

---

ARTÍCULO

## **APROVECHAMIENTO DE SUBPRODUCTOS AGROALIMENTARIOS Y DE BIOMASAS NO CONVENCIONALES EN AMÉRICA LATINA**

EN EL MARCO DE LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS):  
UNA OPORTUNIDAD EN TIEMPOS DEL COVID-19

---

Ciclo de webinarios: Biorrefinerías en tiempos del COVID-19, conceptos y oportunidades para el desarrollo sostenible en Latinoamérica

Sesión I: Conociendo las herramientas para la obtención y caracterización de compuestos bioactivos y posibles antivirales a partir de subproductos agroalimentarios

27 de octubre de 2020

**CENTRO DE FORMACIÓN DE LA COOPERACIÓN ESPAÑOLA EN LA ANTIGUA**

El documento se realiza en el marco del «Ciclo de webinarios: Biorreinerías en tiempos del COVID-19, conceptos y oportunidades para el desarrollo sostenible en Latinoamérica», organizado por la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID), a través del Centro de Formación de la Cooperación Española en La Antigua (CFCE Antigua); el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC); y el Instituto de Investigación en Ciencias de la Alimentación (CIAL), desarrollado el 27 de octubre de 2020.

# APROVECHAMIENTO DE SUBPRODUCTOS AGROALIMENTARIOS Y DE BIOMASAS NO CONVENCIONALES EN AMÉRICA LATINA

EN EL MARCO DE LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS):  
UNA OPORTUNIDAD EN TIEMPOS DEL COVID-19

---

Diego Ballesteros-Vivasa<sup>a</sup>, Elena Ibáñezb<sup>b</sup>, Alejandro Cifuentesb<sup>b</sup>, Fabián Parada-Alfonsoa<sup>a</sup>

---

<sup>a</sup>Laboratorio de Alta Presión, Grupo de Investigación en Química de Alimentos-GiQA,  
Departamento de Química, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia,  
Bogotá D.C., Colombia

<sup>b</sup>Laboratorio de Alimentómica, Instituto de Investigación en Ciencias de la Alimentación-CIAL,  
Consejo Superior de Investigaciones Científicas-CSIC, Madrid, España



## INTRODUCCIÓN

El 25 de septiembre de 2015, los 193 Estados Miembros de Naciones Unidas en Asamblea General aprobaron y suscribieron la agenda universal denominada *Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible* en la que se establecieron 17 objetivos y 169 metas para “poner fin a la pobreza, proteger el planeta y garantizar que todas las personas gocen de paz y prosperidad para 2030”

(Naciones Unidas, 2015; PNUD, 2020). Estos objetivos recibieron el nombre de *Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)* (figura 1) y representan el conjunto de desafíos que el planeta tiene frente a la pobreza, la desigualdad, el cambio climático, el agua, la generación de recursos, el consumo responsable, la paz, la justicia y la compleja interacción de todos estos.

Figura 1. Objetivos de Desarrollo Sostenible (PNUD, 2020).



En este contexto, el término “sostenible” hace referencia al sistema en el que el medio ambiente y sus recursos no se agotan ni se deterioran con el tiempo; mientras que el concepto “sostenibilidad” es definido como el proceso en el cual el desarrollo, el uso de los recursos, la inversión y el cambio institucional están en armonía con la satisfacción de las necesidades humanas asegurando el equilibrio ambiental (Tanumihardjo et al., 2020). De esta manera, los ODS posibilitan la integración lógica y práctica de las dimensiones del desarrollo sostenible (social, económica y ambiental) con la salud pública. Tal integración, así como el carácter universal y secuencial de los ODS, exige una articulación con enfoques científico-técnicos

que sustenten la generación de políticas públicas y trasciendan a las prácticas educativas, la gestión agroindustrial y del conocimiento, en ambientes de trabajo colectivo y colaborativo. Enfoques como la Química Verde (QV) y la Bio-economía Circular (BC) están íntimamente relacionados con los ODS y han viabilizado su consecución en diferentes países (Chen et al., 2020). En el presente texto se expone el sinergismo entre estos enfoques y los ODS, así como el marco metodológico que esta relación ha propiciado y bajo el cual se han desarrollado estrategias de valorización de residuos agroalimentarios y de biomásas no convencionales en América Latina y el Caribe.





## 1. ODS, QUÍMICA VERDE Y BIO-ECONOMÍA CIRCULAR

La QV tiene su origen en la década de 1990, en los trabajos de Anastas, Clarke, Sheldon, Trost, Warner, entre otros, en los que expusieron las grandes cantidades y peligrosidad de los residuos que se generan en los procesos de síntesis y desarrollo de productos químicos (Veleva & Cue, 2019). Frente a esta situación, Anastas y Warner plantearon la necesidad de seguir un enfoque “encaminado a reducir o eliminar el uso y generación de sustancias peligrosas en el diseño, fabricación y aplicación de los productos químicos” (Anastas & Eghbali, 2010). Dicho enfoque está integrado por los denominados “12 principios de la QV” (PQV) (figura 2), los cuales han trazado una hoja de ruta para científicos e industriales interesados en el diseño de procesos novedosos, responsables y amigables con el medio ambiente durante las dos últimas décadas.

Estos principios se basan en el uso de materias primas renovables e inocuas en los procesos de síntesis y análisis químico, así como en la no generación de residuos, por lo que la economía atómica-energética y la catálisis ocupan espacios destacados en la QV. De esta manera, la QV también ha orientado el desarrollo consciente de productos químicos biodegradables que eviten su bioacumulación cuando sean desechados. En este sentido, el objetivo principal de la QV es minimizar los riesgos ambientales y humanos inherentes a las actividades químicas. Los principios de la QV se han adoptado en campos específicos de la química y, posteriormente, se han publicado otros conjuntos de principios, como los principios de la tecnología química verde, la ingeniería verde, la síntesis verde, la química analítica verde, la extracción verde, entre otros (Kurowska-Susdorf et al., 2019).

**Figura 2.** Principios extendidos de la Química Verde (Anastas & Warner, 1998; Asveld, 2019). Creado con Biorender.com



De esta forma, la QV ha promovido cambios significativos que abarcan la reestructuración curricular de los programas de formación, el diseño de nuevas metodologías en laboratorios de investigación y la generación de procesos originales en las industrias química, farmacéutica, biotecnológica y alimentaria (Chen et al., 2020). Sin embargo, es necesaria la promoción y concreción de políticas públicas que orienten y soporten financieramente la formación

de talento humano y la implementación de soluciones ecológicas en el marco de la QV (Veleva & Cue, 2019). La atención a esta necesidad contribuiría de manera importante a la consolidación del desarrollo sostenible. En esta línea, Chen et al., (2020) mostraron el efecto de la aplicación de los PQV sobre las dimensiones del desarrollo sostenible y su relación con los ODS (tabla 1).

**Tabla I.** Contribución de los Principios de la Química verde (PQV) a los ODS. Tomado y adaptado de Chen et al., (2020)

DIMENSIONES DEL DESARROLLO SOSTENIBLE	EFECTOS DE LA APLICACIÓN DE LOS PQV	ODS RELACIONADOS
 <b>SOCIAL</b>	Mayor seguridad alimentaria	
	Productos químicos más seguros para los consumidores	 
	Productos más inocuos en el medio ambiente	    
	Menor exposición a sustancias tóxicas	   
	Menor emisión de sustancia tóxicas al aire	  
	Menor emisión de sustancia tóxicas al agua	   
	Mayor seguridad para los colaboradores en la industria química	  
 <b>ECONÓMICA</b>	Reducción del uso de productos derivados del petróleo	  
	Reducción de la huella de carbono	 
	Incremento del valor de los productos	 
	Incremento de la competitividad en la industria	
	 <b>AMBIENTAL</b>	Menor daño causado a fauna y flora
Menor potencial de calentamiento global, agotamiento del ozono y formación de smog		  
Menor alteración química de los ecosistemas		  
Menor uso de vertederos		 
Rendimientos químicos y de productos finales más altos		 
Menor número de pasos en los procesos de síntesis		 
Reducción de desechos y menor costo de tratamiento		  



Pese al gran impacto de los PQV, los actores sociales, cada vez más comprometidos con el desarrollo sostenible, exigen de la QV la formulación de procesos integrales que vayan más allá de la eliminación de las posibles consecuencias negativas y contribuyan con la solución de los desafíos sociales. Esta demanda se ha denominado Innovación Responsable y plantea tres consideraciones adicionales sobre los procesos verdes: (i) la planificación debe realizarse considerando los intereses de todos los actores involucrados; (ii) los beneficios generados deben distribuirse en toda la cadena de valor de manera justa y equitativa; y (iii) los alcances deben contribuir con la consecución de al menos un ODS (Asveld, 2019). Tales requerimientos han sido sumados a los 12 PQV (figura 2). Este sentido más amplio de la QV posibilita un mayor impacto sobre los ODS, particularmente sobre los objetivos 1, 4, 5 y 10, que inicialmente no se contemplaron en la tabla 1.

Otra herramienta fundamental que contribuye al alcance de los ODS es la BC, la cual se ha articulado con la QV. Durante años se han generado una extensa variedad de productos químicos (p. ej., medicamentos, polímeros plásticos, placas de silicio, petroquímicos, entre otros) con el fin de mejorar la calidad de vida y contribuir con el progreso económico. En este sentido, las reservas fósiles y minerales han cubierto la mayor parte de la demanda material y energética que soporta el desarrollo de los sistemas sociales. Este modelo de desarrollo es lineal, ya que en cuanto más crece la economía mayor es la demanda de recursos y la generación de residuos. Sin embargo, se ha demostrado que el modelo económico lineal es insostenible e inestable dada la naturaleza finita de los recursos naturales, cada vez más agotados, y el tremendo impacto sobre el ambiente que ha desencadenado el fenómeno de cambio climático (Venkata Mohan, Dahiya, Amulya, Katakajwala, & Vanitha, 2019). Esta grave situación ha profundizado el conflicto entre crecimiento económico y conservación ambiental durante

las últimas tres décadas (Chen et al., 2020). En este escenario, la BC se ha planteado como un enfoque estratégico para resolver tal dicotomía y contribuir con el desarrollo sostenible. La BC ha sido definida como “la producción, utilización y conservación de recursos biológicos, incluidos el conocimiento, la ciencia, la tecnología y la innovación, para proporcionar información, procesos, productos y servicios en todos los sectores económicos con el fin de lograr una economía sostenible” (Calicioglu & Bogdanski, 2020). La BC se fundamenta en el enfoque de Economía circular (EC), en el cual los procesos son cerrados y cíclicos, por lo que el uso de los recursos es optimizado, ya que su ingreso (masa y energía) y salida (productos, subproductos y residuos) disminuyen (Salvador et al., 2021). De esta manera, en la EC el concepto de vida útil es reemplazado por la práctica de las 5R (reducir, reutilizar, reciclar, recuperar y reparar) llevando a una reducción en el uso de materiales, la transición hacia sistemas de energía renovables, la eliminación de sustancias tóxicas y la descarga-cero de desechos. La BC tiene una perspectiva mucho más específica que la EC al centrar la economía en los componentes bióticos y al reemplazar el uso de los recursos fósiles por el de biomásas (Calicioglu & Bogdanski, 2020). En este sentido, la BC se fundamenta en la biología, la biotecnología y la biorrefinería, y, a partir de esta triada, contribuye con la consolidación de una economía sostenible al proporcionar alimentos sanos y seguros, productos químicos bio-basados, biocombustibles (biogás, bioetanol), biofertilizantes, bio-plásticos, compuestos bioactivos, entre otros, garantizando la conservación de la biodiversidad, una agricultura sostenible, la reducción de la emisión de gases de efecto invernadero y generando nuevas oportunidades de negocio (Carus & Dammer, 2018). Así, los procesos basados en la BC pueden contribuir a la conquista de los ODS de carácter socioeconómico (Objetivos 1, 2, 3 y 8), ecológico (6, 13, 14 y 15) e industrial (7, 9 y 12) (Venkata Mohan et al., 2019).



## 2. SUBPRODUCTOS AGROALIMENTARIOS Y BIOMASAS NO CONVENCIONALES: ESTRATEGIAS PARA SU VALORIZACIÓN EN EL MARCO DE LA QV Y LA BC

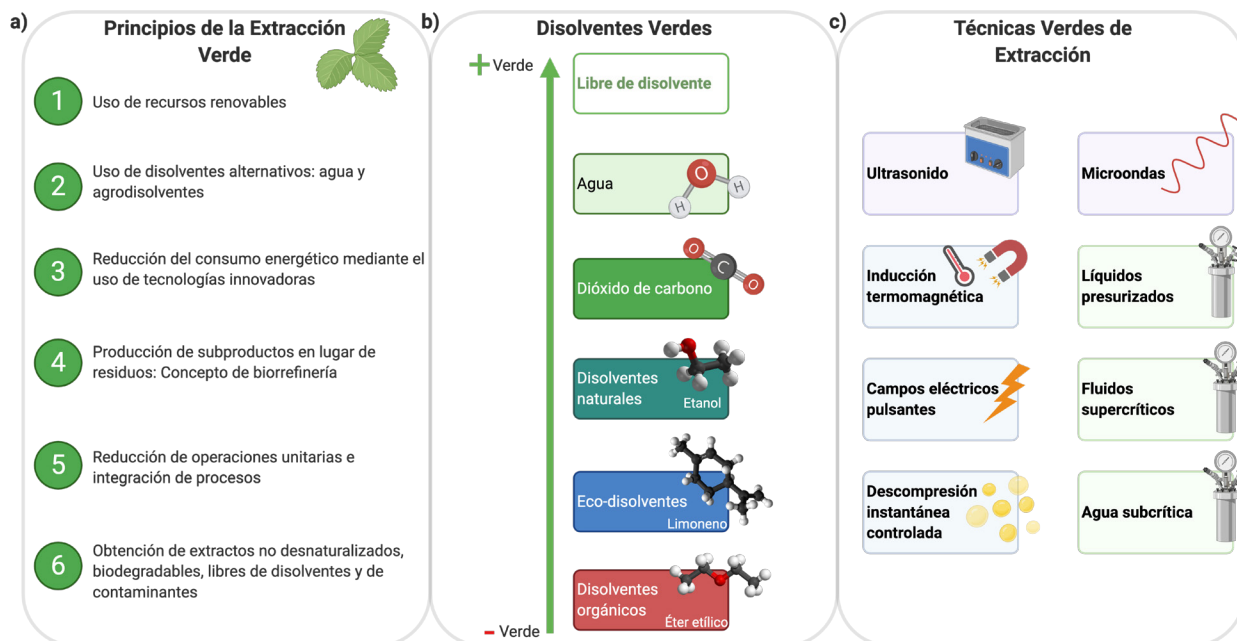
A nivel mundial, la generación de residuos por las actividades de la industria agroalimentaria alcanza 1,3 billones de toneladas anualmente, lo que equivale a un tercio de los alimentos producidos (Gustavsson, Cederberg, Sonesson, van Otterdijk, & Meybeck, 2011). Tal cantidad de residuos está integrada por subproductos generados por los procesos de transformación y manufactura de alimentos, por pérdidas en el transporte y almacenamiento, así como por los desperdicios de los productos finales por parte de los consumidores. La disposición adecuada de dichos residuos implica altos costos energéticos, por lo que en ocasiones se desechan como contaminantes con efectos adversos sobre la salud y el ambiente (Yepes, Montoya, & Orozco, 2008). Por tal razón, es fundamental emplear estrategias para el aprovechamiento de residuos que los convierta en materia prima de una nueva cadena de valor. La obtención de extractos y de compuestos

bioactivos a partir de residuos y de biomasas no convencionales (p. ej., cultivos restringidos legalmente, plantas acuáticas) es un elemento fundamental de las estrategias de valorización y se ha constituido en una línea emergente de investigación enmarcada en los PQV y la biorrefinería (Kosseva, 2013). En este sentido, Chemat, Vian, & Cravotto, (2012) formularon los Principios de la Extracción Verde (PEV) (figura 3a) con los cuales es posible diseñar procesos sostenibles para la recuperación de compuestos bioactivos. Uno de los aspectos fundamentales de estos principios es el uso y naturaleza del disolvente. Los procesos de extracción más sostenibles son aquellos en los que no se emplea un disolvente, sin embargo, en la mayoría de los casos estas sustancias son indispensables, por lo que deben tener un carácter “verde” para su uso, el cual está definido por los siguientes criterios (Calvo-Flores, Monteagudo-Arrebola, Dobado, & Isac-García, 2018):

- i.** Obtenido a partir de materias primas renovables.
- ii.** Disponible a gran escala.
- iii.** Asequible a precios competitivos respecto a los disolventes convencionales.
- iv.** Reciclable mediante procesos ecoeficientes.
- v.** Disponible en grado técnico.
- vi.** Fácil de obtener mediante procesos de economía atómica-energética.
- vii.** No tóxico ni persistente o de toxicidad insignificante.
- viii.** Biodegradable sin generación de metabolitos tóxicos.
- ix.** Con propiedades fisicoquímicas similares (viscosidad, polaridad, densidad, etc.) a las de los disolventes comunes.
- x.** Estable térmica y electroquímicamente.
- xi.** No inflamable.
- xii.** Fácil de almacenar y de transportar.

Los disolventes como agua, dióxido de carbono, etanol, acetato de etilo, glicerol, limoneno (figura 3b), cumplen con la mayoría de estos criterios por lo que son considerados como verdes y además son generalmente reconocidos como seguros (carácter GRAS) (FDA, 2018). Otro aspecto fundamental de los PEV está asociado a las técnicas de extracción, las cuales implican el uso de tecnologías innovadoras con las que sea posible la obtención de extractos no desnaturalizados con potencial funcional. Para ello, dichas técnicas deben caracterizarse por ser eficientes y selectivas (altos rendimientos de los compuestos objetivo con bajo consumo de disolvente), rápidas (periodos cortos de extracción), reproducibles y seguras (alto nivel de instrumentalización y automatización) y energéticamente eficientes (Cambel, 2014). Adicionalmente, las técnicas deben posibilitar la optimización de las variables que afectan el proceso de extracción, tales como: temperatura, presión, tiempo, tamaño de partícula de la muestra, naturaleza y flujo del disolvente, potencia, entre otros. En la figura 3c se muestran algunas de las técnicas verdes de extracción más empleadas. Algunas de éstas han sido integradas y usadas de manera intensiva con el fin de obtener extractos o fracciones con diferente naturaleza química y funcionalidad biológica en el marco de la biorrefinería.

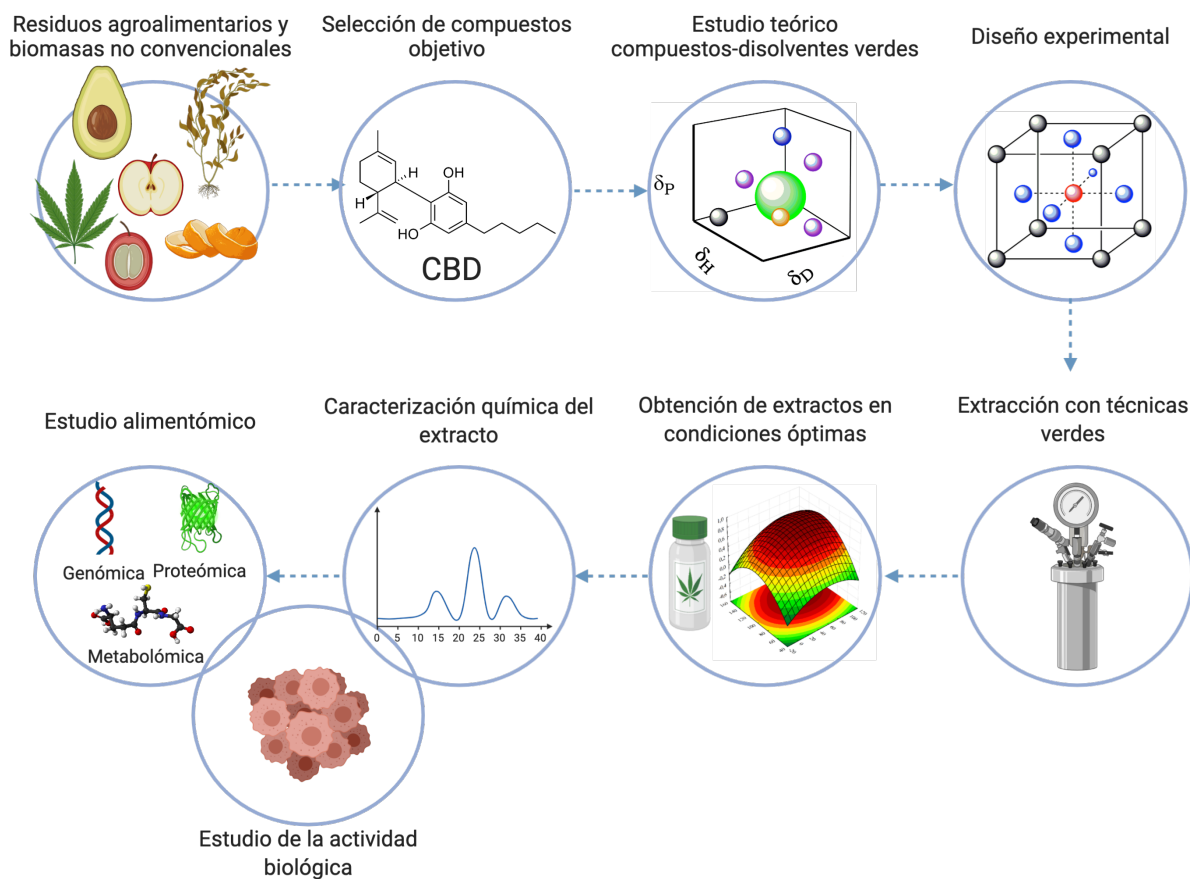
**Figura 3.** Elementos de la extracción verde: a) Principios de la extracción verde; b) Carácter verde de los disolventes; c) Técnicas verdes de extracción (Chemat et al., 2019, 2012). Creado con Biorender.com



A partir de los PEV se han desarrollado estrategias holísticas para la valorización de subproductos agroalimentarios y biomasa no convencionales. Una de estas estrategias ha sido denominada enfoque *Alimentómica Verde* (Ballesteros-Vivas, Ortega-Barbosa, Sánchez-Camargo, Rodríguez-Varela, & Parada-Alfonso, 2021; Gilbert-López, Mendiola, & Ibáñez, 2017). Este enfoque consiste en la obtención selectiva de extractos ricos en compuestos bioactivos y comprende varias etapas como se ilustra en la figura 4. El enfoque parte de seleccionar los compuestos de interés, lo que orienta todo el proceso de extracción. Posteriormente, se lleva a cabo un estudio teórico de la solubilidad del compuesto seleccionado en disolventes verdes (p. ej., dióxido de carbono, agua, etanol, acetato de etilo y sus mezclas) a diferentes condiciones físicas (p. ej., temperatura y presión). Estos estudios se realizan utilizando modelos computacionales como los Parámetros de

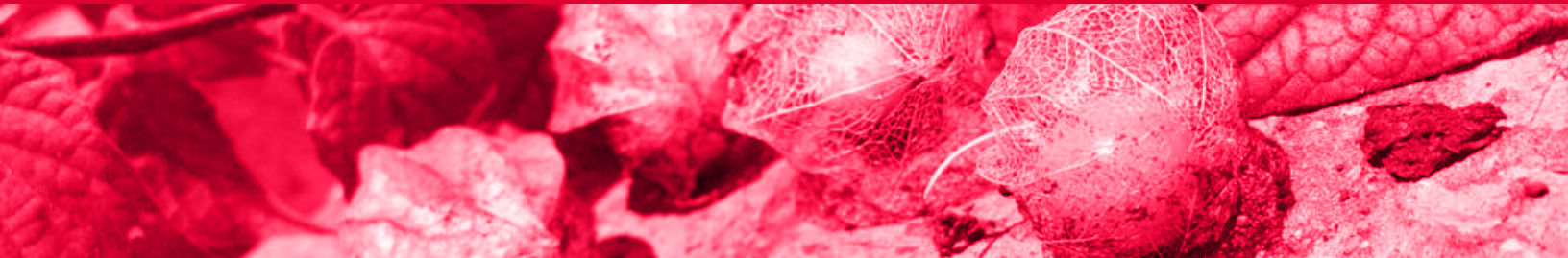
Solubilidad de Hansen (HSP) o COSMO-RS (Sánchez-Camargo et al., 2017). Una vez se han establecido los disolventes de mayor afinidad por el compuesto objetivo, así como las condiciones físicas, se formulan diseños experimentales que permitan optimizar el proceso de extracción. Luego, el extracto enriquecido en el compuesto de interés es caracterizado químicamente utilizando técnicas analíticas avanzadas y, de manera paralela, se estudia la actividad biológica del extracto en modelos *in vitro* e *in vivo* usando herramientas ómicas (p. ej., genómica, proteómica, metabolómica) desde una perspectiva alimentómica integrada, con la cual es posible conocer el efecto del extracto a nivel molecular sobre el modelo biológico estudiado y así aproximarse a su mecanismo de acción (Alvarez-Rivera, Ballesteros-Vivas, Ibáñez, Parada-Alfonso, & Cifuentes, 2021; Cifuentes, 2009).

**Figura 4.** Esquema de trabajo del enfoque “Alimentómica Verde” (Ballesteros-Vivas et al., 2021).  
Creado con Biorender.com



Este enfoque ha sido usado de manera exhaustiva y parcial para la obtención de extractos ricos en compuestos bioactivos en el proceso de valorización de residuos agroindustriales y biomasas no convencionales, como se expone a continuación.





### 3. APLICACIONES POTENCIALES

Como ya se ha argumentado, el diseño de procesos sostenibles se apoya en los principios de los PQV y la BC, por lo que la naturaleza de los recursos bióticos son el activo fundamental. En este sentido, América Latina cuenta con un patrimonio invaluable al albergar la mayor concentración de biodiversidad del mundo (Bravo et al., 2020). Sin embargo, tal riqueza y abundancia de recursos naturales contrasta con el nivel de desarrollo social, económico y ambiental de sus países. Si bien, los sistemas ecológicos han sido recursos fundamentales de las economías latinoamericanas emergentes, la promulgación de nuevas políticas públicas que impulsen el desarrollo sostenible anclado a la naturaleza de sus biorecursos es indispensable y urgente, por lo que el conocimiento es una herramienta para lograr avances tecnológicos, educativos y sociales en esta dirección y hacia la emancipación económica (Zuin, Stahl, Zanotti, & Segatto, 2020). En este sentido, la contribución de investigadores latinoamericanos, en colaboración con pares de diferentes regiones, ha sido importante. Tal afirmación se sustenta en el creciente número de publicaciones científicas suscritas en el campo de la QV (Zuin et al., 2020), muchas de las cuales plantean aplicaciones potenciales para la valorización de diferentes biomásas. En este ámbito, el Grupo de

Investigación en Química de Alimentos-GiQA de la Universidad Nacional de Colombia (Colombia), con el apoyo del Grupo de Alimentómica-Foodomics (CSIC, España), ha destinado esfuerzos para la formación de talento humano a través del ejercicio de la investigación aplicada para la valorización sostenible de residuos generados por el procesamiento de material hortofrutícola (p. ej., epicarpios, semillas, frutos sobremaduros, residuos de zumos, residuos de poda, entre otros), así como de biomásas no convencionales (p. ej., plantas acuáticas y cultivos restringidos legalmente). En la tabla 2 se resumen algunos de estos trabajos, los cuales han seguido esquemas metodológicos como el planteado en el enfoque “Alimentómica verde” (ver sección 2) u otros análogos circunscritos en los PQV. Así, por ejemplo, se han obtenido extractos ricos en compuestos bioactivos y con actividad antiproliferativa contra células de adenocarcinoma de colon (línea HT-29) a partir de residuos de frutas tropicales, tales como: epicarpio (Sánchez-Camargo et al., 2020) y almendra de la semilla (Ballesteros-Vivas et al., 2019a) de mango (*Mangifera indica* L.), semillas de curuba (*Passiflora mollissima* (Kunth) L. H. Bailey) (Ballesteros-Vivas et al., 2020) y cáliz de uchuva (*Physalis peruviana* L.) (Ballesteros-Vivas et al., 2019b). El enfoque alimentómico

de estos estudios permitió aproximarse a los mecanismos moleculares de acción, evidenciando el potencial de estos extractos como eventuales quimioterapéuticos frente a cáncer de colon. Otros estudios de interés están relacionados con la obtención de extractos con uso potencial como aditivos en la protección de alimentos contra la oxidación lipídica, a partir de residuos de frutas: p. ej. del epicarpio de mandarina (*Citrus reticulata* var. *Arrayana*) (Franco-Arnedo, Buelvas-Puello, Miranda-Lasprilla, Martínez-Correa, & Parada-Alfonso, 2020) para proteger mayonesa, de semillas de guayaba (*Psidium guava*) (Narváez-Cuenca, Inampues-Charfuelan, Hurtado-Benavides, Parada-Alfonso, & Vincken, 2020) y de semillas de papaya (*Carica papaya* L.) (Castro-Vargas, Baumann, Ferreira, & Parada-Alfonso, 2019) para atenuar la oxidación de aceites comestibles y del epicarpio de tomate de árbol (*Solanum betaceum* *Sendtn*) (Castro-Vargas, Benelli, Ferreira, & Parada-Alfonso, 2013) para aportar a la preservación de carne de res cocida.

Entre los trabajos de valorización de biomásas no convencionales como las plantas acuáticas del Caribe se encuentran la obtención de extractos de *Gracilaria mammillaris* y de *Hypnea musciformis* con potencial uso como aditivos para la protección contra la oxidación lipídica en alimentos (Ospina, Castro-Vargas, & Parada-Alfonso, 2017) y para la prevención de enfermedades cardiovas-

culares (Rozo et al., 2019), respectivamente. Asimismo, se ha explorado la explotación sostenible de cultivos restringidos legalmente como el cannabis (*Cannabis sativa* L.) para la obtención de estándares analíticos “*in house*” de cannabinoides (Gallo-Molina et al., 2019), lo que contribuye al estudio del cannabis en las ciencias forenses, la biotecnología y la medicina.

Finalmente, es importante que la valorización de los residuos agroindustriales y de otras biomásas se alinee con el concepto de *Innovación Responsable*, para que los desarrollos tecnológicos trasciendan la generación de valor económico per se, impactando el bienestar social. De esta manera, las aplicaciones potenciales descritas pretenden contribuir con el diseño de alimentos y con la salud pública, aportando a la seguridad y soberanía alimentaria. En este contexto, y de frente a la difícil situación que ha generado la pandemia del COVID-19, es prioritario dedicar esfuerzos para obtener extractos y compuestos bioactivos, y diseñar alimentos que contribuyan con el cuidado de la salud (Galanakis, 2020). Lograr esto a partir de residuos hortofrutícolas posibilitará la generación de innovaciones tecnológicas y de nuevas oportunidades de negocio, de cara a la crisis económica causada por la pandemia, teniendo como herramienta fundamental los PQV y la BC, a fin de obtener evidencia suficiente que soporte y oriente el desarrollo de este tipo de procesos.

**Tabla 2.** Aplicaciones potenciales para la valorización sostenible de residuos agroindustriales y de biomasa no convencionales.

BIOMASA	TÉCNICA DE EXTRACCIÓN	DISOLVENTE Y CONDICIONES DE EXTRACCIÓN	COMPUESTOS DE INTERÉS	ACTIVIDAD DEL EXTRACTO	USO POTENCIAL	REFERENCIA
Epicarpio de mango	EAM	Etanol 60% v/v 800 W 90 s	Compuestos fenólicos (ácido gálico, mangiferina, quercetina)	Antioxidante y antiproliferativa	Quimioterapéutico contra cáncer de colon	(Sánchez-Camargo et al., 2020)
Epicarpio de mango	EFS	CO <sub>2</sub> + Etanol (15% v/v) 25 MPa 60 °C	Carotenoides (trans-β-caroteno)	Antioxidante	Aditivo para la protección de aceite de girasol contra la oxidación	(Sánchez-Camargo et al., 2019)
Almendra de semilla de mango	ELP	Etanol 150 °C 10 MPa	Xantonas (mangifertina) Galotaninos (etilgalato)	Antioxidante y antiproliferativa	Quimioterapéutico contra cáncer de colon	(Ballesteros-Vivas, et al., 2019a)
Semillas de curuba	ELP	Etanol 150 °C 10 MPa	Proantocianidinas	Antioxidante y antiproliferativa	Quimioterapéutico contra cáncer de colon	(Ballesteros-Vivas et al., 2020)
Epicarpio de mandarina	EFS	CO <sub>2</sub> + Etanol (5% v/v) 80 °C 22 MPa	Compuestos fenólicos (naringenina, sinesteína, nobiletina)	Antioxidante	Aditivo para la protección de mayonesa contra la oxidación lipídica	(Franco-Arnedo et al., 2020)
Semillas de guayaba	EFS	CO <sub>2</sub> 52 °C 36 MPa	Ácidos grasos (ácido linoleico, ácido oleico) Compuestos fenólicos (vainillina, cinamaldehído)	NI	Aceite comestible	(Narváez-Cuenca et al., 2020)
Semillas de papaya	EFS	CO <sub>2</sub> + Etanol (8% m/m) 50 °C 20 MPa	Compuestos fenólicos (ácido clorogénico, ácido ferúlico, ácido p-cumárico)	Antioxidante	Aditivo para la protección de aceite vegetal contra la oxidación	(Castro-Vargas et al., 2019)



BIOMASA	TÉCNICA DE EXTRACCIÓN	DISOLVENTE Y CONDICIONES DE EXTRACCIÓN	COMPUESTOS DE INTERÉS	ACTIVIDAD DEL EXTRACTO	USO POTENCIAL	REFERENCIA
Cálix de uchuva	ELP	Etanol:acetato de etilo 75:25 v/v 125 °C 10 MPa	Witanólicos (4β-hidrowitanólido E) Ésteres de sacarosa (O-isobutanoilo de sacarosa) Flavonoides (quercetina)	Antioxidante y antiproliferativa	Quimioterapéutico contra cáncer de colon	(Ballesteros-Vivas, et al., 2019b)
Epicarpio de tomate de árbol	EFS	CO <sub>2</sub> + Etanol (2% v/v) 50 °C 30 MPa	NI	Antioxidante	Aditivo para la protección de carne de res cocida contra la oxidación lipídica	(Castro-Vargas et al., 2013)
Algas rojas	EFS	CO <sub>2</sub> + Etanol (8% v/v) 60 °C 10 MPa	Compuestos fenólicos (epicatequina, floreína)	Antioxidante Protección de LDLs contra el daño oxidativo	Ingrediente funcional para la prevención de enfermedades cardiovasculares	(Roza et al., 2019)
Algas rojas	EFS	CO <sub>2</sub> + Etanol (8% v/v) 60 °C 30 MPa	Compuestos fenólicos y carotenoides	Antioxidante	Aditivo para la protección de aceites vegetales comestibles contra la oxidación	(Ospina et al., 2017)
Inflorescencias de cannabis	EFS	CO <sub>2</sub> + Etanol (2% v/v) 60 °C 33 MPa	Cannabinoides (tetrahidrocannabinol)	NI	Estándar analítico	(Gallo-Molina et al., 2019)

EAM: Extracción asistida por microondas; EFS: Extracción con fluidos supercríticos; ELP: Extracción con líquidos presurizados; NI: No informado; LDLs: Lipoproteínas de baja densidad.

## Conclusiones

La Química Verde y la Bio-economía Circular constituyen instrumentos fundamentales para la consecución de los ODS. Esta articulación ha hecho posible la generación de estrategias metodológicas para la valorización de subproductos agroindustriales y de biomásas no convencionales, a través del diseño de procesos sostenibles. Lo anterior pone de manifiesto la importancia del conocimiento, la innovación y el desarrollo tecnológico, para un mejor aprovechamiento de los recursos bióticos, desde los ámbitos social, económico y medioambiental.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

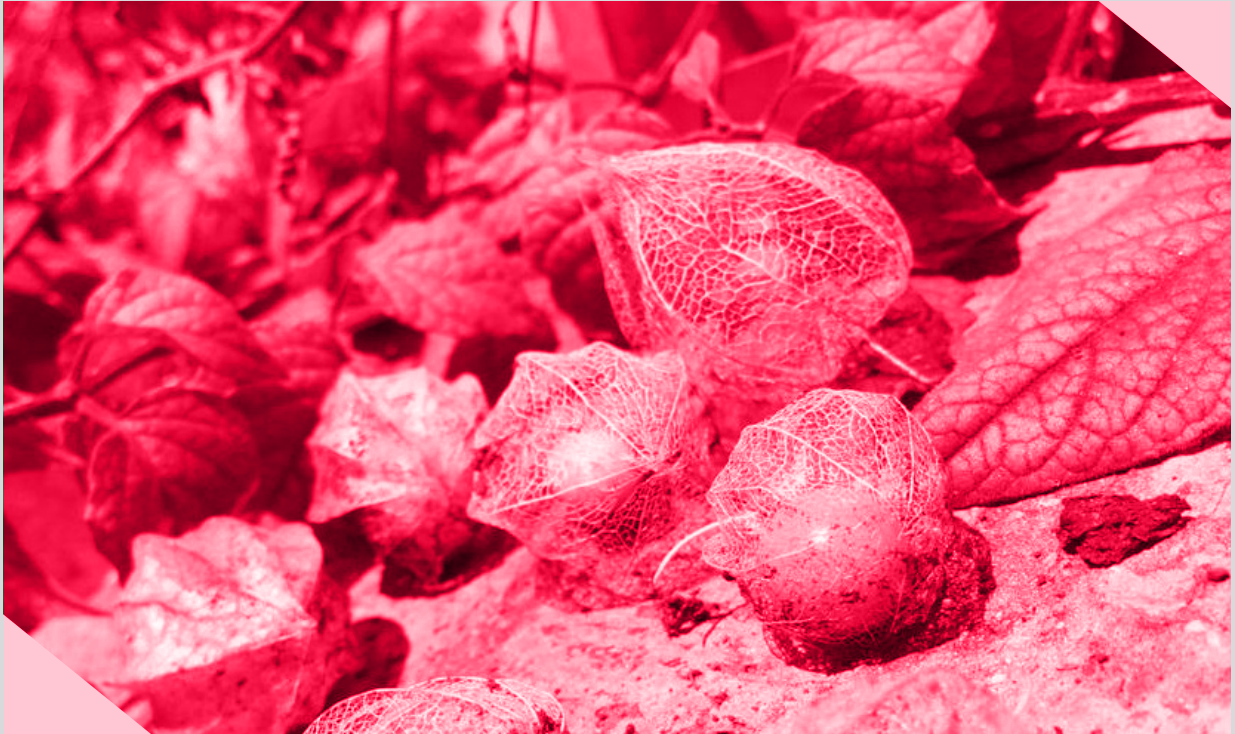
- Alvarez-Rivera, G., Ballesteros-Vivas, D., Ibañez, E., Parada-Alfonso, F., & Cifuentes, A. (2021). Foodomics of Bioactive Compounds From Tropical Fruits By-Products. In *Comprehensive Foodomics* (Vol. 1, págs. 672–688). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.22882-5>
- Anastas, P., & Eghbali, N. (2010). Green chemistry: principles and practice. *Chem Soc Rev*, 39(1), 301–312. <https://doi.org/10.1039/b918763b>
- Anastas, P.T., & Warner, J. C. (1998). *Green Chemistry: Theory and Practice*. New York: Oxford University Press. Retrieved from [https://books.google.com.co/books/about/Green\\_Chemistry.html?id=SrO8QgAACAAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.com.co/books/about/Green_Chemistry.html?id=SrO8QgAACAAJ&redir_esc=y)
- Asveld, L. (2019). Towards including social sustainability in green and sustainable chemistry. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 19, 61–65. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2019.06.001>
- Ballesteros-Vivas, D., Álvarez-Rivera, G., Morantes, S. J., Sánchez-Camargo, A. del P., Ibañez, E., Parada-Alfonso, F., & Cifuentes, A. (2019a). An integrated approach for the valorization of mango seed kernel: Efficient extraction solvent selection, phytochemical profiling and antiproliferative activity assessment. *Food Research International*, 126, 108616. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108616>
- Ballesteros-Vivas, D., Alvarez-Rivera, G., León, C., Morantes, S. J., Ibañez, E., Parada-Alfonso, F., ... Valdés, A. (2019b). Anti-proliferative bioactivity against HT-29 colon cancer cells of a withanolides-rich extract from golden berry (*Physalis peruviana* L.) calyx investigated by Foodomics. *Journal of Functional Foods*, 63(June), 103567. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.103567>
- Ballesteros-Vivas, D., Alvarez-Rivera, G., León, C., Morantes, S. J., Ibañez, E., Parada-Alfonso, F., ... Valdés, A. (2020). Foodomics evaluation of the anti-proliferative potential of *Passiflora mollissima* seeds. *Food Research International*, 130(December 2019), 108938. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108938>



- Ballesteros-Vivas, D., Ortega-Barbosa, J. P., Sánchez-Camargo, A. del P., Rodríguez-Varela, L. I., & Parada-Alfonso, F. (2021). Pressurized Liquid Extraction of Bioactives. In *Comprehensive Foodomics* (Vol. 2, pp. 754–770). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.22817-5>
- Bravo, K., Quintero, C., Agudelo, C., García, S., Bríñez, A., & Osorio, E. (2020). CosIng database analysis and experimental studies to promote Latin American plant biodiversity for cosmetic use. *Industrial Crops and Products*, *144*, 112007. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.112007>
- Calicioglu, O., & Bogdanski, A. (2020). Linking the Bioeconomy to the 2030 Sustainable Development Agenda: Can SDG indicators be used to monitor progress towards a sustainable bioeconomy? *New Biotechnology*, *124658*. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2020.10.010>
- Calvo-Flores, F. G., Monteagudo-Arrebola, M. J., Dobado, J. A., & Isac-García, J. (2018). Green and Bio-Based Solvents. *Topics in Current Chemistry*, *376*(3), 1–40. <https://doi.org/10.1007/s41061-018-0191-6>
- Cambel, V. (2014). Extraction Methodologies: General Introduction. In K. Hostettmann (Ed.), *Handbook of Chemical and Biological Plant Analytical Methods* (Firts, págs. 17–42). Chichester: Wiley & Sons.
- Carus, M., & Dammer, L. (2018). The Circular Bioeconomy - Concepts, Opportunities, and Limitations. *Industrial Biotechnology*, *14*(2), págs. 83–91. <https://doi.org/10.1089/ind.2018.29121.mca>
- Castro-Vargas, H. I., Baumann, W., Ferreira, S. R. S., & Parada-Alfonso, F. (2019). Valorization of papaya (*Carica papaya* L.) agroindustrial waste through the recovery of phenolic antioxidants by supercritical fluid extraction. *Journal of Food Science and Technology*, *56*(6), 3055–3066. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03795-6>
- Castro-Vargas, H. I., Benelli, P., Ferreira, S. R. S., & Parada-Alfonso, F. (2013). Supercritical fluid extracts from tamarillo (*Solanum betaceum* Sendtn) epicarp and its application as protectors against lipid oxidation of cooked beef meat. *Journal of Supercritical Fluids*, *76*, 17–23. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2012.10.006>
- Chemat, F., Abert-Vian, M., Fabiano-Tixier, A. S., Strube, J., Uhlenbrock, L., Gunjevic, V., & Cravotto, G. (2019). Green extraction of natural products. Origins, current status, and future challenges. *TrAC - Trends in Analytical Chemistry*, *118*, págs. 248–263. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2019.05.037>
- Chemat, F., Vian, M. A., & Cravotto, G. (2012). Green extraction of natural products: concept and principles. *International Journal of Molecular Sciences*, *13*(7), 8615–8627. <https://doi.org/10.3390/ijms13078615>
- Chen, T. L., Kim, H., Pan, S. Y., Tseng, P. C., Lin, Y. P., & Chiang, P. C. (2020). Implementation of green chemistry principles in circular economy system towards sustainable development goals: Challenges and perspectives. *Science of the Total Environment*, *716*(1), 136998. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136998>
- Cifuentes, A. (2009). Food analysis and Foodomics. *Journal of Chromatography A*, *1216*(43), 7109. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2009.09.018>
- FDA. (2018). Database of Select Committee on GRAS Substances (SCOGS) Reviews. Retrieved November 16, 2020, from <https://www.fda.gov/food/generally-recognized-safe-gras/gras-substances-scogs-database>
- Franco-Arnedo, G., Buelvas-Puello, L. M., Miranda-Lasprilla, D., Martínez-Correa, H. A., & Parada-Alfonso, F. (2020). Obtaining antioxidant extracts from tangerine (*C. reticulata* var. Arrayana) peels by modified supercritical CO<sub>2</sub> and their use as protective agent against the lipid oxidation of a mayonnaise. *Journal of Supercritical Fluids*, *165*. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2020.104957>

- Galanakis, C. M. (2020). The Food Systems in the Era of the Coronavirus (COVID-19) Pandemic Crisis. *Foods*, 9(4), 523. <https://doi.org/10.3390/foods9040523>
- Gallo-Molina, A. C., Castro-Vargas, H. I., Garzón-Méndez, W. F., Martínez Ramírez, J. A., Rivera Monroy, Z. J., King, J. W., & Parada-Alfonso, F. (2019). Extraction, isolation and purification of tetrahydrocannabinol from the Cannabis sativa L. plant using supercritical fluid extraction and solid phase extraction. *Journal of Supercritical Fluids*, 146(January), págs. 208–216. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2019.01.020>
- Gilbert-López, B., Mendiola, J. A., & Ibáñez, E. (2017). Green foodomics. Towards a cleaner scientific discipline. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 96, 31–41. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2017.06.013>
- Gustavsson, J., Cederberg, C., Sonesson, U., van Otterdijk, R., & Meybeck, A. (2011). *Global food losses and food waste (Save Food!)*. Düsseldorf.
- Kosseva, M. R. (2013). *Sources, characterization, and composition of food industry wastes*. (M. R. Kosseva & C. Webb, Eds.), *Food Industry Wastes* (First Edit). Oxford: Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-391921-2.00003-2>
- Kurowska-Susdorf, A., Zwierzdzyński, M., Bevanda, A. M., Talić, S., Ivanković, A., & Płotka-Wasyłka, J. (2019). Green analytical chemistry: Social dimension and teaching. *TrAC - Trends in Analytical Chemistry*, 111, 185–196. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2018.10.022>
- Naciones Unidas. (2015). *Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. New York.
- Narváez-Cuenca, C. E., Inampues-Charfuelan, M. L., Hurtado-Benavides, A. M., Parada-Alfonso, F., & Vincken, J. P. (2020). The phenolic compounds, tocopherols, and phytosterols in the edible oil of guava (Psidium guava) seeds obtained by supercritical CO<sub>2</sub> extraction. *Journal of Food Composition and Analysis*, 89(February), 103467. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2020.103467>
- Ospina, M., Castro-Vargas, H. I., & Parada-Alfonso, F. (2017). Antioxidant capacity of Colombian seaweeds: I. Extracts obtained from Gracilaria mammillaris by means of supercritical fluid extraction. *Journal of Supercritical Fluids*, 128, págs. 314–322. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2017.02.023>
- PNUD. (2020). *Objetivos de Desarrollo Sostenible | PNUD*. Retrieved November 10, 2020, from <https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals.html>
- Rozo, G., Rozo, C., Puyana, M., Ramos, F. A., Almonacid, C., & Castro, H. (2019). Two compounds of the Colombian algae Hypnea musciformis prevent oxidative damage in human low density lipoproteins LDLs. *Journal of Functional Foods*, 60(June), 103399. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.06.001>
- Salvador, R., Puglieri, F. N., Halog, A., Andrade, F. G. d., Piekarski, C. M., & De Francisco, A. C. (2021). Key aspects for designing business models for a circular bioeconomy. *Journal of Cleaner Production*, 278, 124341. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124341>
- Sánchez-Camargo, A. del P., Ballesteros-Vivas, D., Buelvas-Puello, L. M., Martínez-Correa, H. A., Parada-Alfonso, F., Cifuentes, A., ... Gutiérrez, L.-F. (2020). Microwave-assisted extraction of phenolic compounds with antioxidant and anti-proliferative activities from supercritical CO<sub>2</sub> pre-extracted mango peel as valorization strategy. *LWT*, 110414. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110414>
- Sánchez-Camargo, A. del P., Gutiérrez, L. F., Vargas, S. M., Martínez-Correa, H. A., Parada-Alfonso, F., & Narváez-Cuenca, C. E. (2019). Valorisation of mango peel: Proximate composition, supercritical fluid extraction of carotenoids, and application as an antioxidant additive for an edible oil. *Journal of Supercritical Fluids*, 152, 104574. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2019.104574>

- Sánchez-Camargo, A. del P., Pleite, N., Herrero, M., Cifuentes, A., Ibáñez, E., & Gilbert-López, B. (2017). New approaches for the selective extraction of bioactive compounds employing bio-based solvents and pressurized green processes. *Journal of Supercritical Fluids*, 128(February), 112–120. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2017.05.016>
- Tanumihardjo, S. A., McCulley, L., Roh, R., Lopez-Ridaura, S., Palacios-Rojas, N., & Gunaratna, N. S. (2020). Maize agro-food systems to ensure food and nutrition security in reference to the Sustainable Development Goals. *Global Food Security*, 25(August 2019), 100327. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2019.100327>
- Veleva, V. R., & Cue, B. W. (2019). The role of drivers, barriers, and opportunities of green chemistry adoption in the major world markets. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 19, 30–36. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2019.05.001>
- Venkata Mohan, S., Dahiya, S., Amulya, K., Katakajwala, R., & Vanitha, T. K. (2019). Can circular bioeconomy be fueled by waste biorefineries — A closer look. *Bioresource Technology Reports*, 7(June), 100277. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2019.100277>
- Yepes, S. M., Montoya, L., & Orozco, F. (2008). Valorización de residuos agroindustriales -Frutas- en Medellín y el Sur del Valle del Aburrá, Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 61(1), 4422–4431.
- Zuin, V. G., Stahl, A. M., Zanotti, K., & Segatto, M. L. (2020). Green and sustainable chemistry in Latin America: Which type of research is going on? And for what? *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 25, 100379. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2020.100379>



EMBAJADA  
DE ESPAÑA  
EN GUATEMALA

