

Valoración en el aprovechamiento del residuo alimentario del procesado del tomate (*SOLANUM LYCOPERSICUM*)

Valorization of food waste from tomato PROCESSING (*SOLANUM LYCOPERSICUM*)

Carlota Anaya Pérez

Universidad Europea del Atlántico, España (carlotaanaya@hotmail.com) (<https://orcid.org/0000-0003-1656-1366>)

Información del manuscrito:

Recibido/Received: 20/07/2023

Revisado/Reviewed: 28/08/2023

Aceptado/Accepted: 12/02/2024

RESUMEN

Palabras clave:

Valorización del tomate, revisión bibliográfica, compuestos bioactivos, desperdicio alimentario, industria alimentaria.

El consumo de *Solanum Lycopersicum*, conocido comúnmente como tomate, se ha visto incrementado en los últimos años. Por ello, la producción y en consecuencia el desperdicio generado a partir de él, también. El presente trabajo pretende propiciar si existen diferencias significativas entre los distintos métodos de valoración en el aprovechamiento del residuo alimentario del tomate, así como su aplicación práctica. Para poder conocerlo, se realizó una revisión bibliográfica a través de la cual se seleccionaron un total de 52 artículos publicados en los últimos cinco años. Del total, doce se centraron en la extracción de carotenoides, diez en la extracción de compuestos fenólicos, cuatro en la pectina y siete en la formación de biogás, como métodos de valorización de la materia prima. Aunque la valorización alimentaria del tomate es amplia y poco estudiada aún, se pudo observar que la extracción de compuestos fenólicos, pectina o licopeno suponen un gran abanico de nuevas posibilidades con el uso de métodos de pretratamiento emergentes como las altas presiones, los pulsos eléctricos o el CO₂ supercrítico. Llegando a la conclusión de que aun observando la necesidad de mayor número de estudios, los métodos emergentes son más eficaces para la extracción de los compuestos activos del tomate.

ABSTRACT

Keywords:

The consumption of *Solanum Lycopersicum*, commonly known as tomato, has increased in recent years. As a result, the production and consequently the waste generated from it, as well. The present work aims to determine whether there are significant differences between the

Tomato valorization. literature review, bioactive compounds, food waste, food industry.

different methods of valuation in the use of tomato food waste, as well as its practical application. In order to find out, a bibliographic review was carried out through which a total of 52 articles published in the last five years were selected. Of the total, twelve focused on the extraction of carotenoids, ten on the extraction of phenolic compounds, four on pectin and seven on the formation of biogas, as methods for the valorization of the raw material. Although the food valorization of tomato is wide and little studied yet, it was observed that the extraction of phenolic compounds, pectin or lycopene represent a wide range of new possibilities with the use of emerging pretreatment methods such as high pressures, electric pulses or supercritical CO₂. The conclusion is that even though more studies are needed, emerging methods are more effective for the extraction of active compounds from tomato.

Introducción

El consumo de frutas, verduras y hortalizas a lo largo de la historia ha sido siempre elevado. Durante los últimos años, debido a diversas situaciones como la búsqueda de la mejora de la salud, algunas verduras, por ejemplo, el caso del tomate, han visto incrementada su demanda. Ese aumento en la demanda supone a su vez una necesidad en el incremento de producción dando como resultado un aumento en los desechos generados a raíz del procesado de este (1-4).

Debido a este incremento de los desperdicios alimentarios y otras cuestiones relacionadas, la Unión Europea, ha aprobado diversas propuestas como el pacto verde o la agenda 2030, de las cuales algunas tienen el fin de potenciar la valorización de subproductos alimentarios. (1,5,6).

Objetivos

El objetivo general es propiciar si existen diferencias significativas entre los distintos métodos de valoración en el aprovechamiento del residuo alimentario del tomate, así como su aplicación práctica. Por lo cual, se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Fomentar los nuevos métodos emergentes de valorización en el aprovechamiento del residuo del tomate.
- Establecer si existen diferencias significativas entre los diferentes métodos de utilización de los subproductos.
- Evidenciar las diferentes características metodológicas para la utilización de los productos derivados del tomate.

La industria del tomate

Según la FAO, en el 2019, la cantidad de desperdicio alimentario en todo el mundo de frutas y verduras fue de 1300 millones de toneladas, siendo por ello, uno de los sectores que más deshecho generaba, con hasta un cincuenta por ciento de desperdicio durante los periodos comprendidos entre la cosecha y la producción alimentaria (1,7,8). En consecuencia, con ello, en el siglo XXI se conocen importantes retos ligados a la seguridad alimentaria y a la necesidad de disminución de residuos alimentarios a nivel mundial impulsados por distintos organismos de entre los cuales se encuentran los gobiernos de los países o la FAO (1,4,6,12).

A nivel mundial, el crecimiento de la industria del *Solanum lycopersicum* ha aumentado de manera constante en los últimos años, dando por ello lugar a la producción de una cantidad considerable de residuos derivados del aumento. El incremento mundial de la producción de dicha materia prima entre 2019 y 2020 fue de un 2,4%, con un total de 38.282 millones de kilos de tomate a nivel industrial. Los residuos alimentarios de esta verdura son grandes y suponen un impacto ambiental negativo por los procesos derivados de la manipulación, acondicionamiento y procesamiento (5,7,9-12).

La reducción de los materiales derivados del tratamiento y su utilización como nuevas materias primas para la obtención de nuevos productos de valor añadido es un cambio que debe producirse con el fin de obtener una economía circular y que no se genera tal nivel de desperdicio mundial, suponiendo la valorización de la mayor parte de los productos. Además, la demanda de compuestos bioactivos entre la población por sus beneficios en la salud sigue creciendo cada año, pudiendo ser extraídos de alimentos

20 como el tomate. Entre las principales demandas de los consumidores se encuentran los antioxidantes, los compuestos fenólicos y los fitoquímicos (1,4,6,8,10,12).

Subproductos alimenticios del tomate

Los subproductos del tomate pueden clasificarse según el proceso en el que se cree el excedente o según el uso industrial del subproducto, por ello cuentan principalmente dos clasificaciones: subproductos en función del origen y subproductos en función al fin industrial (13–15)

Atendiendo al origen se distinguen tres categorías: subproductos de procesamiento industrial, subproductos de la cosecha o post cosecha y subproductos del cultivo del tomate. Como su propio nombre hace referencia, se encuentran relacionados con el proceso productivo en el que se encuentra el tomate. Cabe destacar que en el último grupo se encuentran los subproductos del cultivo del tomate, dentro del cual se localizan los residuos de la poda del tomate, es decir, la materia vegetal eliminada a lo largo de la vida de la planta para un correcto desarrollo y las plantas del tomate al final de su ciclo de vida. Cuando las plantas dejan de ser productivas son retiradas del campo, los subproductos tienen diferentes aplicaciones entre las que se encuentran la alimentación animal, la creación de bioplásticos, la fertilización o la generación de energía (4,13,16,16,17).

Atendiendo al fin industrial al que se dirige el producto, el tomate está clasificado en cinco grupos: alimentación humana, alimentación animal, formación de bioplásticos, generación de energía y mejora del suelo (13–15).

Cabe mencionar que, actualmente, la industria alimentaria se encuentra enfocada en la creación de ingredientes funcionales o de suplementos nutricionales para los humanos. Los ingredientes funcionales son empleados para enriquecer alimentos y bebidas. Los principales compuestos empleados son el licopeno, la fibra dietética y los antioxidantes. Todos estos compuestos pueden ser extraídos de la planta, de zonas como la cáscara y las semillas, lugares ricos en compuestos bioactivos (3,13,18–21). Además, entre los más empleados para la valorización destacan también otros como los CF, la pectina y la formación de bioetanol o biogás para su uso en la generación de (2,4,7,12,12,22–24).

Valorización de los carotenoides

Los carotenoides son pigmentos isoprenoides que se sintetizan en todos los organismos que realizan la fotosíntesis. Los componentes carotenoides son esenciales para el aparato fotosintético y realizan una potente labor como antioxidantes y pigmentos capaces de captar la luz. (12,20,25,26).

El licopeno es una molécula triterpénica simétrica, compuesta por ocho unidades de isopreno. Es un importante intermediario para la síntesis de carotenos importantes. Entre los con una mayor cantidad de licopeno y ser la principal fuente de licopeno natural se encuentran el tomate, la sandía, el gac, fruta del sudeste asiático, y el pomelo (8,19,25,27,28).

Profundizando en los métodos de extracción se encuentran los tradicionales y los modernos o sostenibles. La extracción del licopeno tradicional ha sido ampliamente estudiada, en este método se emplean disolventes orgánicos. Estudios como el de Almeida et al. (12) emplean hexano y etanol para la extracción de los compuestos carotenoides, otros como el estudio de Górecka et al. (21) hacen uso de algunos más como el metanol, el acetonitrilo o el diclorometano. Este tipo de compuestos son considerados disolventes

de calidad analítica con los que se obtiene información significativa sobre la extracción de compuestos. Según algunos estudios (8,10,28), el uso de metodología tradicional no es óptima por su bajo rendimiento y eficiencia en el proceso, necesitando grandes cantidades de disolvente y de tiempo, esta era realizada con disolventes de tipo orgánico con el fin de que pudiera pasar a través de las membranas. Por ello, se han buscado alternativas menos dañinas con el medio ambiente y más eficaces en el proceso de obtención del compuesto (12,21,29).

Dentro de los métodos no convencionales, en una parte de la bibliografía revisada (8,26,27,30) se hace mención a los pulsos eléctricos (PEF), como método de pretratamiento para la extracción de licopeno y β -caroteno, junto con el uso de disolventes que poseen un bajo impacto medioambiental, lo que se traduce en efectos beneficiosas en la permeabilización de las membranas y con ello la captación y recuperación de los compuestos diana. Este tipo de técnicas son empleadas sobre todo en la cáscara de los tomates, aunque no es en la única parte donde se realiza. En el estudio de Coelho et al. se cita además el uso de la tecnología óhmica para la extracción de los compuestos bioactivos. Se empleaba el uso de esta tecnología enfocada a la producción de calor como tratamiento previo al logro del componente (8).

Por otro lado, se citan métodos como la homogeneización por altas presiones (HPH) (31), la complejación hidrocoloidal inducida por agua (water-induced hydrocolloid complexation)(WIHC) (25), la extracción asistida por ultrasonidos (UAE), la extracción por microondas (MAE) y la extracción por líquido presurizado (PLE) (32).

Valorización de la pectina del tomate

La pectina es un heteropolisacárido ramificado de galactosa que se encuentra formando las paredes de las plantas. Se trata de un compuesto con una alta disponibilidad en alimentos y unos bajos requerimientos económicos de producción. En el 2019, fue uno de los biopolímeros más empleados mundialmente. Sus usos actuales principales son como gelificante, espesante y estabilizador tanto en bebidas como alimentos por sus propiedades fisicoquímicas que lo llevan a ser capaz de formar hidrogeles. En el tomate se encuentra en la piel en mayores concentraciones y en el interior del mismo en menor cantidad (20,22,33-35).

Según los estudios más relevantes de los últimos años, los métodos extractivos de este compuesto son, al igual que en los carotenoides, de dos tipos: tradicionales o no convencionales. Dentro del primer grupo, se encuentra el uso de disolventes como es el caso del artículo de Ninčević et al. (34) en el que se emplean algunos como el ácido clorhídrico, el cloruro de sodio o el ácido sulfúrico para obtener la pectina. Se produce una hidrólisis y posteriormente una extracción (20,22,33,34).

Dentro de las no convencionales, algunos investigadores (22,25,36), buscan métodos con los que el uso de disolventes sea menor o incluso inexistente. Por un lado, se encuentra el estudio en el que se emplean cinco tipos de ultrasonidos: UAE, MAE, la extracción asistida por calentamiento óhmico (OHAE), extracción asistida por microondas por ultrasonidos (UAME) y extracción asistida por calentamiento óhmico por ultrasonidos (UAOHE). Con todos ellos se busca conocer cuál es el más eficiente dentro de las técnicas extractivas del elemento para conseguir, además, la optimización y eficiencia en el proceso (36). Por otro lado, investigaciones como la realizada por Pirozzi et al. (22) en las que se hace uso del HPH y disolventes suaves con el fin de obtener una mejora en el rendimiento de obtención (22). Por último, el estudio de Nagarajan et al.(25), mencionado en el apartado anterior, donde por medio del WIHC, se buscaba la extracción con la formación de un complejo entre los carotenoides y la pectina (22,25,36).

Valorización de los compuestos fenólicos y antioxidantes

Los CF son uno de los grupos de metabolitos secundarios más comunes dentro de los fitoquímicos dietéticos pertenecientes al tejido vegetal de las plantas. Las concentraciones de estos compuestos en la planta del tomate suelen ser menores al uno por ciento del peso de la planta en seco, lo que supone un porcentaje muy bajo en comparación con otros compuestos. Los compuestos fenólicos son considerados como esenciales debido a los beneficios tanto para la planta como para los humanos. Los CF forman parte de la defensa de la planta contra temperaturas extremas o radiaciones y en los humanos como propiedades antioxidantes por lo que contribuye al retraso en el desarrollo de enfermedades degenerativas (25,37,38).

Los métodos tradicionales siguen siendo empleados en la industria de subproductos alimentarios (12,39), buscando como en el estudio de Almeida et al. la valorización de los compuestos generados en la extracción como posible fuente de biogás.

En los métodos emergentes por su parte, las valorizaciones más empleadas son las de la cáscara, las semillas y el conjunto de todos los deshechos del tomate sin discriminación. Para su valorización se emplean metodologías como el plasma frío de alto voltaje (HVACP), la liofilización, el CO₂ subcrítico y supercrítico y algunas otras ya mencionadas anteriormente como el MAE, los PEF, el UAE, la tecnología óhmica y el HPH. Ciertos protocolos como el caso del HPH, UAE o el MAE siguen empleando tras este pretratamiento disolventes para la extracción, aunque más suaves (8,27,29,31,34,37-41).

Valorización para la generación de biocombustibles

La generación de biocombustibles y de biogás es una tarea pendiente en la Unión Europea, tratándose de un concepto de reutilización de residuos casi nulo. Según la Comisión Europea, la biorrefinería es una de las propuestas más atractivas para la valorización de residuos, con ella se promueve un crecimiento económico de carácter sostenible (42,43).

Además, la cantidad presente de residuos que pueden ser empleados como materias primas es elevada. Inicialmente, los desechos de este alimento eran depositados en los vertederos donde se descomponen dando lugar a compuestos líquidos y metano. Este último es el principal compuesto que puede ser empleado para la producción de gas, es por ello, que diversas investigaciones se han centrado en conocer el potencial del tomate como generador de biocombustibles (12,44-46). Para generarlo, es necesario realizar una digestión anaerobia (DA) del alimento. Sobre la utilización de la materia prima se han obtenido diversos resultados por la necesidad de establecer estrategias en las que se vean facilitadas la digestibilidad de la biomasa y se aumente la superficie de actuación de los microorganismos. Entre los pretratamientos se encuentran los térmicos, físicos, químicos o biológicos (4,12,43,47).

De manera general la producción de biocombustibles, mediante el empleo de extracciones y DA representa una solución eficaz y factible para maximizar el rendimiento de compuestos de alto valor añadido como es el caso del tomate, además de favorecer a la disminución de la huella medioambiental (48,49).

Método

El presente artículo consiste en una revisión narrativa de artículos científicos para determinar la valorización en el aprovechamiento del residuo alimentario del tomate desde su cultivo hasta su consumo.

Para llevarlo a cabo, se procedió a la búsqueda de artículos científicos sobre el área a tratar, en este caso, la valorización en el aprovechamiento del *Solanum lycopersicum*. Para el desarrollo del estado de la cuestión, la revisión fue comenzada el 09 de enero de 2023 y finalizada el 29 de marzo de 2023, se consultaron tanto publicaciones como libros de interés, así como organismos internacionales relevantes en referencia a la valorización de productos y la economía circular (1,6,9).

Asimismo, se tuvo en cuenta que los artículos tuvieran una antigüedad, salvo en casos concretos, de 5 años, es decir, la horquilla empleada se encontraba de 2018 a 2023. Las excepciones sobre la antigüedad de los mismos fueron debidas a la importancia histórica. Los idiomas de los artículos incluidos en la revisión son el español y el inglés. Y el factor de impacto requerido en los estudios fue de mínimo uno con cinco. Por otro lado, entre los criterios de exclusión se encuentran, aquellos que no contribuyen a conocer el objetivo sobre la valorización alimentaria del tomate, estudios no válidos por un mal análisis estadístico, erróneo diseño de ejecución y aquellos anteriores al año 2018 que carezcan de relevancia histórica para ser incluidos (6,9,10,14).

A continuación, se encuentran las bases de datos empleadas en la búsqueda de artículos, documentos y estudios, el orden en el que aparecen va de mayor a menor importancia por su utilización.

1. Pubmed: Como palabras clave empleadas para la búsqueda de artículos, se utilizaron en inglés los términos:

- Valorización del tomate “Tomato valorization”. Con esta búsqueda se adquirió un total de 78 documentos relacionados. Para el cribado de los artículos si se tuvieron en cuenta los criterios de inclusión establecidos si bien es cierto que como el fin de esta búsqueda era la de encontrar los orígenes de esta parte de la ciencia así como la historia al respecto, tras esta búsqueda se realizó en la bibliografía de los artículos hasta dar con el primer autor. Se seleccionaron por tanto un total de 15 artículos que fueron de utilidad para afrontar el proceso de la revisión bibliográfica.

- Valorización del *Solanum Lycopersium* “*Solanum Lycopersium valorization*” Se encontraron con la búsqueda un total de 38 resultados de los que ayudaron a la redacción del artículo 2 de ellos, aunque en la búsqueda anterior se encontraron artículos que trataban de manera conjunta el tema.

- Desperdicio de tomate “Tomato waste”. Se obtuvieron 352 artículos, de los cuales 4 fueron empleados para realizar la revisión bibliográfica.

2. ScienceDirect: Como palabras clave, se utilizaron en inglés los términos:

- Valorización del tomate “Tomato valorization”: Empleándose del total de 1278 artículos 17.

- Subproductos del tomate “Tomato subproducts”: En la búsqueda se encontraron un total de 54 artículos, 4 de ellos formaron parte del trabajo.

- Biogás del tomate “Biogas from tomato”: De los 1246 artículos encontrados de hicieron uso de 3.
- 3. Scielo: Como palabras clave, se utilizó el siguiente término:
 - Subproductos del tomate: De los 4 resultados obtenidos solo se empleó 1 de ellos para el artículo.
- 4. Internet. Se realizó una búsqueda en Google sobre aspectos del desperdicio alimentario, la economía circular y los proyectos de valorización alimentaria. Se consultaron documentos pertenecientes a asociaciones científicas oficiales en materia salud e industria como es el caso de la FAO. Se utilizaron en estas búsquedas como palabras clave “economía circular” y “valorización alimentaria”. Se seleccionaron 6 publicaciones al respecto, con una de ellas se definieron términos y se completó y se verificó información aportada por artículos y documentos.

Finalmente se emplearon un total de 52 artículos para el trabajo de revisión bibliográfica.

Discusión y conclusiones

La valorización del tomate como alimento del que se extraen carotenoides, CF y pectina, además, de su uso para la formación de biogás puede ser una estrategia importante para la disminución del desperdicio alimentario y tránsito a una economía circular (4,20).

En relación con el uso del *Solanum lycopersicum* como materia prima de la cual extraer licopeno, 12 artículos abordan el tema de manera directa mostrados en la tabla 1. Entre los resultados obtenidos, existe una similitud común, en todos los que han empleado técnicas emergentes, apuestan por el uso de estas como metodología principal para obtener una mayor extracción de licopeno. Se expone como método emergente con necesidad de ser investigado el CO₂ supercrítico (11,31), por sus posibles beneficios en relación a no tener necesidad de hacer uso de disolventes al igual que el HPH (31), el cual no necesita de extracciones posteriores con disolventes que pueden afectar medioambientalmente.

De entre los artículos que valoran la extracción tradicional (12,21,28,29,40), dos de ellos encuentran mayor cantidad de licopeno en la piel del tomate (28,29), mientras que el resto lo extraen de las ramas del tomate o poda de la biomasa (12,40) y de la pasta del tomate más que del orujo (21). En cuanto al método más eficaz para su extracción, no se especifica el porcentaje de pureza ni el disolvente con más efectividad para el proceso.

La diferencia de resultados obtenidos entre los estudios se centra principalmente en el método empleado y la parte del tomate valorizada, observando mayor uso del tomate in situ y del orujo de este para la valorización del licopeno (11,31)

Tabla 1. Valorización para la extracción del licopeno

Estudio	Objetivo	Metodología	Parte valorizada	Parámetros	Resultados
Almeida et al. 2021 (12)	Investigar la valorización de los residuos de la producción de tomate.	Tradicional (disolventes orgánicos)	Tomates rotos, tomate verde y ramas de tomate	SPME y GC/SM de de CF, β -caroteno y licopeno	Se obtuvo una mayor extracción de carotenoides en las ramas de tomate
Górecka et al. 2020 (21)	Conocer el contenido de licopeno en tomates frescos y secos y en orujo de tomate, así como en pasta de tomate en diferentes épocas de cosecha	Tradicional (disolventes orgánicos)	Tomate verde, tomate maduro, pasta de tomate y orujo de tomate	Cromatografía líquida, medidas en mg/100 g dm	Mayor contenido en la pasta de tomate frente a la orujo de tomate independientemente del momento de cosecha
Popescu et al. 2022 (11)	Identificación de fuentes naturales, eficiencia de extracción y evaluación de la actividad antioxidante	CO ₂ supercrítico	Tomate en trozos, pulpa de tomate y semillas de tomate	Matrices de los tomates, los métodos de extracción, los disolventes verdes y los parámetros operativos	La mayor cantidad de licopeno fue extraída de la pulpa del tomate. A 450 bares, 70 °C y 11 kg/h se obtuvieron 016.94 \pm 23.95 mg licopeno/100 g extraídos.
Lazzarini et al. 2022 (28)	Valorizar el orujo de tomate, un subproducto compuesto por piel y semillas, mediante la extracción de carotenoides, especialmente licopeno y β -caroteno	Comparativa de SC*, liofilización y SANT*, además de métodos tradicionales: H-A* comparado con 2 verdes: EA-EL*, M-AL.*	Piel de tomate, semillas de tomate y orujo de tomate	Extracción con acetato de etilo para medir licopeno y β -caroteno en μ g/g de muestra seca,	La piel de tomate posee más cantidad de licopeno. La manera más eficaz de su extracción es con el uso de EA-EL junto con el SANT.
Añibarro-Ortega et al. 2020(40)	Conocer la composición fenólica y las propiedades bioactivas de los subproductos primarios de la planta del tomate	Etanol con solución de Folin-Ciocalteu y carbonato de sodio, 30 min a 40°C.	Biomasa aérea tras el fin del ciclo de cultivo y masa de la poda	HPLC-DAD-ESI/MS ⁿ para identificar ácidos fenólicos y flavonoides	Mayor cantidad de carotenoides y antioxidantes en la biomasa producida a partir de tejidos de poda
Pataro et al. 2018 (30)	evaluar el PEF en combinación con el escaldado al vapor de frutos de tomate en el procesado del tomate, para aportar, además de una mayor eficiencia energética del proceso de pelado y mejoras en la recuperación de carotenoides	Escaldado junto con PEF y acetona	Piel del tomate	Medición por medio de espectrofotometría a 470nm, 645nm y 662nm	La aplicación del tratamiento combinado aumentó el contenido de carotenoides y el poder (37,9 mg/100 g de peso fresco de cáscaras de tomate).

Coelho et al. 2019 (8)	Optimizar la extracción de BC a partir de subproductos del tomate mediante OH y PEF	Comparativa entre O _H AE y PEF con ayuda de etanol al 70%	Piel del tomate y semillas del tomate	Cantidad de licopeno medida en µg/gFW	O _H AE como mejor técnica para la extracción de licopeno.
Jurić et al. 2019 (31)	Investigar el potencial del procesado HPH de la piel de tomate en agua para la recuperación de compuestos intracelulares y la posibilidad de aprovechar al máximo los subproductos de la industria de transformación del tomate	Comparativa entre HPH, disolventes orgánicos y CO ₂ supercrítico	Piel del tomate	CF medidos en mg GAE/L y licopeno por análisis de espectro UV-Vis (curva con pellet- etil lactato) posterior análisis de los pellets por absorción de licopeno (mg/g)	56.1% de licopeno extraído por medio del HPH y sin necesidad de ningún disolvente orgánico frente a los disolventes orgánicos tradicionales y CO ₂ supercrítico.
Pataro et al. 2020 (26)	Influencia del PEF a diferentes intensidades de campo (E = 1-5 kV/cm) y aportes de energía (WT = 5-10 kJ/kg) sobre el rendimiento de recuperación de licopeno en acetona o lactato de etilo a partir de residuos de cáscaras de tomate industrial.	PEF	Piel del tomate	Tasa de extracción y poder antioxidante por HPLC	Aumento de la extracción de los compuestos bioactivos del tomate
Nagarajan et al. 2020 (25)	Evaluar el potencial de la complejación carotenoide-pectina en orujo de tomate que contiene carotenoides y pectina.	WIHC frente a los métodos tradicionales	Orujo de tomate	Uso de método de complejación y tradicionales medidos en mg de fracciones de carotenoides/100 g de orujo de tomate	La recuperación fue de 9,43 mg de fracciones de carotenoides/100 g de orujo de tomate con WIHC.
Szabo et al. 2019 (29)	Evaluar el contenido en CF y carotenoides de las cáscaras de tomate	Tradicional (disolventes orgánicos)	Piel, semillas y desperdicios generales de la poda en 10 tipos diferentes de tomates	Cantidad de licopeno en mg β-caroteno/100 g DW y los CF en mg/100 g DW	La mayor cantidad de licopeno encontrada en la piel de tomate de un tomate local con 5.31 ± 0.12 mg/100 g.
Nunes et al. 2022 (32)	Utilizar las técnicas no convencionales MAE y PLE para recuperar compuestos bioactivos del orujo de tomate	Comparación entre MAE, PLE y metodologías tradicionales	Orujo de tomate	Cantidad de licopeno medido en µg licopeno/g extracto	La extracción con MAE mostró el mayor contenido de licopeno (59,66 µg licopeno/g extracto recuperación del 66,93% en comparación con una técnica estándar con acetona.

Kehili et al. 2019 (50)	Optimización de la extracción de las pieles del tomate por medio de la maceración	Maceración en aceite de oliva refinado (AOR)	Pieles de tomate	Cantidad de licopeno medido en mg/kg en base seca	99,3% del contenido inicial de licopeno, se extrajo utilizando una relación biomasa/aceite del 2,5% (p/v), a 80°C y 400rpm de agitación durante 45' obteniendo 35mg licopeno/kg AOR
-------------------------	---	--	------------------	---	---

* SC: Secado por calor; SANT: Secado por aire no térmico; H-A: Hexano-acetona; EA-EL: Etil acetato-Etil lactato; M-AL: Metanol-Ácido láctico

Por otro lado, en cuanto a la valorización para la obtención de CF, 10 artículos abordan este tema. Los resultados obtenidos de la valorización del tomate para la extracción de CF pueden observarse en la tabla 2. Las mayores cantidades extraídas han sido encontradas en la piel y pulpa de los tomates (8,29,38–40).

En cuanto a los métodos extractivos empleados, predominan los emergentes frente a los tradicionales, viendo mayores cantidades obtenidas con ellos (31). Los resultados sugieren que el uso de OHAE, HPH y MAE podrían ser la mejor opción para la valorización del tomate y extracción de CF (8,31,41). En el caso de los compuestos fenólicos, uno de los estudios en los que se realiza la extracción tradicional, se cita el metanol al 70% como mejor método extractivo dentro de los existentes (34).

Tabla 2. Valorización para la extracción de los CF

Estudio	Objetivo	Metodología	Parte valorizada	Parámetros	Resultados
Almeida et al. 2021 (12)	Investigar la valorización de los residuos de la producción de tomate.	Tradicional	Tomates rotos, tomate verde y ramas de tomate	SPME y GC/SM de de CF, β-caroteno y licopeno.	Se obtuvo una mayor extracción de CF en el tomate verde y el roto (no apto para consumo inicialmente)
Añibarro-Ortega et al. 2020 (40)	Conocer la composición fenólica y las propiedades bioactivas de los subproductos primarios de la planta del tomate	Etanol con solución de Folin-Ciocalteu y carbonato de sodio, 30 min a 40°C.	Biomasa aérea tras el fin del ciclo de cultivo y masa de la poda	HPLC-DAD-ESI/MS ⁿ para identificar ácidos fenólicos y flavonoides	Mayor cantidad de CF en la biomasa producida a partir de tejidos de poda
Coelho et al. 2019 (8)	Optimizar la extracción de BC a partir de subproductos del tomate mediante OH y PEF	OHAE y PEF con ayuda de etanol al 70%	Piel del tomate y semillas del tomate	Cantidad de licopeno medida en µg/gFW	OHAE como mejor técnica para la extracción de CF.

Jurić et al. 2019 (31)	Investigar el potencial del procesado HPH de la piel de tomate en agua para la recuperación de compuestos intracelulares y la posibilidad de aprovechar al máximo los subproductos de la industria de transformación del tomate	HPH, disolventes orgánicos y CO ₂ supercrítico	Piel del tomate	CF medidos en mg GAE/L y licopeno por análisis de espectro UV-Vis (curva con pellet-etil lactato) posterior análisis de los pellets por absorción de licopeno (mg/g)	32,2 % de CF más extraído por medio del HPH frente a los disolventes orgánicos y CO ₂ supercrítico.
Bao et al. 2020 (37)	Examinar el efecto del HVACP en la microestructura del orujo del tomate y correlacionarla con la extracción de CF	HVACP (Aire, He, Ar y N ₂)	Orujo de tomate	Creación de curva de análisis con espectrofotometría y conversión a mg GAE/gdm	Mayor extracción de CF (aumento 10%) con plasmas de He y N ₂ .
Szabo et al. 2019 (29)	Evaluar el contenido en CF y carotenoides de las cáscaras de tomate	Tradicional (disolventes orgánicos)	Piel, semillas y desperdicios generales de la poda en 10 tipos diferentes de tomates	Cantidad de licopeno en mg β-caroteno/100 g DW y los CF en mg/100 g DW	La mayor cantidad de CF se encontró en la piel de tomate de un tomate comercial híbrido con 155 ± 2 mg/100 g.
Ninčević et al. 2020 (34)	Buscar el aprovechamiento de residuos de piel de tomate para la recuperación simultánea de compuestos de alto valor	Tradicional (disolventes orgánicos)	Piel de tomate seca para la extracción de aagg-pectina y compuestos fenólicos-pectina	Cantidad de CF medidos en mg/100 g, en etanol al 96% y pectinas en g/L	La extracción de la de los CF junto a la pectina hace que no se oxiden, aunque su extracción es menor. El mejor disolvente para su extracción es el etanol al 70%.
Arab et al. 2019 (38)	Desarrollar métodos para extraer compuestos de alto valor comercial	CO ₂ subcrítico	Hojas de tomate	Cantidad de CF medido en mg (GAE) g-1 y de flavonoides en mg Qe g-1	Los CF obtenidos de las hojas de tomate, por la extracción con CO ₂ a alta presión y sin disolventes logró mejoras sustanciales respecto a los métodos tradicionales (contratados con bibliografía).

Solaberrieta et al. 2022 (51)	Optimizar MAE y UAE de compuestos antioxidantes a partir de semillas de tomate utilizando la metodología de superficie de respuesta.	Comparación entre MAE y UAE con ayuda de etanol	Semillas de tomate	Parámetros de extracción MAE y UAE sobre las respuestas de contenido fenólico total (TPC) y actividad antioxidante (DPPH) en mg GAE g TS-1.	Los extractos MAE mostraron valores más altos de CF totales en comparación con los EAU ($1,72 \pm 0,04$ y $1,61 \pm 0,03$ mg GAE g TS-1 para MAE y UAE, respectivamente)
Tranfić Bakić et al. 2019 (39)	Describir MAE como técnica innovadora para el aislamiento de polifenoles a partir de residuos de piel de tomate	MAE con metanol a diferentes tiempos y T ^a (22, 55 y 90°C) (5-10 min)	Piel de tomate	Parámetros de kaemferol-3-O-rutinósido, ácido p-cumárico y derivado del ácido clorogénico para la cuantificación de CF	El tiempo no es un factor significativo en la extracción de los CF, en cuanto a T ^a y metanol: 50% metanol 25 °C; 70% metanol 55 °C o 50% metanol 90 °C para una mayor extracción.

* Identificación de compuestos volátiles mediante microextracción en fase sólida (SPME) y cromatografía de gases/espectrometría de masas (GC/MS)

Atendiendo a la extracción de pectina del tomate, el presente artículo se centra en cuatro estudios mostrados en la tabla 3. Tres de los artículos (22,34,34) sugieren que las técnicas innovadoras son más eficaces a la hora de extraer los compuestos, aunque uno de los artículos (25) no observa diferencias significativas entre los tradicionales y el WIHC en concreto.

Como técnicas emergentes más eficaces se ensalzan el UAME (36) y el HPH (22). La extracción de la pectina por su parte es extraída en la mitad de los artículos de la piel del tomate (34,36) y la otra mitad por medio del orujo del tomate (22,25). En uno de los estudios revisado incluso se expone la similar recuperación de pectina con WIHC y los métodos tradicionales (25).

Tabla 3. Valorización para la extracción de la pectina

Por último, la valorización para la obtención de biocombustibles, para el

Estudio	Objetivo	Metodología	Parte valorizada	Parámetros	Resultados
Sengar et al. 2020 (36)	Disminuir la huella de carbono a través de la extracción de pectina de la piel del tomate	Comparación entre 5 técnicas: UAE, MAE, O _H A _E , UAME UAO _H E	Piel del tomate	Cantidad de pectina en g/kg de pectina, por medio del ácido galacturónico	UAME mejor tecnología en términos de rendimiento y calidad de pectina en comparación con otras tecnologías.
Ninčević et al. 2020 (34)	Buscar el aprovechamiento de los residuos de la piel del tomate para la recuperación simultánea de compuestos de alto valor	Tradicional (disolventes orgánicos)	Piel de tomate seca	Cantidad de CF medidos en mg/100 g, en etanol al 96% y pectinas en g/L	La extracción de la pectina-aagg o CF-pectina ayuda a que estos no sufran oxidaciones
Pirozzi et al. 2022 (22)	Lograr el aislamiento de celulosa para la valorización de los compuestos de valor añadido contenidos en la biomasa	HPH con hidrólisis ácida frente a extracción tradicional con acetona	Orujo de tomate	Celulosa y pectina medida en mg _{GAE} /g _D M	HPH promovió un aumento de la extracción de un 9%. Incluso se vio extraída sin necesidad del disolvente.
Nagarajan et al. 2020 (25)	Evaluar el potencial de la complejación carotenoides-pectina en orujo de tomate que contiene carotenoides y pectina.	WIHC frente a los métodos tradicionales	Orujo de tomate	Uso de método de complejación y tradicionales medidos en mg de fracciones de carotenoides/100 g de orujo de tomate	La recuperación fue de pectina-carotenoides tradicional frente a la WIHC es similar

artículo se tuvieron en cuenta siete estudios mostrados en la tabla 4. La mayor parte de los estudios hicieron uso del orujo del tomate (45,52) o de mezcla entre tomate y otros compuestos como estiércol de animales y residuos de otros alimentos (7,46,47). De los siete estudios, dos de ellos realizaron extracciones previas para la valorización del licopeno y otros compuestos bioactivos (12,44).

De entre las mezclas de compuestos para la formación de biogás, la piedra pómez de olivo (OP), el estiércol de oveja (SM), el rastrojo de maíz y el estiércol de leche son los que mayor de producción de biogás dan (7,46). Por su parte, entre las metodologías emergentes estudiadas el UAE posee especial relevancia (47,52).

Tabla 4. Valorización para la formación de biocombustibles

Estudio	Objetivo	Metodología	Parte valorizada	Parámetros	Resultados
Almeida et al. 2021 (12)	Extracción para formación de biogás tras la valorización de otros compuestos bioactivos	Tradicional	Tomates rotos, tomate verde y ramas de tomate	SPME y GC/SM de de CF, β -caroteno y licopeno	Se obtuvo una mayor extracción de metanol en los tomates verdes y rotos, con una cantidad final aportada de 232–285 mL CH ₄ /g
Tabrika et al. 2021 (7)	DA directa (sin valorización previa de otros compuestos)	Tradicional	Mezcla de tomate con: OP, SM, estiércol de pollo (CM) y serrín.	Mediciones de concentraciones de carbono tipo ácido húmico (CHA) y carbono tipo ácido fúlvico (CFA)	SM y OP constituyen las materias primas más adecuadas para el compostaje de residuos de tomate.
Scaglia et al. 2020 (44)	Valorización previa del licopeno por CO ₂ supercrítico y posterior DA	CO ₂ supercrítico	Cáscara de tomate y semillas de tomate	Tecnología de extracción supercrítica de CO ₂ junto con digestión anaerobia, en % de biodegradabilidad	El CO ₂ supercrítico actúa de manera positiva para la degradación previa de la fibra y su posterior DA que da lugar a energía (mejor que el maíz—usado actualmente para dar biogás)
Hijosa-Valsero et al. 2019 (45)	Valorización directa por doce cepas diferentes de bacterias con fermentación acetona-butanol-etanol-isopropanol (ABEI)	Tradicional	Orujo de tomate	Mediciones de butanol e isopropanol en g/L	<i>Kluyveromyces marxianus</i> , <i>Saccharomyces cerevisiae</i> Ethanol Red®, <i>S. cerevisiae</i> Hércules y <i>Lachancea thermotolerans</i> produjeron 20,1-21,7 g/L de etanol. Según estos resultados, el orujo de tomate podría ser una materia prima interesante para las biorrefinerías ABEI.
Mahmoodi-eshkaftaki et al. 2022 (47)	DA junto a un pretratamiento de UAE a diferentes potencias y tiempos	UAE	Residuos de tomate y estiércol de vaca	Medidas de hidrógeno y metano, a partir de los mg/g generados de sólidos volátiles, carbohidratos y sólidos totales	El UAE de 197,21 W, 21,47 min para las mezclas con altas cantidades de residuos de tomate (>90 %) llevaron a producir Bio-H ₂ > 18 %vol y Bio-CH ₄ > 2 %vol.

Giroto et al. 2021 (52)	DA directa con pretratamiento de UAE, sin extracción de biocompuestos	UAE	Orujo de tomate	Producción de metano en MJ/kg de sólido	El aumento de la producción de metano no fue lo suficientemente elevado como para compensar las necesidades de electricidad de la UAE
Li et al. 2020 (46)	DA directa (sin valorización previa de otros compuestos)	Tradicional	Piel del tomate junto con maíz o estiércol lechero	Cantidad de metano en L/kg de peso sólido	La producción neta de energía se logró con la mezcla de 24% rastrojo de maíz, 36% estiércol de leche y 40% residuos de tomate: formación 379,1 L/kg VS _{alimentación} de metano

Atendiendo al objetivo general del artículo, propiciar si existen diferencias significativas entre los distintos métodos de valorización en el aprovechamiento de los subproductos del tomate, se puede concluir que la mayor diferencia se encuentra en los métodos tradicionales frente a los emergentes. La mayor parte de los métodos tradicionales siguen siendo los más rentables en el plano económico, pero esto no ocurre con la parte más ecológica, pues suelen generar mayores cantidades de compuestos dañinos para el medio ambiente. Además, las metodologías más nuevas tienen la capacidad, en general, de aumentar la extracción de los compuestos bioactivos del alimento.

De entre las metodologías emergentes, destacan el PEF, los MAE, UAE y CO₂ supercrítico como pretratamiento previo necesario a la extracción. Son los procesos más estudiados de entre todos los existentes actualmente. La razones principales son la mayor rentabilidad económica y la mejor extracción de las moléculas objetivo. Entre todos los métodos de utilización de los subproductos, es necesario recalcar las diferencias existentes no solo en la utilización de los mismos, sino en la parte valorizada y en las medidas empleadas para la cuantificación del subproducto conseguido, lo que hace difícil la comparación entre los estudios.

Como se ha expuesto a lo largo del trabajo, los subproductos del tomate tienen muchas aplicaciones interesantes y sostenibles. El hecho de que los subproductos del tomate contienen altos niveles de compuestos antiinflamatorios y antioxidantes muestra un potencial que suscita interés para seguir investigando. Poner el foco en nuevas propuestas con el objetivo de llegar a conseguir la optimización de este alimento. Es importante señalar que aún no se dispone de muchos estudios que demuestran la eficacia de estas aplicaciones innovadoras en la práctica.

Hasta la fecha, según los estudios, no existe ningún método de extracción que sea más viable económicamente que la producción sintética o extracción tradicional, aunque según las conclusiones a las que se llegan en ellos, se está más cerca de lograrlo.

Agradecimientos

A mis padres y a mi hermana, por ser ejemplo de superación y esfuerzo diario.

Referencias

1. FAO, editor. Moving forward on food loss and waste reduction. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations; 2019. 156 p. (The state of food and agriculture).
2. Leong YK, Chang JS. Valorization of fruit wastes for circular bioeconomy: Current advances, challenges, and opportunities. *Bioresour Technol.* 1 de septiembre de 2022;359:127459.
3. Trombino S, Cassano R, Procopio D, Di Gioia ML, Barone E. Valorization of Tomato Waste as a Source of Carotenoids. *Mol Basel Switz.* 20 de agosto de 2021;26(16):5062.
4. Eslami E, Carpentieri S, Pataro G, Ferrari G. A Comprehensive Overview of Tomato Processing By-Product Valorization by Conventional Methods versus Emerging Technologies. *Foods Basel Switz.* 29 de diciembre de 2022;12(1):166.
5. Cámara Hurtado M. Productos, extractos y subproductos del tomate como nuevos ingredientes alimentarios [Internet]. [citado 7 de marzo de 2023]. Disponible en: <https://www.ucm.es/otri/complutransfer-productos-extractos-y-subproductos-del-tomate-como-nuevos-ingredientes-alimentarios>
6. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO). España Circular 2030 [Internet]. Catálogo de Publicaciones de la Administración General del Estado; 2023. Disponible en: https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/economia-circular/espanacircular2030_def1_tcm30-509532_mod_tcm30-509532.pdf
7. Tabrika I, Mayad EH, Furze JN, Zaafrani M, Azim K. Optimization of tomato waste composting with integration of organic feedstock. *Environ Sci Pollut Res Int.* diciembre de 2021;28(45):64140-9.
8. Coelho M, Pereira R, Rodrigues AS, Teixeira JA, Pintado ME. Extraction of tomato by-products' bioactive compounds using ohmic technology. *Food Bioprod Process.* 1 de septiembre de 2019;117:329-39.
9. Esparza I, Jiménez-Moreno N, Bimbela F, Ancín-Azpilicueta C, Gandía LM. Fruit and vegetable waste management: Conventional and emerging approaches. *J Environ Manage.* 1 de julio de 2020;265:110510.
10. Coelho MC, Rodrigues AS, Teixeira JA, Pintado ME. Integral valorisation of tomato by-products towards bioactive compounds recovery: Human health benefits. *Food Chem.* 1 de junio de 2023;410:135319.
11. Popescu M, Iancu P, Plesu V, Todasca MC, Isopencu GO, Bildea CS. Valuable Natural Antioxidant Products Recovered from Tomatoes by Green Extraction. *Mol Basel Switz.* 29 de junio de 2022;27(13):4191.
12. Almeida PV, Rodrigues RP, Gaspar MC, Braga MEM, Quina MJ. Integrated management of residues from tomato production: Recovery of value-added compounds and biogas production in the biorefinery context. *J Environ Manage.* 1 de diciembre de 2021;299:113505.
13. Liadakis G, Katsouli M, Chanioti S, Giannou V, Tzia C. Identification, quantification, and characterization of tomato processing by-products. En: Jeguirim M, Zorpas A, editores. *Tomato Processing by-Products* [Internet]. Academic Press; 2022 [citado 30 de marzo de 2023]. p. 1-32. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128228661000041>

14. Cabo Domínguez CM, Rodríguez Moratinos AB, Garrido Álvarez M. Valorización de subproductos de la agroindustria para una economía verde y circular. Universidad de Extremadura [Internet]. 2020; Disponible en: <https://dehesa.unex.es/bitstream/10662/11732/1/978-84-09-26056-0.pdf>
15. Gurri A, Aguiló-Aguayo I, Abadias M, Echeverría G, Bobo G, Vilanova L, et al. Valorización de los desperdicios de la producción y procesado de tomate, aceituna, patata y cereales. Interempresas [Internet]. 14 de abril de 2021 [citado 25 de febrero de 2023]; Disponible en: <https://www.interempresas.net/Horticola/Articulos/315961-Valorizacion-desperdicios-produccion-procesado-tomate-aceituna-patata-cereales.html>
16. Saba B, Bharathidasan AK, Ezeji TC, Cornish K. Characterization and potential valorization of industrial food processing wastes. *Sci Total Environ*. 10 de abril de 2023;868:161550.
17. Rodríguez-Valdés A, Florido-Bacallao M, Dueñas-Hurtado F, Muñoz-Calvo LJ, Hanson P, Álvarez-Gil M. CARACTERIZACIÓN MORFOAGRONÓMICA EN LÍNEAS DE TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) CON RESISTENCIA A BEGOMOVIRUS. *Cultiv Trop*. 2017;38(2):70-9.
18. Laranjeira T, Costa A, Faria-Silva C, Ribeiro D, de Oliveira JMPF, Simões S, et al. Sustainable Valorization of Tomato By-Products to Obtain Bioactive Compounds: Their Potential in Inflammation and Cancer Management. *Mol Basel Switz*. 4 de marzo de 2022;27(5):1701.
19. Ibrahim M, Labaki M. Extraction and formulation of valuable components from tomato processing by-products. En: Jeguirim M, Zorpas A, editores. *Tomato Processing by-Products* [Internet]. Academic Press; 2022 [citado 30 de marzo de 2023]. p. 77-116. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128228661000090>
20. Szabo K, Cătoi AF, Vodnar DC. Bioactive Compounds Extracted from Tomato Processing by-Products as a Source of Valuable Nutrients. *Plant Foods Hum Nutr Dordr Neth*. diciembre de 2018;73(4):268-77.
21. Górecka D, Wawrzyniak A, Jędrusek-Golińska A, Dziedzic K, Hamułka J, Kowalczewski PŁ, et al. Lycopene in tomatoes and tomato products. *Open Chem*. 2020;18(1):752.
22. Pirozzi A, Ferrari G, Donsì F. Cellulose Isolation from Tomato Pomace Pretreated by High-Pressure Homogenization. *Foods Basel Switz*. 19 de enero de 2022;11(3):266.
23. Awasthi MK, Harirchi S, Sar T, Vs V, Rajendran K, Gómez-García R, et al. Myco-biorefinery approaches for food waste valorization: Present status and future prospects. *Bioresour Technol*. 1 de septiembre de 2022;360:127592.
24. Soto MDS, Zorpas AA, Pedreño JN, Lucas IG. Vermicomposting of tomato wastes. En: Jeguirim M, Zorpas A, editores. *Tomato Processing by-Products* [Internet]. Academic Press; 2022 [citado 30 de marzo de 2023]. p. 201-30. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128228661000107>
25. Nagarajan J, Pui Kay H, Krishnamurthy NP, Ramakrishnan NR, Aldawoud TMS, Galanakis CM, et al. Extraction of Carotenoids from Tomato Pomace via Water-Induced Hydrocolloidal Complexation. *Biomolecules*. 9 de julio de 2020;10(7):1019.
26. Pataro G, Carullo D, Falcone M, Ferrari G. Recovery of lycopene from industrially derived tomato processing by-products by pulsed electric fields-assisted extraction. *Innov Food Sci Emerg Technol*. 1 de julio de 2020;63:102369.

27. Andreou V, Dimopoulos G, Dermesonlouoglou E, Taoukis P. Application of pulsed electric fields to improve product yield and waste valorization in industrial tomato processing. *J Food Eng.* 1 de abril de 2020;270:109778.
28. Lazzarini C, Casadei E, Valli E, Tura M, Ragni L, Bendini A, et al. Sustainable Drying and Green Deep Eutectic Extraction of Carotenoids from Tomato Pomace. *Foods Basel Switz.* 30 de enero de 2022;11(3):405.
29. Szabo K, Diaconeasa Z, Cătoi AF, Vodnar DC. Screening of Ten Tomato Varieties Processing Waste for Bioactive Components and Their Related Antioxidant and Antimicrobial Activities. *Antioxidants.* agosto de 2019;8(8):292.
30. Pataro G, Carullo D, Bakar Siddique MA, Falcone M, Donsì F, Ferrari G. Improved extractability of carotenoids from tomato peels as side benefits of PEF treatment of tomato fruit for more energy-efficient steam-assisted peeling. *J Food Eng.* 1 de septiembre de 2018;233:65-73.
31. Jurić S, Ferrari G, Velikov KP, Donsì F. High-pressure homogenization treatment to recover bioactive compounds from tomato peels. *J Food Eng.* 1 de diciembre de 2019;262:170-80.
32. Nunes Chada PS, Santos PH, Rodrigues LGG, Goulart GAS, Azevedo dos Santos JD, Maraschin M, et al. Non-conventional techniques for the extraction of antioxidant compounds and lycopene from industrial tomato pomace (*Solanum lycopersicum* L.) using spouted bed drying as a pre-treatment. *Food Chem X.* 30 de marzo de 2022;13:100237.
33. Petrotos K, Gerasopoulos K. Sustainable use of tomato pomace for the production of high added value food, feed, and nutraceutical products. En: Iulianelli A, Cassano A, Conidi C, Petrotos K, editores. *Membrane Engineering in the Circular Economy* [Internet]. Elsevier; 2022 [citado 6 de febrero de 2023]. p. 315-42. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780323852531000149>
34. Ninčević Grassino A, Djaković S, Bosiljkov T, Halambek J, Zorić Z, Dragović-Uzelac V, et al. Valorisation of Tomato Peel Waste as a Sustainable Source for Pectin, Polyphenols and Fatty Acids Recovery Using Sequential Extraction. *Waste Biomass Valorization.* 1 de septiembre de 2020;11(9):4593-611.
35. Madia VN, De Vita D, Ialongo D, Tudino V, De Leo A, Scipione L, et al. Recent Advances in Recovery of Lycopene from Tomato Waste: A Potent Antioxidant with Endless Benefits. *Mol Basel Switz.* 26 de julio de 2021;26(15):4495.
36. Sengar AS, Rawson A, Muthiah M, Kalakandan SK. Comparison of different ultrasound assisted extraction techniques for pectin from tomato processing waste. *Ultrason Sonochem.* 1 de marzo de 2020;61:104812.
37. Bao Y, Reddivari L, Huang JY. Development of cold plasma pretreatment for improving phenolics extractability from tomato pomace. *Innov Food Sci Emerg Technol.* 1 de octubre de 2020;65:102445.
38. Arab M, Bahramian B, Schindeler A, Valtchev P, Dehghani F, McConchie R. Extraction of phytochemicals from tomato leaf waste using subcritical carbon dioxide. *Innov Food Sci Emerg Technol.* 1 de octubre de 2019;57:102204.
39. Bakić MT, Pedisić S, Zorić Z, Dragović-Uzelac V, Grassino AN. Effect of Microwave-Assisted Extraction on Polyphenols Recovery from Tomato Peel Waste. *Acta Chim Slov.* 13 de junio de 2019;66(2):367-77.
40. Añibarro-Ortega M, Pinela J, Ćirić A, Martins V, Rocha F, Soković MD, et al. Valorisation of table tomato crop by-products: Phenolic profiles and in vitro antioxidant and antimicrobial activities. *Food Bioprod Process.* 1 de noviembre de 2020;124:307-19.

41. Solaberrieta I, Mellinas C, Jiménez A, Garrigós MC. Recovery of Antioxidants from Tomato Seed Industrial Wastes by Microwave-Assisted and Ultrasound-Assisted Extraction. *Foods Basel Switz.* 3 de octubre de 2022;11(19):3068.
42. Selvaggi R, Valenti F, Pecorino B, Porto SMC. Assessment of Tomato Peels Suitable for Producing Biomethane within the Context of Circular Economy: A GIS-Based Model Analysis. *Sustainability.* enero de 2021;13(10):5559.
43. Mishra A, Kumar M, Bolan NS, Kapley A, Kumar R, Singh L. Multidimensional approaches of biogas production and up-gradation: Opportunities and challenges. *Bioresour Technol.* 1 de octubre de 2021;338:125514.
44. Scaglia B, D'Incecco P, Squillace P, Dell'Orto M, De Nisi P, Pellegrino L, et al. Development of a tomato pomace biorefinery based on a CO₂-supercritical extraction process for the production of a high value lycopene product, bioenergy and digestate. *J Clean Prod.* 10 de enero de 2020;243:118650.
45. Hijosa-Valsero M, Garita-Cambronero J, Paniagua-García AI, Díez-Antolínez R. Tomato Waste from Processing Industries as a Feedstock for Biofuel Production. *BioEnergy Res.* 1 de diciembre de 2019;12(4):1000-11.
46. Li Y, Xu F, Li Y, Lu J, Li S, Shah A, et al. Reactor performance and energy analysis of solid state anaerobic co-digestion of dairy manure with corn stover and tomato residues. *Waste Manag.* 1 de marzo de 2018;73:130-9.
47. Mahmoodi-Eshkaftaki M, Ghani A. An efficient process for improvement of biohydrogen and biomethane production from tomato waste: Inhibitory effects of ultrasonic pretreatment. *Fuel.* 15 de noviembre de 2022;328:125273.
48. Szilágyi Á, Bodor A, Tolvai N, Kovács KL, Bodai L, Wirth R, et al. A comparative analysis of biogas production from tomato bio-waste in mesophilic batch and continuous anaerobic digestion systems. *PLOS ONE.* 17 de marzo de 2021;16(3):e0248654.
49. Azabou S, Louati I, Ben Taheur F, Nasri M, Mechichi T. Towards sustainable management of tomato pomace through the recovery of valuable compounds and sequential production of low-cost biosorbent. *Environ Sci Pollut Res Int.* noviembre de 2020;27(31):39402-12.
50. Kehili M, Sayadi S, Frikha F, Zammel A, Allouche N. Optimization of lycopene extraction from tomato peels industrial by-product using maceration in refined olive oil. *Food Bioprod Process.* 1 de septiembre de 2019;117:321-8.
51. Solaberrieta I, Mellinas C, Jiménez A, Garrigós MC. Recovery of Antioxidants from Tomato Seed Industrial Wastes by Microwave-Assisted and Ultrasound-Assisted Extraction. *Foods.* enero de 2022;11(19):3068.
52. Girotto F, Lavagnolo MC, Acar G, Piazza L. Bio-methane production from tomato pomace: preliminary evaluation of process intensification through ultrasound pre-treatment. *J Mater Cycles Waste Manag.* 1 de enero de 2021;23(1):416-22