles, B. S., Bedriñana, R. P., Tascón, N. F., Simón, A. Q., & Madrera, R. R. (2007). Yeast species associated with the spontaneous fermentation of cider. *Food Microbiology*, 24(1), 25–31.
- Vrhovsek, U., Rigo, A., Tonon, D., & Mattivi, F. (2004). Quantitation of polyphenols in different apple varieties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(21), 6532–6538.