RVQ Revista Virtual de Química

Revisão

Rev. Virtual Quim. **2026**, *18(6)*, 891-908 – http://dx.doi.org/10.21577/1984-6835.20260054

©2026 Sociedade Brasileira de Química

Tecnologias para Extração de Licopeno do Bagaço de Tomate: Uma Revisão com Abordagem Cienciométrica

Technologies for Extracting Lycopene from Tomato Pomace: A Review with Scientometric Approach

Rosa Maria de Brito Steckelberg,[a,*] Edemilson Cardoso da Conceição,[a] José Realino de Paula[a]

[a]Universidade Federal de Goiás, Faculdade de Farmácia, CEP 74605-170, Goiânia-GO, Brasil

***E-mail:** rosagoianesia2@gmail.com

Submissão: 16 de Julho de 2025 – **Aceite:** 3 de Agosto de 2026 – **Publicado online:** 18 de Agosto de 2026

Editor Associado Responsável: Eliane Silva

The tomato processing industry generates large volumes of waste, particularly tomato pomace, which contains high-value bioactive compounds such as lycopene. This carotenoid, concentrated in the peel, is recognised for its potent antioxidant activity and health benefits for both humans and animals. Industrial thermal processing increases lycopene bioavailability by converting its structure into more absorbable forms. The valorisation of tomato residues aligns with circular economy principles, promoting sustainability, innovation, and efficient resource use. This study presents a scientometric analysis of global research on lycopene extraction from tomato pomace, covering 139 publications indexed in Scopus and Web of Science. Research activity has grown significantly since 2015, with Italy, the USA, China, and Greece leading in publications. Among the investigated techniques, supercritical fluid extraction stands out as the most frequently studied since 2000. Recent studies show a clear trend toward environmentally responsible strategies, emphasising green technologies that enhance carotenoid recovery. This review maps current research directions and identifies promising, sustainable extraction methods. It also highlights knowledge gaps and emerging approaches that could guide future innovations in the field, particularly those aiming at cost-effective and eco-friendly lycopene recovery from agro-industrial waste.

Keywords: Waste; byproduct; green technologies; lycopene recovery; enzyme-assisted extraction.

1. Introdução

O processamento industrial de tomates gera significativa quantidade de bagaço de tomate, um subproduto composto de peles, sementes e polpa residual. Seu acúmulo apresenta desafios econômicos e ambientais e leva à perda de compostos bioativos valiosos, principalmente o licopeno.[1] Esse resíduo contém ainda proteínas, vitaminas e compostos bioativos com potenciais aplicações como alimentos funcionais, cosméticos, produtos farmacêuticos e nutrição animal.[2]

O licopeno, um carotenoide lipofílico responsável pela cor vermelha do tomate, está concentrado nas cascas descartadas durante o processamento.[3] Dissolve-se em óleos e solventes orgânicos, como hexano e acetona, mas é insolúvel em água e álcoois.[4] Naturalmente presente na forma all-*trans* (Figura 1), sofre isomerização em isômeros *cis*, que apresentam maior biodisponibilidade e atividade antioxidante.[5] Ao contrário de outros carotenoides, o licopeno não tem atividade de provitamina A, mas possui alta capacidade antioxidante devido à sua estrutura acíclica de dupla ligação conjugada.[6] Seu consumo tem sido associado à redução dos riscos de câncer,[7] doenças cardiovasculares,[8] e distúrbios metabólicos inflamatórios.[9]

O processamento térmico industrial rompe as paredes celulares do tomate, convertendo todos os isômeros trans em cis e melhorando a biodisponibilidade. No entanto, otimizar a energia de isomerização sem reduzir o teor total de licopeno continua sendo um desafio.[10] O tratamento térmico pode ainda aumentar o teor total de carotenoides em 30% e a atividade antioxidante em 15%.[11]

A extração de licopeno enfrenta desafios relacionados à sustentabilidade, eficiência e estabilidade. Os métodos convencionais baseados em solventes orgânicos geram preocupações ambientais, o que desperta o interesse em tecnologias de extração ecológicas que aumentam a eficiência, reduzem o uso de solventes e reaproveitam a biomassa.[12] Métodos emergentes, como a extração com fluido supercrítico (SFE), alta pressão hidrostática (HHP), campos elétricos pulsados (PEF), extração assistida por enzimas (EAE), extração assistida por ultrassom (UAE) e extração

This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License.

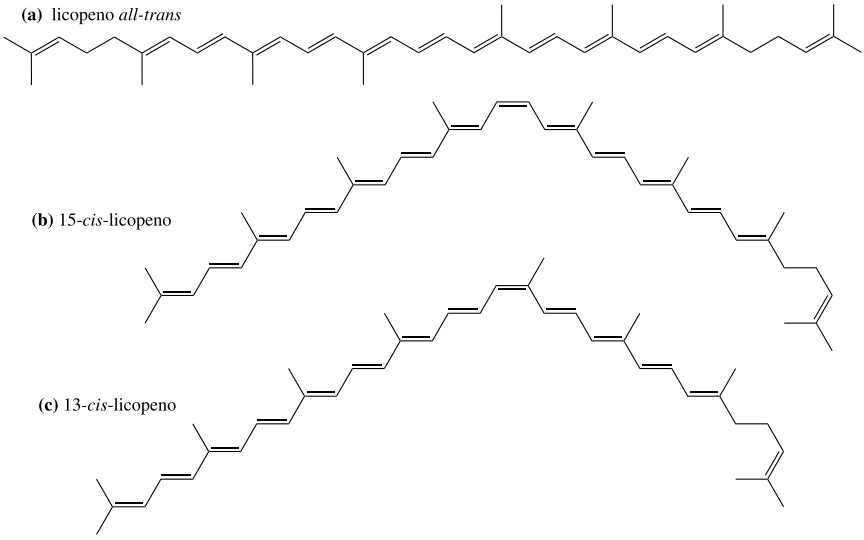


Figura 1. Estruturas químicas de alguns isômeros do licopeno: (a) Licopeno *all-trans*; (b) 15-*cis*-licopeno; (c) 13-*cis*-licopeno

assistida por micro-ondas (MAE) são promissores, mas exigem mais pesquisas para abordar a escalabilidade e a viabilidade industrial.[13] A mudança de uma economia linear para uma economia circular na indústria do tomate exige a otimização da valorização dos subprodutos (Figura 2).

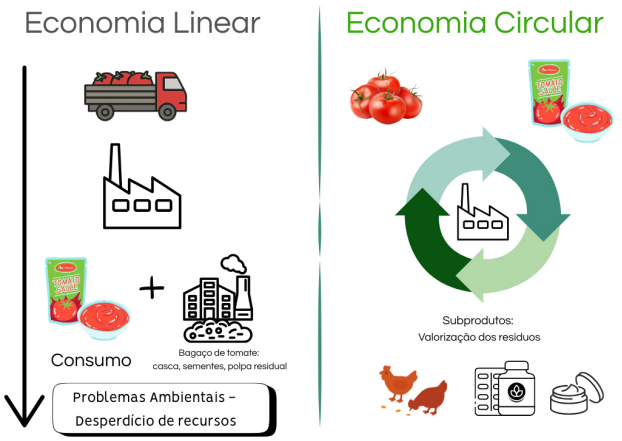


Figura 2. Representação esquemática de economia linear e economia circular

A análise cienciométrica utiliza métodos quantitativos e estatísticos para avaliar a produção e a dinâmica da pesquisa científica, utilizada para sistematizar o conhecimento acumulado em determinada área. Essa abordagem possibilita mapear a evolução histórica das publicações, identificar tendências emergentes, mensurar o impacto de pesquisadores e instituições e destacar lacunas que carecem de investigação aprofundada. Ao integrar essas informações, a cienciometria fornece subsídios estratégicos que apoiam a tomada de decisão por pesquisadores, formuladores de políticas e profissionais do setor produtivo, contribuindo para o direcionamento mais eficiente de esforços científicos e tecnológicos.[14]

Este estudo teve como objetivo analisar a produção científica sobre a extração de licopeno do bagaço de tomate por meio de uma abordagem cienciométrica, complementada por uma revisão da literatura sobre tecnologias de extração, pretendendo fornecer uma visão geral abrangente dos principais métodos, suas vantagens, limitações e tendências emergentes, apoiando futuras inovações em estratégias de extração sustentáveis e escalonáveis.

2. Experimental

Este estudo apresenta uma revisão da literatura com uma abordagem cienciométrica, adaptada de Marzi *et al.*[14] A análise cienciométrica dos métodos de extração e recuperação de licopeno foi realizada usando ferramentas de banco de dados, planilhas eletrônicas e o VOSviewer para visualizar redes de relacionamento.[15] Os dados foram recuperados da Web of Science (WoS) e da Scopus usando os seguintes termos de pesquisa: [(lycopene OR carotenoid*) AND (recovery OR extraction) AND (tomato) AND (waste* OR by-product* OR byproduct* OR pomace OR residue*)], filtrando apenas artigos originais que testaram experimentalmente essas tecnologias.

A análise examinou as tendências de publicação, a evolução das palavras-chave, as redes de cocitação e as colaborações internacionais. As técnicas de extração foram categorizadas e resumidas em uma tabela, detalhando seus métodos, vantagens, desvantagens e tendências, juntamente com sua frequência e evolução temporal. Uma planilha consolidada de artigos originais exclusivos de ambos os bancos de dados classificou as publicações de acordo com a proeminência de métodos específicos. As técnicas foram classificadas com base em sua ênfase no título e/ou no resumo, enquanto os estudos que discutiam várias

tecnologias foram agrupados em Tecnologias Combinadas (CT). Além disso, uma revisão da literatura ofereceu percepções sobre os benefícios, as limitações e as tendências de aplicação de cada método.

3. Resultados e Discussão

3.1. Análise cienciométrica de publicações sobre métodos de extração de licopeno do bagaço de tomate

Uma pesquisa realizada nos bancos de dados Web of Science (WoS) e Scopus em junho de 2024, usando termos e descritores relacionados à recuperação e extração de licopeno e carotenoides de resíduos de tomate, identificou 177 publicações na WoS, das quais 153 eram artigos originais. Na Scopus, foram identificadas 212 publicações, sendo 174 artigos originais. Após um rigoroso processo de triagem, com o auxílio de planilha eletrônica Excel®, foram removidas os títulos duplicados nas bases e os bancos de dados foram unificados. Em seguida, realizou-se a leitura de títulos e resumos de cada artigo para verificar se eram elegíveis para o estudo. Um total de 31 documentos foram excluídos por não estarem relacionados ao tópico da pesquisa, e uma duplicata da Scopus foi removida. Esse processo resultou em 139 artigos originais exclusivos selecionados para a análise quantitativa dos métodos de extração.

3.1.1. Evolução das publicações

A Figura 3 apresenta o número de autores, afiliações, periódicos, agências de financiamento, países e citações identificados nos bancos de dados WoS e Scopus, com dados representados por barras azuis (WoS) e laranja (Scopus). O gráfico central ilustra a porcentagem anual de publicações sobre o tópico indexado em cada banco de dados.

A primeira publicação sobre o assunto indexada em ambos os bancos de dados foi publicada em 1985. A pesquisa nesse campo ganhou impulso a partir de 2015, sendo 2022 o ano mais produtivo. A WoS indexou 20 publicações, representando aproximadamente 13% do total, enquanto a Scopus registrou 21 publicações, representando 12% dos estudos indexados.

3.1.2. Análise das publicações

As primeiras publicações sobre o tema se concentraram na extração convencional assistida por solvente (CS), na extração assistida por fluido supercrítico (SFE) e na extração assistida por alta pressão hidrostática (HHP). A Itália e os Estados Unidos foram os principais contribuintes, com a WoS indexando 31 publicações da Itália e 17 dos Estados Unidos, enquanto a Scopus indexou 36 e 18, respectivamente. O Brasil teve nove publicações indexadas em ambos os bancos de dados.

A Figura 4 apresenta redes de colaboração baseadas em relações de cocitação, destacando a estrutura de conhecimento nesse campo. John Shi (shi j.), da Universidade de Guelph no Canadá, lidera o Cluster 1 (vermelho), com o maior número de citações (133) e links (124), refletindo sua ampla influência. Sua pesquisa no campo agroalimentar abrange 176 publicações, 9.495 citações, um índice H de 63 e 26 citações de patentes (WoS).

Antonio Zuorro (zuorro a.), da Sapienza University of Rome, lidera o Cluster 3 (azul), com 92 citações e 123 links. Suas contribuições teóricas abrangem Engenharia, Química, Ciências Ambientais e Biotecnologia, o que lhe rendeu um índice H de 36 e 12 citações de patentes.

Vassiliki Oreopoulou (oreopoulou v.), da National Technical University of Athens, lidera o Cluster 2 (verde), mantendo fortes conexões entre os demais clusters. Sua experiência abrange Ciência dos Alimentos, Química, Engenharia, Nutrição e Bioquímica.



Figura 3. Análise quantitativa de publicações e citações recuperadas dos bancos de dados WoS (azul) e Scopus (laranja)

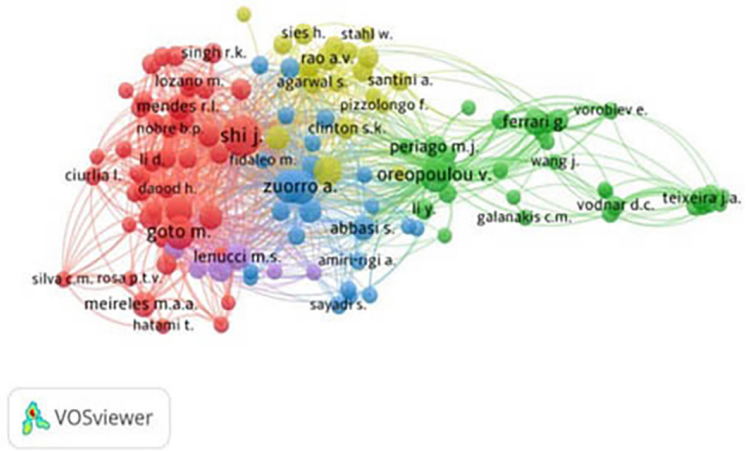


Figura 4. Mapa de cocitação dos autores citados, incluindo apenas aqueles com frequência mínima de 20 citações na base Scopus

As relações de acoplamento bibliográfico entre os países, ilustradas na Figura 5, refletem as redes de colaboração internacional entre os pesquisadores. A Itália, que lidera em volume de publicações, ocupa uma posição central na figura e exibe conexões extensas em todos os grupos, destacando seu envolvimento ativo em diversas linhas de pesquisa dentro do campo. Notavelmente, os países com os maiores volumes de publicação também são grandes produtores de tomate, incluindo Itália, Índia, Estados Unidos (EUA), China, Espanha, Portugal e Brasil.

A Figura 6 apresenta uma análise das palavras-chave do autor, com uma sobreposição codificada por cores indicando os anos de publicação para destacar as tendências de pesquisa. O mapa de co-ocorrência, que considera palavras-chave com pelo menos duas ocorrências, revela um foco crescente em sustentabilidade desde 2020. Os termos usados com frequência, como "solventes verdes", "economia circular", "extração verde" e "biorrefinaria", refletem a ênfase cada vez maior em práticas ecologicamente corretas, alinhando-se aos resultados de vários estudos.[2,16-17]

Outro foco de pesquisa emergente são os compostos bioativos, principalmente as substâncias fenólicas, conforme evidenciado por palavras-chave como "biodisponibilidade" e "bioacessibilidade". Essa tendência ressalta os esforços contínuos para otimizar as técnicas de extração a fim de aumentar a biodisponibilidade do isômero de licopeno.[18-20] Entre os métodos de extração, a extração assistida por fluido supercrítico com dióxido de carbono ("sc CO_2") destaca-se como o mais frequentemente estudado. Essa técnica está associada a palavras-chave como "bioacessibilidade", "estabilidade", "biorrefinaria", "metodologia de superfície de resposta", "polifenóis", "alimentos funcionais" e "capacidade antioxidante".

Além disso, as palavras-chave relacionadas a "tecnologias emergentes" indicam avanços em métodos de extração inovadores, incluindo "extração assistida

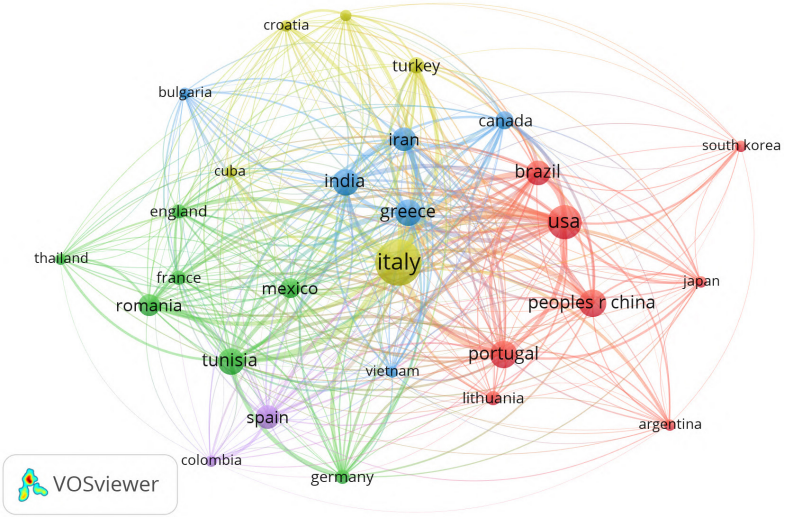


Figura 5. Redes de colaboração internacional com base no acoplamento bibliográfico entre países

por ultrassom", "microemulsão", "extração assistida por enzima", "aquecimento ôhmico", "alta pressão hidrostática" e "extração assistida por micro-ondas". Esses métodos são cada vez mais explorados para a recuperação de carotenoides de resíduos do processamento de tomate.[12,21,22]

3.2. Análise da ocorrência das principais tecnologias de extração destacadas nas publicações

Uma planilha eletrônica foi usada para classificar as publicações por método de extração primária, priorizando a técnica mais enfatizada no título ou no resumo, mesmo quando vários métodos ou pré-tratamentos foram empregados. A Tabela 1 resume as principais técnicas de extração de licopeno do bagaço de tomate, indexadas na Web of Science e na Scopus (1985 a junho de 2024), enquanto a Figura 7 ilustra sua ocorrência em 139 estudos.

Para o gráfico, as técnicas combinadas foram contadas uma vez, mas os métodos individuais também foram desagrupados para análise quantitativa e temporal. O Quadro 1 expande a Tabela 1, fornecendo uma visão geral detalhada das vantagens, desvantagens e tendências de cada técnica.

Os resultados e a discussão nesta seção são derivados da Figura 7 e das Tabelas 1 e Quadro 1, juntamente com suas respectivas referências.

3.2.1. Extração de fluido supercrítico (SFE)

A extração com fluido supercrítico (SFE) é o método mais amplamente estudado para extrair carotenoides de resíduos de tomate, sendo responsável por 27,3% das 139 publicações indexadas (2000-2024) e 10% dos estudos que combinam técnicas (CT) (Tabela 1, Figura 7). Seu destaque na pesquisa é impulsionado pela alta eficiência, seletividade e alinhamento com as metas de sustentabilidade, como a redução de resíduos e a economia circular. No entanto, os altos custos e os desafios de escalabilidade continuam sendo as principais limitações, destacando a necessidade de mais pesquisas. Notavelmente, um estudo investigou o norflurano como um fluido subcrítico, demonstrando aplicações comparáveis ao CO_2 supercrítico amplamente utilizado (Quadro 1).

3.2.2. Extração assistida por solvente (SOL)

A extração baseada em solvente representa 19,4% das 139 publicações analisadas (1985-2023), com 18 estudos usando solventes orgânicos convencionais e 9 com foco em solventes verdes (Tabela 1). Essa categoria foi incluída somente quando explicitamente destacada como a técnica principal ou quando usada em combinação com outros métodos. Os solventes convencionais apareceram em 10,5% dos estudos de CT, enquanto os solventes verdes foram usados em 15,8% (Figura 7).

Como o método mais antigo de extração de licopeno e carotenoides de resíduos de tomate, o uso de solventes convencionais diminuiu devido a preocupações ambientais, enquanto os solventes verdes - principalmente misturas eutéticas hidrofóbicas - estão ganhando força. Entretanto, os altos custos continuam sendo uma barreira para uma adoção mais ampla. Espera-se que pesquisas futuras se concentrem em solventes verdes seletivos e econômicos

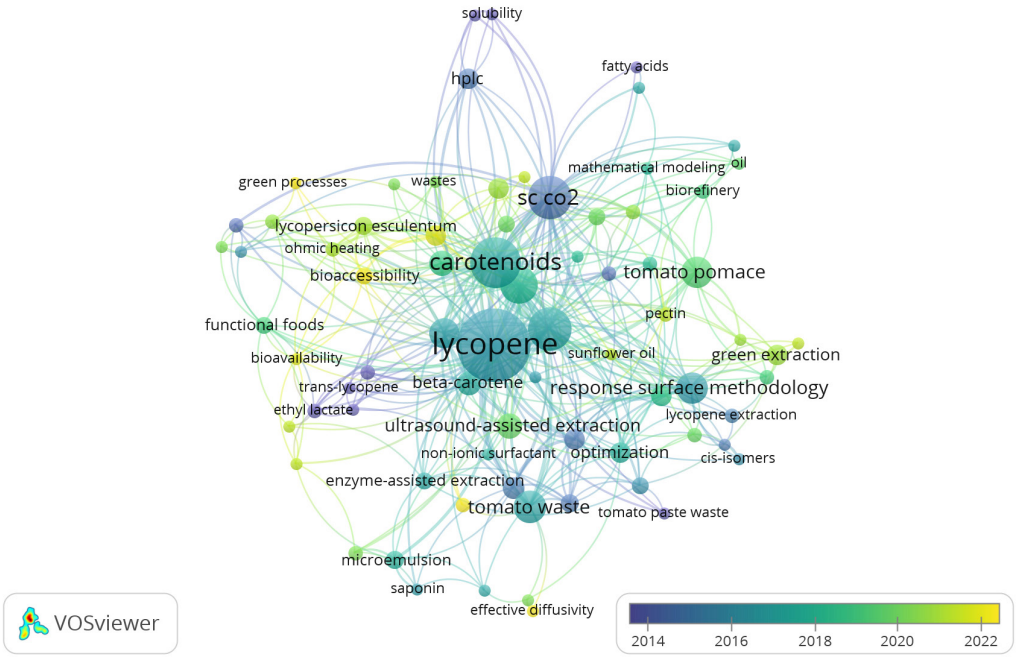


Figura 6. Mapa de coocorrência de palavras-chave do autor, visualizado com uma escala de cores sobreposta indicando período de publicação

e em sua integração com tecnologias emergentes, como a nanotecnologia, para aumentar a eficiência e a sustentabilidade da extração (Quadro 1).

3.2.3. Extração Assistida por Enzima (EAE)

A EAE aparece em 11,5% das publicações (2007-2023) e 12% dos estudos sobre técnicas combinadas (Tabela 1, Figura 7). Atuando como um pré-tratamento, a EAE facilita a liberação de licopeno e compostos bioativos ao quebrar as paredes celulares dos resíduos de tomate por meio de hidrólise enzimática, melhorando assim a acessibilidade dos compostos aos solventes. Esse método ecologicamente correto reduz o consumo de solventes e preserva a integridade dos compostos. No entanto, o alto custo das enzimas continua sendo um desafio de escalabilidade. Pesquisas futuras podem se concentrar na combinação da EAE com outras técnicas para aumentar a eficiência ou identificar novas enzimas econômicas, avançando assim nos processos de extração sustentável (Quadro 1).

3.2.4. Extração assistida por ultrassom (UAE)

A UAE é a tecnologia principal em 4,3% das publicações (2014-2024), mas aparece em 32% dos estudos sobre técnicas combinadas (Tabela 1, Figura 7), destacando seu potencial de integração com outros métodos. A UAE aumenta os rendimentos de extração e a atividade antioxidante em comparação com as técnicas convencionais. No entanto, a otimização precisa dos parâmetros operacionais é fundamental para evitar a degradação dos compostos bioativos. Pesquisas futuras podem se concentrar no aumento da escala da UAE, desenvolvendo reatores maiores e refinando modelos teóricos para otimizar a eficiência da extração (Quadro 1).

3.2.5. Extração assistida por alta pressão hidrostática (HHP)

O tratamento com alta pressão hidrostática aparece em 4,3% das publicações analisadas (2006-2024) e em 5% dos estudos sobre técnicas combinadas (Tabela 1, Figura 7). A HHP oferece potencial de escalabilidade, impacto ambiental reduzido - uma vez que a água é o único solvente - e maior eficiência de extração, bioatividade e bioacessibilidade do licopeno em condições otimizadas.[23] No entanto, o alto custo do equipamento continua sendo uma grande limitação. Pesquisas futuras devem se concentrar na otimização dos parâmetros de extração para melhorar a eficiência do processo e enfrentar esse desafio.

3.2.6. Técnica de microemulsão/surfactante (Sur)

Essa tecnologia apareceu em 2,9% das publicações (2016-2023) e em 10% dos estudos sobre técnicas combinadas (Tabela 1, Figura 7). Como sistemas coloidais altamente estáveis, as microemulsões oferecem uma grande área interfacial, o que as torna particularmente eficazes para a extração de compostos bioativos lipofílicos, como o licopeno. Esse método aumenta a eficiência e a seletividade da extração. Pesquisas futuras devem se concentrar no desenvolvimento de surfactantes biodegradáveis, na otimização da composição da microemulsão e na exploração de sinergias com UAE e HHP para melhorar o desempenho da extração (Quadro 1).

3.2.7. Tecnologia ôhmica ou aquecimento ôhmico (OH)

Essa tecnologia foi destacada em 3,6% das publicações analisadas de 2019 a 2023(Tabela 1). Operando em temperaturas mais baixas, o aquecimento ôhmico (OH) preserva os compostos termolábeis, oferecendo uma alternativa sustentável e eficiente em termos de energia com tempos de extração mais curtos. No entanto, os altos custos iniciais, os riscos de aquecimento irregular e a possível contaminação dos eletrodos continuam sendo os principais desafios. A integração do OH com solventes eutéticos profundos poderia aumentar a eficiência e a sustentabilidade. A pesquisa em andamento se concentra na otimização dos parâmetros para melhorar a escalabilidade industrial e a viabilidade econômica.

3.2.8. Extração assistida por campo elétrico pulsado (PEF)

A PEF é uma tecnologia emergente, aparecendo como o principal método em 2,9% das publicações (2018-2020) e em 5% dos estudos sobre técnicas combinadas (Tabela 1). A PEF melhora a eficiência da extração, aumentando o rendimento dos compostos bioativos e reduzindo o tempo de extração em até 33%. Essa técnica preserva os atributos sensoriais, minimiza o uso de solventes nocivos, inativa as enzimas degradantes e reduz as cargas microbianas, garantindo a segurança e a qualidade do extrato. A integração da PEF com UAE ou HHP poderia gerar efeitos sinérgicos, destacando a necessidade de mais pesquisas sobre a otimização do processo (Quadro 1).

3.2.9. Extração dinâmica sólido-líquido (DSLE)

A DSLE foi destacada em três estudos usando extratores Naviglio® e um usando o equipamento SoLVE®. Além disso, uma publicação relatou a combinação de extração Soxhlet com extração de fluido supercrítico (Quadro 1).

3.2.10. Extração assistida por micro-ondas (MAE)

A MAE foi identificada como o método principal em 2,2% das publicações e em 10% dos estudos sobre técnicas combinadas (2015-2024) (Tabela 1, Figura 7). A MAE aumenta a eficiência ao reduzir o tempo de extração e o consumo de solvente. No entanto, a otimização precisa

dos parâmetros é fundamental para evitar a degradação do licopeno em altas temperaturas. Pesquisas futuras devem se concentrar na automatização do controle de parâmetros e na integração do MAE com outras técnicas de extração para maximizar o desempenho (Quadro 1).

3.2.11. Extração assistida por fermentação em estado sólido (SSFAE)

A *SSFAE* foi identificada como o método principal em 2,2% das publicações (2015-2024). Essa abordagem biotecnológica é promissora, mas enfrenta desafios de escalabilidade industrial, incluindo a heterogeneidade do substrato, dificuldades no controle das condições de cultivo e mecanismos complexos de biotransformação. O avanço das ferramentas analíticas e das tecnologias de bioprocessamento poderia ajudar a superar essas limitações, levando a processos de SSFAE mais eficientes e sustentáveis.

4. Conclusão

Este estudo empregou uma abordagem cienciométrica para analisar a produção científica sobre a extração de licopeno de resíduos de tomate, identificando tendências de pesquisa e inovações tecnológicas. Embora os estudos sobre esse tópico remontem a 1985, a pesquisa se expandiu significativamente a partir de 2015. A extração com fluido

Tabela 1. Classificação do número de publicações sobre os principais métodos de extração de licopeno do bagaço de tomate, indexados no WoS e no Scopus de 1985 a junho de 2024, juntamente com o intervalo de anos de publicação dos estudos analisados nesta pesquisa

Método/Técnica Principal	Nº de Publicações	% / 139 Artigos	Anos das Publicações	Referências	
SFE - Extração c/ Fluidos Supercríticos (CO_2) / Subcríticos* *A referência 55 usa norflurano em condições subcríticas	38	27,3%	2000 - 2024	18, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 20, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55*, 56, 57, 58, 59	
SOL - Solventes Convencionais **CS** - Solventes Verdes	27	19,4%	1985 – 2023 (Estudos mais recentes tratam de solventes verdes)	**SOL** - 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77	
				CS - 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 19,	
EAE - Extração Assistida por Enzimas	16	11,5%	2007 - 2023	86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101	
UAE - Extração Assistida por Ultrassom	6	4,3%	2014 - 2024	102, 103, 104, 105, 106, 107	
HHP - Tratamento com Alta Pressão Hidrostática	6	4,3%	2006 - 2024	108, 109, 110, 111, 23, 112	
OH - Tecnologia Ôhmica	5	3,6%	2019 - 2023	113, 114, 115, 116, 117	
Sur - Surfactantes Técnica da Microemulsão	4	2,9%	2016 - 2023	118, 119, 120, 121	
PEF – Extração por Luz Elétrica Pulsada	4	2,9%	2018 - 2020	122, 123, 124, 125	
DSLE – Extração Dinâmica Sólido/ Líquido (Usando Extrator Naviglio, Extrator SoLVE e Soxlet) – Soxhlet aparece nos estudos apenas em Técnicas Combinadas (CT)	4	2,9%	2008 - 2022	126, 127, 128	Extrator Naviglio®
				129	Extrator SoLVE®
				Soxhlet	Soxhlet
Outras Técnicas – Cristalização (A), Microencapsulação (B), Complexação Hidro coloidal (C) Peletização (D)	4	2,9%	2012 - 2023	A[130] B[131] C[132] D[133]	
MAE - Extração Assistida por Micro-ondas	3	2,2%	2015 - 2024	134, 135, 136	
SSFAE – Extração Assistida por Fermentação no Estado Sólido	3	2,2%	2015 - 2024	137, 138, 139	
CT - Tecnologias Combinadas Observação: Buscamos classificar como CT os estudos que testaram ou compararam mais de uma técnica (representadas pelas siglas correspondentes com sinal de adição e as devidas referências ao lado)	19	13,7%	Não se aplica	(GS + UAE)[140] / (UAE + MAE)[141] / (GS + UAE)[142] / (UAE + SFE)[143] / (UAE + HHP)[144] / (EAE + HHP)[145] / (MICR + EAE + UAE)[146,147] / (CS + SFE)[148] / (EAE + Sur)[149] / (GS + SFE)[150] / (UAE + Sur)[151] / (UAE + EAE)[152] / (SFE + Soxhlet)[153] / (GS + UAE + MAE + PEF)[22] / (GS + MAE + HHP)[154] / (UAE + CS + nano precipitação)[155] / (CS + UAE)[156] / (Diferentes solventes + UAE + MAE)[157]	

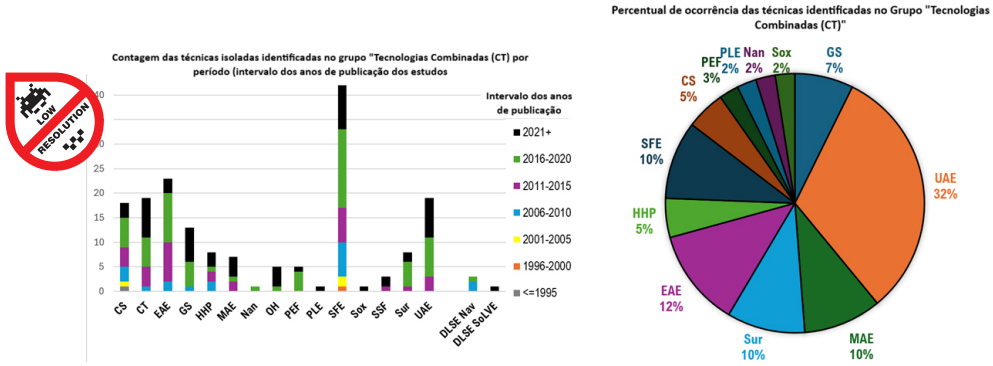


Figura 7. O gráfico de barras mostra a frequência das tecnologias nas 139 publicações. Os estudos que combinaram técnicas foram agrupados na categoria Tecnologias Combinadas (CT), com contabilização das técnicas individuais. O gráfico de pizza apresenta a distribuição percentual das tecnologias nas 19 publicações da categoria CT

Quadro 1. Resumo das principais técnicas ou métodos abordados neste estudo, incluindo descrições e fundamentos, vantagens, desvantagens e tendências em sua aplicabilidade

Tecnologia	Descrição/Finalidade	Vantagens	Desvantagens	Tendências
SFE - Extração de fluido supercrítico (CO_2)	A SFE utiliza CO_2 acima de seu ponto crítico para extrair e purificar com eficiência os compostos-alvo. O processo aproveita a alta densidade e a difusividade do fluido, permitindo a solubilização seletiva por meio da modulação da pressão e da temperatura.[158]	A SFE é uma técnica ecologicamente correta que utiliza CO_2 não tóxico, eliminando a necessidade de solventes orgânicos. Ela oferece alta eficiência, extração rápida e seletividade superior, permitindo o isolamento direcionado de compostos bioativos com alta pureza.[159]	A SFE exige alto investimento inicial, pessoal qualificado e apresenta limitações de solventes e escalabilidade, restringindo sua aplicação em larga escala.[160]	As tendências em SFE concentram-se na integração de tecnologias emergentes, como a extração líquida pressurizada (PLE), para aumentar a eficiência e a recuperação de compostos bioativos, impulsionada pela crescente demanda por bioativos naturais obtidos de matrizes vegetais e resíduos industriais para alimentos funcionais. [158,161]
SOL - Solventes convencionais (CS) e solventes verdes (GS)**	A extração convencional depende de solventes orgânicos, como o hexano, para a solubilização de compostos lipofílicos. Os solventes verdes seguem princípios semelhantes, mas utilizam alternativas ecologicamente corretas com maior seletividade e menor toxicidade.[161]	Os CS são econômicos, simples de implementar e amplamente utilizados em aplicações industriais. Os solventes verdes oferecem maior seletividade, menor toxicidade e menor impacto ambiental, com a vantagem adicional de serem recicláveis e biodegradáveis.[161,162]	Os CS apresentam baixa seletividade, podem gerar resíduos perigosos, tóxicos e inflamáveis. Os solventes verdes, embora mais seguros ambientalmente, são mais caros, menos disponíveis e requerem otimização para cada matriz. [161,162]	As tendências incluem solventes verdes mais econômicos e seletivos, integração da nanotecnologia e maior uso de solventes biodegradáveis e não tóxicos, como dodecil sulfato de sódio, etanol e acetato de etila, mantendo a eficiência da extração e a segurança ambiental. [161,162]
EAE - Extração Assistida por Enzima	A EAE incorpora a hidrólise enzimática para aumentar a liberação de compostos-alvo, reduzindo a dependência de solventes. Enzimas como celulases e pectinases degradam as paredes celulares das plantas, melhorando assim a eficiência da extração.[163]	A EAE aumenta a seletividade ao visar compostos específicos, melhora o rendimento da extração por meio da hidrólise enzimática e reduz o consumo de solventes, o que a torna uma alternativa mais sustentável.[163]	A EAE apresenta altos custos enzimáticos e requer controle preciso do processo. Sua eficiência depende da matéria-prima e da especificidade da enzima, sendo afetada por pH, temperatura extremos e inibidores.[164]	Pesquisas em andamento exploram novas enzimas para aumentar a eficiência e a seletividade da extração. Os avanços visam a integrar a EAE com métodos assistidos por ultrassom ou micro-ondas para melhorar os rendimentos e o desempenho geral do processo. [163]
UAE - Extração assistida por ultrassom	A UAE emprega ondas sonoras de alta frequência para gerar cavitação, melhorando a transferência de massa e rompendo as estruturas celulares, aumentando assim a liberação de compostos, melhorando a eficiência e reduzindo o consumo de solventes e o tempo de extração.[165]	O UAE aumenta o rendimento da extração e preserva a atividade antioxidante, reduzindo significativamente o tempo de extração e o consumo de solvente. É aplicável a uma ampla gama de subprodutos agroindustriais.[166,167]	O excesso de energia ultrassônica pode degradar compostos sensíveis ao calor ou à oxidação. O controle preciso dos parâmetros é essencial para evitar perdas de qualidade e otimizar o processo.[166,168]	Desenvolvimento de reatores em maior escala e modelagem teórica dos parâmetros que determinam a eficiência da extração.[168]

Quadro 1. Resumo das principais técnicas ou métodos abordados neste estudo, incluindo descrições e fundamentos, vantagens, desvantagens e tendências em sua aplicabilidade (cont.)

Tecnologia	Descrição/Finalidade	Vantagens	Desvantagens	Tendências
MICR - Técnica de microemulsão/surfactante	MICR são sistemas termodinamicamente estáveis de líquidos imiscíveis estabilizados por surfactantes, formando *nanodroplets* que facilitam a transferência de compostos bioativos. A grande área interfacial aumenta a solubilização e a seletividade.[169]	MICR facilitam a transferência eficiente de compostos devido à sua grande área interfacial. Elas permitem a extração seletiva, operam em condições brandas para preservar os compostos bioativos e oferecem estabilidade termodinâmica para armazenamento prolongado.[169]	O desenvolvimento de microemulsões estáveis requer conhecimento em química coloidal. O uso de surfactantes aumenta os custos e sua potencial toxicidade limita aplicações em alimentos e produtos farmacêuticos.[151]	As pesquisas devem focar no desenvolvimento de surfactantes biodegradáveis e na otimização das combinações de óleo, surfactante e cosurfactante para melhorar a extração de licopeno e carotenoides. Também se explora a integração da microemulsão com ultrassom ou alta pressão para aumentar a eficiência.[17]
OH - Tecnologia Ôhmica	A OH aplica uma corrente alternada em materiais condutores, gerando um aquecimento rápido e uniforme por meio de fricção molecular. Essa técnica aumenta a permeabilidade da parede celular, facilitando a difusão de compostos.[170]	A OH melhora a eficiência energética, reduz o tempo de extração e preserva os compostos sensíveis ao calor. Oferece uma alternativa sustentável ao reduzir o consumo energético e minimizar o uso de solventes.[170]	A OH requer equipamentos caros, pode causar aquecimento desigual e contaminação por metais dos eletrodos, comprometendo a qualidade do produto e limitando sua aplicação.[171]	Espera-se que a OH seja integrada a outros métodos de extração ecológicos, como solventes eutéticos profundos, para aumentar ainda mais a eficiência e a sustentabilidade[172] . As pesquisas devem ser direcionadas para a otimização de parâmetros de escalabilidade industrial e viabilidade econômica.[170]
HHP - Tratamento com alta pressão hidrostática	O HHP aplica pressões de 100 a 1000 MPa para romper as paredes celulares e aumentar a difusão de compostos bioativos. Ele induz mudanças estruturais e de solubilidade, melhorando a eficiência da extração sem causar degradação térmica.[173]	O HHP aumenta o rendimento da extração de licopeno, preservando a integridade dos compostos bioativos sensíveis ao calor. Ele reduz o tempo de processamento e permite o uso de solventes verdes, como água e óleos vegetais.[173]	A HHP requer equipamentos caros, apresenta incompatibilidade com alguns solventes e exige otimização da pressão e do tempo de processamento para cada matriz.[174]	A pesquisa deve se concentrar na otimização dos parâmetros de pressão e tempo de processamento para maximizar a eficiência da extração e explorar a aplicação da HHP em vários setores alimentícios e farmacêuticos.[173,174]
PEF - Extração por Campo Elétrico Pulsado	A PEF utiliza pulsos elétricos curtos e de alta intensidade para permeabilizar membranas celulares, aumentando a liberação de compostos intracelulares, o rendimento e preservando as propriedades sensoriais e nutricionais.[175]	A PEF aumenta o rendimento de bioativos, preserva as propriedades sensoriais e nutricionais e reduz o uso de solventes, energia e água. Inativa enzimas que degradam carotenoides e elimina microrganismos, aumentando a estabilidade, a segurança e a qualidade do produto.[176]	A PEF requer equipamentos caros e otimização do processamento para cada matriz. Desafios técnicos e econômicos limitam sua escalabilidade industrial e adoção.[177]	A extração PEF está sendo combinada com ultrassom e alta pressão hidrostática para aumentar a sinergia e melhorar a eficiência. Suas aplicações estão se expandindo para nutracêuticos e alimentos funcionais, apoiando o desenvolvimento de compostos bioativos de alto valor.[177]
DSLE - Extração Dinâmica Sólido-Líquido **Soxhlet** **Extrator Naviglio e SoLVE**	**Soxhlet** Baseado em ciclos repetidos de extração, condensação e sifonagem.[178] **Extrator Naviglio** Esse equipamento emprega um sistema de circulação contínua de solvente, com um leito fixo contendo a amostra.[179] **SoLVE (Extração sólido-líquido)** Esse equipamento utiliza um sistema de leito fluidizado em que o material sólido é mantido suspenso no solvente por meio de um fluxo de gás.[129]	**Soxhlet** Simples e eficiente para compostos lipofílicos[180] **Extrator Naviglio** Maior eficiência, menor consumo de solvente e menor tempo de análise em comparação com o Soxhlet[181] **SoLVE (extração sólido-líquido)** Altamente versátil, combinando aquecimento rápido, pressão e agitação para acelerar a extração.[129]	**Soxhlet** Alto consumo de solvente, longo tempo de análise, risco de degradação térmica e automação limitada[180] **Extrator Naviglio** Requer equipamento especializado, está sujeito ao entupimento do leito fixo e limita-se a amostras sólidas com tamanho de partícula adequado.[181] **SoLVE (Extração sólido-líquido)** A otimização de múltiplas variáveis pode exigir experimentos extensos.[129]	**Combinação com outras técnicas:** Técnicas como a Rapid Solid-Liquid Dynamic Extraction (RSLDE) estão surgindo como alternativas mais rápidas e eficientes, com foco na sustentabilidade e na redução do impacto ambiental.[129,181]

Quadro 1. Resumo das principais técnicas ou métodos abordados neste estudo, incluindo descrições e fundamentos, vantagens, desvantagens e tendências em sua aplicabilidade (cont.)

Tecnologia	Descrição/Finalidade	Vantagens	Desvantagens	Tendências
MAE - Extração Assistida por Microondas	A MAE utiliza radiação de micro-ondas para aquecer moléculas polares dentro da amostra, gerando energia térmica rápida que rompe as estruturas celulares e acelera a liberação de compostos nos solventes.[182]	MAE reduz significativamente o tempo de extração e o consumo de solventes, preservando a integridade dos compostos. É uma tecnologia ecológica que minimiza a degradação e melhora a recuperação de compostos bioativos.[183]	Altas temperaturas e pressões podem levar à degradação de determinados compostos, o que exige uma otimização cuidadosa das condições de extração.[184]	As tendências incluem a otimização da extração para reduzir solventes e energia, a integração de métodos enzimáticos a outras técnicas, a automação do processo, a recuperação de bioativos e o estabelecimento de padrões regulatórios de segurança e qualidade.[185]
SSFAE - Extração Assistida por Fermentação em Estado Sólido	O SSFAE combina fermentação microbiana e extração por solvente para aumentar a recuperação de bioativos. Enzimas hidrolíticas produzidas por microrganismos degradam as paredes celulares, favorecendo a liberação de compostos e sua bioatividade.[138]	O SSFAE aumenta o rendimento dos compostos fenólicos, melhora a bioatividade e promove a sustentabilidade ao utilizar resíduos agrícolas. Ele se alinha aos princípios da economia circular ao converter resíduos em compostos bioativos valiosos.[186]	O SSFAE exige otimização da umidade e da temperatura e ainda requer mais estudos para validar sua escalabilidade industrial.[187]	A integração da SSF com a UAE demonstrou resultados promissores na melhoria da eficiência da extração. Essa abordagem está sendo cada vez mais explorada para a produção de bioestimulantes e biopesticidas, atendendo à demanda por soluções agrícolas sustentáveis. [176]

supercrítico (SFE) tem sido o método mais amplamente estudado desde 2000, principalmente devido às suas vantagens ambientais em relação às técnicas tradicionais. Pesquisas recentes apontam uma transição para o uso de solventes verdes e de tecnologias emergentes, como a extração assistida por ultrassom (UAE) e a extração assistida por enzima (EAE), além da combinação de técnicas, com ênfase na sustentabilidade e na eficiência.

Os principais países produtores de tomate - Itália, Estados Unidos e China - dominam a produção científica, enquanto o Brasil ocupa a nona posição. Este estudo identificou os principais autores, afiliações e fundamentos teóricos no campo, fornecendo uma visão geral abrangente de cada tecnologia de extração, incluindo seus princípios, benefícios, limitações e tendências. Um desafio recorrente é a escalabilidade industrial, que continua sendo uma importante lacuna para direcionar pesquisas futuras.

Ao avançar o conhecimento sobre a extração de licopeno a partir de resíduos de tomate, este estudo serve de guia para pesquisadores na seleção, no refinamento ou no desenvolvimento de tecnologias inovadoras, sustentáveis e escaláveis. Esses esforços apoiam os princípios da economia circular, a proteção ambiental, a redução de resíduos e a transformação de subprodutos em compostos de alto valor.

Agradecimentos

Este estudo recebeu apoio financeiro do Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Referências Bibliográficas

1. Lu, Z.; Wang, J.; Gao, R.; Ye, F.; Zhao, G.; Sustainable valorisation of tomato pomace: A comprehensive review. *Trends Food Science & Technology* **2019**, *86*, 172. [Crossref]
2. Lu, S.; Chen, S.; Li, H.; Paengkoum, S.; Taethaisong, N.; Meethip, W.; Surakhunthod, J.; Sinpru, B.; Sroichak, T.; Archa, P.; Thongpea, S.; Paengkoum, P.; Sustainable Valorization of Tomato Pomace (*Lycopersicon esculentum*) in Animal Nutrition: A Review. *Animals* **2022**, *12,* 3294. [Crossref][PubMed]
3. Trombino, S.; Cassano, R.; Procopio, D.; Di Gioia, M. L.; Barone, E.; Valorization of Tomato Waste as a Source of Carotenoids. *Molecules* **2021**, *26,* 5062. [Crossref] [PubMed]
4. Kong, K.-W.; Khoo, H.-E.; Prasad, K. N.; Ismail, A.; Tan, C.-P.; Rajab, N. F.; Revealing the Power of the Natural Red Pigment Lycopene. *Molecules* **2010**, *15*, 959. [Crossref][PubMed]
5. Madia, V. N.; De Vita, D.; Ialongo, D.; Tudino, V.; De Leo, A.; Scipione, L.; Di Santo, R.; Costi, R.; Messore, A.; Recent Advances in Recovery of Lycopene from Tomato Waste: A Potent Antioxidant with Endless Benefits. *Molecules* **2021**, *26,* 4495. [Crossref][PubMed]
6. Sen, S.; The Chemistry and Biology of Lycopene: Antioxidant for human health. *International Journal of Advancement in Life Sciences Research* **2019**, *2*, 8. [Crossref]
7. Kapała, A.; Szlendak, M.; Motacka, E.; The Anti-Cancer Activity of Lycopene: A Systematic Review of Human and Animal Studies. *Nutrients* **2022**, *14*, 5152. [Crossref][PubMed]
8. Okoi, O. N.; Etim, J. J.; Etim-John, O. J.; Uba, J.; Aduloju, R. A.; Okonkwo, B. C.; Ibu, J. M.; Esen, R. E.; Efejene, O. I.; Akinsola, A. O.; Ogbolu, C.; Hypolipidaemic Effect of Lycopene from Red Tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) and its Potential for

the Prevention of Cardiovascular Diseases. *Tropical Journal of Natural Product Research* **2024**, *8*, 6051. [Crossref]

9. Landrier, J.-F.; Breniere, T.; Sani, L.; Desmarchelier, C.; Mounien, L.; Borel, P.; Effect of tomato, tomato-derived products and lycopene on metabolic inflammation: from epidemiological data to molecular mechanisms. *Nutrition Research Reviews* **2023**, *38*, 95. [Crossref][PubMed]
10. Freda, S. A.; Luvielmo, M. de M.; Rutza, J. K.; Zambiazia, R. C.; Lycopene: Effect of Thermal Processing on Chemical Structure and Bioavailability. *Estudos Tecnológicos em Engenharia* **2018**, *12*, 1. [Crossref]
11. Tchonkouang, R. D. N.; Antunes, M. D. C.; Vieira, M. M. C.; Em *Carotenoids – New Perspectives and Application*; Martínez-Espinosa, R. M., ed.; IntechOpen: London, 2022, ch. 3. [Crossref]
12. Eslami, E.; Carpentieri, S.; Pataro, G.; Ferrari, G.; A Comprehensive Overview of Tomato Processing By-Product Valorization by Conventional Methods versus Emerging Technologies. *Foods* **2023**, *12,* 166. [Crossref][PubMed]
13. Méndez-Carmona, J. Y.; Ascacio-Valdes, J. A.; Alvarez-Perez, O. B.; Hernández-Almanza, A. Y.; Ramírez-Guzman, N.; Sepúlveda, L.; Aguilar-González, M. A.; Ventura-Sobrevilla, J. M.; Aguilar, C. N.; Tomato waste as a bioresource for lycopene extraction using emerging technologies. *Food Bioscience* **2022**, *49,* 101966. [Crossref]
14. Marzi, G.; Balzano, M.; Caputo, A.; Pellegrini, M. M.; Guidelines for Bibliometric-Systematic Literature Reviews: 10 steps to combine analysis, synthesis and theory development. *International Journal of Management Reviews* **2025**, *27*, 81. [Crossref]
15. van Eck, N. J.; Waltman, L.; Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics* **2010**, *84*, 523. [Crossref] [PubMed]
16. Popescu, M.; Iancu, P.; Plesu, V.; Todasca, M.; Isopencu, G. O.; Bildea, C. S.; Valuable Natural Antioxidant Products Recovered from Tomatoes by Green Extraction. *Molecules* **2022**, *27,* 4191. [Crossref][PubMed]
17. Yadav, S.; Malik, K.; Moore, J. M.; Kamboj, B. R.; Malik, S.; Malik, V. K.; Arya, S.; Singh, K.; Mahanta, S.; Bishnoi, D. K.; Valorisation of Agri-Food Waste for Bioactive Compounds: Recent Trends and Future Sustainable Challenges. *Molecules* **2024**, *29*, 2055. [Crossref][PubMed]
18. Vallecilla-Yepez, L.; Ciftci, O.; Increasing cis-lycopene content of the oleoresin from tomato processing byproducts using supercritical carbon dioxide. *LWT-Food Science and Technology* **2018**, *95*, 354. [Crossref]
19. Strati, I. F.; Oreopoulou, V.; Recovery and Isomerization of Carotenoids from Tomato Processing By-products. *Waste and Biomass Valorization* **2016**, *7*, 843. [Crossref]
20. Urbonaviciene, D.; Viskelis, P.; The cis-lycopene isomers composition in supercritical CO_2 extracted tomato by-products. *LWT-Food Science and Technology* **2017**, *85*, 517. [Crossref]
21. Amiri-Rigi, A.; Abbasi, S.; Extraction of lycopene using a lecithin-based olive oil microemulsion. *Food Chemistry* **2019**, *272*, 568. [Crossref][PubMed]
22. Kumar, S.; Rawson, A.; Kumar, A.; Sunil, C.; Vignesh, S.; Venkatachalapathy, N.; Lycopene extraction from industrial tomato processing waste using emerging technologies, and its application in enriched beverage development. *International Journal of Food Science and Technology* **2023**, *58*, 2141. [Crossref]
23. Carpentieri, S.; Ferrari, G.; Donsì, F.; High-Pressure Homogenization for Enhanced Bioactive Recovery from Tomato Processing By-Products and Improved Lycopene Bioaccessibility during In Vitro Digestion. *Antioxidants* **2023**, *12,* 1855. [Crossref][PubMed]
24. Baysal, T.; Ersus, S.; Starmans, D. A. J.; Supercritical CO_2 extraction of β-carotene and lycopene from tomato paste waste. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **2000**, *48*, 5507. [Crossref][PubMed]
25. Rozzi, N. L.; Singh, R. K.; Vierling, R. A.; Watkins, B. A.; Supercritical fluid extraction of lycopene from tomato processing byproducts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **2002**, *50*, 2638. [Crossref][PubMed]
26. Yang, S. X.; Shi, W.; Zeng, J.; In *Advances in Neural Networks* – ISNN 2004; Yin, F. L.; Wang, J.; Guo, C., eds.; Springer: Berlin, 2004, ch. 140. [Crossref]
27. Topal, U.; Sasaki, M.; Goto, M.; Hayakawa, K.; Extraction of Lycopene from Tomato Skin with Supercritical Carbon Dioxide: Effect of Operating Conditions and Solubility Analysis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **2006**, *54*, 5604. [Crossref] [PubMed]
28. Vagi, E.; Simandi, B.; Vasarhelyine, K. P.; Daood, H.; Kery, A.; Doleschall, F.; Nagy, B.; Supercritical carbon dioxide extraction of carotenoids, tocopherols and sitosterols from industrial tomato by-products. *The Journal of Supercritical Fluids* **2007**, *40*, 218. [Crossref]
29. Huang, W.; Li, Z.; Niu, H.; Li, D.; Zhang, J.; Optimization of operating parameters for supercritical carbon dioxide extraction of lycopene by response surface methodology. *Journal of Food Engineering* **2008**, *89*, 298. [Crossref]
30. Cortés, J. M.; Vázquez, A.; Santa-María, G.; Blanch, G. P.; Villén, J.; Pesticide residue analysis by RPLC-GC in lycopene and other carotenoids obtained from tomatoes by supercritical fluid extraction. *Food Chemistry* **2009**, *113*, 280. [Crossref]
31. Shi, J.; Khatri, M.; Xue, S. J.; Mittal, G. S.; Ma, Y.; Li, D.; Solubility of lycopene in supercritical CO_2 fluid as affected by temperature and pressure. *Separation and Purification Technology* **2009**, *66*, 322. [Crossref]
32. Nobre, B. P.; Palavra, A. F.; Pessoa, F. L. P.; Mendes, R. L.; Supercritical CO_2 extraction of trans-lycopene from Portuguese tomato industrial waste. *Food Chemistry* **2009**, *116*, 680. [Crossref]
33. Longo, C.; Leo, L.; Leone, A.; Carotenoids, Fatty Acid Composition and Heat Stability of Supercritical Carbon Dioxide-

Extracted-Oleoresins. *International Journal of Molecular Sciences* **2012**, *13*, 4233. [Crossref][PubMed]

34. Machmudah, S.; Zakaria; Winardi, S.; Sasaki, M.; Goto, M.; Kusumoto, N.; Hayakawa, K.; Lycopene extraction from tomato peel by-product containing tomato seed using supercritical carbon dioxide. *Journal of Food Engineering* **2012**, *108*, 290. [Crossref]
35. Nobre, B. P.; Gouveia, L.; Matos, P. G. S.; Cristino, A. F.; Palavra, A.; Mendes, R.; Supercritical Extraction of Lycopene from Tomato Industrial Wastes with Ethane. *Molecules* **2012**, *17*, 8397. [Crossref][PubMed]
36. Lenucci, M. S.; Durante, M.; Anna, M.; Dalessandro, G.; Piro, G.; Possible Use of the Carbohydrates Present in Tomato Pomace and in Byproducts of the Supercritical Carbon Dioxide Lycopene Extraction Process as Biomass for Bioethanol Production. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **2013**, *61*, 3683. [Crossref][PubMed]
37. Perretti, G.; Troilo, A.; Bravi, E.; Marconi, O.; Galgano, F.; Fantozzi, P.; Production of a lycopene-enriched fraction from tomato pomace using supercritical carbon dioxide. *The Journal of Supercritical Fluids* **2013**, *82*, 177. [Crossref]
38. Silva, A. F.; de Melo, M. M. R.; Silva, C. M.; Supercritical solvent selection (CO_2 versus ethane) and optimization of operating conditions of the extraction of lycopene from tomato residues: Innovative analysis of extraction curves by a response surface methodology and cost of manufacturing hybrid approach. *The Journal of Supercritical Fluids* **2014**, *95*, 618. [Crossref]
39. Haddadin, M. S. Y.; Haddadin, J. S.; Lycopene Extraction from Tomato Pomace with Supercritical Carbon Dioxide: Effect of Pressures, Temperatures and CO_2 Flow Rates and Evaluation of Antioxidant Activity and Stability of Lycopene. *Pakistan Journal of Nutrition* **2015**, *14*, 942. [Crossref]
40. Kehili, M.; Schmidt, L. M.; Reynolds, W.; Zammel, A.; Zetzl, C.; Smirnova, I.; Allouche, N.; Sayadi, S.; Biorefinery cascade processing for creating added value on tomato industrial by-products from Tunisia. *Biotechnology For Biofuels* **2016**, *9,* 261. [Crossref][PubMed]
41. Venturi, F.; Sanmartin, C.; Taglieri, I.; Andrich, G.; Zinnai, A.; A Simplified Method to Estimate SC- CO_2 Extraction of Bioactive Compounds from Different Matrices: Chili Pepper vs. Tomato By-Products. *Applied Sciences* **2017**, *7,* 361. [Crossref]
42. Barros, H. D. F. Q.; Grimaldi, R.; Cabral, F. A.; Lycopene-rich avocado oil obtained by simultaneous supercritical extraction from avocado pulp and tomato pomace. *The Journal of Supercritical Fluids* **2017**, *120*, 1. [Crossref]
43. Durante, M.; Montefusco, A.; Marrese, P. P.; Soccio, M.; Pastore, D.; Piro, G.; Mita, G.; Lenucci, M. S.; Seeds of pomegranate, tomato and grapes: An underestimated source of natural bioactive molecules and antioxidants from agri-food by-products. *Journal of Food Composition and Analysis* **2017**, *63*, 65. [Crossref]
44. Kehili, M.; Kammlott, M.; Choura, S.; Zammel, A.; Zetzl, C.; Smirnova, I.; Allouche, N.; Sayadi, S.; Supercritical CO_2 extraction and antioxidant activity of lycopene and β-carotene-enriched oleoresin from tomato (Lycopersicum esculentum L.) peels by-product of a Tunisian industry. *Food and Bioproducts Processing* **2017**, *102*, 340. [Crossref]
45. Urbonaviciene, D.; Bobinaite, R.; Trumbeckaite, S.; Raudone, L.; Janulis, V.; Bobinas, C.; Viskelis, P.; Agro-industrial tomato by-products and extraction of functional food ingredients. *Zemdirbyste-Agriculture* **2018**, *105*, 63. [Crossref]
46. Hatami, T.; Meireles, M. A. A.; Ciftci, O. N.; Supercritical carbon dioxide extraction of lycopene from tomato processing by-products: Mathematical modeling and optimization. *Journal of Food Engineering* **2019**, *241*, 18. [Crossref]
47. Lima, M. A.; Kestekoglou, I.; Charalampopoulos, D.; Chatzifragkou, A.; Supercritical Fluid Extraction of Carotenoids from Vegetable Waste Matrices. *Molecules* **2019**, *24*, 466. [Crossref][PubMed]
48. Romano, R.; Aiello, A.; Pizzolongo, F.; Rispoli, A.; De Luca, L.; Masi, P.; Characterisation of oleoresins extracted from tomato waste by liquid and supercritical carbon dioxide. *International Journal of Food Science and Technology* **2020**, *55*, 3334. [Crossref]
49. Scaglia, B.; D'Incecco, P.; Squillace, P.; Dell'Orto, M.; De Nisi, P.; Pellegrino, L.; Botto, A.; Cavicchi, C.; Adani, F.; Development of a tomato pomace biorefinery based on a CO_2-supercritical extraction process for the production of a high value lycopene product, bioenergy and digestate. *Journal of Cleaner Production* **2020**, *243*, 118650. [Crossref]
50. Pellicanò, T. M.; Sicari, V.; Loizzo, M. R.; Leporini, M.; Falco, T.; Poiana, M.; Optimizing the supercritical fluid extraction process of bioactive compounds from processed tomato skin by-products. *Food Science and Technology* **2020**, *40*, 692. [Crossref]
51. Squillace, P.; Adani, F.; Scaglia, B.; Supercritical CO_2 extraction of tomato pomace: Evaluation of the solubility of lycopene in tomato oil as limiting factor of the process performance. *Food Chemistry* **2020**, *315,* 126224. [Crossref][PubMed]
52. Margotta, M.; Guida, D.; Supercritical Fluid Extraction of Lycopene and Omega-3. *WSEAS Transactions on Biology and Biomedicine* **2020**, *17*, 1. [Crossref]
53. Urbonaviciene, D.; Bobinas, C.; Bobinaite, R.; Raudone, L.; Trumbeckaite, S.; Viskelis, J.; Viskelis, P.; Composition and Antioxidant Activity, Supercritical Carbon Dioxide Extraction Extracts, and Residue after Extraction of Biologically Active Compounds from Freeze-Dried Tomato Matrix. *Processes* **2021**, *9,* 467. [Crossref]
54. Casa, M.; Miccio, M.; Thinking, modelling and assessing costs of extracting added-value components from tomato industrial byproducts on a regional basis. *Chemical Engineering Transactions* **2021**, *87*, 163. [Crossref]
55. Cante, R. C.; Gallo, M.; Varriale, L.; Garella, I.; Nigro, R.; Recovery of Carotenoids from Tomato Pomace Using a Hydrofluorocarbon Solvent in Sub-Critical Conditions. *Applied Sciences* **2022**, *12*, 2822. [Crossref]

56. Ubeyitogullari, A.; Ciftci, O. N.; Enhancing the bioaccessibility of lycopene from tomato processing byproducts via supercritical carbon dioxide extraction. *Current Research in Food Science* **2022**, *5*, 553. [Crossref][PubMed]
57. Hatami, T.; Ciftci, O. N.; A step-by-step technoeconomic analysis of supercritical carbon dioxide extraction of lycopene from tomato processing waste. *Journal of Food Engineering* **2023**, *357,* 111639. [Crossref]
58. Okur, P. S.; Ciftci, O. N.; Value-Added Green Processing of Tomato Waste to Obtain a Stable Free-Flowing Powder Lycopene Formulation Using Supercritical Fluid Technology. *Food and Bioprocess Technology* **2024**, *17*, 2028. [Crossref]
59. Hatami, T.; Ciftci, O. N.; Techno-economic sensitivity assessment for supercritical CO_2 extraction of lycopene from tomato processing waste. *Journal of Supercritical Fluids* **2024**, *204,* 106109. [Crossref]
60. Al-Wandawi, H.; Abdul-Rahman, M.; Al-Shaikhly, K.; Tomato Processing Wastes as Essential Raw Materials Source. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **1985**, *33*, 804. [Crossref]
61. Ruiz, R. M.; Mangut, V.; González, C.; de la Torre, R.; Latorre, A.; Carotenoid Extraction from Tomato By-products. *Acta Horticulturae* **2001**, *542*, 83. [Crossref]
62. Kaur, D.; Wani, A. A.; Oberoi, D. P. S.; Sogi, D. S.; Effect of extraction conditions on lycopene extractions from tomato processing waste skin using response surface methodology. *Food Chemistry* **2008**, *108*, 711. [Crossref][PubMed]
63. Strati, I. F.; Oreopoulou, V.; Effect of extraction parameters on the carotenoid recovery from tomato waste. *International Journal of Food Science and Technology* **2011**, *46*, 23. [Crossref]
64. Strati, I. F.; Oreopoulou, V.; Process optimisation for recovery of carotenoids from tomato waste. *Food Chemistry* **2011**, *129*, 747. [Crossref][PubMed]
65. López-Cervantes, J.; Sánchez-Machado, D. I.; Valenzuela-Sánchez, K. P.; Núñez-Gastélum, J. A.; Escárcega-Galaz, A. A.; Rodríguez-Ramírez, R.; Effect of solvents and methods of stirring in extraction of lycopene, oleoresin and fatty acids from over-ripe tomato. *International Journal of Food Sciences and Nutrition* **2014**, *65*, 187. [Crossref][PubMed]
66. Poojary, M. M.; Passamonti, P.; Extraction of lycopene from tomato processing waste: Kinetics and modelling. *Food Chemistry* **2015**, *173*, 943. [Crossref][PubMed]
67. Poojary, M. M.; Passamonti, P.; Optimization of extraction of high purity all-trans-lycopene from tomato pulp waste. *Food Chemistry* **2015**, *188*, 84. [Crossref][PubMed]
68. Robles-Ramirez, M. C.; Monterrubio-Lopez, R.; Mora-Escobedo, R.; Beltran-Orozco, M. C.; Evaluation of extracts from potato and tomato wastes as natural antioxidant additives. *Archivos Latinoamericanos de Nutricion* **2016**, *66*, 66. [Link]
69. Baaka, N.; El Ksibi, I.; Mhenni, M. F.; Optimisation of the recovery of carotenoids from tomato processing wastes: application on textile dyeing and assessment of its antioxidant activity. *Natural Product Research* **2017**, *31*, 196. [Crossref][PubMed]
70. Strati, I. F.; Oreopoulou, V.; Recovery of carotenoids from tomato processing by-products - a review. *Food Research International* **2014**, *65*, 311. [Crossref]
71. Phinney, D. M.; Frelka, J. C.; Cooperstone, J. L.; Schwartz, S. J.; Heldman, D. R.; Effect of solvent addition sequence on lycopene extraction efficiency from membrane neutralized caustic peeled tomato waste. *Food Chemistry* **2017**, *215*, 354. [Crossref][PubMed]
72. Allison, B. J.; Simmons, C. W.; Valorization of tomato pomace by sequential lycopene extraction and anaerobic digestion. *Biomass & Bioenergy* **2017**, *105*, 331. [Crossref]
73. Nikolova, M.; Prokopov, T.; Taneva, D.; Dimitrov, N.; Optimisation of organic solvent extraction of total carotenoids from bulgarian tomato processing waste. *Food Science and Technology* **2019**, *13*, 65. [Crossref]
74. Azabou, S.; Sebii, H.; Ben Taheur, F.; Abid, Y.; Jridi, M.; Nasri, M.; Phytochemical profile and antioxidant properties of tomato by-products as affected by extraction solvents and potential application in refined olive oils. *Food Bioscience* **2020**, *36,* 100664. [Crossref]
75. 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. *Environmental Science and Pollution Research* **2020**, *27*, 39402. [Crossref][PubMed]
76. Almeida, P. V.; Rodrigues, R. P.; Gaspar, M. C.; Braga, M. E. M.; Quina, M. J.; Integrated management of residues from tomato production: Recovery of value-added compounds and biogas production in the biorefinery context. *Journal of Environmental Management* **2021**, *299*, 113505. [Crossref][PubMed]
77. Uchegbu, N. N.; Ude, C. N.; Obeta, N. A.; Eze, C. R.; Characterization and optimization of carotenoid extracted from the peels of tomato lycopersicon esculentum grown in Nigeria. *African Journal of Food Agriculture, Nutrition and Development* **2022**, *22*, 19214. [Crossref]
78. Ishida, B. K.; Chapman, M. H.; Carotenoid Extraction from Plants Using a Novel, Environmentally Friendly Solvent. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **2009**, *57*, 1051. [Crossref][PubMed]
79. Silva, Y. P. A.; Ferreira, T. A. P. C.; Celli, G. B.; Brooks, M. S.; Optimization of Lycopene Extraction from Tomato Processing Waste Using an Eco-Friendly Ethyl Lactate-Ethyl Acetate Solvent: A Green Valorization Approach. *Waste and Biomass Valorization* **2019**, *10*, 2851. [Crossref]
80. 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 and Bioproducts Processing* **2019**, *117*, 321. [Crossref]
81. Silva, Y. P. A.; Ferreira, T. A. P. C.; Jiao, G.; Brooks, M. S.; Sustainable approach for lycopene extraction from tomato

processing by-product using hydrophobic eutectic solvents. *Journal of Food Science and Technology* **2019**, *56*, 1649. [Crossref][PubMed]

82. Diacon, A.; Calinescu, I.; Vinatoru, M.; Chipurici, P.; Vlaicu, A.; Boscornea, A. C.; Mason, T. J.; Fatty Acid Ethyl Esters (FAEE): A New, Green and Renewable Solvent for the Extraction of Carotenoids from Tomato Waste Products. *Molecules* **2021**, *26,* 4388. [Crossref][PubMed]
83. Lazzarini, C.; Casadei, E.; Valli, E.; Tura, M.; Ragni, L.; Bendini, A.; Toschi, T. G.; Sustainable Drying and Green Deep Eutectic Extraction of Carotenoids from Tomato Pomace. *Foods* **2022**, *11,* 405. [Crossref][PubMed]
84. Toledo, Y. S.; Macias, R. C. C.; Cardenas, B. Z.; Viera, L. C.; Tomato skin drying: mathematical modeling and effect on lycopene content extracted with *Moringa oleifera* oil. *Afinidad* **2022**, *79*, 349. [Link]
85. Tran, D. T.; Nguyen, L. T. H.; Nguyen, C. N.; Hertog, M. L. A. T. M.; Nicolaï, B.; Picha, D.; Optimization of Lycopene Extraction from Tomato Pomace and Effect of Extract on Oxidative Stability of Peanut Oil. *Polish Journal of Food and Nutrition Science* **2023**, *73*, 205. [Crossref]
86. Choudhari, S. M.; Ananthanarayan, L.; Enzyme aided extraction of lycopene from tomato tissues. *Food Chemistry* **2007**, *102*, 77. [Crossref]
87. Zuorro, A.; Fidaleo, M.; Lavecchia, R.; Enzyme-assisted extraction of lycopene from tomato processing waste. *Enzyme and Microbial Technology* **2011**, *49*, 567. [Crossref] [PubMed]
88. Zuorro, A.; Lavecchia, R.; Medici, F.; Piga, L.; Enzyme-Assisted Production of Tomato Seed Oil Enriched with Lycopene from Tomato Pomace. *Food and Bioprocess Technology* **2013**, *6*, 3499. [Crossref]
89. Ranveer, R. C.; Patil, S. N.; Sahoo, A. K.; Effect of different parameters on enzyme-assisted extraction of lycopene from tomato processing waste. *Food and Bioproducts Processing* **2013**, *91*, 370. [Crossref]
90. Zuorro, A.; Lavecchia, R.; Medici, F.; Piga, L.; Use of cell wall degrading enzymes for the production of high-quality functional products from tomato processing waste. *Chemical Engineering Transactions* **2014**, *38*, 355. [Crossref]
91. Ranveer, R. C.; Sahoo, A. K.; Effect of cellulase and pectinase combinations on the recovery of lycopene. *Agro Food Industry Hi-Tech* **2015**, *26*, 46. [Link]
92. Azabou, S.; Abid, Y.; Sebii, H.; Felfoul, I.; Gargouri, A.; Attia, H.; Potential of the solid-state fermentation of tomato by products by *Fusarium solani pisi* for enzymatic extraction of lycopene. *LWT-Food Science and Technology* **2016**, *68*, 280. [Crossref]
93. Prokopov, T.; Nikolova, M.; Dobrev, G.; Taneva, D.; Enzyme-assisted extraction of carotenoids from bulgarian tomato peels. *Acta Alimentaria* **2017**, *46*, 84. [Crossref]
94. Munde, P. J.; Muley, A. B.; Ladole, M. R.; Pawar, A. V.; Talib, M. I.; Parate, V. R.; Optimization of pectinase-assisted and tri-solvent-mediated extraction and recovery of lycopene from waste tomato peels. *3 Biotech* **2017**, *7,* 206. [Crossref][PubMed]
95. Gu, M.; Fang, H.; Gao, Y.; Su, T.; Niu, Y.; Yu, L. L.; Characterization of enzymatic modified soluble dietary fiber from tomato peels with high release of lycopene. *Food Hydrocolloids* **2020**, *99,* 105321. [Crossref]
96. Catalkaya, G.; Kahveci, D.; Optimization of enzyme assisted extraction of lycopene from industrial tomato waste. *Separation and Purification Technology* **2019**, *219*, 55. [Crossref]
97. Lombardelli, C.; Liburdi, K.; Benucci, I.; Esti, M.; Tailored and synergistic enzyme-assisted extraction of carotenoid-containing chromoplasts from tomatoes. *Food and Bioproducts Processing* **2020**, *121*, 43. [Crossref]
98. Li, J.; Yang, Z.; Zhang, Y.; Gao, B.; Niu, Y.; Yu, L. L.; The structural and functional characteristics of soluble dietary fibers modified from tomato pomace with increased content of lycopene. *Food Chemistry* **2022**, *382,* 132333. [Crossref] [PubMed]
99. Tran, Q. T. N.; Nguyen, H. V. H.; Optimization of enzyme-assisted lycopene extraction from tomato (Lycopersicon esculentum) peel using rice bran oil. *Journal of Food Measurement and Characterization* **2023**, *17*, 5154. [Crossref]
100. Scaglia, B.; Squillace, P.; Abbasi-Parizad, P.; Papa, G.; De Nisi, P.; Tambone, F.; Valorization of the tomato pomace to obtain lycopene, carbohydrates-rich fraction and oil by applying a hydrolytic enzyme-based approach. *Bioresource Technology Reports* **2023**, *24,* 101693. [Crossref]
101. Zuorro, A.; Lavecchia, R.; Mild Enzymatic Method for the Extraction of Lycopene from Tomato Paste. *Biotechnology and Biotechnological Equipment* **2010**, *24,* 1854. [Crossref]
102. Kumcuoglu, S.; Yilmaz, T.; Tavman, S.; Ultrasound assisted extraction of lycopene from tomato processing wastes. *Journal of Food Science and Technology* **2014**, *51*, 4102. [Crossref] [PubMed]
103. Yilmaz, T.; Kumcuoglu, S.; Tavman, S.; Ultrasound-assisted extraction of lycopene and β-carotene from tomato-processing wastes. *Italian Journal of Food Science* **2017**, *29*, 186. [Crossref]
104. Rahimi, S.; Mikani, M.; Lycopene green ultrasound-assisted extraction using edible oil accompany with response surface methodology (RSM) optimization performance: Application in tomato processing wastes. *Microchemical Journal* **2019**, *146*, 1033. [Crossref]
105. Li, J.; Pettinato, M.; Casazza, A. A.; Perego, P.; A Comprehensive Optimization of Ultrasound-Assisted Extraction for Lycopene Recovery from Tomato Waste and Encapsulation by Spray Drying. *Processes* **2022**, *10,* 308. [Crossref]
106. Lasunon, P.; Phonkerd, N.; Tettawong, P.; Sengkhamparn, N.; Effect of thermo-sonication condition on carotenoid yield and its antioxidant activity. *Asia-Pacific Journal of Science and Technology* **2022**, *27*, 1. [Crossref]
107. Marinaccio, L.; Zengin, G.; Bender, O.; Dogan, R.; Atalay, A.; Masci, D.; Flamminii, F.; Stefanucci, A.; Mollica, A.;

Lycopene enriched extra virgin olive oil: Biological activities and assessment of security profile on cells. *Food Bioscience* **2024**, *60,* 104466. [Crossref]

108. Xi, J.; Effect of high pressure processing on the extraction of lycopene in tomato paste waste. *Chemical Engineering & Technology* **2006**, *29*, 736. [Crossref]
109. Jun, X.; Application of high hydrostatic pressure processing of food to extracting lycopene from tomato paste waste. *High Pressure Research* **2006**, *26*, 33. [Crossref]
110. Juric, S.; Ferrari, G.; Velikov, K. P.; Donsì, F.; High-pressure homogenization treatment to recover bioactive compounds from tomato peels. *Journal of Food Engineering* **2019**, *262*, 170. [Crossref]
111. Juric, S.; Juric, M.; Ferrari, G.; Jambrak, A. R.; Donsi, F.; Lycopene-rich cream obtained via high-pressure homogenisation of tomato processing residues in a water–oil mixture. *International Journal of Food Science and Technology* **2021**, *56*, 4907. [Crossref]
112. Fernandez-Pan, I.; Horvitz, S.; Ibañez, F. C.; Arroqui, C.; Beriain, M. J.; Virseda, P.; Extra-virgin olive oil enriched with lycopene: From industrial tomato by-products to consumer. *Food Science & Nutrition* **2024**, *12*, 5815. [Crossref][PubMed]
113. Coelho, M.; Pereira, R.; Rodrigues, A. S.; Teixeira, J. A.; Pintado, M. E.; Extraction of tomato by-products' bioactive compounds using ohmic technology. *Food and Bioproducts Processing* **2019**, *117*, 329. [Crossref]
114. Coelho, M. C.; Ribeiro, T. B.; Oliveira, C.; Batista, P.; Castro, P.; Monforte, A. R.; Rodrigues, A. S.; Teixeira, J.; Pintado, M.; In Vitro Gastrointestinal Digestion Impact on the Bioaccessibility and Antioxidant Capacity of Bioactive Compounds from Tomato Flours Obtained after Conventional and Ohmic Heating Extraction. *Foods* **2021**, *10,* 554. [Crossref][PubMed]
115. Coelho, M. C.; Oliveira, C.; Coscueta, E. R.; Fernandes, J.; Pereira, R. N.; Teixeira, J. A.; Rodrigues, A. S.; Pintado, M. E.; Bioactivity and Bioaccessibility of Bioactive Compounds in Gastrointestinal Digestion of Tomato Bagasse Extracts. *Foods* **2022**, *11*, 1064. [Crossref][PubMed]
116. Coelho, M. C.; Costa, C.; Roupar, D.; Silva, S.; Rodrigues, A. S.; Teixeira, J. A.; Pintado, M. E.; Modulation of the Gut Microbiota by Tomato Flours Obtained after Conventional and Ohmic Heating Extraction and Its Prebiotic Properties. *Foods* **2023**, *12*, 1920. [Crossref][PubMed]
117. Coelho, M. C.; Ghalamara, S.; Campos, D.; Ribeiro, T. B.; Pereira, R.; Rodrigues, A. S.; Teixeira, J. A.; Pintado, M.; Tomato Processing By-Products Valorisation through Ohmic Heating Approach. *Foods* **2023**, *12*, 818. [Crossref][PubMed]
118. Amiri-Rigi, A.; Abbasi, S.; Stability assessment of lycopene microemulsion prepared using tomato industrial waste against various processing conditions. *Journal of The Science of Food and Agriculture* **2017**, *97*, 4922. [Crossref][PubMed]
119. Amiri-Rigi, A.; Abbasi, S.; Extraction of lycopene using a lecithin-based olive oil microemulsion. *Food Chemistry* **2019**, *272*, 568. [Crossref][PubMed]
120. Amiri-Rigi, A.; Abbasi, S.; Lycopene microemulsion storability: monitoring colour and rheological properties. *International Nano Letters* **2020**, *10*, 119. [Crossref]
121. Ferrando, B. O.; Baenas, N.; Rincon, F.; Periago, M. J.; Green Extraction of Carotenoids from Tomato By-products Using Sodium Dodecyl Sulphate. *Food and Bioprocess Technology* **2024**, *17*, 3017. [Crossref]
122. Pataro, G.; Carullo, D.; Siddique, M. A. B.; Falcone, M.; Donsi, 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. *Journal of Food Engineering* **2018**, *233*, 65. [Crossref]
123. Pataro, G.; Carullo, D.; Ferrari, G.; Effect of PEF pre-treatment and extraction temperature on the recovery of carotenoids from tomato wastes. *Chemical Engineering Transactions* **2019**, *75*, 139. [Crossref]
124. Andreou, V.; Dimopoulos, G.; Dermesonlouoglou, E.; Taoukis, P.; Application of pulsed electric fields to improve product yield and waste valorization in industrial tomato processing. *Journal of Food Engineering* **2020**, *270*, 109778. [Crossref]
125. Pataro, G.; Carullo, D.; Falcone, M.; Ferrari, G.; Recovery of lycopene from industrially derived tomato processing by-products by pulsed electric fields-assisted extraction. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* **2020**, *63*, 102369. [Crossref]
126. Naviglio, D.; Caruso, T.; Iannece, P.; Aragon, A.; Santini, A.; Characterization of high purity lycopene from tomato wastes using a new pressurized extraction approach. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **2008**, *56*, 6227. [Crossref] [PubMed]
127. Naviglio, D.; Pizzolongo, F.; Ferrara, L.; Aragon, A.; Santini, A.; Extraction of pure lycopene from industrial tomato by-products in water using a new high-pressure process. *Journal of The Science of Food and Agriculture* **2008**, *88*, 2414. [Crossref]
128. Gallo, M.; Formato, A.; Ciaravolo, M.; Langella, C.; Cataldo, R.; Naviglio, D.; A water extraction process for lycopene from tomato waste using a pressurized method: an application of a numerical simulation. *European Food Research and Technology* **2019**, *245*, 1767. [Crossref]
129. Pettinato, M.; Casazza, A. A.; Ferrari, P. F.; Perego, P.; Optimization and modeling of solid-liquid multivariable extractor (SoLVE): A new solution for tomato waste valorization. *Chemical Engineering Research & Design* **2022**, *182*, 465. [Crossref]
130. Wu, N. Y.; Qiao, X. X.; Gao, W.; Peng, J. W.; A crystallisation protocol designed for the isolation of lycopene from tomato processing by-products. *International Journal of Food Science and Technology* **2023**, *59*, 181. [Crossref]
131. Miranda, P. P.; Fernández, D.; Coello-Fiallos, D.; López, O. D.; Iraizoz, A.; Microencapsulation of lycopene extracted from the agroindustrial waste of the tree tomato (*Solanum betaceum*). *Bionatura* **2023**, *8*, 1. [Link]

132. Nagarajan, J.; Kay, H. P.; Krishnamurthy, N. P.; Ramakrishnan, N. R.; Aldawoud, T. M. S.; Galanakis, C. M.; Wei, O. C.; Extraction of Carotenoids from Tomato Pomace via Water-Induced Hydrocolloidal Complexation. *Biomolecules* **2020**, *10*, 1019. [Crossref][PubMed]
133. Celma, A. R.; Cuadros, F.; Lopez-Rodriguez, F.; Characterization of pellets from industrial tomato residues. *Food and Bioproducts Processing* **2012**, *90*, 700. [Crossref]
134. Ho, K. K.H. Y.; Ferruzzi, M. G.; Liceaga, A. M.; Martín-González, M. F. S.; Microwave-assisted extraction of lycopene in tomato peels: Effect of extraction conditions on all-trans and cis-isomer yields. *LWT-Food Science and Technology* **2015**, *62*, 160. [Crossref]
135. Lasunon, P.; Phonkerd, N.; Tettawong, P.; Sengkhamparn, N.; Effect of microwave-assisted extraction on bioactive compounds from industrial tomato waste and its antioxidant activity. *Food Research* **2021**, *5*, 468. [Link]
136. Aldana-Heredia, J. F.; Hernández-Carrión, M.; Gómez-Franco, J. D.; Narváez-Cuenca, C. E.; Sánchez-Camargo, A. P.; Microwave-assisted extraction, encapsulation, and bioaccessibility of carotenoids from organic tomato industry by-product. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* **2024**, *95*, 103706. [Crossref]
137. Owusu, J.; Ma, H.; Afoakwah, N. A.; Amissah, A.; Ahima, J.; Lycopene and β-carotene recovery from fermented tomato waste and their antioxidant activity. *Annals of the University Dunarea Jos Galati Fascicle VI - Food Technology* **2015**, *39*, 36. [Link]
138. Mendez-Carmona, J. Y.; Ramirez-Guzman, K. N.; Ascacio-Valdes, J. A.; Sepulveda, L.; Aguilar, C. N.; Solid-state fermentation for recovery of carotenoids from tomato waste. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* **2022**, *80*, 103108. [Crossref]
139. Mendez-Carmona, J. Y.; Ramírez-Guzman, K. N.; Ascacio-Valdes, J. A.; Sepúlveda, L.; Sandoval-Cortés, J.; Aguilar, C. N.; Evaluation of the Pretreatment of Tomato Waste as Support for the Recovery of Carotenoids Through Solid-State Fermentation Assisted Extraction (SSFAE). *Waste and Biomass Valorization* **2024**, *15*, 1701. [Crossref]
140. Szabo, K.; Teleky, B.-E.; Ranga, F.; Roman, I.; Khaoula, H.; Boudaya, E.; Ltaief, A. B.; Aouani, W.; Thiamrat, M.; Vodnar, D. C.; Carotenoid Recovery from Tomato Processing By-Products through Green Chemistry. *Molecules* **2022**, *27*, 3771. [Crossref] [PubMed]
141. Nour, V.; Corbu, A. R.; Rotaru, P.; Karageorgou, I.; Lalas, S.; Effect of carotenoids, extracted from dry tomato waste, on the stability and characteristics of various vegetable oils. *Grasas y Aceites* **2018**, *69*, e238. [Crossref]
142. Sariego, Y.; Pita, A.; González, M.; Acosta, G.; Zumalacárregui, B.; Cruz, L.; Estimation of mass transfer terms in the lycopene recovery employing *Moringa oleifera* Lam oil as solvent. *Grasas y Aceites* **2023**, *74*, e519. [Crossref]
143. Rubashvili, I.; Tsitsagi, M.; Ebralidze, K.; Tsitsishvili, V.; Eprikashvili, L.; Chkhaidze, M.; Zautashvili, M.; Extraction and Analysis of the Major Carotenoids of AgroIndustrial Waste Materials Using Sequential Extraction Techniques and High Performance Liquid Chromatography. *Eurasian Journal of Analytical Chemistry* **2018**, *13*, 1. [Link]
144. Luengo, E.; Condon-Abanto, S.; Condon, S.; Alvarez, I.; Raso, J.; Improving the extraction of carotenoids from tomato waste by application of ultrasound under pressure. *Separation and Purification Technology* **2014**, *136*, 130. [Crossref]
145. Strati, I. F.; Gogou, E.; Oreopoulou, V.; Enzyme and high pressure assisted extraction of carotenoids from tomato waste. *Food and Bioproducts Processing* **2015**, *94*, 668. [Crossref]
146. Amiri-Rigi, A.; Abbasi, S.; Scanlon, M. G.; Enhanced lycopene extraction from tomato industrial waste using microemulsion technique: Optimization of enzymatic and ultrasound pre-treatments. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* **2016**, *35*, 160. [Crossref]
147. Amiri-Rigi, A.; Abbasi, S.; Microemulsion-based lycopene extraction: Effect of surfactants, co-surfactants and pretreatments. *Food Chemistry* **2016**, *197*, 1002. [Crossref][PubMed]
148. Eller, F. J.; Moser, J. K.; Kenar, J. A.; Taylor, S. L.; Extraction and Analysis of Tomato Seed Oil. *Journal of the American Oil Chemists Society* **2010**, *87*, 755. [Crossref]
149. Papaioannou, E. H.; Karabelas, A. J.; Lycopene recovery from tomato peel under mild conditions assisted by enzymatic pre-treatment and non-ionic surfactants. *Acta Biochimica Polonica* **2012**, *59*, 71. [Crossref] [PubMed]
150. Jamaleddine, A.; de Caro, P.; Bouajila, J.; Evon, P.; Haddad, J. G.; El-Kalamouni, C.; Hijazi, A.; Merah, O.; In Vitro Bioactivities of Extracts from Tomato Pomace. *Frontiers In Bioscience-Landmark* **2022**, *27*, 259. [Crossref][PubMed]
151. Yadav, R. D.; Khanpit, V. V.; Dhamole, P. B.; Mandavgane, S. A.; Integrated ultrasound-surfactant assisted extraction of lycopene from tomato peels. *Chemical Engineering and Processing-Process Intensification* **2023**, *191*, 109474. [Crossref]
152. Rahimpour, S.; Dinani, S. T.; Lycopene extraction from tomato processing waste using ultrasound and cell-wall degrading enzymes. *Journal of Food Measure and Characterization* **2018**, *12*, 2394. [Crossref]
153. Popescu, M.; Iancu, P.; Plesu, V.; Bildea, C. S.; Todasca, C. M.; Different spectrophotometric methods for simultaneous quantification of lycopene and β-carotene from a binary mixture. *LWT-Food Science and Technology* **2022**, *160*, 113238. [Crossref]
154. Chada, P. S. N.; Santos, P. H.; Rodrigues, L. G. G.; Goulart, G. A. S.; dos Santos, J. D. A.; Maraschin, M.; Lanza, M.; 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 Chemistry X* **2022**, *13*, 100237. [Crossref] [PubMed]

155. Anarjan, N.; Jouyban, A.; Preparation of lycopene nanodispersions from tomato processing waste: Effects of organic phase composition. *Food and Bioproducts Processing* **2017**, *103*, 104. [Crossref]
156. Miranda, N. G. M.; Gomes, F. S.; Cabral, L. M. C.; de Jesus, M. S. C.; Thermal concentration effects of tomato pulp and carotenoids extraction from the residue. *Scientia Agricola* **2023**, *80*, e20220047. [Crossref]
157. El-Malah, M. H.; Hassanein, M. M. M.; Areif, M. H.; Al-Amrousi, E. F.; Utilization of Egyptian Tomato waste as a potential source of natural antioxidants using solvents, microwave and ultrasound extraction methods. *American Journal of Food Technology* **2015**, *10*, 14. [Crossref]
158. Mahanti, N. K.; Arepally, D.; Narakatla, S. P.; Banga, K. S.; Em *Nonthermal Food Engineering Operations*; Kumar N.; Panghal A.; Garg M. K. eds; John Wiley & Sons: Hoboken, 2024, ch. 12. [Crossref]
159. Ahari, H.; Anvar, S. A.; Beik, S. A.; Moradi, S.; Em *Extraction Processes in the Food Industry*; Jafari, S. M.; Akhavan-Mahdavi, S., orgs.; Woodhead Publishing: Cambridge, 2024, ch. 4. [Crossref]
160. Fraguela-Meissimilly, H.; Bastías-Monte, J. M.; Vergara, C.; Ortiz-Viedma, J.; Lemus-Mondaca, R.; Flores, M.; Toledo-Merma, P.; Alcázar-Alay, S.; Gallón-Bedoya, M.; New Trends in Supercritical Fluid Technology and Pressurized Liquids for the Extraction and Recovery of Bioactive Compounds from Agro-Industrial and Marine Food Waste. *Molecules* **2023**, *28*, 4421. [Crossref][PubMed]
161. Das, J. N.; Basak, S.; Sablania, V.; Negi, R.; Yadav, N.; Rustagi, S.; Singh, S.; Rai, A. K.; Shreaz, S.; Yadav, A. N.; Food waste as potential bioresources for extraction of carotenoid of nutraceutical importance: Current research and future challenges. *Journal of Applied Biology and Biotechnology* **2024**, *12*, 65. [Crossref]
162. Naveira-Pazos, C.; Veiga, M. C.; Mussagy, C. U.; Farias, F. O.; Kennes, C.; Pereira, J. F. B.; Carotenoids production and extraction from *Yarrowia lipolytica* cells: A biocompatible approach using biosolvents. *Separation and Purification Technology* **2024**, *343*, 127136. [Crossref]
163. Maled, S. B.; Bhat, A. R.; Hegde, S.; Sivamani, Y.; Muthuraman, A.; Elayaperumal, S.; Em *Bioactive Extraction and Application in Food and Nutraceutical Industries*; Sarkar, T.; Pati, S., eds.; Springer US: New York, 2024, ch. 8. [Crossref]
164. Kiruthika, M.; Shivaswamy, M. S.; Extraction of provitamin and non-provitamin carotenoid using conventional and modern extraction methods - A review. *Food and Humanity* **2024**, *2*, 100241. [Crossref]
165. Chemat, F.; Rombaut, N.; Sicaire, A.-G.; Meullemiestre, A.; Fabiano-Tixier, A.-S.; Abert-Vian, M.; Ultrasound assisted extraction of food and natural products. Mechanisms, techniques, combinations, protocols and applications. A review. *Ultrasonics Sonochemistry* **2017**, *34*, 540. [Crossref][PubMed]
166. Adouane, M.; Kadri, N.; Benzitoune, N.; Abbou, A.; Kerdouche, K.; Berkani, F.; Adel-Abderrahim, K.; Mameri, A.; Remini, H.; Dahmoune, F.; Madani, K.; Optimization of Ultrasound-assisted Extraction of Total Carotenoids from Orange Coral "*Astroides calycularis*" by Response Surface Methodology. *Current Bioactive Compounds* **2025**, *21*, E110624230927. [Crossref]
167. Han, K. N.; Meral, H.; Demirdöven, A.; Recovery of carotenoids as bioactive compounds from peach pomace by an eco-friendly ultrasound-assisted enzymatic extraction. *Journal of Food Science and Technology* **2024**, *61*, 2354. [Crossref][PubMed]
168. Rodríguez-Rodríguez, E.; Herrero-Lodares, C.; Sánchez-Prieto, M.; Olmedilla-Alonso, B.; Sánchez-Moreno, C.; de Ancos, B.; Sustainable extraction methods of carotenoids from mango (*Mangifera indica* L. 'Kent') pulp: Ultrasound assisted extraction and green solvents. *Food Chemistry* **2024**, *450*, 139253. [Crossref][PubMed]
169. Nathalie, F. R.; German, M. R.; Marianela, C. R.; Daniela, M. B.; Eleaneth, B. V.; Gustavo, C. B.; Jorge, P. M.; Microemulsion Systems: Generalities and Fields of Application. *European Journal of Pharmaceutical Research* **2023**, *3*, 14. [Crossref]
170. Talha, M.; Khalid, S.; Maan, A. A.; Tanveer, N.; Khan, M. K. I.; Asif, M.; Arif, S.; Sarwar, A.; Ohmic assisted extraction: a sustainable and environment friendly approach to substitute conventional extraction methods. *Food Reviews International* **2024**, *40*, 3508. [Crossref]
171. Balthazar, C. F.; Pimentel, T. C.; Silva, R.; Prudencio, E. S.; Cruz, A. G.; Marsico, E. T.; Recent findings on the ohmic heating application in meat products. *Current Opinion in Food Science* **2024**, *58*, 101180. [Crossref]
172. Airouyuwa, J. O.; Sivapragasam, N.; Redha, A. A.; Maqsood, S.; Sustainable green extraction of anthocyanins and carotenoids using deep eutectic solvents (DES): A review of recent developments. *Food Chemistry* **2024**, *448*, 139061. [Crossref] [PubMed]
173. Altuner, E. M.; Em *Green Extraction Techniques in Food Analysis*; Plaza, M.; Marina, M. L., eds.; Bentham Science Publishers: Sharjah, 2023, ch. 14. [Link]
174. Lara-Abia, S.; Welti-Chanes, J.; Cano, M. P.; Effect of High Hydrostatic Pressure on the Extractability and Bioaccessibility of Carotenoids and Their Esters from Papaya (*Carica papaya* L.) and Its Impact on Tissue Microstructure. *Foods* **2021**, *10*, 2435. [Crossref][PubMed]
175. Carpentieri, S.; Jambrak, A. R.; Ferrari, G.; Pataro, G.; Pulsed Electric Field-Assisted Extraction of Aroma and Bioactive Compounds from Aromatic Plants and Food By-Products. *Frontiers in Nutrition* **2022**, *8*, 792203. [Crossref][PubMed]
176. Theagarajan, R.; Balendran, S. D.; Sethupathy, P.; Em *Bioactive Extraction and Application in Food and Nutraceutical Industries*; Sarkar, T.; Pati, S., eds.; Springer: New York, 2024, ch. 9. [Crossref]
177. Hegde, S.; Sivamani, Y.; Muthuraman, A.; Elayaperumal, S.; Em *Bioactive Extraction and Application in Food and Nutraceutical*

Industries; Sarkar, T.; Pati, S., eds.; Springer: New York, 2024, ch. 10. [Crossref]

178. de Castro, M. D. L.; Priego-Capote, F.; Soxhlet extraction: Past and present panacea. *Journal of Chromatography A* **2010**, *1217*, 2383. [Crossref][PubMed]
179. Naviglio, D.; Naviglio's Principle and Presentation of an Innovative Solid-Liquid Extraction Technology: Extractor Naviglio®. *Analytical Letters* **2003**, *36*, 1647. [Crossref]
180. Torres-Rodriguez, A.; Darvishzadeh, R.; Skidmore, A. K.; Fränzel-Luiten, E.; Knaken, B.; Schuur, B.; High-throughput Soxhlet extraction method applied for analysis of leaf lignocellulose and non-structural substances. *Methods X* **2024**, *12*, 102644. [Crossref] [PubMed]
181. Naviglio, D.; Scarano, P.; Ciaravolo, M.; Gallo, M.; Rapid Solid-Liquid Dynamic Extraction (RSLDE): A Powerful and Greener Alternative to the Latest Solid-Liquid Extraction Techniques. *Foods* **2019**, *8*, 245. [Crossref][PubMed]
182. Tsukui, A.; Rezende, C. M.; Extração Assistida por Micro-ondas e Química Verde. *Revista Virtual de Química* **2014**, *6*, 1713. [Crossref]
183. Ferrara, D.; Beccaria, M.; Cordero, C. E.; Purcaro, G.; Microwave-assisted extraction in closed vessel in food analysis. *Journal of Separation Science* **2023**, *46*, 2300390, 1. [Crossref] [PubMed]
184. Nithya, S.; Krishnan, R. R.; Rao, N. R.; Naik, K.; Praveen, N.; Vasantha, V. L.; Em *Drug Discovery and Design Using Natural Products*; Cruz, J. N., ed.; Springer Nature: Cham, 2023, ch. 8. [Crossref]