

ARTÍCULO ARBITRADO: REVISIÓN

RESIDUOS AGROINDUSTRIALES COMO FUENTES DE COMPUESTOS ANTIOXIDANTES

Edith Estefanía Duarte Llanes¹, Ana Angélica Feregrino Pérez^{2,}*

Resumen

Las agroindustrias producen miles de toneladas de residuos cada año, la gran mayoría de estos residuos presenta compuestos con actividades biológicas de interés. Este trabajo de investigación se centró en la búsqueda de la actividad antioxidante de cuatro residuos agroindustriales: suero de leche, bagazo de cerveza, nejayote y posos de café, en base a una revisión bibliográfica en la base de datos Science Direct. Las técnicas y métodos de extracción económicamente viables siguen en investigación, así como otras posibles propiedades como: actividad antimicrobiana, antiinflamatoria, antihipertensiva, etc., presentes dependiendo del residuo agroindustrial a evaluar. Se puede concluir que los residuos orgánicos como los que se mencionan son una fuente viable y sustentable de compuestos con características antioxidantes, que pueden ser empleados y reincorporados a los procesos productivos en diversas áreas como la alimentaria, agrícola, farmacéutica, entre otras.

Palabras Clave:

antioxidantes, residuos orgánicos, actividad biológica

Abstract

Agricultural industries produce thousands of tons of waste each year, the vast majority of this waste presents compounds with biological activities of interest. This research work focused on the search for the antioxidant activity of four agro-industrial wastes: whey, beer bagasse, nejayote, and coffee grounds. Although, economically viable extraction techniques and methods are still under investigation, as well as the use of other properties such as antimicrobial, anti-inflammatory, antihypertensive activity, etc., present depending on the agro-industrial waste to be evaluated. It can be concluded that organic waste such as those mentioned is a viable and sustainable source of compounds with antioxidant characteristics, which can be used and/or reincorporated into production processes in various areas such as food, agriculture, and pharmaceuticals, among others.

Keywords:

antioxidants, organic waste, biological activity

¹Instituto Tecnológico de Culiacán. Juan de Dios Bátiz No. 310 Pte., Col. Guadalupe, 80220, Sinaloa, México

²División de Investigación y Posgrado, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro, Campus Amazcala, Carretera Chichimequillas s/n km 1, El Marqués, Querétaro, 76265, México.

* Autor de correspondencia: feregrino.angge@hotmail.com

1. Introducción

El desarrollo industrial conlleva al incremento en generación de residuos los cuales se han convertido en una problemática tanto ambiental como económica para las empresas ya que éstas se deben responsabilizar de los altos costos que genera su disposición final (CCA, 2017). La industria busca nuevos procesos de producción que sean más eficientes y que generen bajo impacto en el medio ambiente. Dentro de estos nuevos procesos se ha encontrado la necesidad de disminuir la explotación de los recursos naturales aprovechando los residuos generados en la industria. Del mismo modo, el aprovechamiento de estos residuos o subproductos no solo contribuye a disminuir la explotación de recursos, sino también la contaminación y degradación del ecosistema, evitando una disposición final inadecuada como es el caso de las quemadas, el uso en rellenos sanitarios o el vertimiento a fuentes hídricas (Corredor y Pérez, 2018).

Se ha encontrado que hay residuos agroindustriales que poseen compuestos fenólicos y un de las principales propiedades que presentan los estos compuestos es la actividad antioxidante. Esta actividad antioxidante está determinada por las siguientes características:

- Su reactividad como agente donador de electrones de hidrógeno. Esta propiedad está ligada al potencial de reducción que presentan.
- El destino del radical antioxidante. Éste vendrá dado por su capacidad para estabilizar y deslocalizar el electrón apareado.
- Su reactividad con otros antioxidantes.
- El potencial de transición del metal quelante.

Por otra parte, los procesos oxidativos han sido relacionados con diversas patologías asociadas a procesos degenerativos del sistema nervioso central (Sánchez-Valle y Méndez-Sánchez, 2018). A nivel alimentario la oxidación provoca deterioro de las propiedades organolépticas de un gran número de productos procesados, en especial a las grasas y los aceites. Con este conocimiento, diversos autores han dedicado esfuerzos por demostrar el potencial de algunos materiales subutilizados o de escaso interés comercial como lo son los residuos derivados

de procesos agroindustriales, como fuente de compuestos antioxidantes (Figura 1) (Sultana et al., 2008). Con base a lo anterior, este artículo trata de resumir la experiencia de varios autores y los aspectos más relevantes de la actividad antioxidante presente en residuos agroindustriales los cuales se seleccionaron en base a los siguientes criterios de inclusión : residuos agroindustriales derivados de procesos de mayor impacto económico en México en los últimos 10 años a la fecha, complejidad en el manejo de los residuos y análisis bibliográfico de aporte antioxidante en la base de datos de Elsevier®.

2. Suero de leche

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés) se produjeron aproximadamente 150 millones de toneladas de residuos lácteos en 2019 (FAOStat, 2021). Los cuales por sus características son fuente de contaminación para suelos y mantos acuíferos (CCA, 2017).

El suero de leche es el residuo líquido generado en el proceso de elaboración de queso, el cual contiene aproximadamente 50% de los nutrientes presentes en la leche (Ponist et al., 2021). Es un subproducto poco aprovechado en México, incluso se le considera un problema ambiental potencial ya que constituye una importante fuente de contaminación ambiental debido al alto contenido de materia orgánica, lo cual expresado como DBO (demanda biológica de oxígeno) está entre 30.000 y 50.000 mg/L y como DQO (demanda química de oxígeno) entre 60.000 y 80.000 mg/L (Ramírez, 2017). Además, cerca del 90% de esta carga es aportada por el contenido de lactosa, la cual posee un tipo de enlace entre sus azúcares componentes que hace que muchos microorganismos no sean capaces de degradarla. El vertimiento del lactosuero en fuentes hídricas hace que el agua se quede sin oxígeno, debido a la acción microbiana que transforma la materia orgánica en compuestos que disminuyen el pH del agua trayendo como consecuencia la producción de malos olores y la muerte de los organismos acuáticos que allí se encuentren.

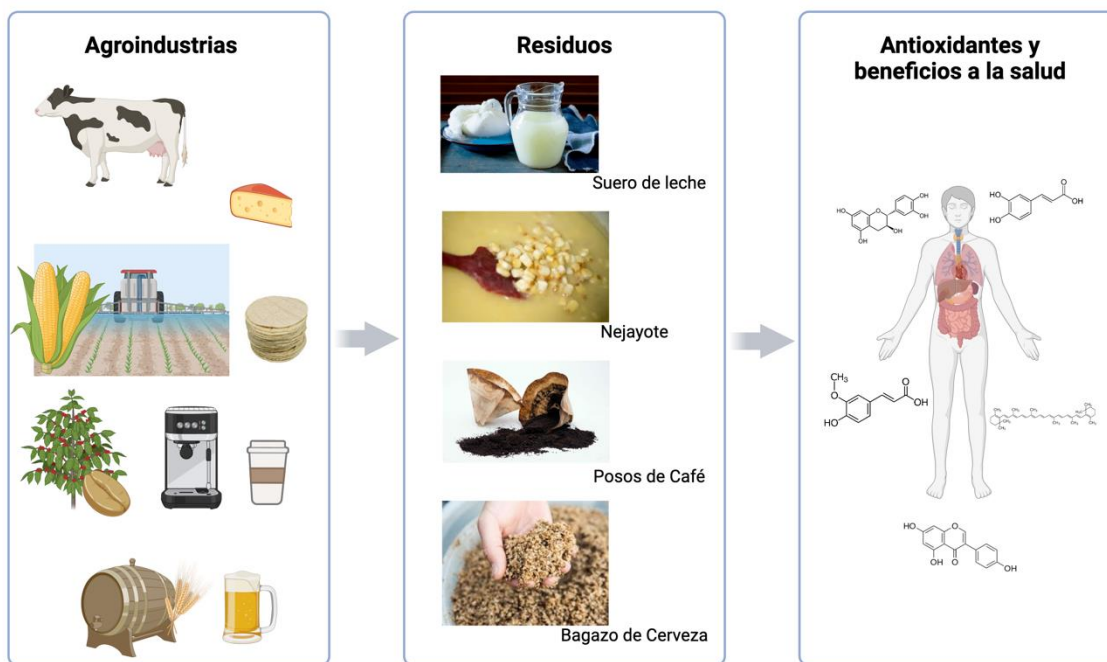


Fig. 1. Residuos obtenidos de industrias agroalimentarias con potencial antioxidante.

Este alto contenido de materia orgánica sumado al gran volumen de generación de lactosuero, que anualmente se incrementa en cerca del 3%, y también la incapacidad de las pequeñas y medianas empresas lácteas de aprovechar el lactosuero de una manera rentable, ocasionan que cerca del 50% de la producción mundial sea desechada como efluente a los recursos hídricos o a los sistemas de alcantarillado sin ningún tratamiento, lo que ubica al desecho de este material como una amenaza considerable para el medio ambiente (Ramírez, 2017).

Composición

En general, en todos los tipos de suero, la lactosa constituye el 75% de los sólidos, sin embargo, el resto de los sólidos representan una excelente fuente de proteínas, lípidos, vitaminas y minerales, cuya importancia ha sido reconocida en los últimos años (Ponist et al., 2021).

Entre las principales fracciones proteicas de la leche liberadas en el suero, se encuentran en mayor cantidad las proteínas globulares solubles β -lactoglobulina (β -LG) y β -lactoalbúmina (α -LA) en una relación 3:1 y como constituyentes menores

seroalbúmina, inmunoglobulinas, lactoferrina, proteosomas-peptonas y transferrina (Bordin et al., 2001) en total ellas representan el 98% de la proteína soluble. Esto es equivalente a 6 g por cada kilogramo de leche completa, empleada en la fabricación de los quesos. En la actualidad la aplicación de procesos industriales actuales permite la recuperación de las proteínas y péptidos del suero, sin desnaturalizarlas y conservando su actividad biológica (Lemes et al, 2016).

Actividad antioxidante

Se ha demostrado que las proteínas, hidrolizados de proteínas, péptidos individuales y aminoácidos de suero de leche tienen importantes actividades antioxidantes. Son eficaces contra la peroxidación enzimática y no enzimática de lípidos y ácidos grasos esenciales como eliminadores de radicales libres y quelantes de iones metálicos. Las caseínas durante la hidrólisis por enzimas proteolíticas pueden liberar péptidos antioxidantes (Korhonen y Pihlanto, 2006). Adicionalmente, se han identificado péptidos derivados de la fermentación de la leche con capacidad secuestradora de radicales libres (Pihlanto,

2011). Hernández-Ledesma et al. (2005) identificaron un decapeptido (Trp-TyrSer-Leu-Ala-Met-Ala-Ser-Asp-Ile) que tiene mayor actividad secuestradora de radicales que el butil-hidroxi-anizol, que es un poderoso antioxidante. Estudios previos reelaron que la proteína láctica, κ -caseína, puede liberar péptidos antioxidantes a partir de la fermentación de leche por bacterias ácido-lácticas como *Lactobacillus delbrueckii* ssp. bulgaricus (Kudoh et al., 2001).

La aplicación de procesos industriales actuales permite la recuperación de las proteínas y péptidos del suero, sin desnaturalizarlas y conservando su actividad biológica. Algunos de los procesos unitarios empleados para la concentración, transformación, fraccionamiento y deshidratación del suero incluyen: 1) técnicas de electrodiálisis y nanofiltración para su desmineralización y aplicación como ingrediente en formulaciones especiales infantiles y para pacientes clínicos; 2) otros procesos de membrana, incluyendo microfiltración y ultrafiltración, para el desarrollo de ingredientes funcionales de suero, altos en proteínas y bajos en grasa, y 3) diversos procesos de secado (Smithers, 2008; Ahlawat et al., 2022). La composición del producto final dependerá de la tecnología empleada en la concentración de las proteínas del suero.

3. Bagazo de cerveza

El bagazo de cerveza o residuo de malta de cerveza (RMC) es un residuo sólido insoluble obtenido del proceso de fabricación de la cerveza. Representa el 85% de los subproductos generados, siendo el mayor subproducto de la industria cervecera. A pesar de ser un producto fácilmente aprovechable, el sector no le ha prestado atención de forma que se usa tradicionalmente de alimento para animales (Cerisuelo y Bacha, 2021).

En las primeras etapas del proceso de producción de la cerveza, la cebada recogida de la cosecha se limpia y clasifica en tamaños. Se deja almacenada por 4-6 semanas y después se somete a un proceso de malteado, que es un proceso de germinación el cual sirve para aumentar el contenido enzimático del grano.

En la fábrica de cerveza, la malta se muele y se mezcla con agua en un macerador, aumentando gradualmente su temperatura de 37 a 78°C, de forma que así se promueve la hidrólisis enzimática de los constituyentes de la malta, mayoritariamente del almidón, pero también de otros componentes como

las proteínas, β -glucanos y xilosas de forma que se solubilizan en el agua sus productos de ruptura. Durante el proceso de hidrólisis, el almidón se convierte en azúcares fermentables, (principalmente maltosa y maltotriosa) y azúcares no fermentables (dextrinas), y las proteínas son degradadas a polipéptidos y aminoácidos. Esta conversión enzimática llamada maceración produce un líquido de sabor dulce llamado mosto. La parte insoluble, formada por la malta, se asienta formando una cama en el macerador y se utiliza para filtrar el mosto. El mosto filtrado se usa como medio de fermentación para producir cerveza y a la fracción sólida residual resultante del grano de cebada malteado se le denomina bagazo de cerveza o RMC (Nigam, 2017). El RMC conseguido presenta un importante potencial de valorización debido a su composición rica en proteínas, carbohidratos y compuestos fenólicos, entre otros.

El RMC representa el 31% del peso de malta inicial y se obtienen 20 kg de RMC por cada 100 litros de cerveza producida. En 2018, se produjeron 11,980 millones de litros de cerveza, generando 2.3 millones de RMC. En las últimas dos décadas, el RMC ha ido ganando la atención para el consumo humano debido a sus componentes bioactivos y sus efectos beneficiosos para la salud.

Composición

El RMC está compuesto mayoritariamente por la cáscara del grano, y pequeñas fracciones de pericarpio y del recubrimiento de la semilla (Cerisuelo y Bacha, 2021), compuesto por lignina, celulosa, hemicelulosa, lípidos y proteínas. El RMC es un material lignocelulósico ya que la celulosa (un homopolímero formado por unidades de glucosa), hemicelulosa y lignina (una macromolécula de polifenoles) forman casi el 50% en peso del RMC.

Actividad antioxidante

El RMC contiene diferentes tipos de compuestos fenólicos. Entre estos compuestos fenólicos tienen un gran interés las especies antioxidantes. Dentro de este grupo los compuestos más abundantes son los ácidos hidroxicinámicos y los flavonoides. Entre los ácidos destacan el ferúlico y el p-coumárico (García Paz, M. 2017), aunque también aparecen los ácidos: gálico, cafeico y sinápico. La acción de estos ácidos es actuar como antioxidantes atrapando los radicales libres. Por su parte, los flavonoides mayoritarios en

este tipo de compuestos son la catequina y la quercetina, los cuales se encargan de eliminar esos radicales libres (Nieto Sanz, 2019).

Durante el proceso de elaboración de cerveza, parte de estos compuestos pasan al mosto junto con los azúcares de la malta. Sin embargo, una fracción se retiene en el grano, de manera que el residuo obtenido disminuye su peso respecto a la malta original y presenta una concentración mayor que ésta en compuestos fenólicos. Por lo tanto, actualmente se obtienen antioxidantes naturales y alternativa a antioxidantes sintéticos debido a que en la cáscara de los granos de cebada se encuentran distintos compuestos antioxidantes que se pueden extraer y utilizar como tal (Mussatto, 2014). Los compuestos fenólicos se encuentran situados en la cáscara de los granos de RMC, lo que constituye la matriz sólida. Utilizando un disolvente adecuado se consigue separar dichos compuestos de la matriz para su posterior aprovechamiento. Por ello, el tipo de extracción que se realizará será una extracción sólido-líquido. Existen diferentes métodos para llevar a cabo este tipo de extracción. Por un lado, están las técnicas convencionales S/L, entre las que se encuentran la extracción con un disolvente o la extracción Soxhlet. Por otro lado, han aparecido técnicas de extracción más avanzadas que podrían servir para cumplir este objetivo, como son la extracción microondas asistida, la extracción por ultrasonido, y la extracción con fluidos supercríticos. También es de interés nombrar los principales parámetros que influyen en este proceso: tipo de compuesto a extraer, tipo de disolvente empleado, tamaño de partículas sólidas, relación S/L, temperatura, presión, y la presencia de otras sustancias presentes en la materia prima que puedan interferir (Cornejo Badillo y Huaranga Benavides, 2022; Matiacevich et al., 2023).

4. Nejayote

Uno de los alimentos básicos en México es el maíz, principalmente consumido en forma de tortillas, datos del Consejo Empresarial de la Industria del Maíz revelan que en el país se producen anualmente entre 7.5 y 8.0 millones de toneladas de éstas en molinos de nixtamal; para lo que es necesario procesar 3.5 millones de toneladas de maíz. La nixtamalización es parte de este proceso y se refiere a la cocción alcalina de los granos de maíz, mediante la cual se mejoran las características nutricionales, fisicoquímicas y sensoriales de las tortillas.

Para la nixtamalización, usualmente, por cada kilogramo de granos de maíz se emplean dos a tres litros de solución alcalina de hidróxido de calcio (cal) a una concentración aproximada de 1% y se calienta hasta alcanzar una temperatura entre 90-100 °C durante un lapso de 30 a 60 minutos. Después, se corta el suministro de calor y se deja reposar 12-14 horas (Paredes López et al., 2009).

En la modalidad industrial, la masa se seca y muele para producir harina, (Valderrama-Bravo et al., 2012). Aproximadamente un 30% del agua empleada en la cocción es absorbida por el maíz, el líquido restante, llamado nejayote, es el subproducto de la nixtamalización, El nejayote se caracteriza por contener altos valores de pH, temperatura y materia orgánica proveniente del propio maíz (Téllez-Pérez et al., 2018). Se considera como altamente contaminante debido a: su alta demanda biológica de oxígeno (2,692-7,875 mg O₂/L), alta demanda química de oxígeno (10,200-22,000 mg O₂/L) y pH básico (10.5-11.2). El material soluble está formado por hidrolizados de los carbohidratos del grano de maíz, sales de calcio y sales de ácidos fenólicos, mientras que la materia insoluble corresponde a los residuos del tejido del pericarpio del maíz (Acosta-Estrada et al., 2014).

Calculando que una planta con una capacidad de 600 toneladas de maíz por día genera entre 1,500 y 2,000 m³ de nejayote. Consecuentemente considerando que el grano de maíz absorbe del 14 al 48% del agua utilizada durante el proceso de la nixtamalización, el volumen estimado de nejayote que se produce en México es de 1.2 millones de m³ por día (Valderrama-Bravo et al., 2012). Si bien el nejayote es calificado como un efluente altamente contaminante, puede ser considerado también como una fuente importante de compuestos de alto valor, como el ácido ferúlico y otros compuestos fenólicos, compuestos con valor comercial, como las hemicelulosas y productos con valor estratégico, como el agua para reuso, un bien cada vez más escaso (Acosta-Estrada et al., 2014; Ayala-Soto et al., 2014).

Composición

La composición del nejayote tiene rangos de variación amplios ya que se ve afectada por diferentes variables como: tipo de maíz, dureza del endospermo, calidad del grano, tipo y concentración de cal, tiempo y temperatura de cocimiento y remojo, manejo del maíz

durante su lavado y transporte, equipo y prácticas de proceso (Ramírez-Romero et al., 2013).

El material contenido en el Nejayote está compuesto principalmente por residuos de pericarpio de maíz, sólidos en solución entre los que se incluyen arabinosilanos, almidones, dextrinas, calcio y compuestos fenólicos antioxidantes, como el ácido p-cumárico y el ácido ferúlico, por citar algunos (García-Zamora et al., 2015).

Actividad antioxidante

El ácido ferúlico está presente en el Nejayote debido a que, tras el proceso de cocción alcalina, se hidroliza de la pared celular del pericarpio del grano de maíz, quedando libre en el licor de desecho del proceso industrial. El ácido ferúlico es un compuesto muy valioso con alto potencial industrial por su carácter antioxidante (Pacheco, 2019).

El ácido ferúlico y sus derivados son miembros reconocidos del grupo de antioxidantes fenólicos naturales. Estudios clínicos y epidemiológicos han mostrado evidencias de que los antioxidantes fenólicos de cereales, frutas y vegetales son los principales factores que contribuyen en la disminución de la incidencia de enfermedades crónicas y degenerativas encontradas en poblaciones cuyas dietas son altas en el consumo de estos alimentos.

Debido a su núcleo fenólico y a la conjugación de su cadena lateral, forma fácilmente un radical fenoxi estabilizado por resonancia que representa su potencial antioxidante. La absorción de radiación UV por el ácido ferúlico cataliza la formación de radicales fenoxi estables y con ello potencia su capacidad de terminar reacciones de radicales libres. El ácido ferúlico desarrolla una función antioxidante importante en la preservación de la integridad fisiológica de las células expuestas al aire y la radiación UV. Como aplicaciones del potencial antioxidante del ácido ferúlico a nivel industrial puede hablarse de aditivos en la industria de alimentos, tanto para la preservación de los mismos como para elaborar alimentos funcionales preventivos de enfermedades degenerativas. En los alimentos, el ácido ferúlico inhibe la peroxidación lipídica y el deterioro posterior oxidativo.

5. Posos de café

El grano de café es el producto agrícola utilizado para producir una de las bebidas más consumidas a nivel mundial. La cual es muy apreciada por su aroma,

sabor y propiedades estimulantes debido a su contenido en cafeína. La industria cafetalera está en constante expansión, en 2018 se reportó una producción de café de 9,542 t y la producción sigue en incremento a la par de la producción de residuos de café (Yun et al., 2020).

Aunque parte de estos residuos han encontrado una utilidad comercial como fertilizantes agrícolas, la mayoría termina tirándose en un vertedero. Las cafeteras de filtro y expreso, presentes en los hogares y en las cafeterías y restaurantes, fomentan que en el poso se acumulen antioxidantes que se podrían extraer para fabricar suplementos dietéticos. Además, eso no impediría que el resto del café molido siguiera empleándose para fertilizar los cultivos. (Martínez-Cruz, 2023). Estos residuos no tienen valor comercial y generalmente se eliminan; sin embargo, son fuente de compuestos con actividad biológica como lo son los compuestos fenólicos y la fibra dietaria, la cual representa el 47% de su composición. Adicionalmente, la fibra dietética obtenida de los posos de café fue aceptada por la Agencia Europea de Seguridad Alimentaria como ingrediente para consumo humano en 2021, dado que su aplicación contribuye a reducir el riesgo de enfermedades crónicas, además de contribuir a la seguridad nutricional con arreglo en la filosofía de cero desperdicios. Por otra parte, la eliminación de los posos de café, se debe realizar mediante un tratamiento adecuado ya que su alto contenido y la presencia de compuestos tales como cafeína, taninos y polifenoles pueden tener efectos negativos sobre el medio ambiente. Por estas razones, recientemente se ha incrementado el interés en la reutilización de estos residuos (Pandey et al., 2000; Garcés Valledapaz, 2022).

Como se ha mencionado, los residuos de café se consideran ricos en nutrientes bioactivos. Por lo que este material representa una fuente alternativa para obtener antioxidantes naturales, considerándose completamente seguros en comparación con los sintéticos (Garcés Valledapaz, 2022).

Composición

Los posos de café tienen sorprendentes propiedades saludables, pues son ricos en fibra y contienen un alto porcentaje de compuestos fenólicos, se estima que los posos de café que se desechan cada día tienen una capacidad antioxidante 500 veces superior a la de la vitamina C, además de ser fuente de melanoidinas.

Los posos de café contienen compuestos que dan al café su característico color pardo y que también son conocidos por su alta capacidad antioxidante, además de otras propiedades biológicas interesantes para los humanos (Arya et al., 2022).

Actividad antioxidante

En un estudio realizado por Panusa et al. (2013), los posos de café gastados (SCG) se extrajeron con un procedimiento respetuoso con el medio ambiente y se analizaron para evaluar la recuperación de antioxidantes naturales relevantes para su uso como suplementos nutricionales, aditivos alimentarios o cosméticos. Los SCG se caracterizaron en términos de su contenido fenólico total mediante el procedimiento de Folin-Ciocalteu y la actividad antioxidante mediante el ensayo de eliminación de DPPH. El contenido de flavonoides también se determinó mediante un ensayo colorimétrico. El contenido fenólico total se correlacionó fuertemente con la actividad depuradora de DPPH, lo que sugiere que los compuestos fenólicos son los principales responsables de la actividad antioxidante de SCG. Se utilizó un sistema UHPLC-PDA-TOF-MS para separar, identificar y cuantificar compuestos fenólicos y no fenólicos en los extractos de SCG. Importantes cantidades de ácidos clorogénicos y compuestos relacionados, así como cafeína evidenciaron el alto potencial del SCG, un material de desecho que está ampliamente disponible en el mundo, como fuente de antioxidantes fenólicos naturales.

En conclusión, todos los resultados muestran que los posos de café son una fuente accesible y sostenible de compuestos bioactivos con potenciales beneficios para la salud, por lo que podrían ser utilizados como ingredientes en alimentos funcionales (Panusa et al., 2013)

6. Perspectivas

La mayoría de las industrias generan residuos con impactos negativos o positivos en el medio ambiente, dependiendo del aprovechamiento de estos. Son pocas las investigaciones desarrolladas para aportar alternativas de aprovechamiento que procurarían una solución a la problemática generada: dar un valor agregado a estos residuos con beneficios en un máximo rendimiento, alcanzar una reducción en la contaminación y generar ganancias económicas. Los residuos agroindustriales presentan un alto potencial de aprovechamiento gracias a su variada composición

química, y esto es reflejado en la diversidad de alternativas existentes para su reutilización.

En la actualidad, las investigaciones son continuas para encontrar compuestos bioactivos en diversos residuos de las industrias con actividad antioxidante, antimicrobiana, antiinflamatoria, antihipertensiva, entre otros. Esto con el fin de un aprovechamiento y conversión en un beneficio para la sociedad. También, por otro lado, se investigan técnicas y métodos viables económicamente para la extracción de estos compuestos que sean amigables con el medio ambiente, como lo son las extracciones verdes (reducción de solventes con impacto ambiental), uso de técnicas de extracción con acarreadores no contaminantes (Fluidos Supercríticos), empleo de equipo que optimice el proceso (Microondas), entre otros. Sin embargo, no siempre se tienen acceso a dicho equipamiento, además de que los rendimientos de extracción no son tan eficientes encareciendo al compuesto en comparación a las técnicas tradicionales, porque aún es necesario explorar más en esta área.

7. Conclusión

Los residuos orgánicos de diversos procesos agroalimentarios como los mencionados en el presente escrito, son una fuente viable y sustentable de compuestos con características antioxidantes, que pueden ser empleados y reincorporados a los procesos productivos en diversas áreas como la alimentaria, agrícola, farmacéutica, etc.

Nomenclatura

DPPH	2,2-difenil-1-picrilhidracilo
RMC	Residuo de Malta de Cerveza
SCG	Posos de Café Gastado

Referencias

- Acosta-Estrada, B.A., Lazo-Vélez, M.A., Nava-Valdez, Y., Gutiérrez-Urbe, J.A., & Serna-Saldívar, S. O. (2014). Improvement of dietary fiber, ferulic acid and calcium contents in pan bread enriched with nejayote food additive from white maize (*Zea mays*). *Journal of Cereal Science*, 60(1), 264-269.
- Ahlatwat, A., Basak, S., & Ananthanarayan, L. (2022). Optimization of spray-dried probiotic buttermilk powder using response surface methodology and evaluation of its shelf stability. *Journal of*

- Food Processing and Preservation*, 46(11), e16928.
- Arya, S.S., Venkatram, R., More, P.R., & Vijayan, P. (2022). The wastes of coffee bean processing for utilization in food: A review. *Journal of Food Science and Technology*, 59, 429-444.
- Ayala-Soto, F.E., Serna-Saldívar, S.O., García-Lara, S., & Pérez-Carrillo, E. (2014). Hydroxycinnamic acids, sugar composition and antioxidant capacity of arabinoxylans extracted from different maize fiber sources. *Food Hydrocolloids*, 35, 471-475.
- Bordin, G., Raposo, F.C., De la Calle, B., & Rodriguez, A.R. (2001). Identification and quantification of major bovine milk proteins by liquid chromatography. *Journal of chromatography A*, 928(1), 63-76.
- CCA. Comisión para la Cooperación Ambiental. Caracterización y gestión de la pérdida y el desperdicio de alimentos en América del Norte (2017). Informe sintético, 52 pp.
- Cerisuelo, A., & Bacha, F. (2021). Materias primas: Bagazo de cerveza. *Nutrinews*, (Junio de 2021), 6-13.
- Cornejo Badillo, R.N., & Huaranga Benavides, B.P. (2022). Aplicación del CO₂ supercrítico en la extracción de compuestos bioactivos de interés comercial de residuos agroindustriales: Una Revisión Sistemática. Universidad César Vallejo, Perú.
- Corredor, Y.A.V., & Pérez, L.I.P. (2018). Aprovechamiento de residuos agroindustriales en el mejoramiento de la calidad del ambiente. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 59-72. DOI: 10.37190/epe210405.
- FAOStat, 2021. <http://www.fao.org/faostat/en/#search/global%20milk%20production>
- Garcés Valledepaz, A. (2022). Revalorización del poso del café obteniendo ácido clorogénico y cafeína. Universidad de Lleida, España.
- García Paz, M. (2017). Los Residuos de cerveza como fuente de antioxidantes naturales. Universitat Politècnica de Catalunya, España.
- García-Zamora, J.L., Sánchez-González, M., Lozano, J.A., Jáuregui, J., Zayas T., Santacruz, V., Hernández, F. & Torres, E. (2015). Enzymatic treatment of wastewater from the corn tortilla industry using chitosan as an adsorbent reduces the chemical oxygen demand and ferulic acid content. *Process Biochem.* 50, 125-133. DOI: 10.1016/j.procbio.2014.10.012.
- Hernández-Ledesma, B., Miralles, B., Amigo, L., Ramos, M., & Recio, I. (2005). Identification of antioxidant and ACE-inhibitory peptides in fermented milk. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85(6), 1041-1048.
- Korhonen, H. & Pihlanto, A. (2006). Bioactive peptides: production and functionality. *International Dairy Journal* 16, 945-960.
- Kudoh, Y., Matsuda, S., Igoshi, K., & Oki, T. (2001). Antioxidative peptide from milk fermented with *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* IFO13953. *Nippon Shokuhin Kagaku Kaishi*, 48(1), 44-55. DOI: 10.3136/nskkk.48.44.
- Lemes, A.C., Sala, L., Ores, J.D.C., Braga, A.R.C., Egea, M.B., & Fernandes, K.F. (2016). A review of the latest advances in encrypted bioactive peptides from protein-rich waste. *International Journal of Molecular Sciences*, 17(6), 950.
- Martínez Cruz, I. (2023). Cómo reutilizar los residuos de la industria del café a través de la economía circular. Universitat Politècnica de Catalunya, España.
- Matiacevich, S., Soto Madrid, D., & Gutiérrez Cutiño, M. (2023). Economía circular: obtención y encapsulación de compuestos polifenólicos provenientes de residuos agroindustriales. *RIVAR (Santiago)*, 10(28), 77-100.
- Mussatto, S.I. (2014). Brewer's spent grain: a valuable feedstock for industrial applications. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94(7), 1264-1275.
- Nigam, P.S. (2017). An overview: Recycling of solid barley waste generated as a by-product in distillery and brewery. *Waste management*, 62, 255-261.
- Pacheco, M.I. (2015). Obtención de ácido ferúlico a partir de un concentrado de la hidrólisis alcalina del maíz. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. México.
- Panusa, A., Zuorro, A., Lavecchia, R., Marrosu, G., & Petrucci, R. (2013). Recovery of natural antioxidants from spent coffee grounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(17), 4162-4168.

- Pandey, A., Soccol, C.R., Nigam, P., Brand, D., Mohan, R., & Roussos, S. (2000). Biotechnological potential of coffee pulp and coffee husk for bioprocesses, *Biochemical Engineering Journal*, 6(2), 153-162.
DOI: 10.1016/S1369-703X(00)00084-X.
- Paredes López, O., Guevara Lara, F., & Bello Pérez, L.A. (2009). La nixtamalización y el valor nutritivo del maíz. *Ciencias*, 92(092).
- Pihlanto, A. (2011). Whey proteins and peptides: Emerging properties to promote health. *Nutrafoods*, 10, 29-42.
- Ponist J., Samesova D., Schwarz M. (2021) Methods of processing whey waste from dairies: a review. *Environ. Prot. Eng.* 47, 67-84.
DOI: 10.37190/epe210405.
- Ramírez-Romero, G., Reyes-Velázquez, M. & Cruz-Guerrero, A. (2013). Estudio del nejayote como medio de crecimiento de probióticos y producción de bacteriocinas. *Rev. Mex. Ing. Quím.* 12(3), 463-471.
- Ramírez, I. (2017). Efecto del ultrasonido aplicado al suero de leche previo al calentamiento en la elaboración de requesón. *Interciencia*, 42(12), 828-833.
- Sánchez-Valle, V., & Méndez-Sánchez, N. (2018). Estrés oxidativo, antioxidantes y enfermedad. *Médica Sur*, 20(3), 161-168.
- Smithers, G.W. (2008). Whey and whey proteins—From ‘gutter-to-gold’. *International Dairy Journal*, 18(7), 695-704.
- Sultana, B., Anwar, F., Asi, M.R., & Chatha, S.A.S. (2008). Antioxidant potential of extracts from different agro wastes: Stabilization of corn oil. *Grasas y Aceites*, 59(3), 205-217.
- Téllez-Pérez, V., López-Olguín, J.F., Aragón, A., & Zayas-Pérez, M.T. (2018). Lodos residuales de nejayote como sustratos para la germinación de semillas de maíz azul criollo. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 34(3), 395-404.
- Valderrama-Bravo, C., Gutiérrez-Cortez, E., Contreras-Padilla, M., Rojas-Molina, I., Mosquera, J.C., Rojas-Molina, A., et al. (2012). Constant pressure filtration of lime water (nejayote) used to cook kernels in maize processing. *Journal of Food Engineering*, 110(3), 478-486.
- Yun, B.Y., Cho, H.M., Kim, Y.U., Lee, S.C., Berardi, U., & Kim, S. (2020). Circular reutilization of coffee waste for sound absorbing panels: A perspective on material recycling. *Environmental Research*, 184, 109281.