



SUBPRODUCTOS HORTOFRUTÍCOLAS PARA UNA BIOECONOMÍA CIRCULAR

María Carmen Villarán, María Chávarri, Thomas Dietrich y Elena Rodríguez
Fundación Tecnalia Research & Innovation

Resumen

La demanda global de recursos supera ya en la actualidad la capacidad de producción biológica de la Tierra en un 20 %, y según los demógrafos prevén que la población de esta aumente de los 6.500 millones de personas actuales a un mínimo de 9.000 millones en las próximas décadas. Ello hace necesario un cambio en los patrones de consumo de cara a lograr la reducción del uso de materias primas. Debemos pasar de una economía lineal a una economía circular en la que el valor de los productos, los materiales y los recursos se mantengan en la economía durante el mayor tiempo posible, y que se reduzca al mínimo la generación de residuos.

Existen numerosos desarrollos que ponen de manifiesto la posibilidad de emplear los subproductos actualmente generados, en procesos agroalimentarios para la obtención de productos de alto valor añadido con aplicación en el campo alimentario, químico o energético mediante el empleo de diversas tecnologías limpias. Este artículo expone un ejemplo de cómo los subproductos de la industria de transformados hortofrutícolas pueden ser objeto de una economía circular, planteándose tanto el empleo de procesos de extracción para la recuperación de compuestos de interés; como la valorización de los rechazos generados en estas extracciones y de los subproductos ricos en azúcares para obtener ingredientes y biopolímeros mediante procesos biotecnológicos. Aquellos subproductos que no entran en los ciclos de valorización mencionados, se emplean para la producción de piensos, fertilizantes o energía; lográndose así cerrar el ciclo de frutas, vegetales y hortalizas y contribuyendo a la reducción del consumo de materias primas.

1. Introducción

La demanda de recursos a escala global supera ya en la actualidad la capacidad de producción biológica de la Tierra en un 20 %, debido a unos niveles de consumo no sostenibles. Dado que los demógrafos prevén que la población de la Tierra aumente de los 6.500 millones de personas actuales a un mínimo de 9.000 millones en las próximas décadas, la Organización

Abstract

Global demand for resources now exceeds the Earth's biological production capacity by 20% and, according to demographers, it is predicted that the planet's population will increase from its current 6,500 million people to a minimum of 9,000 million in the coming decades. This requires a change in consumption patterns to achieve a reduction in the use of raw materials. We must move away from a linear economy to a circular economy where the value of products, materials, and resources is kept in the economy for as long as possible, and waste generation is minimised.

There are numerous developments that highlight the possibility of employing by-products currently generated in agri-food processes to obtain high-added-value products with applications in the fields of food, chemistry, or energy by using various clean technologies. This article sets out an example of how by-products from the fruit and vegetable processing industry can be the subject of a circular economy, considering both the use of extraction processes to recover the compounds of interest, and adding value to the waste generated in this extraction, as well as the sugar-rich by-products, to obtain ingredients and biopolymers through biotechnology processes. Any by-products that do not enter these added-value cycles, are used to produce fodder, fertilisers or energy; thus closing the cycle of fruits, vegetables, and horticultural products, and helping reduce the consumption of raw materials.

de las Naciones Unidas (ONU) aboga por reducir el consumo de recursos naturales a niveles sostenibles y realizar una mejor gestión y utilización de los recursos a nivel mundial¹. La implantación de una economía circular es la vía para salvaguardar la biodiversidad de la tierra y optimizar los recursos, reducir la cantidad de residuos y la contaminación generada por la actividad humana. La economía circular es un concepto económico que se interrelaciona con la sostenibilidad, y cuyo objetivo es que el valor de los productos, los materiales y los recursos (agua, energía...) se mantenga en la economía durante el mayor tiempo posible, y que se reduzca al mínimo la generación de residuos. Se trata de implementar una nueva economía, circular –no lineal–, basada en el principio de «cerrar el ciclo de vida» de los productos, los servicios, los residuos, los materiales, el agua y la energía².

Históricamente, la actividad agrícola global se ha centrado, principalmente, en el aumento de la productividad en lugar de una integración de la gestión de los recursos naturales junto con la seguridad alimentaria y nutricional. Es por ello, que se debe aprender de la naturaleza y cerrar los ciclos biológicos como requisito clave para una economía sostenible. En este contexto, el sector de frutas y hortalizas ofrece un enorme potencial para desarrollar una bioeconomía circular. En 2016, se produjeron más de 124 millones de toneladas de frutas y verduras en los 28 países de la Unión Europea (UE-28). La producción española representó más de 32 millones de toneladas de frutas y verduras, lo que supone el 25 % de la producción de UE-28, según estadísticas de Eurostat³. A lo largo de la cadena de valor que va desde la agricultura al consumidor se pierde el 45 % de la producción de frutas y hortalizas⁴.

Si se aplica la jerarquía de residuos⁵ (Figura 1), muchos de estos subproductos ofrecen la oportunidad de ser utilizados de manera sostenible, alimentando una bioeconomía circular mediante procesos de extracción y procesos de fermentación para la obtención de compuestos de valor añadido para uso alimentario (antioxidantes, colorantes, fibras dietéticas), biopolímeros u otros productos de valor añadido. Un caso real de bioeconomía circular para obtener biopolímeros⁶, productos químicos o enzimas se muestra en el proyecto de investigación financiado con fondos europeos TRANSBIO⁷ (acuerdo de subvención n.º 289603).

Adicionalmente, subproductos que no son susceptibles de ser valorizados por las rutas anteriormente descritas o incluso los residuos generados en los procesos químicos o biológicos de valorización descritos, pueden convertirse en materias primas para la generación de piensos de alta calidad⁸, como una nueva alternativa de alimentación animal que ayude a cubrir las necesidades de una población en aumento que va a requerir mayores producciones ganaderas que las fuentes convencionales de alimentación animal no podrán cubrir. Como ejemplo nombrar los desarrollos realizados por la empresa TRASA, sita en el Valle del Ebro, que lleva

¹ ONU (2015).

² FUNDACIÓN PARA LA ECONOMÍA CIRCULAR (2017).

³ EUROSTAT (2017).

⁴ FAO (2011).

⁵ EUROPEO (2008).

⁶ HAAS *et al.* (2015).

⁷ TRANSBIO (2017).

⁸ FAO (2013).

a cabo la valorización de estos subproductos hortofrutícolas, a través de la digestión anaeróbica produciendo energía y fertilizantes, de esta forma se cierra el ciclo entre la agricultura y la obtención de productos de alto valor añadido⁹.

Figura 1. Jerarquía de los subproductos



Fuente: Parlamento Europeo (2008).

Este concepto de bioeconomía aplicado a los subproductos hortofrutícolas generados por las empresas transformadoras de hortalizas y verduras se muestran en la Figura 2. Algunos de estos subproductos pueden convertirse en primer lugar para la generación de ingredientes alimentarios u otros productos de valor añadido. Los subproductos no aptos para estos usos o incluso los residuos generados en estos procesos pueden ser empleados para la producción de piensos, energía o fertilizantes, cerrando con ello el ciclo.

⁹ MORTIER (2016) y SCANO (2014).

Figura 2. Bioeconomía de los subproductos agrícolas



2. Extracción de compuestos de alto valor añadido

Los subproductos de la industria de transformados de frutas y verduras son una gran fuente de compuestos activos de interés tales como fibra, proteína, polifenoles, fitosteroles, etc.¹⁰, con diversas propiedades como antimicrobiana, antibacteriana, antifúngica, antitumoral, antiinflamatoria, antiobesidad, anticolesterol, insecticida, antioxidante¹¹, entre otras.

Mediante la adecuada aplicación de tecnologías de extracción es posible recuperar estos compuestos para su aplicación como materia prima para el desarrollo de nuevos alimentos, complementos alimenticios, cosméticos, etc.

Un primer aspecto a considerar a la hora de recuperar estos compuestos activos es que la biomasa de la que se obtienen viene condicionada por su procedencia, estación de recolección, parte de la planta de la que se obtiene, proceso de transformación en el que se ha generado el subproducto, etc. Todo ello puede modificar las características del extracto que se obtenga y sus propiedades bioactivas. Adicionalmente, el proceso seguido en el almacenamiento del

¹⁰ ABU-REIDAH *et al.* (2017) y PETKOWICZ *et al.* (2017).

¹¹ VINATORU *et al.* (1999).

subproducto generado y su preparación como materia prima del proceso extractivo puede también alterar las propiedades de los compuestos activos que se recuperen¹².

Así pues, una primera etapa del proceso de extracción es la estabilización de los subproductos para asegurar el mantenimiento de los compuestos de interés. En este sentido existen diferentes técnicas de conservación entre las que cabe citar las tecnologías de deshidratación (secado por aire caliente, deshidratación osmótica, microondas, atomización, etc.) y congelación. La selección de una u otra se hace en función de la sensibilidad frente a la temperatura del compuesto a recuperar y del coste del proceso.

Además de la naturaleza de la materia prima, la calidad del extracto va a depender de otros factores como el tipo, tiempo y temperatura de extracción, tipo de solvente, relación solvente material sólido¹³. La selección de estos parámetros es esencial a la hora de lograr un extracto con la calidad requerida a costes viables. A ello hay que adicionar el hecho de que las tendencias actuales buscan tecnologías extractivas llamadas verdes, evitando el empleo de solventes peligrosos tales como diclorometano o metanol, y reduciendo los tiempos del proceso.

Actualmente existe un amplio porfolio de tecnologías de extracción aplicadas a la recuperación de compuestos activos a partir de subproductos hortofrutícolas y plantas en general.

2.1. Tecnologías de extracción

Dentro de las conocidas como técnicas de extracción convencionales podemos citar la destilación, la extracción con solventes y la compresión en frío. La destilación se emplea especialmente para la obtención de aceites esenciales. La extracción con solventes, tecnología con alta implantación, puede realizarse por diferentes procesos:

- a) *Maceración*: consistente en poner el material vegetal en contacto con el solvente en determinadas condiciones de temperatura, agitación, tiempos de contacto y relaciones sólido líquido.
- b) *Percolación*: el solvente circula por el interior del material vegetal.
- c) *Infusión*: hacer hervir el solvente en contacto con el material vegetal.
- d) *Extracción con aceite frío o caliente* lo cual es empleado fundamentalmente para la obtención de fragancias de hierbas aromáticas.

Hay que señalar que la tendencia actual, especialmente cuando el compuesto activo a recuperar es para uso alimentario, es el empleo de los denominados solventes verdes como agua

¹² COLEGATE *et al.* (2011).

¹³ DA SILVA *et al.* (2016).

y etanol. En esta línea, ha surgido una nueva generación de solventes verdes, los denominados *Natural Deep Eutectic Solvents* (NADES), constituidos por metabolitos que están presentes naturalmente en todas las células y organismos¹⁴.

Por otro lado, con objeto de mejorar el rendimiento de la extracción con solventes se ha llevado a cabo la incorporación de ultrasonidos o microondas en el proceso de extracción, en lo que se denomina extracción asistida con ultrasonidos y extracción asistida con microondas respectivamente¹⁵. Sin embargo, las aplicaciones a nivel industrial de estos procesos, es aun limitada.

En la compresión en frío se presiona el material vegetal para forzar la salida del líquido en él contenido y es habitualmente empleado en la obtención de aceites vegetales.

Con objeto de reducir el consumo de solventes orgánicos, nuevas tecnologías de extracción están siendo empleadas con diferente grado de implantación industrial¹⁶: extracción con fluidos supercríticos (SF) empleando como solvente sustancias en estado supercrítico como el dióxido de carbono¹⁷, extracción asistida con pulsos eléctricos (PEE), extracción acelerada y extracción con agua subcrítica en la que los solventes orgánicos son sustituidos por agua en condiciones subcríticas, en condiciones de temperatura y presión por debajo de su punto crítico (74 °C - 220 bares) para obtener compuestos de interés como por ejemplo polifenoles a partir de materia prima vegetal¹⁸.

No obstante, los requerimientos de inversión para implantación de estas técnicas pueden condicionar su escalado industrial en función de los rendimientos del proceso y valor en el mercado de los productos obtenidos¹⁹.

Otra novedosa tecnología es la denominada *negative pressure cavitation* (NPC) extraction» que ha sido aplicada con éxito para la extracción, a escala de laboratorio, de polifenoles, alcaloides, polisacáridos y flavonoides de raíces de plantas, hojas y semillas²⁰.

2.2. Compuestos activos

Existen numerosas referencias, incluso desarrollos industriales, sobre la obtención de compuestos activos a partir de materias primas de origen vegetal, mediante tecnologías de extracción, que ponen de manifiesto el potencial de los subproductos hortofrutícolas para la generación de nuevos ingredientes y aditivos para su empleo en el sector alimentario, nutracéutico, cosmético. Entre las moléculas extraídas destacar carotenoides, compuestos fenólicos y flavonoides, inulina y glucosinolatos.

¹⁴ DAI *et al.* (2013).

¹⁵ VINATORU *et al.* (2017).

¹⁶ ROOHINEJAD *et al.* (2016).

¹⁷ BARBOSA *et al.* (2014).

¹⁸ ŠVARC-GAJIĆ *et al.* (2017) y KOVU *et al.* (2017).

¹⁹ JIAO *et al.* (2014).

²⁰ LIU *et al.* (2009) y ZHANG *et al.* (2010).

Carotenoides

Son pigmentos liposolubles responsables del color rojo, amarillo, naranjado y púrpura de frutas y vegetales²¹. Químicamente se dividen en Carotenos (ej.: Licopeno y β -caroteno) y Xantofilas (ej.: luteína, zeaxantina, y β -criptoxantina) considerados derivados oxigenados. El β -caroteno, el α -caroteno, y la β -criptoxantina, son considerados precursores de la vitamina A. Los carotenoides previenen el daño por fotosensibilidad en bacterias, animales y humanos; disminuye el daño genético y las transformaciones malignas; inhibe la inducción tumoral provocada por los rayos UV y agentes químicos y disminuye las lesiones premalignas en humanos.

Compuestos fenólicos y flavonoides

Los compuestos fenólicos son un grupo de metabolitos con una estructura común, determinada por un anillo aromático unido al menos a un sustituyente hidroxilo (grupo fenol) y frecuentemente se encuentran como derivados de ésteres, éteres y glicósidos. Los compuestos fenólicos han mostrado una amplia variedad de actividades biológicas: antioxidante, antimicrobiana, antiinflamatoria, inmunomoduladora, antiviral, antiproliferativa, antimutagénica, anticarcinogénica, acciones vasodilatadoras, y prevención de enfermedades coronarias y desórdenes neurodegenerativos²².

Inulina

La inulina está compuesta de una mezcla de oligosacáridos y polisacáridos y compuesta por unidades de fructosa²³. La inulina es un compuesto cada vez más usado en alimentación debido a sus beneficios para la salud ya que posee un efecto prebiótico, es capaz de incrementar la absorción gastrointestinal de minerales, contribuye a disminuir el riesgo de arteriosclerosis e incrementa la saciedad²⁴.

Glucosinolatos

Los glucosinolatos son metabolitos secundarios presentes en todos los vegetales de la familia Brassicaceae. La hidrólisis del glucosinolatos mayoritario, la glucorafanina, a través de la acción de la enzima mirosinasa da lugar a la generación de sulforafano, que ha demostrado poseer cierto efecto preventivo frente al cáncer de colon²⁵.

²¹ O'CONNELL *et al.* (2007).

²² HAVSTEEN (2002) y SKREDE *et al.* (2002).

²³ LÓPEZ-MOLINA *et al.* (2005).

²⁴ AZORÍN-ORTUÑO *et al.* (2009).

²⁵ LATTÉ *et al.* (2011).

En la Tabla 1 se indican, a modo de ejemplo, ciertas fuentes de estos compuestos y técnicas de extracción empleadas.

Tabla 1. Compuestos activos obtenidos mediante extracción a partir de ciertos subproductos

Compuesto de interés	Subproducto	Tecnología de extracción
Compuestos fenólicos	Hollejo y hojas de aceituna	Extracción convencional con solventes, extracción asistida con microondas y ultrasonidos, extracción a altas presiones ^(a,b y c)
Polisacáridos	Pieles y semillas de tomate y cítricos	Extracción convencional con agua caliente y extracción con bases ^(d)
Compuestos fenólicos	Derivados de transformación de uva	Extracción con solventes, asistida por ultrasonidos y asistida por microondas ^(e)
Licopeno	Pieles y semillas de tomate	Extracción con solventes ^(f)
Caroteno	Piel de zanahoria	Extracción con solventes y extracción con fluidos supercríticos ^(g)
Inulina	Hojas de alcachofa	Extracción convencional con solvente, extracción con líquidos presurizados y la extracción asistida por microondas ^(h)
Glucosinolatos	Tallos de brócoli	Extracción con solventes ⁽ⁱ⁾

^aBUCIĆ-KOJIĆ *et al.* (2009); ^bSPIGNO *et al.* (2009); ^cPAINI *et al.* (2016); ^dTAURISANO *et al.* (2014); ^eGUNTERO *et al.* (2015); ^fESPINOSA (2006); ^gTORRES (2017); ^hRUIZ (2015); ⁱTECNALIA (2017).

3. Biotransformación: compuestos de alto valor añadido obtenidos por fermentación a partir de subproductos vegetales

La biotecnología industrial permite a las industrias desarrollar productos novedosos, reemplazando procesos químicos por métodos biotecnológicos más eficientes en recursos, y por tanto desarrollar y fortalecer la bioeconomía basada en el conocimiento a través de la alta tecnología.

En este sentido, la biotransformación es el proceso por el que una sustancia se convierte en otra a través de una reacción bioquímica o un conjunto de ellas. Concretamente, los procesos biotecnológicos, como la fermentación, basados en la acción de microorganismos como agentes transformadores dentro de sistemas productivos a nivel industrial, orientados a la obtención de enzimas, aditivos, proteínas, y otros productos de diversos usos como alimenticio y farmacéutico, abarcan tres etapas básicas.

Una primera etapa en la que engloba el inóculo (microorganismo) y el medio de cultivo (subproductos hortofrutícolas), el cual debe de cumplir con los requerimientos necesarios que permita el crecimiento, formación de compuestos y energía para el correcto funcionamiento

celular. Una segunda etapa, que industrialmente ocurre en un bioreactor, y que se denomina bioproceso, en el cual se realiza la transformación de la materia prima por la acción de un catalizador biológico, normalmente un microorganismo o una enzima, en unas condiciones controladas, por lo que se monitorizan diferentes variables como presión, agitación, temperatura y concentración de gases, para ofrecer condiciones óptimas para el desarrollo y la acción del microorganismo. Tras agotar el sustrato original, obtener una población microbiana suficiente y conseguir cantidad adecuada del compuesto, se obtiene un medio acuoso complejo. Una tercera etapa, denominada bioseparación que comprende la concentración y purificación del compuesto de interés, en el cual se va a obtener un producto sólido o líquido de alta pureza y calidad, que va a ser envasado y listo para su comercialización.

Concretamente, sobre este tema hay estudios científicos que demuestran que el proceso de fermentación es una herramienta potencial para transformar los subproductos vegetales en productos de alto valor añadido²⁶. Si nos centramos en los subproductos hortofrutícolas observamos que se generan en grandes cantidades en todo el mundo²⁷, y que además poseen propiedades nutricionales y características bioquímicas idóneas para emplearlos como materia prima en procesos de fermentación y obtener compuestos de valor añadido²⁸. Algunos de estos productos de interés son las enzimas, los ácidos orgánicos, los compuestos aromatizantes, los colorantes alimentarios, el bioetanol, el biometano, etc., y son conocidos por obtenerse con éxito a partir de subproductos hortofrutícolas a través de aplicaciones microbianas²⁹. Por otro lado, para aumentar la producción de estos metabolitos, se han desarrollado microorganismos genéticamente modificados mediante la inserción de genes, logrando que estos procesos biotecnológicos sean exitosos en la sobreexpresión de los productos biológicos de interés y más rentables para las industrias³⁰.

3.1. Microorganismos

Se conocen varios grupos de microorganismos que pueden emplear como medio de cultivo subproductos hortofrutícolas para la producción de compuestos biológicos de interés. Entre ellos está el *Aspergillus sp.* que produce ácidos orgánicos como ácido cítrico y láctico a partir de extracto/melaza de dátiles (*Phoenix dactylifera*), y *Bacillus sp.* que produce enzimas como la celulasa, amilasa y proteasa cuando se emplea subproducto de naranja como medio de cultivo³¹. De forma similar, *Streptomyces* produce compuestos bioactivos como bafilomicina, oxitetracilina y cefamicina a partir de subproducto de naranja y de jarabe de dátil. En estos procesos, la selección del microorganismo para un tipo particular de subproducto hortofrutícola

²⁶ PANDA, *et al.* (2016).

²⁷ SOCACI *et al.* (2017).

²⁸ SONG *et al.* (2017).

²⁹ LAUFENBERG *et al.* (2003).

³⁰ MAZZOLI *et al.* (2014).

³¹ MUSSATTO *et al.* (2012).

y la optimización de los parámetros físico-químicos juegan un papel vital en la producción de compuestos de alto valor añadido³².

La biotransformación microbiana se puede clasificar en general en fermentación en estado sólido (FS) y fermentación en estado líquido (FL)³³. FS se define como el proceso de fermentación en el que los microorganismos crecen en materiales sólidos generados a partir de subproductos agrícolas/hortícolas sin la presencia de líquido libre³⁴. La FL se realiza el cultivo del microorganismo en un medio líquido. En la Tabla 2 se presentan estudios realizados con diferentes microorganismos empleando subproductos hortofrutícolas como medio de cultivo.

3.2. Productos de valor añadido

3.2.1. Enzimas

Las enzimas son catalizadores biológicos responsables de diversos procesos metabólicos³⁵. Estas son proteínas, que algunas de ellas requieren de un co-factor (uno o más iones inorgánicos) o una coenzima (componente no proteico, termoestable y de baja masa molecular) para su actividad³⁶. Actualmente, las enzimas se usan en procesos industriales. Por ejemplo, las amilasas y las pectinasas se usan en la industria alimentaria, las celulasas se usan en la industria de biocombustibles y la tanasa se usa para reducir la concentración de ácido tánico en el efluente de la curtiduría. El conocimiento sobre la producción y la estabilidad de las enzimas ha llevado a desarrollar tecnologías para la producción a partir de sustratos baratos. Concretamente, se han empleado diversos tipos de subproductos hortofrutícolas como dátiles, caqui, mango, yuca, plátano, mandarina, naranja, patata, etc. para obtener enzimas como la amilasa, lignocelulasas, pectinasas, tanasa, proteasa, lipasa, invertasa (Tabla 2).

3.2.2. Ácidos orgánicos

Los ácidos orgánicos están registrados como la tercera categoría más grande dentro de los productos biológicos de interés³⁷. El ácido orgánico es un compuesto orgánico que se caracteriza por sus propiedades ácidas débiles y no se disocia completamente en presencia de agua. Algunos ácidos orgánicos son empleados por una amplia gama de sectores industriales, entre ellos estarían el procesamiento de alimentos, nutrición e industria de piensos, productos farmacéuticos, unidades de estimulación de petróleo y gas, etc. Los microorganismos, como las bacterias y hongos, se usan comercialmente para la producción de ácidos orgánicos. Dentro

³² PANDA *et al.* (2015).

³³ RAY *et al.* (2006).

³⁴ MOUNA IMEN *et al.* (2015).

³⁵ CHAPMAN-SMITH *et al.* (1999).

³⁶ NELSON *et al.* (2004).

³⁷ ALI *et al.* (2011).

de las bacterias estarían *Arthrobacter paraffinensis*, *Bacillus sp.*, *Lactobacillus sp.*, *Streptococcus thermophilus* y en los hongos serían *Aspergillus sp.*, *Penicillium sp.*, *Yarrowia lipolytica*³⁸ (Tabla 2).

Tabla 2. Productos de valor añadido obtenidos por procesos biotecnológicos a partir de subproductos hortofrutícolas

Productos de valor añadido	Subproducto	Microorganismo
Enzimas		
Enzimas amilolíticas	Mango	<i>Fusarium solani</i> ^(a)
	Plátano	<i>Rhizopus stolonifer</i> ^(b)
Enzimas lignocelulolíticas	Palma	<i>Trichoderma reesei</i> ^(c)
	Plátano	<i>Pseudomonas putida</i> ^(d)
Enzimas pectinolíticas	Cáscara de piña	<i>Aspergillus niger</i> ^(e)
	Piel de naranja	<i>Penicillium chrysogenum</i> ^(f)
Tanasa	Cereza de Barbados	<i>Aspergillus sp.</i> ^(e)
	Bagazo de anacardo	<i>Penicillium sp.</i> ^(g)
Proteasa	Cáscara de algarrobo africano	<i>Aspergillus sp.</i> ^(h)
	Cáscara de granada	<i>Bacillus subtilis</i> ⁽ⁱ⁾
Ácidos orgánicos		
Ácido láctico	Cáscara de patata	<i>Lactobacillus casei</i> ^(j)
	Maíz dulce, mango, naranja	<i>Lactobacillus delbrueckii</i> ^(k)
Ácido cítrico	Cáscara de piña	<i>Aspergillus niger</i> ^(l)
	Pulpa de manzana	<i>Yarrowia lipolytica</i> ^(m)
Biocombustible		
Etanol	Extracto de Dátil	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> ⁽ⁿ⁾
Biopolímeros		
Goma xantana	Zumo de Dátil	<i>Xanthomonas campestris</i> ^(o)
Curdano	Zumo de Dátil	<i>Rhizobium radiobacter</i> ^(p)
Colorante		
Carotenos	Extracto de Dátil	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> ^(q)
Biomasa		
Levadura panadería	Azúcar de Dátil	<i>Saccharomices cerevisiae</i> ^(r)
Probiótico	Polvo de Dátil	<i>Lactobacillus casei</i> ^(s)

^aKUMAR *et al.* (2013); ^bUNAKAL *et al.* (2012); ^cNORSALWANI *et al.* (2012); ^dDABHI *et al.* (2014); ^eSILVA *et al.* (2014); ^fMRUDULA *et al.* (2011); ^gPROMMAJAK *et al.* (2014); ^hRADHA *et al.* (2012); ⁱOYELEKE *et al.* (2011); ^jMUDALIYAR *et al.* (2012); ^kJAWAD *et al.* (2013); ^lPANDA *et al.* (2015); ^mPRABHA *et al.* (2014); ⁿGRUPTA *et al.* (2011); ^oBESBES *et al.* (2006); ^pSALAH *et al.* (2011); ^qELSANHOTV *et al.* (2012); ^rKHAN *et al.* (1995); ^sSHAHRAVY *et al.* (2012).

³⁸ SHAIKH *et al.* (2013).

3.2.3. Biocombustible

Afortunadamente, los residuos y/o subproductos vegetales de crucíferas son bio-convertables en biocombustibles y otros productos valiosos, proporcionando una vía para reducir la contaminación y revalorizar la economía agrícola³⁹. El coste general de la producción de biocombustibles es, generalmente más elevado si se compara con el obtenido a partir de fósiles⁴⁰. Para que la producción de biocombustibles a partir de subproductos agrícolas sea económicamente viable, se deben tener en cuenta los beneficios económicos del valor agregado del bioazúcar⁴¹. En la Tabla 2 se observan los subproductos estudiados para obtener biocombustible.

3.2.4. Biopolímeros

Los biopolímeros son macromoléculas presentes en los seres vivos. A partir de fermentación microbiana es posible producir una amplia variedad de biopolímeros como alginato, xanthan gum, curdlano, ácido hialurónico, xantano, etc. En la Tabla 2 se detallan subproductos hortofrutícolas empleados para la producción de biopolímeros empleando la biotransformación, hecho que ha permitido disminuir considerablemente el coste del medio de fermentación, el cual ha sido, hasta hace poco, una gran preocupación en la producción comercial de los estos compuestos.

3.2.5. Colorantes

Concretamente, los carotenoides son un grupo de pigmentos altamente insaturados de color rojo, amarillo o naranja que se encuentran en alimentos, tales como zanahorias, patata dulce y vegetales de hojas verdes. Los carotenoides son pigmentos orgánicos tetra terpenoides que se producen naturalmente en los cloroplastos y cromoplastos de plantas, y en algunos otros organismos fotosintéticos como las algas. También son producidos por algunos microorganismos durante el proceso de la fermentación, y en la actualidad están siendo explotados industrialmente⁴² (Tabla 2).

3.2.6. Biomasa

La producción industrial de microorganismos, denominada biomasa, para aplicaciones industriales es amplia. Concretamente, en el caso de las levaduras sirven como biocatalizadores o fuente de productos en panaderías⁴³, cervecerías, etc.; las bacterias lácticas se emplean como

³⁹ GUO *et al.* (2010).

⁴⁰ CASPETA *et al.* (2013).

⁴¹ PFALTZGRAFF *et al.* (2013).

⁴² CHANDRASEKARAN *et al.* (2013).

⁴³ KHAN *et al.* (1995).

cultivos iniciadores para uso en la fabricación de productos lácteos, y si nos centramos en los probióticos⁴⁴ estos se usan en industrias lácteas, alimentación animal y producción de alimentos acuícolas, entre otras aplicaciones. La producción de biomasa a gran escala requiere el uso de sustratos baratos para la producción económica de los productos mediante tecnologías de fermentación. Mientras que los sustratos como la melaza de caña de azúcar, la harina de soja y otros subproductos agroindustriales ya se utilizan, en la actualidad se están focalizando en el empleo de subproducto hortofrutícolas por la gran cantidad de subproductos que se generan en todo el mundo. En la Tabla 2 se detallan estudios relacionados con la obtención de biomasa empleando subproductos hortofrutícolas.

4. Otras aplicaciones: piensos, fertilizantes y energía

Según datos publicados por la ONU, la población mundial llegará a 8.600 millones en 2030 y seguirá aumentando hasta llegar a 9.800 millones en 2050⁴⁵. Este aumento de población junto al de ingresos y estilos de vida dará como resultado una demanda creciente de productos ganaderos como leche o carne. Esto va a suponer una considerable exigencia de materias primas para fabricación de piensos⁴⁶. El sector ganadero es actualmente el mayor usuario de recursos de tierras del mundo con el uso de casi el 80 % de los terrenos agrícolas para la producción de piensos.

En consecuencia, se debe utilizar con eficiencia los recursos alimenticios disponibles como requisito clave para una producción pecuaria sostenible que sirve de sustento a la creciente población, incluyendo subproductos, además de ampliar la gama de materias primas como base de la producción de pienso, en particular los que no compiten con la alimentación humana. En 2015-16, alrededor del 35 % de los cereales producidos en el mundo se utilizaron para la elaboración de piensos⁴⁷. Sin embargo, muchos estudios han demostrado que es posible sustituir todo o parte de los cereales en la alimentación animal por diversos subproductos de frutas y verduras que, además, tienen un alto valor energético⁴⁸. Actualmente, existe una gran cantidad de subproductos de frutas y verduras disponibles en todo el mundo que podrían utilizarse como materia prima para la producción de piensos. Angulo y colaboradores⁴⁹ concluyeron que los subproductos de frutas y hortalizas son una materia prima idónea para la elaboración de piensos dirigida a bovinos. San Martín y colaboradores⁵⁰ demostraron que los desechos vegetales son nutricionalmente apropiados para la alimentación de los animales. Por otro lado, el estudio mostró el alto contenido de agua en este tipo de subproductos. Para solventar este inconveniente se puede usar un proceso de ensilaje para estabilizar los subproductos de frutas

⁴⁴ CHÁVARRI *et al.* (2010).

⁴⁵ ONU (2017).

⁴⁶ FAO (2013).

⁴⁷ FAO (2017).

⁴⁸ GEOFFROY (1985).

⁴⁹ ANGULO *et al.* (2012).

⁵⁰ SAN MARTÍN *et al.* (2016).

y verduras. El ensilado es un forraje fermentado de alta humedad que puede emplearse para alimentar al ganado bovino, ovino y otros rumiantes.

Este proceso ha sido implementado con éxito por la empresa TRASA (Tratamientos Subproductos Agroalimentarios SL). Esta empresa fabrica piensos con los subproductos de la industria transformadora de frutas y hortalizas en el Valle del Ebro, cuya capacidad de producción es de aproximadamente 40.000 toneladas de pienso/año.

Otra oportunidad para la valorización representa la recuperación de la energía y los nutrientes contenidos en los subproductos de frutas y verduras. Puesto que los niveles de humedad son bastante altos, la digestión anaeróbica ofrece una buena alternativa para tratar estos subproductos. La digestión anaeróbica es un proceso microbiológico en el cual la materia orgánica es degradada por microorganismos en ausencia de oxígeno.

La materia de entrada se convierte en gran medida en biogás, una mezcla de CH_4 y CO_2 , y lodo de digestión (digestato). El biogás puede ser purificado e inyectado en la red de gas natural o quemado en el sitio para la producción de electricidad y calor.

Dependiendo del material de entrada y la aplicación deseada, el digestato se puede usar directamente como fertilizante orgánico o se puede convertir en compost, reciclando los nutrientes de la planta al suelo. La digestión anaeróbica es, por lo tanto, una tecnología de valorización que conduce tanto a la recuperación de energía como al reciclaje de nutrientes, cerrando así los ciclos naturales⁵¹.

Además de la recuperación de energía y nutrientes, los subproductos de frutas y vegetales también podrían transformarse en otros compuestos de valor añadido a través de la digestión anaeróbica. El uso de residuos de frutas y verduras en la digestión anaeróbica conduce a una acidificación rápida, disminuyendo el pH en el reactor y produciendo ácidos grasos volátiles (AGV)⁵². Estos AGV se pueden recuperar y utilizar como fuente de carbono para otros enfoques de fermentación de valor agregado como los implementados en el proyecto de investigación financiado con fondos europeos VOLATILE⁵³.

5. Conclusiones

Ante una situación mundial de crecimiento de la población, la demanda de recursos va ir en aumento y por ello se hace necesario la búsqueda de materias primas alternativas que permitan garantizar la biodiversidad de la tierra y cubrir las necesidades de la población. Ante ello, se hace necesario sustituir la idea actual de consumo lineal basada en el usar y tirar por una bioeconomía circular, en la que los subproductos se conviertan en nuevas materias primas para la generación de productos de alto valor y sean reintroducidos en la cadena de consumo.

⁵¹ MORTIER *et al.* (2016).

⁵² MISE *et al.* (2001) y BOUALLAGUI *et al.* (2005).

⁵³ VOLATILE (2016).

En este sentido, los subproductos generados en los procesos de transformación de hortalizas, frutas y vegetales han mostrado un alto potencial para la obtención de productos de alto valor añadido tanto mediante procesos biotecnológicos, como mediante procesos de extracción. Así, para ciertos subproductos se han desarrollado procesos adecuados para la obtención de ingredientes alimentarios, ácidos orgánicos, enzimas, biopolímeros. Y en todos los casos, es posible su empleo para el desarrollo de una economía circular generando finalmente, piensos, fertilizantes o biogás, optimizando el empleo de materias primas y cerrando el ciclo de vida de los productos.

Referencias bibliográficas

- ABU-REIDAH, I. M.; ARRÁEZ-ROMÁN, D.; WARAD, I.; FERNÁNDEZ-GUTIÉRREZ, A. y SEGURA-CARRETERO, A. (2017): «UHPLC/MS2-based approach for the comprehensive metabolite profiling of bean (*Vicia faba* L.) by-products: A promising source of bioactive constituents»; en *Food Research International* (93); pp. 87-96.
- ALI, H. K. Q. y ZULKALI, M. M. D. (2011): «Utilization of agro-residual ligno-cellulosic substances by using solid state fermentation: a review»; en *Croat J Food Technol Biotechnol Nutr* (6-1/2); pp. 5-12.
- ANGULO, J.; MAHECHA, L.; YEPES, S. A.; YEPES, A. M.; BUSTAMANTE, G.; JARAMILLO, H.; VALENCIA, E.; VILLAMIL, T. y GALLO, J. (2012): «Quantitative and nutritional characterization of fruit and vegetable waste from Marketplace: A potential use as bovine feedstuff?»; en *Journal of Environmental Management* (95); pp. 5203-9.
- AZORÍN-ORTUÑO, M.; URBÁN, C.; CERÓN, J. J.; TECLES, F.; ALLENDE, A.; TOMÁS-BARBERÁN, F. A. y ESPÍN, J. C. (2009): «Effect of low inulin doses with different polymerisation degree on lipid metabolism, mineral absorption, and intestinal microbiota in rats with fat supplemented diet»; en *Food Chemistry* (113); pp.1058-65.
- BARBOSA, H. M. A.; DE MELO, M. M. R.; COIMBRA, M. A.; PASSOS, C. P. y SILVA, C. M. (2014): «Optimization of the supercritical fluid coextraction of oil and diterpenes from spent coffee grounds using experimental design and response surface methodology»; en *J. Supercrit. Fluids* (85); pp. 165-72.
- BESBES, S.; CHEIKHROUHOU, S.; BLECKER, C.; DEROANNE, C.; LOGNAY, G. y DRIRA, N. E. (2006): «Voies de valorisation des sous produits de dattes: valorisation de la pulpe»; en *Microbiologie Hygiène Alimentaire* (18); pp. 3-7.
- BOUALLAGUI, H.; TOUHAMI, Y.; BEN CHEIKH, R. y HAMDIA, M. (2005): «Review - Bioreactor performance in anaerobic digestion of fruit and vegetable wastes»; en *Process Biochemistry* (40); pp. 989-95.

- BUCIĆ-KOJIĆ, A. *et al.* (2009): «Influence of solvent and temperature on extraction of phenolic compounds from grape seed, antioxidant activity and colour of extract»; en *International Journal of Food Science & Technology* (44); pp. 2394-2401.
- CASPETA, L.; BUIJS, N. A. A. y NIELSEN, J. (2013): «The role of biofuels in the future energy supply»; en *Energy & Environmental Science* (6-4); pp. 1077-82.
- CHANDRASEKARAN, M. y BAHKALI, A. H. (2013): «Valorization of date palm (*Phoenix dactylifera*) fruit processing by-products and wastes using bioprocess technology - Review»; en *Saudi Journal of Biological Sciences* (20-2); pp. 105-20.
- CHAPMAN-SMITH, A. y CRONAN, J. E. (1999): «The enzymatic biotinylation of proteins: a post-translational modification of exceptional specificity»; en *Biochemical Sciences* (24-9); pp. 359-63.
- CHÁVARRI, M.; MARAÑÓN, I.; ARES, R.; IBÁÑEZ, F. C.; MARZO, F. y VILLARÁN, M. C. (2010): «Microencapsulation of a probiotic and prebiotic in alginate-chitosan capsules improves survival in simulated gastro-intestinal conditions»; en *International Journal of Food Microbiology* (142-1); pp. 185-9.
- COLEGATE, S. M. y MOLYNEUX, R. J. (2011): «An introduction and overview», en COLEGATE, S. M. y MOLYNEUX, R. J., ed.: *Bioactive Natural Products: Detection Isolation and Structural Determination*, CRC; pp. 1-9.
- DA SILVA, RUI P. F. F.; ROCHA-SANTOS, T. A. P. y DUARTE, A. C. (2016): «Supercritical fluid extraction of bioactive compounds»; en *Trends in Analytical Chemistry* (76); pp. 40-51.
- DABHI, B. K.; VYAS, R. V. y SHELAT, H. N. (2014): «Use of banana waste for the production of cellulolytic enzymes under solid substrate fermentation using bacterial consortium»; en *Int J Curr Microbiol App Sci* (3-1); pp. 337-46.
- DAI, Y.; VAN SPRONSEN, J.; WITKAMP, G. J.; VERPOORTE, R. y CHOI, Y. H. (2013): «Natural deep eutectic solvents as new potential media for green technology»; en *Analytica Chimica Acta* (766); pp. 61-8.
- DESA U. N. (2017): «World Population Prospects: The 2017 Revision. Key Findings and Advance Tables»; *Working Paper No. ESA/P/WP/248*.
- ELSANHOTY R. M.; AL-TURKI, I. A. y RAMADAN, M. F. (2012): «Screening of medium components by Plackett-Burman design for carotenoid production using date (*Phoenix dactylifera*) wastes»; en *Ind Crops Prod* (36); pp. 313-20.
- ESPINOSA (2006): «Procedimiento de obtención del licopeno a partir de pieles y semillas de tomate»; *WO2006032712 A1*.
- EUROSTAT (2017): «Producción agrícola-cultivos»; en *Estadísticas de agricultura, silvicultura y pesca - edición 2017*. Disponible en http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Agricultural_production_-_crops#Further_Eurostat_information.

- FAO (2011): «Global food losses and food waste - Extent, causes and prevention»; Rome.
- FAO (2013): «Utilization of fruit and vegetable wastes as livestock feed and as substrates for generation of other value-added products»; *RAP Publication* (2013/04). Disponible en <http://www.fao.org/docrep/018/i3273e/i3273e00.htm>.
- FAO (2017): *Food Outlook - Biannual report on global food market*.
- FUNDACIÓN PARA LA ECONOMÍA CIRCULAR (2017): en http://economiecircular.org/wp/?page_id=62.
- GEOFFROY, F. (1987): «Fruits and fruit by-products as cereal substitutes in animal feeding»; In *Proceedings of the FAO Expert Consultation on the Substitution of Imported Concentrate Feeds in Animal Production Systems in Developing Countries*. Bangkok, FAO; pp. 9-13.
- GUNTERO, V. A.; LONGO, M. B.; CIPARICCI, S. A.; MARTINI, R. E. y ANDREATTA, A. E. (2015): «Comparación de métodos de extracción de polifenoles a partir de residuos de la industria Vitivinícola». Argentina, Buenos Aires, CAIQ2015 - VIII Congreso Argentino de Ingeniería Química.
- GUO, X. M.; TRABLY, E.; LATRILLE, E.; CARRÈRE, H. y STEYER, J. P. (2010): «Hydrogen production from agricultural waste by dark fermentation: A review»; en *International Journal of Hydrogen Energy* (35-19); pp. 10660-73.
- GUPTA, N. y KUSHWAHA, H. (2011): *Date palm as a source of bioethanol producing microorganisms*. Netherlands, Springer.
- HAAS, C.; STEINWANDTER, V.; DIAZ DE APODACA, E.; MAESTRO MADURGA, B.; SMERILLI, M.; DIETRICH, T. y NEUREITER M. (2015): «Production of PHB from Chicory Roots - Comparison of Three *Cupriavidus necator* Strains»; *Chemical and biochemical engineering quarterly* (29-2); pp. 99-112. Disponible en: <https://doi.org/10.15255/CABEQ.2014.2250>.
- HAVSTEEN, B. (2002): «The biochemistry and medical significance of the flavonoids»; *Pharmacol & Therapeutics* (96); pp. 67-202.
- JIAO, J.; WEI, F. Y.; GAI, Q. Y.; WANG, W.; LUO, M.; FU, Y. J. *et al.* (2014). «A pilot-scale homogenization-assisted negative pressure cavitation extraction of Astragalus polysaccharides»; en *International Journal of Biological Macromolecules* (67); pp. 189-94.
- KHAN, J. A.; ABULNAJA, K. O.; KUMOSANI, T. A. y ABOU-ZAID A. Z. A. (1995): «Utilization of Saudi date sugars in production of baker's yeast»; en *Bioresource Technology* (53-1); pp. 63-6.
- KHAN, J. A.; ABULNAJA, K. O.; KUMOSANI, T. A. y ABOU-ZAID, A. Z. A. (1995): «Utilization of Saudi date sugars in production of baker's yeast»; en *Bioresource Technology* (53-1); pp. 63-6.
- KOYU, H.; KAZAN, A.; OZTURK, T. K.; YESIL-CELIK TAS, O. y HAZNEDAROGLU, M. Z. (2017): «Optimizing subcritical water extraction of *Morus nigra* L. fruits for maximization of tyrosinase inhibitory activity»; en *J. Supercrit. Fluids* (127); pp. 15-22.

- KUMAR, D.; YADAV, K. K.; MUTHUKUMA R. M. y GARG, N. (2013): «Production and characterization of alpha-amylase from mango kernel by *Fusarium solani* NAIMCC-F-02956 using submerged fermentation»; en *Journal of environmental biology* (34-6); pp. 1053-8.
- LATTÉ, K. P.; APPEL, K. E. y LAMPEN, A. (2011): «Health benefits and possible risks of broccoli - An overview»; en *Food and Chemical Toxicology* (49); pp. 3287-309.
- LAUFENBERG, G.; KUNZ, B. y NYSTROEM, M. (2003): «Transformation of vegetable waste into value added products: (A) the up grading concept; (B) practical implementations»; en *Bioresource Technology* (87); pp. 167-98.
- LIU, W.; FU, Y.; ZU, Y.; KONG, Y.; ZHANG, L.; ZU, B. *et al.* (2009): «Negative-pressure cavitation extraction for the determination of flavonoids in pigeon pea leaves by liquid chromatography-tandem mass spectrometry»; en *J. Chromatogr. A.* (1216); pp. 3841-50.
- LÓPEZ-MOLINA, D.; NAVARRO-MARTÍNEZ, M. D.; ROJAS MELGAREJO, F.; HINER, A. N. P.; CHAZARRA, S. y RODRÍGUEZ-LÓPEZ, J. N. (2005): «Molecular properties and prebiotic effect of inulin obtained from artichoke (*Cynara scolymus* L.)»; en *Phytochemistry* (66); pp. 1476-84.
- MAZZOLI, R.; BOSCO, F.; MIZRAHI, I.; BAYER, E. A. y PESSIONE, E. (2014): «Towards lactic acid bacteria-based biorefineries»; en *Biotechnology Advances* (32-7); pp. 1216-36.
- MISI, S. N. y FORSTER, C. F. (2001): «Batch co-digestion of multi-component agro-wastes»; en *Bioresource Technology* (80); pp. 19-28.
- MORTIER, N.; VELGHE, F. y VERSTICHEL, S. (2016): «Organic Recycling of Agricultural Waste Today: Composting and Anaerobic Digestion»; en PALMIRO POLTRONIERI, P. y FERNÁNDO D'URSO, O., dir.: *Biotransformation of Agricultural Waste and By-Products - The Food, Feed, Fibre, Fuel (4F) Economy*; pp. 69-124.
- MOUNA IMEN, O. y MAHMOUD, K. (2015): «Statistical optimization of cultural conditions of an halophilic alpha-amylase production by halophilic *Streptomyces* sp. grown on orange waste powder»; en *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology* (4-4); pp. 685-93.
- MRUDULA, S. y SHYAM, N. (2012): «Immobilization of *Bacillus megaterium* MTCC 2444 by Ca-alginate entrapment method for enhanced alkaline protease production»; en *Brazilian Archives of Biology and Technology* (55); pp. 135-44.
- MUDALIYAR, P.; SHARMA, L. y KULKARNI, C. (2012): «Food waste management-lactic acid production by *Lactobacillus* species»; en *Int. J. Adv. Biol. Res.* (1); pp. 34-8.
- MUSSATTO, S. I.; BALLESTEROS, L. F.; MARTINS, S. y TEIXEIRA, J. A. (2012): «Use of agro-industrial wastes» en *solid-state fermentation processes*. Croacia, Intech.
- NELSON, D. L. y COX, M. M. (2004): *Lehninger Principles of Biochemistry*. Nueva York. 4.ª edición. WH Freeman Publishers.

- NORSALWANI, T. L. T. y NORULAINI, N. A. N. (2012): «Utilization of lignocellulosic wastes as a carbon source for the production of bacterial cellulases under solid state fermentation»; en *Int. J. Env. Sci. Dev.* (3-2); pp. 136-40.
- O'CONNELL, O. F.; RYAN, L. y O'BRIEN, N.M. (2007): «Xanthophyll carotenoids are more bioaccessible from fruits than dark green vegetables»; en *Nutrition Research* (27-7); pp. 258-64.
- ONU (2015): «ONU aboga por un consume sostenible en el Día Mundial del Medio Ambiente»; en <http://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/06/en-el-dia-mundial-del-medio-ambiente-onu-pide-cambios-en-el-consumo-humano/>.
- ONU (2017): «World Population Prospects: The 2017 Revision, Key Findings and Advance Tables»; en *Working Paper* No. ESA/P/WP/248. Nueva York, United Nations.
- OYELEKE, S. B. OYEWOLE, O. A. y EGWIM, E. C. (2011): «Production of Protease and Amylase from *Bacillus subtilis* and *Aspergillus niger* Using *Parkia biglobosa* (Africa Locust Beans) as Substrate in Solid State Fermentation»; en *Advances in Life Sciences* (1-2); pp. 49-53.
- PAINI, M. *et al.* (2016): «Influence of ethanol/water ratio in ultrasound and high-pressure/high-temperature phenolic compound extraction from agri-food waste»; en *International Journal of Food Science and Technology* (51-2); pp. 349-58.
- PANDA, S. K.; MISHRA, S. S.; KAYITESI, E. y RAY, R. C. (2016): «Microbial-processing of fruit and vegetable wastes for production of vital enzymes and organic acids: Biotechnology and scopes»; en *Environmental Research* (146); pp. 161-72.
- PARLAMENTO EUROPEO (2008): «Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 19 de noviembre de 2008 sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas».
- PETKOWICZ, C. L. O.; VRIESMANN, L. C. y WILLIAMS, P. A. (2017): «Pectins from food waste: Extraction, characterization and properties of watermelon rind pectin»; en *Food Hydrocolloids* (65); pp. 57-67.
- PFALTZGRAFF, L. A.; DE BRUYN, M.; COOPER, E. C.; BUDARIN, V. y CLARK, J. H. (2013): «Food waste biomass: a resource for high-value chemicals»; en *Green Chemistry* (15-2); pp. 307-14.
- PRABHA, M. S. y RANGAIAH, G. S. (2014): «Citric acid production using *Ananas comosus* and its waste with the effect of alcohols»; en *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.* (3-5); pp. 747-54.
- PROMMAJAK, T.; LEKSAWASDI, N. y RATTANAPANONE, N. (2014): «Biotechnological valorization of cashew apple: a review»; en *Chiang Mai University Journal of Natural Sciences* (13-2); pp. 159-82.

- RADHA, S.; SRIDEVI, A.; HIMAKIRANBABU, R.; NITHYA, V. J.; PRASAD, N. B. L.; NARASIMHA, G. *et al.* (2012): «Medium Optimization for Acid protease production from *Aspergillus* sps under Solid state fermentation and mathematical modelling of protease activity»; en *J. Microbiol. Biotech. Res.* (2-1); pp. 6-16.
- RAY, R. C. y WARD, O.P. (2006): *Postharvest microbial biotechnology of tropical root and tuber crops*. EEUU, N. H., Science Publishers.
- ROOHINEJAD, S.; KOUBAA, M.; BARBA F. J.; GREINE, R.; ORLIEN V. y LBOVKA N. I (2016): «Negative pressure cavitation extraction: A novel method for extraction of food bioactive compounds from plant materials»; en *Trends in Food Science & Technology* (52); pp. 98-108.
- RUIZ ACEITUNO, L. (2015): *Nuevos métodos de extracción y fraccionamiento de carbohidratos bioactivos*; Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Madrid.
- SALAH, R. B.; JAOUADI, B.; BOUAZIZ, A.; CHAARI, K.; BLECKER, C.; DERROUANE, C.; ATTIA, H. y BESBES, S. (2011): «Fermentation of date palm juice by curdlan gum production from *Rhizobium radiobacter* ATCC 466: purification, rheological and physico-chemical characterization»; en *LWT-Food Sci. Technol.* (44); pp. 1026-34.
- SAN MARTIN, D.; RAMOS, S. y ZUFIA, J. (2016): «Valorisation of food waste to produce new raw materials for animal feed»; en *Food Chemistry* (198); pp. 68-74.
- SAUER, M.; PORRO, D.; MATTANOVICH, D. y BRANDUARDI, P. (2008): «Microbial production of organic acids: expanding the markets»; en *Biotechnology* (26-2); pp. 100-8.
- SCANO, E. A.; ASQUER, C.; PISTIS, A.; ORTU, L.; DEMONTIS, V. y COCCO, D. (2014): «Biogas from anaerobic digestion of fruit and vegetable wastes: Experimental results on pilot-scale and preliminary performance evaluation of a full-scale power plant»; en *Energy Conversion and Management* (77); pp. 22-30.
- SHAHRAVY, A.; TABANDEH, F.; BAMBAL, B.; ZAMANIZADEH, H. R. y MIZANI, M. (2012): «Optimization of probiotic *Lactobacillus casei* ATCC 334 production using date powder as carbon source»; en *Chem. Ind. Chem. Eng.* (18); pp. 273-82.
- SHAIKH, Z. y QURESHI, P. (2013): «Screening and isolation of organic acid producers from samples of diverse habitats»; en *Int. J. Curr. Microbiol. Appl.* (2-9); pp. 39-44.
- SILVA DE LIMA, J.; CRUZ, R.; FONSECA, J. C.; VALENTE DE MEDEIROS, E.; MACIEL, M. H. C. *et al.* (2014): «Production, Characterization of Tannase from *Penicillium montanense* URM 6286 under SSF Using Agroindustrial Wastes, and Application in the Clarification of Grape Juice (*Vitis vinifera* L.)»; en *The Scientific World Journal*; pp. 1-9.
- SKREDE, G. y WROLSTAD, R. E. (2002): «Flavonoides from Berries and Grapes»; en SHI, J. MAZZA, G. y MAGUER, M., LE: *Functionals Foods: Biochemical and Processing Aspects*. Nueva York, D. Boca Raton L.; pp. 71-133.

- SOCACI, S. A.; RUGINA, O. R.; DIACONEASA, Z. M.; POP, O. L.; FĂRCAȘ, A. C.; PĂUCEAN, A.; TOFANĂ, M. y PINTEA, A. (2017): «Compuestos antioxidantes recuperados de desechos alimenticios»; en CHAVARRI, M., ed.: *Alimentos funcionales: mejorar la salud a través de una alimentación adecuada*. Croacia, InTech; pp. 3-21.
- SONG, Y.; NGUYEN, Q. A.; WI, S. G.; YANG, J. y BAE, H. J. (2017): «Strategy for dual production of bioethanol and d-psicose as value-added products from cruciferous vegetable residue»; en *Bioresource Technology* (223); pp. 34-9.
- SPIGNO, G.; TRAMELLI, L. y DE FAVERI, D. M. (2007): «Effects of extraction time, temperature and solvent on concentration and antioxidant activity of grape marc phenolics»; en *Journal of Food Engineering* 81(1); pp. 200-8.
- ŠVARC-GAJIĆ, J.; CVETANOVIĆ, A.; SEGURA-CARRETERO, A.; BORRÁS LINARES, I. y MAŠKOVIĆ, P. (2017): «Characterisation of ginger extracts obtained by subcritical water»; en *J. Supercrit. Fluids* (123); pp. 92-100.
- TAURISANO, V.; ANZELMO, G.; POLI, A.; NICOLAUS, B. y DI DONATO P. (2014): «Re-use of Agro-industrial Waste: Recovery of Valuable Compounds by Eco-friendly Techniques»; en *International Journal of Performability Engineering* (10-4); pp. 419-425.
- TECNALIA RESEARCH & INNOVATION (2017): «Formulation of Glucosinolates and Myrosinase»; WO 2017/016906 A1.
- TORRES VASQUES, M. (2017): *Evaluación de los parámetros de extracción con CO₂ supercrítico que influyen en la obtención del caroteno a partir de la cascara de zanahoria (daucus carota)*; Tesis doctoral. Perú, Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo.
- TRANSBIO (2011-2015): «BioTRANSformation of by-products from fruit and vegetable processing industry into valuable BIOproducts (GA n.º 289603)»; CORDIS; recuperado de http://cordis.europa.eu/project/rcn/101135_en.html.
- UNAKAL, C. G.; KALLUR, R. I. y KALIWAL, B. (2012): «Production of α -amylase using banana waste by *Bacillus subtilis* under solid state fermentation» in *European Journal of Experimental Biology* (2-4); pp.1044-52.
- VINATORU, M.; MASON, T. J. y CALINESCU, I. (2017): «Ultrasonically assisted extraction (UAE) and microwave assisted extraction (MAE) of functional compounds from plant materials»; en *Trends in Analytical Chemistry* (97); pp. 159-78.
- VINATORU, M.; TOMA, M. y MASON, T. J. (1999): «Ultrasonically Assisted Extraction of Bioactive Principles from Plants and Their Constituents»; en *JAI Press Inc., Stamford, Connecticut* (06904-0811); pp. 209.
- VOLATILE (2016-2020): «Biowaste derived volatile fatty acid platform for biopolymers, bioactive compounds and chemical building blocks (GA n.º 720777)»; CORDIS; recuperado de http://cordis.europa.eu/project/rcn/206563_en.html.

ZHANG, D. Y.; ZHANG, S.; ZU, Y. G.; FU, Y. J.; KONG, Y.; GAO, Y. *et al.* (2010): «Negative pressure cavitation extraction and antioxidant activity of genistein and genistin from the roots of pigeon pea (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.)»; en *Separation and Purification Technology* (74); pp. 261-70.