



1 de diciembre de 2014 | Vol. 15 | Núm. 12 | ISSN 1607 - 6079

ARTÍCULO

ENZIMAS EN LA VALORIZACIÓN DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES

Leticia Casas Godoy (Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C., CIATEJ) y Georgina Coral Sandoval Fabián (Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C., CIATEJ)

ENZIMAS EN LA VALORIZACIÓN DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES

Resumen

La industria agrícola y la alimentaria son de las más importantes a nivel mundial. El procesamiento de alimentos genera grandes cantidades de residuos agroindustriales que en la mayoría de los casos no son aprovechados. Estos residuos suelen utilizarse para la extracción y recuperación de compuestos bioactivos, la producción de enzimas, antibióticos, hongos comestibles, ácidos orgánicos y biocombustibles, como alimento para animales y para la producción de composta. Además, son ricos en compuestos orgánicos, muchos de ellos con alto valor agregado como fibras dietéticas, pigmentos, pectinas, oligosacáridos,

flavonoides, carotenoides, compuestos fenólicos, tocoferoles y vitaminas. Las enzimas son una alternativa ecológicamente amigable para la extracción de estos compuestos. Los residuos más utilizados en la actualidad provienen de frutas y mariscos. A través de transformaciones enzimáticas, los compuestos bioactivos extraídos de los residuos son empleados para la síntesis de nutraceuticos. Estas moléculas son de interés ya que mejoran las propiedades de los compuestos bioactivos de los que se obtienen.

Palabras clave: Enzimas, residuos agroindustriales, compuestos bioactivos, nutraceuticos, fenoles, carotenoides.

“ La aplicaciones de las enzimas para la extracción de moléculas bioactivas, a partir de residuos agroindustriales, representa una metodología viable para su valorización. ”

ENZYMES FOR THE VALORIZATION OF AGROINDUSTRIAL WASTE

Abstract

Food and agricultural industries are two of the most important industries worldwide. Food processing generates large quantities of agroindustrial waste, which in most cases is not used as valuable resources. Most of this waste is used for the extraction and recovery of bioactive compounds, the production of enzymes, antibiotics, edible fungi, organic acids and biofuels, as animal feed and for the production of compost. It is also rich in organic substances, many of them with high added value such as dietary fibers, pigments, pectins, oligosaccharides, flavonoids, carotenoids, phenolic compounds, tocopherol and vitamins. Enzymes represent an ecologically friendly option for the extraction of these substances. Currently the most exploited waste is obtained from the fruit and seafood industries. Through enzymatic transformations, bioactive compounds extracted from the waste are converted into nutraceuticals. These molecules have improved properties compared to the original ones.

Keywords: *Enzymes, agroindustrial waste, bioactive compounds, nutraceuticals, phenols, carotenoids.*

ENZIMAS EN LA VALORIZACIÓN DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES

INTRODUCCIÓN

La industria agrícola y todas las industrias de transformación que se derivan de ella generan grandes cantidades de residuos agroindustriales. Estos se pueden definir como todos aquellos materiales con contenido orgánico que se generan a partir de un proceso agrícola, su procesamiento o su comercialización. Por ejemplo, la producción y procesamiento de frutas y cereales ha crecido a nivel mundial, por lo que la generación de estos residuos sigue en aumento.

En las últimas décadas, los investigadores han trabajado en técnicas para el aprovechamiento y la valorización de los residuos agroindustriales, utilizando principalmente técnicas biotecnológicas. Una de las más prometedoras en este ámbito es el uso de enzimas para su procesamiento y extracción de productos de alto valor agregado.

Residuos agroindustriales

Los residuos agroindustriales se caracterizan por no ser de interés en el proceso que los generó, pero pueden utilizarse o transformarse para generar un producto con valor comercial (SAVAL, 2012). Las tecnologías actuales deben ser capaces de recuperar, reciclar y dar sustentabilidad a la obtención de ingredientes de alto valor agregado (GALANAKIS, 2012), los cuales se pueden utilizar en la industria alimenticia o farmacéutica.

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés), a nivel mundial se desperdicia aproximadamente una tercera parte de los alimentos generados para consumo humano (GALANAKIS, 2012). Este tipo de residuos se genera desde el campo de cultivo hasta la etapa de comercialización. Debido a la gran variedad de residuos que se puede obtener, es importante mencionar que con el fin de explotarlos eficientemente es necesario realizar la identificación, cuantificación y caracterización de los mismos (MIRABELLA *et al.*, 2014). También es necesario considerar que la mayoría de los residuos agroindustriales son regionales y por temporadas, por lo que las características de los mismos pueden cambiar según el caso.

Los residuos agroindustriales pueden ser de origen animal o vegetal, y se pueden dividir en siete grupos: (I) cereales, (II) raíces y tubérculos, (III) plantas oleaginosas, (IV) frutas y verduras, (V) productos cárnicos, (VI) pescados y mariscos y (VII) productos lácteos (GALANAKIS, 2012). Los principales ingredientes que se extraen de los residuos se presentan en la Tabla 1. En México, los residuos que se obtienen a partir de cultivos principales incluyen maíz, trigo, sorgo, frijol, arroz, soya, caña, cebada y cacahuate, mientras que dentro de los productos secundarios están el algodón cártamo, agave, maguey y café (VALDEZ-VAZQUEZ *et al.*, 2010).

Las aplicaciones que se le ha dado a este tipo de residuos se pueden clasificar en cuatro grupos: (I) pre-tratamiento, extracción y recuperación de compuestos bioactivos

e ingredientes alimenticios (fibras dietéticas, pigmentos, pectinas, oligosacáridos, flavonoides, carotenoides, compuestos fenólicos, tocoferoles y vitaminas); (II) producción de enzimas, antibióticos, hongos comestibles, ácidos orgánicos y biocombustibles; (III) producción de alimento para animales y (IV) producción de composta (AYALA-ZAVALA *et al.*, 2011; CHANDRASEKARAN *et al.*, 2013; FEDERICI *et al.*, 2009; GALANAKIS, 2012). Dentro de estas aplicaciones, las enzimas representan una herramienta muy útil para el pretratamiento, extracción y recuperación de compuestos con alto valor agregado.

Tabla 1. Principales ingredientes extraídos de residuos industriales (GALANAKIS, 2012).

Origen del residuo	Ingrediente de interés	Origen del residuo	Ingrediente de interés
<i>Cereales</i>	Albúmina, globulina, hemicelulosa, fibras insolubles, arabinosilanos, beta-glucanos, glucosa, arabinosa, galactosa	<i>Frutas y verduras</i>	Hesperidina, limoneno, pectina, fenoles, fibra dietética, tartrato de calcio, beta-caroteno, licopeno, carotenoides, pectina
<i>Raíces y tubérculos</i>	Arabinosilanos, fenoles, ácidos orgánicos	<i>Producto cárnico</i>	Proteínas, hidrolizados de proteínas
<i>Plantas oleaginosas</i>	Fitoesteroles, albúmina, fenoles, pectina	<i>Productos lácteos</i>	Lactosa, beta-lactoglobulina, alfa-lactalbúmina
<i>Pescados y</i>	Proteínas, lípidos, quitina,		

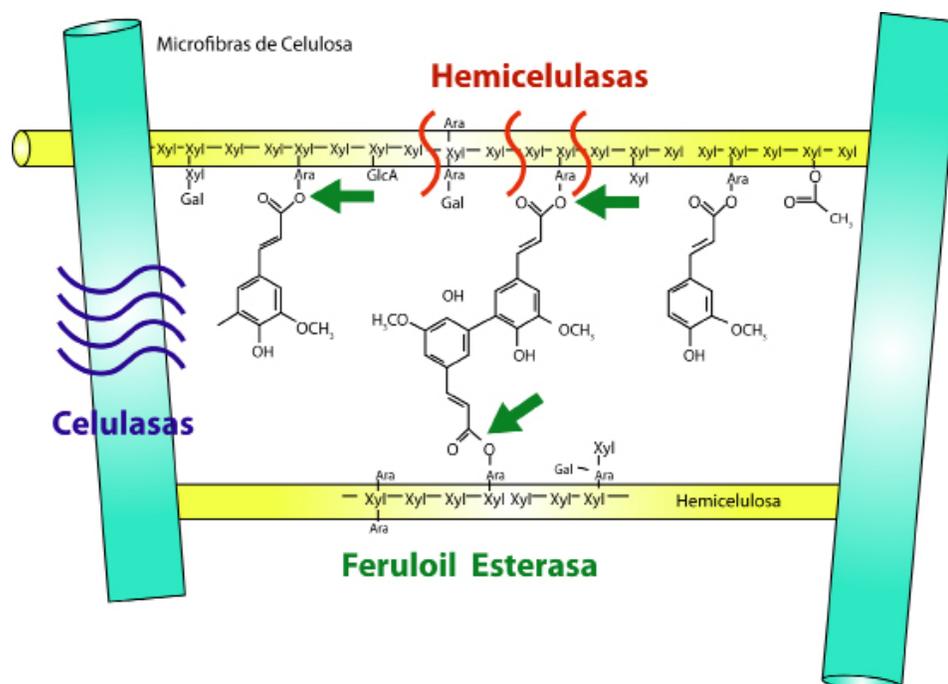
Uso de enzimas

Las enzimas son proteínas que se encuentran ampliamente distribuidas en la naturaleza y que han sido utilizadas a lo largo de la historia, principalmente en las industrias farmacéuticas y alimenticias. Su uso en la extracción de compuestos bioactivos es una alternativa ecológicamente amigable en comparación con los métodos de extracción tradicionales que utilizan solventes. Las enzimas tienen ventajas sobre los tratamientos químicos, ya que son catalizadores altamente específicos y trabajan en condiciones de reacción moderadas, lo cual se traduce en una menor generación de residuos y subproductos, así como en un menor consumo de energía. Por lo tanto, las enzimas pueden utilizarse en el pretratamiento de los residuos, la extracción de compuestos e incluso en la modificación y síntesis de nuevas moléculas a partir de los compuestos bioactivos (PURI *et al.*, 2012). Estos compuestos son moléculas que en el cuerpo humano tienen beneficios para la salud, como la prevención de cáncer y enfermedades del corazón, por lo que son de interés para diferentes industrias.

Valorización de cáscaras y semillas

En la mayoría de los procesos industriales que involucran frutas, las cáscaras y las semillas suelen ser consideradas un residuo. Los residuos lignocelulósicos comprenden toda la materia seca que se recupera de las plantas, y sus componentes principales son polímeros como la celulosa, hemicelulosa y lignina. Los diferentes polímeros de la pared celular interactúan entre ellos formando redes (Figura 1) (HERMOSO *et al.*, 2004). Por ejemplo, las hebras de hemicelulosa se encuentra unidas covalentemente entre sí por enlaces fenólicos, a través de moléculas de ácidos ferúlico y *p*-cumárico (HERMOSO *et al.*, 2004). Las enzimas que tienen aplicación en la valorización de estos residuos son aquellas capaces de hidrolizar los enlaces químicos presentes en las membranas y paredes celulares, facilitando la extracción de las moléculas de interés, tales como los compuestos bioactivos (PINELO *et al.*, 2006). A continuación se presentan algunos ejemplos de enzimas como celulasas, pectinasas, hemicelulasas y feruloil esterases aplicadas a la valorización de cáscaras y semillas.

Figura 1. Representación gráfica de una pared celular con heteroxilanos ferulados, hemicelulosa y microfibras de celulosa. Se indican las zonas donde actúan las celulasas, hemicelulasas y feruloil esterases. Adaptado de Hermoso *et al.* (2004).



Tomate. Los tomates son una de las principales fuentes de licopeno, un carotenoide con alto valor nutricional (CHOUDHARI *et al.*, 2007). El licopeno es un antioxidante natural que ha demostrado tener la habilidad de modular el sistema inmune, inhibir ciertos tipos de cáncer como el de próstata, estómago y pulmón, así como de disminuir el riesgo de enfermedades degenerativas (CHOUDHARI *et al.*, 2007; CUCCOLINI *et al.*, 2013; DEGHAN-SHOAR *et al.*, 2011). Por estas razones, tiene una gran demanda en las industrias farmacéuticas, alimenticias y de cosméticos. En el tomate, entre el 72 y 92% del licopeno se encuentra dentro de las células, asociado a la fracción insoluble en agua y la cáscara

(SHARMA *et al.*, 1996), por lo que su obtención a partir de los desechos de tomate es un alternativa viable.

La enzimas hidrolíticas, como celulasas y pectinasas, se han utilizado para favorecer la degradación de la pared de las células y poder extraer de manera más eficiente al licopeno (Figura 2). Como se observa en la Tabla, 2 es posible obtener este antioxidante a partir de tomates enteros, cáscara de tomates, desecho de pulpa y otros residuos de la industria de esta fruta: también resalta que es importante elegir el tipo de enzima a utilizar dependiendo del residuo, con el fin de obtener la mayor cantidad de licopeno.

Figura 2. Representación gráfica de la extracción enzimática de licopeno a partir de residuos de tomate.

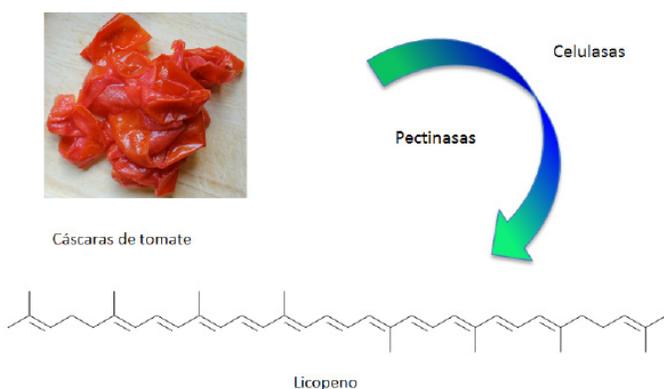


Tabla 2. Extracción enzimática de licopenos (CHOUDHARI *et al.*, 2007).

Enzima	Tomates enteros	Cáscaras de tomate	de desecho de pulpa	de residuos industriales
Celulasas	132 µg/g	429 µg/g	119 µg/g	202 µg/g
Pectinasas	108 µg/g	1104 µg/g	190 µg/g	156 µg/g

Las celulasas se encargan de hidrolizar las fibras de celulosa, mientras que las pectinasas de hidrolizar otro tipo de polímero, llamado pectina, que forma parte del entramado molecular que se muestra simplificado en la Figura 1. Este ejemplo refleja la conveniencia de extraer el licopeno, un compuesto de alto valor agregado que suele ser desechado en los procesos industriales, utilizando técnicas que involucran el uso de enzimas.

Aguacate. México es el mayor productor a nivel mundial de aguacates (Figura 3), alcanzando una producción de 1.3 millones de toneladas en 2012 (FAO, 2014). El procesamiento de la pulpa genera varias toneladas de residuos que podrían aumentar en el futuro, puesto que actualmente no todas las variedades de aguacate son explotadas.

Producción Mundial de Aguacate en 2012

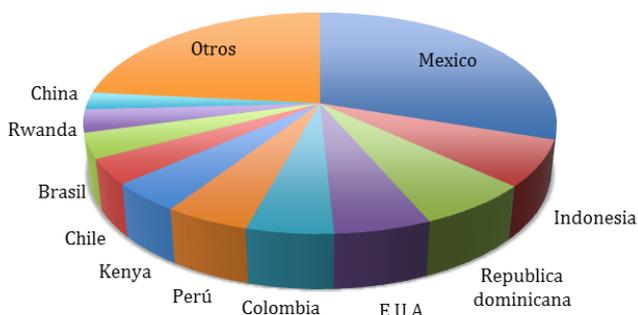


Figura 3. Producción mundial de aguacate en 2012, (FAO, 2014).

El principal componente de los aguacates es el aceite (70%) (BUENROSTRO *et al.*, 1986), sin embargo, estos frutos también son ricos en compuestos fenólicos, como la catequina y la epicatequina (SOONG *et al.*, 2004), los cuales se han estudiado por su actividad antioxidante. Estos compuestos reducen los factores de riesgo de enfermedades degenerativas como el cáncer, enfermedades de corazón y desórdenes de piel (IACOPINI *et al.*, 2008). Los principales compuestos funcionales que se encuentran en las diferentes fracciones del aguacate son compuestos fenólicos, ácido ascórbico, carotenoides y fibras (Tabla 3) (AYALA-ZAVALA *et al.*, 2011). Tanto en muestras secas como en muestras congeladas, la caracterización de la pulpa y la semilla ha demostrado que más del 70% de la actividad antioxidante total y contenido fenólico se encuentra en las semillas (SOONG *et al.*, 2004).

Tabla 3. Principales compuestos en el aguacate (AYALA-ZAVALA *et al.*, 2011).

Fracción de aguacate	Compuestos fenólicos (mg/100 g)	Ácido ascórbico (mg/100 g)	Carotenoides (µg/100 g)	Fibra (mg/100 g)
Semilla	5160 ^a	-	630 ^b	-
Pulpa	490 ^a	9 ^a	590 ^a	5000 ^a
Cáscara	1260 ^a	-	1520 ^b	-

^a Peso seco, ^b Peso húmedo

La extracción de aceite de aguacate se puede llevar a cabo utilizando enzimas como α -amilasa, papaína y celulasa (BUENROSTRO *et al.*, 1986). Al emplearlas solas o en combinación es posible extraer más del 70% del aceite presente. Por otro lado, los polifenoles de la semilla de aguacate también pueden ser extraídos enzimáticamente (SANDOVAL *et al.*, 2012). Sandoval *et al.* (2012) demostraron que, utilizando mezclas enzimáticas comerciales de hemicelulasas, celulasas y pectinasas, es posible extraer los compuestos antioxidantes de la semilla. En lo que respecta a la actividad antioxidante, los resultados mostraron que ésta fue mayor cuando los aguacates no estaban maduros, alcanzando

hasta un 55.8% de poder antioxidante, medido como la inhibición de un radical libre llamado DPPH, por sus siglas en inglés. Por otro lado, la importancia de la selección de enzimas que se emplean en este tipo de aplicaciones de nuevo resalta al observar que el uso de una mezcla enzimática con clorogenato y feruloil esterasas permitió obtener un extracto que mostró un mayor poder antioxidante, de 79%.

Uva. Las uvas son una de las frutas más cultivadas a nivel mundial, con una producción de más de 67 millones de toneladas en el 2012 (FAO, 2014). La mayor parte está dedicada a la elaboración de vinos, generando grandes cantidades de residuos. Los compuestos fenólicos son los compuestos antioxidantes más abundantes en las uvas (Tabla 4), sin embargo, en los vinos, su contenido y composición depende de la variedad de uvas, técnicas de cultivo y madurez, entre otros.

Tabla 4. Principales compuestos fenólicos en las diferentes fracciones de las uvas. Adaptado de (PINELO *et al.*, 2006).

Compuesto	Orujo de uva (mg/g)	Cáscara (mg/g)	Semilla (mg/g)	Tallo (mg/g)
Ácido fenólico	0.03-8.31	0.17-8.23	0.10-0.11	0-0.04
Flavan-3-oles	0.34-4.25	0.12-3.38	3.56-6.15	0.22-0.89
Antocianinas	11.47-29.82	11.47-29.82	-	-
Flavonoles	0.03-0.63	0.48-0.63	0.02-0.05	0.022

A partir del orujo de uva y utilizando celulasas, pectinasas y mezclas enzimáticas comerciales, es posible obtener extractos fenólicos con poder antioxidante capaces de capturar más del 80% de los radicales libres (GÓMEZ-GARCÍA *et al.*, 2012). Este poder antioxidante está relacionado con la liberación del ácido *o*-cumárico de la pared celular gracias a la acción de las enzimas. Las cáscaras de uva también pueden ser utilizadas para extraer pigmentos (MUÑOZ *et al.*, 2004). Una mezcla de pectinasas y celulasas es capaz de extraer las antocianinas, que son pigmentos presentes en la cáscara de uvas, en sólo dos horas.

Residuos de mariscos

La explotación de pescado y mariscos a nivel mundial sobrepasó los 180 millones de toneladas en el 2012 (FAO, 2014). El procesamiento del pescado genera residuos que suelen ser desechados en el océano, por lo que se han convertido en un problema ambiental. Según el tipo, estos residuos representan hasta el 60% del pescado y están compuestos por carne, cabeza, aleta, cola, huesos, piel y vísceras en diferentes cantidades, que contienen principalmente aceites y proteínas (CHALAMAIAH *et al.*, 2012).

Extracción de aceite. La caracterización de los residuos de pescado ha demostrado que estos son ricos en aceites que pueden ser utilizados para la producción de ácidos grasos poliinsaturados omega-3, principalmente los ácidos eicosapentaenoico (EPA) y docosa-hexaenoico (DHA). Los ácidos grasos omega-3 tienen propiedades antiinflamatorias y antitrombóticas, y son capaces de disminuir los factores de riesgo de enfermedades car-

diovasculares y diabetes, entre otras (CASAS-GODOY *et al.*, 2014). La extracción de aceite a partir de estos residuos se puede llevar a cabo utilizando alcalasas (RAMAKRISHNAN *et al.*, 2013a y b). La alcalasa es una proteasa, es decir, una enzima que cataliza la hidrólisis o rompimiento de los enlaces presentes en las proteínas. Durante este proceso, el aceite se recupera fácilmente en la fracción superior de la mezcla y el tratamiento enzimático permite recuperar más del 70% del aceite presente en todas las fracciones descritas en la Tabla 5.

Tabla 5. Composición del pescado de caballa y sus desechos (RAMAKRISHNAN *et al.*, 2013b).

Muestra	Humedad (%)	Proteína (%)	Grasa (%)	Carbohidrato (%)	Ceniza (%)
Cabeza	65.6	12.3	17.2	1.2	3.7
Huesos	71.6	14.2	10.4	0.3	3.5
Aletas, colas, piel y vísceras	65.6	12.2	20.8	0	1.4
Pescado entero	65.6	15.6	16.5	0.7	1.6

Proteínas hidrolizadas. Los hidrolizados de proteína de pescado se utilizan como suplementos alimenticios y como ingredientes funcionales. Esta proteína es una fuente esencial de nutrientes en los países en desarrollo (CHALAMAIAH *et al.*, 2012) y sus hidrolizados son de interés debido a su contenido de aminoácidos y sus propiedades antioxidantes. También se les considera ingredientes funcionales, ya que son capaces de retener agua y absorber aceites, producen geles y tienen propiedades espumantes y emulsificantes (CHALAMAIAH *et al.*, 2012). Algunos ejemplos de sus usos como nutracéuticos se presentan en la Tabla 6.

Las enzimas más utilizadas son por lo general proteasas, tales como la alcalasa, pepsina, tripsina, papaína, bromelina y pancreatina (CHALAMAIAH *et al.*, 2012). Por ejemplo, la hidrólisis enzimática de residuos con alcalasas permite extraer el 74% de las proteínas solubles en fase acuosa, la cual se puede separar con facilidad del contenido lipídico de los residuos (RAMAKRISHNAN *et al.*, 2013c).

Tabla 6. Productos comerciales con hidrolizados de proteína, su uso como nutracéuticos y países donde se comercializan (CHALAMAIAH *et al.*, 2012).

Producto	Detalles	Aplicación como nutracéutico	País
Seacure[®]	Hidrolizados de proteína de pescado blanco	Suplemento dietético para el tracto gastrointestinal y regula las funciones intestinales	Estados Unidos y Canadá
PROTIZEN[®]	Hidrolizados enzimáticos de la proteína de pescado blanco	Suplemento dietético contra el estrés y sus síntomas	Reino Unido
Vasotensin[®]	Hidrólisis con proteasas de <i>Sarda orientalis</i>	Mejora las funciones vasculares, flujo sanguíneo y presión	Estados Unidos y Japón
PEPTACE[®]	Hidrólisis con proteasas de <i>Sarda orientalis</i>	Baja la presión sanguínea	Estados Unidos y Japón
Nutripeptin[®]	Hidrólisis enzimática de bacalao	Estabiliza los niveles de glucosa en sangre y control de peso	Reino Unido y Estados Unidos
MOLVAL[®]	Hidrólisis enzimática de <i>Molva molva</i>	Suplemento para el equilibrio del colesterol, control de estrés y salud cardiovascular	Reino Unido
SEAGEST[®]	Hidrólisis de proteína de pescado blanco	Promueve la salud intestinal	Reino Unido

Quitina y quitosano. La quitina es un polímero natural que se obtiene principalmente de los exoesqueletos de camarones y cangrejos. Cuando a la quitina se le remueve

aproximadamente el 50% de los grupos acetilo presentes en su estructura, dejando en su lugar grupos amino, entonces se vuelve soluble en soluciones acuosas acidificadas y recibe el nombre de quitosano (Rinaudo, 2006). Algunas de las propiedades de la quitina incluyen que es biodegradable, no tóxica, anti-bacterial y presenta afinidad por las proteínas, por lo que una de sus principales aplicaciones es en la industria médica y farmacéutica. Las principales aplicaciones de la quitina son en el desarrollo de películas y fibras que se utilizan para cubrir heridas, como transporte de medicamentos y para el tratamiento periodontal.

El quitosano igualmente tiene diversas actividades biológicas y debido a su capacidad de crear películas, es de gran interés en la industria de cosméticos, farmacéutica y biomédica (Morley *et al.*, 2006; Rinaudo, 2006). El quitosano tiene propiedades inmunológicas, antitumorales y anticoagulantes. En la industria biomédica se utiliza para crear suturas quirúrgicas, implantes dentales, piel artificial, reconstrucción de huesos, lentes de córnea y encapsulamiento (Rinaudo, 2006). Otras aplicaciones incluyen el tratamiento de aguas y suelos, estabilizador de salsas, tratamiento de acné y pastas de dientes (Morley *et al.*, 2006; Rinaudo, 2006).

La obtención de la quitina requiere tres etapas (I) desproteínización, (II) demineralización y (III) despigmentación. Las enzimas comerciales se pueden utilizar para desproteinar la cabeza del camarón (Valdez-Peña *et al.*, 2010). La alcalasa es capaz de eliminar hasta el 61% del contenido proteico en estos residuos, liberando péptidos y aminoácidos a la fase acuosa, facilitando de esta manera su remoción del medio. Para evitar el uso de enzimas comerciales, es posible producir las enzimas necesarias con microorganismos, los cuales pueden crecer en estos sistemas utilizando como única fuente de carbón y nitrógeno a los residuos de camarón (Haddar *et al.*, 2011). Por ejemplo la bacteria *Bacillus licheniformis* puede crecer en este medio y producir hasta siete proteasas (Haddar *et al.*, 2011). Las proteasas obtenidas fueron capaces de remover el 81% de las proteínas presentes en la quitina.

Síntesis de nutraceuticos

Los nutraceuticos son aditivos o suplementos que proporcionan beneficios a la salud. En general los nutraceuticos son extraídos de alimentos o desechos agroindustriales. Cuando son extraídos de residuos pasan por cinco etapas, (I) pre-tratamiento macroscópico, (II) separación de macro y micro moléculas, (III) extracción, (IV) purificación y (V) síntesis de nutraceuticos (Galanakis, 2013).

Derivados cítricos. La producción de cítricos en el mundo fue de más de 110 millones de toneladas en el 2012, (FAO, 2014). De este tipo de frutas solo se consume una pequeña parte, generando residuos constituidos por cáscaras y semillas que son desechadas durante la producción de jugos y alimentos (Mirabella *et al.*, 2014). Los residuos cítricos representa hasta un 50% de la masa total del fruto (Marín *et al.*, 2007) y están compuestos de agua, azúcares solubles, fibras, ácidos orgánicos, aminoácidos, proteínas, minerales, grasa, vitaminas y flavonoides (Mirabella *et al.*, 2014).

Los flavonoides son compuestos fenólicos de bajo peso molecular, cuya estructura determina su actividad antioxidante (Balasundram *et al.*, 2006). La fuente más importante de flavonoides son las cáscaras de cítricos, siendo la hesperidina el que se encuentra en mayor proporción (Güemez Ricalde *et al.*, 2010). La hesperidina muestra propiedades antiinflamatorias, anticancerígena, analgésicas y antitrombóticas y se obtiene a través de una extracción con solventes orgánicos (Nielsen *et al.*, 2006; Güemez Ricalde *et al.*, 2010). Los usos potenciales de la hesperidina son en las industrias de alimentos, bebidas, cosmética y farmacéutica.

Una vez que se ha extraído de los residuos de cítricos, la hesperidina puede obtener mayor valor agregado y utilidad con algunas modificaciones en su estructura química, las cuales pueden ser catalizadas por diferentes enzimas. El principal problema de la hesperidina es su poca solubilidad, por lo que su biodisponibilidad y bioactividad se ve disminuida. La hesperidina puede ser acilada, glucosilada o polimerizada con el fin de mejorar sus propiedades. Por ejemplo, glucosil ésteres de hesperidina se pueden obtener acilando enzimáticamente el flavonoide con vinil ésteres, obteniendo moléculas con propiedades anti-fúngicas mejoradas (SALAS *et al.*, 2011). La hesperidina glucosilada se puede utilizar para evitar el crecimiento de hongos en alimentos. La hidrólisis de la hesperidina, utilizando la enzima heperidinasa, genera hesperetina, que es más biodisponible en el cuerpo humano (NIELSEN *et al.*, 2006).

Conclusiones

La aplicaciones de las enzimas para la extracción de moléculas bioactivas, a partir de residuos agroindustriales, representa una metodología viable para su valorización. Debido a lo complejo de los residuos generados en el procesamiento de frutas y verduras, en general se deben utilizar mezclas enzimáticas que permitan degradar las membranas y paredes celulares, facilitando la recuperación de compuestos de alto valor agregado. Las enzimas hidrolíticas más utilizadas para degradar cáscaras y fibras son celulasas, pectinasas y hemicelulasas. Los desechos de mariscos también se pueden utilizar para la extracción de quitina y quitosano, polímeros con múltiples aplicaciones en las industrias cosméticas, biomédicas y farmacéuticas. Otra alternativa para este tipo de residuos es su aplicación como sustrato para la producción de las enzimas que se utilizarán en la hidrólisis. Además es posible obtener moléculas de alto valor agregado y combinarlas con otras con el fin de obtener nutracéuticos. 🍌

Bibliografía

- [1] AYALA-ZAVALA, J.F., *et al.* 2011. "Agro-industrial potential of exotic fruit byproducts as a source of food additives". *Food Research International* [en línea]. Vol. 44, no. 7, pp. 1866–1874.
- [2] BALASUNDRAM, N., Sundram, K. and Samman, S. "Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: antioxidant activity, occurrence, and potential uses". *Food Chemistry* [en línea]. 2006, Vol. 99, no. 1, pp. 191–203.
- [3] BUENROSTRO, M. and López-Munguía, A. C. "Enzymatic extraction of avocado oil". *Biotechnology Letters* [en línea]. 1986, Vol. 8, no. 7, pp. 505–506.
- [4] CASAS-GODOY, L., *et al.* "Yarrowia lipolytica lipase Lip2: an efficient enzyme for the production of concentrates of docosahexaenoic acid ethyl ester". *Journal of biotechnology* [en línea]. 2014, Vol. 180, pp. 30–6.
- [5] CHALAMAIAH, M., Dinesh Kumar, B., Hemalatha R. and Jyothirmayi, T. "Fish protein hydrolysates: proximate composition, amino acid composition, antioxidant activities and applications: a review". *Food chemistry* [en línea]. 2012, Vol. 135, no. 4, pp. 3020–38.
- [6] CHANDRASEKARAN, M. and Bahkali, A.H. "Valorization of date palm (*Phoenix dactylifera*) fruit processing by-products and wastes using bioprocess technology - Review. *Saudi journal of biological sciences* [en línea]. 2013, Vol. 20, no. 2, pp. 105–20.
- [7] CHOUDHARI, S.M. and Anantharayan, L. "Enzyme aided extraction of lycopene from tomato tissues". *Food Chemistry* [en línea]. 2007, Vol. 102, no. 1, pp. 77–81.
- [8] DEGHAN-SHOAR, Z., Hardacre, A.K., Meerdink, G. and Brennan, C.S. "Lycopene extraction from extruded products containing tomato skin". *International Journal of Food Science & Technology* [en línea]. 2011, Vol. 46, no. 2, pp. 365–371.
- [9] FAO 2014. FAO statistics. The Food and Agriculture Organization of the United Nations [en línea]. Disponible en: <<http://www.fao.org/home/en/>>.
- [10] FEDERICI, F., Fava, F., Kalogerakis, N. and Mantzavinos, D. "Valorisation of agro-industrial by-products, effluents and waste: concept, opportunities and the case of olive mill wastewaters". *Journal of Chemical Technology & Biotechnology* [en línea]. 2009, Vol. 84, no. 6, pp. 895–900.
- [11] GALANAKIS, C.M. "Recovery of high added-value components from food wastes: Conventional, emerging technologies and commercialized applications". *Trends in Food Science & Technology* [en línea]. 2012, Vol. 26, no. 2, pp. 68–87.

- [12] GALANAKIS, C.M. "Emerging technologies for the production of nutraceuticals from agricultural by-products: A viewpoint of opportunities and challenges". *Food and Bioproducts Processing* [en línea]. 2013, Vol. 91, no. 4, pp. 575–579.
- [13] GÓMEZ-GARCÍA, R., Martínez-Ávila, G.C.G. and Aguilar, C.N. "Enzyme-assisted extraction of antioxidative phenolics from grape (*Vitis vinifera* L.) residues". *3 Biotech* [en línea]. 2012, Vol. 2, no. 4, pp. 297–300.
- [14] GÜEMEZ RICALDE, F., *et al.* 2010. "Potencialidades del mercado nacional e internacional de la hesperidina de origen natural obtenida de la naranja como sustituto de antioxidantes químicos". *Biociencias y nanociencias* [en línea]. 2010, pp. 1–22.
- [15] HADDAR, A., *et al.* "Alkaline proteases produced by *Bacillus licheniformis* RP1 grown on shrimp wastes: Application in chitin extraction, chicken feather-degradation and as a dehairing agent". *Biotechnology and Bioprocess Engineering* [en línea]. 2011, Vol. 16, no. 4, pp. 669–678.
- [16] HERMOSO, J. A. *et al.* "The crystal structure of feruloyl esterase A from *Aspergillus niger* suggests evolutive functional convergence in feruloyl esterase family". *Journal of molecular biology* [en línea]. 2004, Vol. 338, no. 3, pp. 495–506.
- [17] IACOPINI, P., Baldi, M., Storchi, P. and Sebastiani, L. "Catechin, epicatechin, quercetin, rutin and resveratrol in red grape: content, in vitro antioxidant activity and interactions". *Journal of Food Composition and Analysis* [en línea]. 2008, Vol. 21, no. 8, pp. 589–598.
- [18] MARÍN, F.R., *et al.*, "By-products from different citrus processes as a source of customized functional fibres". *Food Chemistry* [en línea]. 2007, Vol. 100, no. 2, pp. 736–741.
- [19] MIRABELLA, N., Castellani, V. and Sala, S. "Current options for the valorization of food manufacturing waste: a review". *Journal of Cleaner Production* [en línea]. 2014, Vol. 65, pp. 28–41.
- [20] MUÑOZ, O., Sepúlveda, M. and Schwartz, M.. "Effects of enzymatic treatment on anthocyanic pigments from grapes skin from chilean wine". *Food Chemistry* [en línea]. 2004, Vol. 87, pp. 487–490
- [21] NIELSEN, I. and Chee, W.. "Bioavailability is improved by enzymatic modification of the citrus flavonoid hesperidin in humans: a randomized, double-blind, crossover trial". *The Journal of Nutrition* [en línea]. 2006, no. October 2005, pp. 404–408.
- [22] PINELO, M., Arnous, A. and Meyer, A.S.. "Upgrading of grape skins: significance of plant cell-wall structural components and extraction techniques for phenol release". *Trends in Food Science & Technology* [en línea]. 2006, Vol. 17, no. 11, pp. 579–590.

- [23] PURI, M., Sharma, D. and Barrow, C.J.. "Enzyme-assisted extraction of bioactives from plants". *Trends in biotechnology* [en línea]. 2012, Vol. 30, no. 1, pp. 37–44.
- [24] RAMAKRISHNAN, V.V., Ghaly, A.E., Brooks, M.S. and Budge, S.M.. "Enzymatic extraction of amino acids from fish waste for possible use as a substrate for production of jadomycin". *Enzyme Engineering* [en línea]. 2013^a, Vol. 02, no. 02.
- [25] -----.. "Extraction of oil from mackerel fish processing waste using alcalase enzyme". *Enzyme Engineering* [en línea]. 2013^b, Vol. 02, no. 02.
- [26] -----.. "Extraction of proteins from mackerel fish processing waste using alcalase enzyme". *Journal of Bioprocessing & Biotechniques* [en línea]. 2013^c, Vol. 03, no. 02.
- [27] RINAUDO, M.. "Chitin and chitosan: properties and applications". *Progress in Polymer Science* [en línea]. 2006, Vol. 31, no. 7, pp. 603–632.
- [28] SALAS, M.P., *et al.* "Antifungal activity of natural and enzymatically-modified flavonoids isolated from citrus species". *Food Chemistry* [en línea]. 2011, Vol. 124, no. 4, pp. 1411–1415.
- [29] SANDOVAL, G. and Villanueva, S. "Extracción enzimática de antioxidantes". En: E. ÁLVARES-PARRILLA, G.A. González-Aguilar, L.A. De La Rosa and J.F. Ayala-Zavala (eds.), *Antioxidantes, en Alimentos y Salud*. S.l.: Clave Editorial-AM Editores, 2012, pp. 505–526.
- [30] SAVAL, S. "Aprovechamiento de residuos agroindustriales: pasado, presente y futuro". *Revista de la Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería, A.C.* [en línea]. 2012, Vol. 16, no. 2, pp. 14–46.
- [31] SHARMA, S.K. and Lemaguer, M. "Lycopene in tomatoes and tomato pulp fraction". *Italian Journal of Food Science* [en línea]. 1996, Vol. 8, pp. 107–113.
- [32] SOONG, Y.-Y. and Barlow, P.J. "Antioxidant activity and phenolic content of selected fruit seeds". *Food Chemistry* [en línea]. 2004, Vol. 88, no. 3, pp. 411–417.
- [33] VALDEZ-PEÑA, A.U., *et al.*, J.C. "Screening of industrial enzymes for deproteinization of shrimp head for chitin recovery". *Food Science and Biotechnology* [en línea]. 2010, Vol. 19, no. 2, pp. 553–557.
- [34] VALDEZ-VAZQUEZ, I., Acevedo-Benítez, J. and Hernández-Santiago, C. "Distribution and potential of bioenergy resources from agricultural activities in Mexico". *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [en línea]. 2010, Vol. 14, no. 7, pp. 2147–2153.