

**Líquidos Iónicos De Nueva Generación Como Disolventes Para La Obtención De Productos
Naturales**

Fredy Antonio Martínez Briceño

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD
Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería ECBTI
Química
2022

**Líquidos Iónicos De Nueva Generación Como Disolventes ParaLa Obtención De
Productos Naturales**

Fredy Antonio Martinez Briceño

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:Químico

Asesora:

Marcela Andrea Zambrano Bothia

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería ECBTI

Química

2022

Declaración de Derechos de Propiedad Intelectual

Los autores de la presente propuesta manifestamos que conocemos el contenido del Acuerdo 06 de 2008, Estatuto de Propiedad Intelectual de la UNAD, Artículo 39 referente a la cesión voluntaria y libre de los derechos de propiedad intelectual de los productos generados a partir de la presente propuesta. Asimismo, conocemos el contenido del Artículo 40 del mismo Acuerdo, relacionado con la autorización de uso del trabajo para fines de consulta y mención en los catálogos bibliográficos de la UNAD.

Agradecimientos

A Dios por permitirme desarrollar cada uno de los proyectos que tengo a lo largo de mi vida, a mi esposa y a mis hijos quienes son mi constante motivación para seguir adelante, a mi padre quien me enseñó el valor de la responsabilidad y el respeto por el compromiso adquirido, a mi directora de proyecto Marcela Zambrano por su constante y dedicada supervisión e interés y a todas y cada una de las personas que me apoyaron en la culminación del presente proyecto.

Resumen

Inicialmente el punto de partida para desarrollar el presente documento fue la definición de lo que es un líquido iónico, sus generalidades, clasificación, propiedades y su estructura, para esto se tomaron como ejemplos diferentes líquidos iónicos como lo son aquellos basados en $AlCl_3$ (cloruro de aluminio), basados en aniones como $[PF_6]^-$ - hexafluorofosfato $[BF_4]^-$ - tetrafluoroborate $[SbF_6]^-$ -hexafluoroantimoniato, basados en $[CF_3SO_3]^-$ - trifluorometanosulfonato $[TF_2N]^-$ - bistriflimida, basados en (as) alquilsulfatos(sas) alquilsulfonatos todos ellos encontrados en las diferentes fuentes bibliográficas consultadas. Se realizó una investigación específica recolectando documentación en diferentes bases de datos como lo son Science direct, Wiley, Springer, Taylor and Francis, entre otros, delimitando la publicación de los documentos consultados de 2015 a 2021. En esta recopilación de documentos el objetivo principal se basa en la búsqueda y recopilación de documentación que conceptualicen los líquidos iónicos y su uso como disolventes de extracción para la obtención de productos naturales y las ventajas que representa sobre otros disolventes. De cada uno de los documentos académicos se extrajo la información relacionada con procesos de extracción, temperaturas, materiales vegetales utilizados, líquido iónico y conclusiones al final de cada uno de los estudios, se analizó el proceso de extracción aplicado y de esta manera se realizó una breve descripción de cada uno de los procesos, así como el desarrollo de este y las ventajas más relevantes según lo encontrado en la documentación recolectada. Teniendo en cuenta la información concluyente en cada uno de los estudios consultados se logra comparar y relacionar la viabilidad de utilizar los líquidos iónicos como disolventes alternativos en procesos de extracción de productos naturales.

Palabras claves: Química verde, aprovechamiento, proceso, disolventes, investigación.

Abstract

Initially, the starting point to develop this document was the definition of what an ionic liquid is, its generalities, classification, properties, and structure. For this, different ionic liquids were taken as examples, such as those based on $AlCl_3$ (chloride of aluminium), based on anions such as $[PF_6]^-$ - hexafluorophosphate $[BF_4]^-$ -tetrafluoroborate $[SbF_6]^-$ - hexafluoroantimonate, based on $[CF_3SO_3]^-$ - trifluoromethanesulfonate $[TF_2N]^-$ - bistriflimide, based on (as) alkyl sulfates (sas) alkylsulfonates, all of them found in the different bibliographical sources consulted. A specific investigation was carried out collecting documentation in different databases such as Science direct, Wiley, Springer, Taylor and Francis, among others, delimiting the publication of the documents consulted from 2015 to 2021. In this collection of documents, the main objective was It is based on the search and compilation of documentation that conceptualizes ionic liquids and their use as extraction solvents to obtain natural products and the advantages they represent over other solvents. Information related to extraction processes, temperatures, plant materials used, ionic liquid and conclusions at the end of each of the studies was extracted from each of the academic documents, the applied extraction process was analyzed and, in this way, a brief description of each of the processes, as well as its development and the most relevant advantages as found in the collected documentation. Taking into account the conclusive information in each of the studies consulted, it is possible to compare and relate the feasibility of using ionic liquids as alternative solvents in natural product extraction processes.

Keywords: Green chemistry, exploitation, process, solvents, research.

Resumen analítico especializado – RAE

1. Información General	
Tema	Química Verde
Título	Líquidos Iónicos De Nueva Generación Como Disolventes Para La Obtención De Productos Naturales
Autor(es)	Fredy Antonio Martinez Briceño
Director	Marcela Andrea Zambrano
Fuente Bibliográfica	<p>Castillo, F. (2015). Ionic Liquids: Methods of Synthesis and Applications. <i>Conciencia Tecnológica</i>, 49(49), 52–56. https://www.redalyc.org/pdf/944/94438997007.pdf</p> <p>Rodriguez, C.I. (2017). Líquidos iónicos. propiedades, síntesis y aplicaciones. <i>Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Educación a Distancia España</i>. https://es.scribd.com/document/580841925/LIQUIDOS-IONICOS-2</p> <p>Koel, M. (2005). Ionic liquids in chemical analysis. <i>Critical Reviews in Analytical Chemistry</i>, 35(3), 177–192. https://doi.org/10.1080/10408340500304016</p> <p>Rostagno, M. J. P. (2013). Natural product extraction Principles and applications. <i>Google Books</i> https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=eFt9EAAAQB-AJ&oi=fnd&pg=PT21&dq=Natural+product+extraction+Principles+and+applications.+&ots=Rv-x8yK6Gc&sig=5zyP1qL5vsZe5L6y7AprYkcT_XU&redir_esc=y#v=onepage&q=Natural%20product%20extraction%20Principles%20and%20applications.&f=false</p> <p>Pájaro, N. P., Verbel, J. T. (2011). Química verde: un nuevo reto. <i>Ciencia e Ingeniería Neogranadina</i>, 21(2), 169–182.</p>

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-81702011000200009

Pérez de los Rios, A. (2007). Los líquidos iónicos como nuevos medios de reacción y separación en reacciones de transesterificación enzimáticas. *Universidad de Murcia*, 1–434.

<https://www.tdx.cat/handle/10803/10937>

Baltazar, Q. Q., Chandawalla, J., Sawyer, K., & Anderson, J. L. (2007). Interfacial and micellar properties of imidazolium-based monocationic and dicationic ionic liquids. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, Tesis Doctorals en Xarxa* 302(1–3), 150–156.

<https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2007.02.012>

Días, J., Martínez, R., Barrero, R. (2012). Líquidos iónicos: propiedades fisicoquímicas y aplicación potencial en el mejoramiento de crudos pesados. *Ionic liquids: physicochemical properties and potential application in upgrading of heavy crude oils. Scielo*

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-100X2012000100008

Doria Serrano, M. del C. (2009). Química verde: un nuevo enfoque para el cuidado del medio ambiente. *Educación Química*, 20(4). *Revista Universidad Autónoma de México* 412–420

[https://doi.org/10.1016/s0187-893x\(18\)30044-2](https://doi.org/10.1016/s0187-893x(18)30044-2)

Koel, M. (2005). Ionic liquids in chemical analysis. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 35(3), 177–192.

<https://doi.org/10.1080/10408340500304016>

Antignac, E., Nohynek, G., Clouzeau, J., Toutain, H. (2011). Safety of botanical ingredients in personal care products/cosmetics. *Food Chem. Toxicol. National Library of Medicine*.

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21111022/>

- Agarwal, A., Shen, S., Agarwal, S., Rao, A. (2001). Lycopene Content of Tomato Products: Its Stability, Bioavailability and In Vivo Antioxidant Properties Food, *Journal of Medicinal Food.*, Vol 4, N° 1 <https://www.liebertpub.com/doi/10.1089/10966200152053668>
- Silva, F., Gamarra, F., Oliveira., A., Cabral, F. (2008). Eng.Extraction of bixin from annatto seeds using supercritical carbon dioxide. *SciELO – Brasil.*
<https://www.scielo.br/j/bjce/a/dTJrHNZWcnJRNDpcNShewGB/?lang=en>
- Melo, S., Costa, G., Viana, A., Pessoa, J. (2009). Supercritical fluid extraction from vegetable materials. *The Journal of Supercritical Fluids*, Vol 29.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0896844614000928?via%3Dihub>
- Rostagno, M., Villares, A., Guillamon, E., Garcia-Lafuente, A., Martinez, J. (2009). Sample preparation for the analysis of isoflavones from soybeans and soy foods *National Library of Medicine.*
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19041977/>
- Antignac, E., Nohynek, G., Clouzeau, J., Toutain, H. (2011). Safety of botanical ingredients in personal care products/cosmetics Food Chem.Toxicol., *Food and Chemical Toxicology Vol 49. Pag 234.*
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0278691510006800>
- Japon-Lujan, R., Luque de Castro, M., Chromatogr, J. (2006). Superheatedliquid extraction of oleuropein and related biophenols from olive leaves. *Journal of Chromatography A. Vol 1136 pag. 185 – 191.*
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0021967306>

01867X

Borras-Linares, I., Arraez-Roman, D., Herrero, M., Ibañez, E., Segura-Carretero, A., Fernandez-Gutierrez, A. (2011). Comparison of different extraction procedures for the comprehensive characterization of bioactive phenolic compounds in *Rosmarinus officinalis* by reversed-phase high-performance liquid chromatography with diode array detection coupled to electrospray time-of-flight mass spectrometry, *National Library of Medicine*. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21835416/>

Takeuchi, T., Pereira, C., Braga, M., Maróstica Jr, M., Meireles, A. (2009) Intensification of bioactive compounds extraction from medicinal plants using ultrasonic irradiation – Taylor & Francis Group, Boca Raton, *Scienceopen.com*, p. 137. <https://www.scienceopen.com/document?vid=0e2fb629-e9ae-4089-9914-eb9a625a5a7b>

Esclapez, M., Garcia-Perez, J., Mulet, A., Carcel, A. (2011). Ultrasound-assisted extraction of natural products. Repositorio Institucional, Universitat Politècnica de Valencia. <https://riunet.upv.es/handle/10251/70887>

Mason, T., Riera, E., Vercet, A., Lopez-Buesa, P. (2005). Application of Ultrasound. *Emerging Technologies for Food Processing*, ed. Da-Wen Sun, Academic Press. p. 323. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780126767575500153>

Suslick, K., Eddingsaas, N., Flannigan, D., Hopkins S. (2011). Extreme conditions during multibubble cavitation: Sonoluminescence as a spectroscopic probe. *Ultrasonics Sonochemistry*. Vol., 18 pag, 842 – 846.

	<p>https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1350417710002634</p> <p>W. Lauterborn, W., Kurz, T. (2010). Physics of bubble oscillations. <i>Iop science</i> https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0034-4885/73/10/106501</p> <p>Povey, M., Mason, T. (1998). <i>Ultrasound in Food Processing</i>, Springer, <i>New York Blackie Academic & Professional</i></p> <p>Feng, H., Barbosa-Canovas, G., Weiss, J. (2010). <i>Ultrasound Technologies for Food and Bioprocessing</i>, Springer,</p> <p>Rostagno, M. (2013). <i>Natural product extraction Principles and applications</i>. RSC Publishing.</p> <p>Suslick, K., Eddingsaas, N., Flannigan, D., Hopkins, S., Xu, H. (2011). Extreme conditions during multibubble cavitation: Sonoluminescence as a spectroscopic probe, <i>Ultrasonics Sonochemistry</i>, Vol 18, pag, 842. https://suslick.scs.illinois.edu/documents/ultrasonsonochem.2011842.pdf</p> <p>Tiwari, B., O'Donnell, C., Patras, A., Cullen, P., Agric, J. (2008). Anthocyanin and Ascorbic Acid Degradation in Sonicated Strawberry Juice. <i>Journal of Agricultural and Food Chemistry</i> https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/jf801824v</p> <p>Santos, H., Lodeiro, C., Capelo-Martinez, J. (2008). <i>Ultrasound in Chemistry: Analytical Applications</i>, Wiley, <i>Ultrasound in Chemistry: Analytical Applications</i> p. 171. <i>Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA</i>,</p> <p>Sun, Y., Liu, D., Chen, J., Ye, X., Yu, D. (2011). Effects of different</p>
--	---

	<p>factors of ultrasound treatment on the extraction yield of the all-trans-β-carotene from citrus peels. <i>National Library of Medicine, Vol 18, pag 243</i>. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20637676/</p> <p>Lorimer, J., Mason, T., Chem. (1987). Some Physico-Chemical Aspects of So-Called "Homogeneous Sonochemistry" Vol 16, pag 239. <i>Dordrecht: Kluwer Academic Publishers</i></p> <p>Palma, M., Barroso, C. (2002). Ultrasound-assisted extraction, and determination oftartaric and malic acids from grapes and winemaking by-products, <i>Analytica Chimica Acta</i>. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0003267001015276.</p> <p>Zhang, Q., Zhang, Z., Yue, X., Fan, X., Li, T., Chen, F. (2009). Two angiotensin-converting enzyme-inhibitory peptides from almond protein andthe protective action on vascular endothelial function, <i>National Library of Medicine. Vol 116, pag, 513</i>. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27502043/</p> <p>Ganzler, K., Salgo, A. Valko, K. (1986). Microwave extraction. A novel sample preparation method for chromatography. <i>Journal of Chromatography. Vol, 371 pag,299-306</i>. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0021967301947144</p> <p>Wang, L. and Weller, C.L. (2006). Recent Advances in Extraction of Nutraceuticals fromPlants. <i>Trends in Food Science and Technology, Vol 17, pag, 300-312</i>. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924224405003559</p> <p>Letellier, M., Budzinski, H. (1999). Analysis Microwave assisted extraction of organiccompounds, <i>Analisis Vol, 27, Number 3,</i></p>
--	--

	<p><i>Isotopic analysis</i> https://doi.org/10.1051/analisis:1999116</p> <p>Sparr Eskilsson, C., Bjo'rkklund, E., Chromatogr, J. (2000). Analytical-scale microwave-assisted extraction. <i>National Library of Medicine</i>. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11192157/</p> <p>Ganzler, K., Szinai, I., Salgo', A. (1990). A, Effective sample preparation method for extracting biologically active compounds from different matrices by a microwave technique. <i>Journal of Chromatography A Vol 520, pag 257</i>. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0021967390851099</p> <p>Camel, V. (2000). Microwave-assisted solvent extraction of environmental samples. <i>TrAC Trends in Analytical Chemistry Vol 19, pag 229 – 248</i> https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0165993699001855</p> <p>Kaufmann, B., Christen, P. (2002). Recent extraction techniques for natural products: microwave-assisted extraction and pressurised solvent extraction, <i>Phytochemical Analysis</i>. https://analyticalsciencejournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/pca.631</p> <p>Kingston, H., Jassie, L., (1988), Introduction to Microwave Sample Preparation theory and practice, <i>American Chemical Society, Washington, DC</i>,</p> <p>Camel, V. (2001). Analyst, Recent extraction techniques for solid matrices—supercritical fluid extraction, pressurized fluid extraction and microwave-assisted extraction: their potential and pitfalls. <i>National Library of Medicine</i>. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11478658/</p>
--	--

- Baghurst, D., Mingos, D., Chem, J. (1999). Superheating effects associated with microwave dielectric heating. *Journal of the Chemical Society, Chemical Communications*
<https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/1992/c3/c39920000674>
- Starmans, D., Nijhuis, H. (1996). Trends Food Sci. Technol. Extraction of secondary metabolites from plant material. *Trends in Food Science & Technology Vol 7, Pag 191 – 197*
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0924224496100200>
- Rostagno, M., Villares, A., Guillamo´n, E., Garcia-Lafuente, A., Martinez, J. (2009). A Sample preparation for the analysis of isoflavones fromsoybeans and soy foods, *Journal of Chromatography A* (2009)
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0021967308020128>
- Gao, M., Huang, W., RoyChowdhury, M., Liu, C. (2007). Acta, Microwave- assisted extraction of scutellarin from Erigeron breviscapus Hand-Mazz andits determination by high-performance liquid chromatography. *Analytica Chimica Acta Vol 591, pag 161 – 166.*
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0003267007007003?via%3Dihub>
- Zhou. H., Liu, C. J. (2006). Microwave-assisted extraction of solanesol from tobacco leaves. *National Library of Medicine.*
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16919654/>
- Kratchanova, M., Pavlova, E., Panchev, I. (2004). The effect of microwave heating of fresh orange peels on the fruit tissue and quality ofextracted pectin. *Carbohydrate Polymers, VoL 56, pag*

181 – 185

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0144861704000542>

Croteau, L., Akhtar, M., Belanger, J., Jocelyn Pare, J. (1994).

Microwave-assisted process (MAP™): a new tool for the analytical laboratory. *TrAC Trends in Analytical Chemistry. Vol 13, pag 176 – 184*

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0165993694870330?via%3Dihub>

Routray, W., Orsat, V. (2012). Food Bioprocess Technol. Microwave-Assisted Extraction of Flavonoids: A Review. *Food and Bioprocess Technology Vol 2, pag 409 – 424.*

<https://www.infona.pl/resource/bwmeta1.element.springer-c235b64a-a226-383f-b6f0-10105522d6ae#>

Sahraoui, N., Vian, M., El Maataoui, M., Boutekedjiret, C., Chemat, F. (2011). Valorization of citrus by-products using Microwave Steam Distillation. *Innovative Food Science & Emerging Technologies. Vol. 12 pag. 163-170*

<https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20113182739>

Desai, M., Parikh, J., Parikh, P. (2010). Sep. Purif. Rev. Extraction of Natural Products Using Microwaves as a Heat Source, *Taylor y francis On line. Vol 39.*

<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15422111003662320>

Hemwimon, S., Pavasant, P., Shotipruk, A. (2007). Microwave-assisted extraction of antioxidative anthraquinones from roots of *Morinda citrifolia*. *Separation and Purification Technology. Vol 54, pag 44 - 50*

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1383586606002589?via%3Dihub>

- Xiao, W., Han, L., Shi, B. (2008). Technol. Microwave-assisted extraction of flavonoids from Radix Astragali. *Separation and Purification Technology*. Vol 62, pag 614 – 618.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1383586608001469>
- Pan, X., Liu, H., Jia, G., Shu, Y. (2000). Microwave-assisted extraction of glycyrrhizic acid from licorice root. *National Library of Medicine*.
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10828417/>
- Anastas, P., Warner, J. (1998). Green Chemistry: Theory and Practice, *Oxford University Press: New York*,
- Hu, YL., Hu, K., Kong, LM., Xia, F., Yang, XW., Xu, G. (2019). Palladium- Catalyzed Enantioselective C–H Aminocarbonylation: Synthesis of Chiral Isoquinolinones. *OL Organic letters*.
<https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.orglett.9b00315>
- Song, W., Qiao, X., Chen, K., Wang, Y., Ji, S., J. Feng, K. Li, Y. Lin, M. Ye. (2017). Biosynthesis-Based Quantitative Analysis of 151 Secondary Metabolites of Licorice To Differentiate Medicinal Glycyrrhiza Species and Their Hybrids. *Analytical Chemistry*
<https://europepmc.org/article/med/28192986>
- Johnson, K. E. (2007). What's an Ionic Liquid? *The Electrochemical Society Interface*, 38-41.
https://www.electrochem.org/dl/interface/spr/spr07/spr07_p38.pdf
- Castillo Borja, F. (2015). Líquidos Iónicos: Métodos de Síntesis y Aplicaciones. *Conciencia Tecnológica*, Vol 49, pag, 52-56.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94438997007>

Año	2022
Resumen	<p>Inicialmente el punto de partida para desarrollar el presente documento fue la definición de lo que es un líquido iónico, sus generalidades, clasificación, propiedades y su estructura, para esto se tomaron como ejemplos diferentes líquidos iónicos como lo son aquellos basados en AlCl_3 (cloruro de aluminio), basados en aniones como $[\text{PF}_6]^-$-hexafluorofosfato $[\text{BF}_4]^-$-tetrafluoroborate $[\text{SbF}_6]^-$-hexafluoroantimoniato, basados en $[\text{CF}_3\text{SO}_3]^-$- trifluorometanosulfonato $[\text{TF}_2\text{N}]^-$- bistriflimida, basados en(as) alquilsulfatos (sas) alquilsulfonatos todos ellos encontrados en las diferentes fuentes bibliográficas consultadas.</p> <p>Se realizó una investigación específica recolectando documentación en diferentes bases de datos como lo son Science direct, Wiley, Springer, Taylor and Francis, entre otros, delimitando la publicación de los documentos consultados de 2015 a 2021. En esta recopilación de documentos el objetivo principal se basa en la búsqueda y recopilación de documentación que conceptualicen los líquidos iónicos y su uso como disolventes de extracción para la obtención de productos naturales y las ventajas que representa sobre otros disolventes.</p> <p>De cada uno de los documentos académicos se extrajo la información relacionada con procesos de extracción, temperaturas, materiales vegetales utilizados, líquido iónico y conclusiones al final de cada uno de los estudios, se analizó el proceso de extracción aplicado y de esta manera se realizó una breve descripción de cada uno de los procesos, así como el desarrollo de este y las ventajas más relevantes según lo encontrado en la documentación recolectada.</p> <p>Teniendo en cuenta la información concluyente en cada uno de los estudios consultados se logra comparar y relacionar la viabilidad de utilizar los líquidos iónicos como disolventes alternativos en procesos de extracción de productos naturales.</p>
Palabras Claves	Química verde, aprovechamiento, proceso, disolventes, investigación. Naturales
Contenidos	Proyecto tipo monografía enfocado en la consulta de documentación en diferentes bases de datos como lo son Science direct, Wiley, Springer, Taylor and Francis, entre otros, delimitando la publicación de los documentos consultados de 2015 a 2021. Con el fin de conceptualizar los líquidos iónicos y su uso como disolventes de extracción para la obtención de productos naturales y las ventajas que representa sobre otros disolventes.
2. Descripción del problema de investigación	

El uso de líquidos iónicos en procesos de extracción han sido objeto de estudio en estudios científicos durante los últimos años como sustitutos de los disolventes orgánicos tradicionales, los cuales tienen una serie de desventajas que han sido documentadas en diversos artículos científicos.

Cada una de las investigaciones se han realizado de manera aislada y encaminada a procesos específicos, brindando resultados satisfactorios gracias a las propiedades fisicoquímicas y naturaleza de tecnología limpia de los líquidos iónicos que favorece su trabajo, en su uso es favorable la aplicación en nuevas tecnologías limpias, dada sus características de fácil recuperación, bajo impacto en la contaminación ambiental y su uso en aplicaciones como catalizadores tanto en síntesis orgánica como inorgánica, biocatálisis y polimerizaciones. A partir de una revisión crítica de la literatura científica reciente sobre los líquidos iónicos, se busca plantear un referente de consulta para quienes requieran conocer o ampliar el ámbito referencial de los líquidos iónicos.

3. Objetivos

OBJETIVO GENERAL

Identificar el uso de líquidos iónicos como disolventes de la nueva generación, para la extracción de productos naturales, a partir de la revisión y análisis de la literatura de 2015 - 2021.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Comparar las propiedades de los líquidos iónicos de la nueva generación en diferentes técnicas de extracción, para reconocer su potencial uso en la obtención de productos naturales.

Relacionar las características de las técnicas de extracción de productos naturales con su desempeño y aplicación, para reconocer la eficiencia en la extracción utilizando líquidos iónicos de nueva generación.

4. Metodología

Teniendo en cuenta el tipo de proyecto – monografía, no se maneja metodología ya que no incluye desarrollo experimental.

5. Referentes teóricos

Dentro de los procesos de extracción de diferentes productos de origen natural o sintético se

suele usar una variada cantidad de disolventes versátiles que producen un alto índice de contaminación, así como un rendimiento limitado, grandes cantidades de residuos, riesgos de seguridad relacionada directamente con la manipulación y uso de estos ya que muchos de los disolventes orgánicos tienen características inflamables dentro de su composición.

A pesar de la creciente investigación que se ha revelado con el paso del tiempo sobre los líquidos iónicos vale la pena resaltar desde la historia de los mismos sus propiedades, usos, ventajas y aplicaciones en la obtención de productos naturales recurriendo a la búsqueda, recopilación, análisis y manejo de diversas fuentes de información que permitan resaltar la seguridad que brindan los líquidos iónicos para el personal encargado de los diferentes procesos y prácticas de laboratorio al momento de manipular y hacer uso de estos, hasta su conveniente aprovechamiento durante el proceso de extracción teniendo la opción de hacer una óptima recuperación usando procesos de nanofiltración, lo que permite reducir la generación de sus residuos y el aumento del rendimiento, el cual podría sustituir disolventes que hasta la fecha a pesar de su poco uso se mantienen vigentes en la industria extractiva.

6. Referentes conceptuales

Alternativa: opción definida como una posibilidad de cambio o algo que está disponible para una elección

Aprovechamiento: Lograr que algo sea provechoso, beneficioso o aporte diferencia en el resultado final.

Desempeño: cumplir un objetivo, realizar una actividad, aplicar adecuadamente a una tarea.

Disolvente: sustancia que se utiliza para disolver, extraer o suspender otras sustancias para formar una disolución. Estas sustancias generalmente son líquidos, también pueden existir en forma gaseosa o sólida.

Extracción: técnicas utilizadas con el objetivo de separar un compuesto de una mezcla sólida o líquida, aprovechando las diferencias de solubilidad de los componentes en un solvente adecuado.

Líquidos iónicos: sales cuya temperatura de fusión está por debajo de 100°C, están compuestos por un catión orgánico y un anión inorgánico.

Procesos: secuencia de acciones que se llevan a cabo para lograr un fin determinado.

Productos naturales: compuesto químico o sustancia producida por un organismo vivo – encontrado en la naturaleza que tiene generalmente una actividad farmacológica o biológica

Rendimiento: químicamente hace referencia a la relación entre la cantidad de producto obtenido realmente en la reacción y la cantidad máxima de producto que se podría haber obtenido si los reactivos se hubieran consumido completamente.

Residuos: material que pierde utilidad tras haber cumplido con su misión o servicio para realizar un determinado trabajo.

Seguridad: estado en el cual los peligros y las condiciones que pueden provocar daños de tipo físico, psicológico o material son controlados para preservar la salud y el bienestar de los individuos

7. Resultados

Según los resultados encontrados en las diferentes fuentes documentales consultadas se evidencia que los líquidos iónicos como alternativas de solventes en la extracción de productos naturales representan un mayor rendimiento, lo que permite demostrar la eficiencia de estos y la eficacia al momento de ser aplicados en las diversas técnicas que se encontraron.

El aprovechamiento y rendimiento de los líquidos iónicos en los procesos de extracción representan ventajas y aprovechamiento al máximo de esta clase de recursos, adicional a la seguridad que brindan al momento de ser utilizados y comparados con el conjunto de solventes utilizados de manera cotidiana.

8. Conclusiones

Este estudio tuvo como objetivo la identificación del uso de los líquidos iónicos como disolventes de la nueva generación, para la extracción de productos naturales teniendo en cuenta la revisión documental de diferentes artículos y literaturas que relacionan el uso de los mismos, después de realizar la búsqueda detallada de la información adecuada podemos llegar a determinar que en la mayoría de los casos el uso de líquidos iónicos intensificó el rendimiento de cada uno de los procesos de extracción o facilitó la reutilización sin tener pérdida en el producto final.

Al comparar el rendimiento y desperdicio en cada uno de los estudios consultados se evidenció un cambio positivo en los diferentes procesos de extracción utilizados ya sea proceso de extracción simple hasta proceso de extracción asistido por microondas, en estas técnicas se realizaron pruebas de manera comparativa utilizando disolventes de uso tradicional y líquidos iónicos aplicando las variables correspondientes a temperatura con el fin de mantener una trazabilidad que permita llegar a la evaluación de rendimiento y favorabilidad de costo en cada uno de los procesos.

En diferentes oportunidades se logró realizar extracciones de manera selectiva logrando individualizar diferentes productos que requieren técnicas y procedimientos de extracción más detallados y logrando aplicar métodos efectivos con alto rendimiento y de manera favorable para el cuidado del medio ambiente.

El uso de los líquidos iónicos determinados como lo son 1-butil-3-metilimidazoliobromuro de ([C4MIM] Br), 1-hexil-3-metilimidazoliobromuro de ([C6MIM] Br), 1-octil-3-metilimidazoliobromuro de ([C8MIM] Br), 1-decil-3-

Contenido

Lista de figuras	23
Lista de tablas.....	24
Lista de abreviaturas.....	25
Introducción	26
Planteamiento del problema.....	28
Definición del problema.....	28
Justificación.....	31
Objetivos	32
Objetivo general.....	32
Objetivos específicos	32
Propiedades de los líquidos iónicos de la nueva generación.....	33
Química verde y líquidos iónicos.....	33
Líquidos iónicos	34
Clasificación de los líquidos iónicos.....	35
Propiedades de los líquidos iónicos	37
Estructura de los Líquidos Iónicos.....	42
Técnicas de Extracción de Productos Naturales con Líquidos Iónicos.....	45
Proceso de extracción simple.....	45
Soxhlet	46
Extracción por agua y vapor	48
Directa destilación de vapor.....	49
Destilación de agua (hidrodestilación).....	49

	22
Proceso de extracción asistida por ultrasonido	52
Parámetros del medio.....	55
Tipo de disolvente.....	56
Temperatura.....	56
Método de extracción por microondas.....	56
Constantes físicas de los solventes.....	59
Calentamiento por microondas aplicado a matrices de plantas	60
Parámetros que Influyen en la Extracción Asistida por Microondas.....	61
Solvente.....	61
Temperatura y presión	61
Tiempo de extracción.....	62
Tamaño de la matriz.....	62
Líquidos iónicos aplicados a la extracción de productos naturales	67
Conclusiones	81
Recomendaciones.....	83
Referencias.....	84

Lista de figuras

Figura 1 Síntesis general de los líquidos iónicos.....	35
Figura 2 Aparato de soxlet con sus partes	47
Figura 3 Diagrama de flujo general destilación con agua / vapor	50
Figura 4 Sistemas ultrasónicos más comunes: (A) baño de ultrasonido; (B) reactor de ultrasonido.....	53
Figura 5 Principales parámetros físicos de una onda ultrasónica	54

Lista de tablas

Tabla 1 Clasificación de los líquidos iónicos según el anión	36
Tabla 2 Ejemplos de Líquidos iónicos y sus propiedades más relevantes.....	40
Tabla 3 Ejemplos estructurales de líquidos iónicos	42
Tabla 4 Constantes físicas de los solventes más utilizados en la extracción por microondas	59
Tabla 5 Resumen comparativo técnicas de extracción utilizadas en la obtención de productos naturales	63
Tabla 6 Comparativo uso de líquidos iónicos en la extracción de productos naturales y sus ventajas	69

Lista de abreviaturas

Abreviatura	Termino
<i>LI</i>	Líquido iónico
<i>PIL</i>	líquidos iónicos próticos (del inglés, Protic Ionic Liquid)
<i>AIL</i>	líquidos iónicos apróticos (del inglés, Aprotic Ionic Liquid)
<i>BMIM</i>	1-Butyl-3-methylimidazolium
<i>EMIM</i>	1-Ethyl-3-methyl-imidazolium
<i>Hz</i>	Hercio
<i>KHz</i>	kilohercio
<i>MHz</i>	Megahercio
<i>W</i>	Vatio
<i>F</i>	Frecuencia
<i>P</i>	Periodo
<i>I</i>	Longitud de onda
<i>A</i>	Amplitud
<i>C</i>	Velocidad de propagación
<i>dB</i>	Decibelios
<i>Pa</i>	Pascales
<i>PFA</i>	Perfluoroalcoxi

Introducción

Dentro de los procesos de extracción de diferentes productos de origen natural o sintético se suele usar una variada cantidad de disolventes versátiles que producen un alto índice de contaminación, así como un rendimiento limitado, grandes cantidades de residuos, riesgos de seguridad relacionada directamente con la manipulación y uso de estos ya que muchos de los disolventes orgánicos tienen características inflamables dentro de su composición.

Los productos de origen natural reúnen todos aquellos productos que se obtienen de fuentes de origen animal, vegetal o mineral, los cuales se someten a diferentes procesos químicos de transformación como la extracción. Actualmente, los extractos de origen botánico han tomado gran relevancia en la industria, incrementando su aplicación en diferentes campos por su funcionalidad, por ejemplo el extracto de la granada es usado como antioxidante en formulaciones industriales de productos grasos que son manipulados a altas temperaturas, dentro de los diferentes procesos de extracción se encuentran disolventes versátiles con el objetivo principal de satisfacer necesidades específicas cuando se trata de productos naturales, buscando un desempeño óptimo; de allí a importancia de incluir los líquidos iónicos como alternativas amigables con el medio ambiente como opción de cambio al momento de tener un máximo y rentable aprovechamiento en la obtención de productos naturales.

A pesar de la creciente investigación que se ha revelado con el paso del tiempo sobre los líquidos iónicos vale la pena resaltar desde la historia de los mismos sus propiedades, usos, ventajas y aplicaciones en la obtención de productos naturales recurriendo a la búsqueda, recopilación, análisis y manejo de diversas fuentes de información que permitan resaltar la seguridad que brindan los líquidos iónicos para el personal encargado de los diferentes procesos y prácticas de laboratorio al momento de manipular y hacer uso de estos, hasta su conveniente

aprovechamiento durante el proceso de extracción teniendo la opción de hacer una óptima recuperación usando procesos de nanofiltración, lo que permite reducir la generación de sus residuos y el aumento del rendimiento, el cual podría sustituir disolventes que hasta la fecha a pesar de su poco uso se mantienen vigentes en la industria extractiva.

Planteamiento del problema

En este primer se realiza la definición del problema de investigación, así como la justificación del por qué es importante el estudio de los líquidos iónicos como disolventes en los procesos de extracción de productos naturales.

Definición del problema

El uso de líquidos iónicos en procesos de extracción han sido objeto de estudio en estudios científicos durante los últimos años como sustitutos de los disolventes orgánicos tradicionales, los cuales tienen una serie de desventajas que han sido documentadas en diversos artículos científicos.

Cada una de las investigaciones se han realizado de manera aislada y encaminada a procesos específicos, brindando resultados satisfactorios gracias a las propiedades fisicoquímicas y naturaleza de tecnología limpia de los líquidos iónicos que favorece su trabajo, en su uso es favorable la aplicación en nuevas tecnologías limpias, dada sus características de fácil recuperación, bajo impacto en la contaminación ambiental y su uso en aplicaciones como catalizadores tanto en síntesis orgánica como inorgánica, biocatálisis y polimerizaciones. A partir de una revisión crítica de la literatura científica reciente sobre los líquidos iónicos, se busca plantear un referente de consulta para quienes requieran conocer o ampliar el ámbito referencial de los líquidos iónicos.

Ohno (2005a), Ranke (2007) y Armand (2009) citados por Kong Moreno, M. (2009), Denominan los líquidos iónicos como líquidos a temperatura ambiente debido a su baja temperatura de fusión manejando rangos hasta de máximo 100 grados Celsius.

Adicionando las particulares propiedades tanto físicas como químicas de los líquidos iónicos recientemente han surgido un aumento significativo de publicaciones alusivas a estos materiales ya sea en cuanto a sus características fundamentales, así como en sus aplicaciones. Se espera que en los próximos años se puedan diseñar líquidos iónicos tan específicos para ser determinados a diversos usos al modificar de manera vigilada y supervisada la estructura de sus componentes.

La química verde, conocida actualmente como química sostenible y sustentable, mantiene una búsqueda constante de productos y cambios procedimentales en los desarrollos químicos con el objetivo de reducir o llegar a eliminar el uso de sustancias peligrosas o reducir la generación de estas, logrando así la aplicación de la química verde como elemento fundamental en el ciclo de vida establecido de un producto químico, desde su diseño, durante el proceso de fabricación y la utilización a nivel comercial por lo anterior, enfocar la síntesis de nuevas sustancias amigables con la salud y el medio ambiente es uno de los objetivos principales de la química verde así responder por el cuidado de los recursos naturales, lo cual se hace más relevante cuando se usan disolventes alternativos, aun cuando se hace necesario el rediseño de procedimientos. (M Rostagno, 2013)

La comunidad científica mantiene el foco de los líquidos iónicos en la exploración de sus propiedades fisicoquímicas, como lo es su bajo punto de fusión, así como las diferentes ventajas que ofrecen, estas nuevas oportunidades de uso son objeto de diversos estudios continuos que cada día brindan nuevos hallazgos, como lo es el caso de utilizar los líquidos iónicos como reemplazo de los disolventes orgánicos, generando menor cantidad de desechos, mayores cifras de aprovechamiento y resultados más limpios sin dejar de lado la seguridad y baja toxicidad que se tiene conocimiento.

Actualmente existe una conciencia común de que el uso de solventes conlleva a diferentes afecciones tanto de salud como medioambientales de allí que tener los líquidos iónicos en proceso de implementación en la extracción de productos naturales este adquiriendo la importancia requerida para ser objeto de las investigaciones y estudios en los últimos años.

Justificación

Los productos naturales han tenido especial relevancia en aplicaciones tan importantes como la medicina y el cuidado personal a través del tiempo, la obtención de estos productos mediante el uso de líquidos iónicos representa una disminución de impacto y control dentro del cambio climático, así como la preservación de recursos naturales, el aprovechamiento adecuado de cada uno de los compuestos presentes dentro del proceso extractivo representan importancia relevante al momento de argumentar los costos y desperdicios generados dentro del proceso.

Actualmente existen procedimientos y evaluaciones que garantizan la aplicación adecuada de los líquidos iónicos de allí la importancia y la necesidad de continuar con la búsqueda, recopilación e interpretación de la información relevante para crear una monografía que aporte de manera significativa al enriquecimiento de la ideología verde y sustentable, que lleva consigo el uso de los líquidos iónicos como alternativas sostenibles en la obtención de productos naturales sustituyendo los disolventes de uso cotidiano por alternativas que aporten en el desarrollo de tecnologías más limpias y consecuentes con la búsqueda continua de opciones que no afecten el medio ambiente. Cada uno de los estudios realizados hasta la fecha se han realizado con la hipótesis de plantear los líquidos iónicos como disolventes ecológicos ideales, de alto rendimiento al no evaporarse fácilmente y además reciclables, representan disolventes de diseño gracias a las diferentes combinaciones de aniones que disuelven una gran cantidad de sustancias. A pesar de que existen diversas investigaciones, el tema referente a el uso de líquidos iónicos como alternativas para sustituir los disolventes tradicionales en procesos de extracción de productos naturales, aun representa una gran parte de la química verde por descubrir, mostrar de manera abierta y organizada resultados relevantes y representativos de los estudios realizados, permitirán tener un documento construido a partir de conceptos de bases sólidas.

Objetivos

Objetivo general

Identificar el uso de líquidos iónicos como disolventes de la nueva generación, para la extracción de productos naturales, a partir de la revisión y análisis de la literatura de 2015 - 2021.

Objetivos específicos

Comparar las propiedades de los líquidos iónicos de la nueva generación en diferentes técnicas de extracción, para reconocer su potencial uso en la obtención de productos naturales.

Relacionar las características de las técnicas de extracción de productos naturales con su desempeño y aplicación, para reconocer la eficiencia en la extracción utilizando líquidos iónicos de nueva generación.

Propiedades de los Líquidos Iónicos de la Nueva Generación

Cada una de las investigaciones y artículos consultados hacen referencia a diferentes líquidos iónicos que aportan ventajas y cambios positivos en las diferentes técnicas aplicables a la obtención de productos naturales. en este capítulo se abarcan conceptos y propiedades, así como generalidades de líquidos iónicos aplicados a la obtención de productos naturales como disolventes alternativos.

Química verde y líquidos iónicos

Para definir el tema de los líquidos iónicos se debe tener como precedente la química verde o química sustentable, la cual, se basa en la búsqueda y diseño de productos y procesos químicos que permiten disminuir significativamente la generación de residuos peligrosos o nocivos para el medio ambiente y la salud humana.

La química verde busca llegar al diseño de procesos químicos que permitan reducir o eliminar los impactos ambientales negativos como lo son la generación de residuos, adicional a la búsqueda de productos y componentes de investigación con una menor toxicidad, mejora de eficiencia y bajo consumo de recursos naturales.

Los líquidos iónicos brindan ventajas encaminadas a la química verde ya que cumplen con gran parte de los principios de esta, con cualidades extras que permiten ser estudiados como alternativas directas de los solventes orgánicos que se utilizan en procesos de extracción, brindan propiedades técnicas: estabilidad térmica, propiedades electroquímicas, viscosidad y densidad favorables para no salir del radar de las investigaciones

Líquidos Iónicos

Históricamente los líquidos iónicos aparecen para el mundo a mediados del siglo XIX, cuando en una reacción de Friedel Crafts se obtuvo un líquido rojo el cual fue determinado como “red oil”, encontrado a partir de reacciones que utilizan cloruro dealuminio, posteriormente en diferentes estudios realizados se determinó que aquel líquido rojo era una sal, más concretamente un líquido iónico.

Bibliográficamente es hasta 1914 que se sintetizó el nitrato de etilamonio ($C_2NH_8NO_3$) con un punto de fusión de $12\text{ }^\circ\text{C}$, inicialmente se inicia como simples curiosidades y accidentes, pero a través de la historia se han referenciado diferentes apariciones de líquidos iónicos tan versátiles como singulares en función a sus propiedades y características se refiere (Carlos et al., 2012).

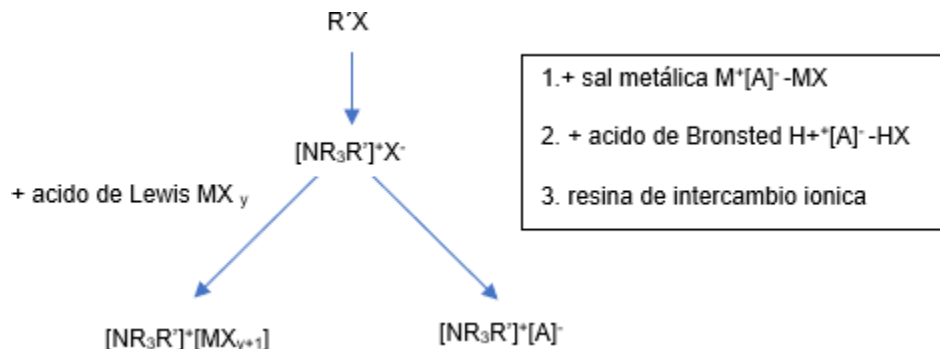
El crecimiento del catálogo de líquidos iónicos se deriva de las investigaciones y publicaciones que dejan al descubierto las aplicaciones de estos en diferentes procesos de extracción de productos, facilitando el reemplazo de los solventes convencionales que se usan actualmente. Las ventajas más características de los líquidos iónicos son su baja presión de vapor y volatilidad, presentan alta conductividad y densidad iónica.

Tienen estabilidad química y térmica, de allí que tengan excepcionales propiedades físicas y químicas representando un aumento significativo en estudios y publicaciones en la última década donde se hacen evidentes sus aplicaciones (Koel, 2005).

Los líquidos iónicos como su nombre lo indica son compuestos iónicos formados por un catión (especie cargada positivamente) orgánico y un anión (especie cargada negativamente) inorgánico con puntos de fusión menores a $100\text{ }^\circ\text{C}$, algunos ejemplos comunes se relacionan en la tabla 1, se puede apreciar puntos de fusión entre -9° hasta 86° C (Pérez de los Rios, 2007).

Figura 1

Síntesis general de los líquidos iónicos



Fuente: (Pérez de los Ríos, 2007).

Clasificación de los líquidos iónicos

Actualmente los líquidos iónicos se agrupan en dos grandes grupos identificados como los líquidos iónicos próticos (PIL, por sus siglas en inglés) o sales de Brønsted y los líquidos iónicos apróticos (AIL) o convencionales. La diferencia entre ambas familias es su forma de obtención y la organización química (Castillo, 2015).

Existen diversas investigaciones encaminadas al estudio de los líquidos iónicos apróticos los cuales están basados en el catión 1,3-alkylimidazolium y aniones como el $[PF_6]$, $[(CF_3SO_2)_2N]$, $[BF_4]$ y $[Tf_2N]$, la nueva generación se enfoca en los denominados próticos, estos líquidos se caracterizan por una síntesis más simple a partir de la reacción entre un ácido y una base volátil, tiene un costo de producción más cómodo y un perfil toxicológico más acorde con la seguridad requerida, además de una mejor biodegradabilidad.

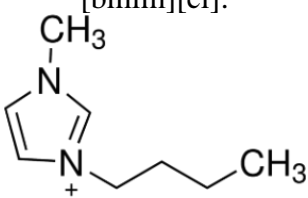
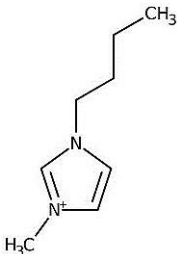
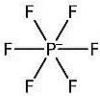
Algunos ejemplos de líquidos iónicos de esta nueva generación son el acetato de 2-hidroxi-etilamonio (2-HDEAA), acetato de 2-hidroxi-etilamonio (2-HEAA) y formiato de 2-hidroxi-etilamonio (2-HEAF).

En la Tabla 1 se diferencia como dentro de estos dos grupos se tiene una clasificación

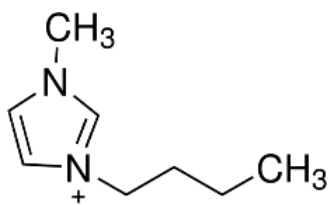
especifica que depende directamente del anión base para cada uno, de igual manera la evolución y los diferentes avances que han permitido con el paso del tiempo obtener líquidos iónicos específicos que solucionan de manera directa las falencias que el anterior ha presentado, además de las características más relevantes, dicha clasificación se comprende en cuatro familias como lo son:

Tabla 1

Clasificación de los líquidos iónicos según el anión

Principio	Características	Cuidados y desventajas
Basados en $AlCl_3$ (cloruro de aluminio) sales orgánicas como 1-butil-3-metilimidazolio cloruro $[bmim][Cl]$:  Cl^- 1-butil-3-metilimidazolio cloruro $[bmim][Cl]$	Líquidos iónicos de primera generación Acides de lewis depende directamente de la cantidad de $AlCl_3$	Extremadamente higroscópico el almacenamiento y manipulación se debe realizar en ambientes secos
Basados en aniones como $[PF_6]^-$ - hexafluorofosfato $[BF_4]^-$ - tetrafluoroborato $[SbF_6]^-$ - hexafluoroantimoniato   1-butyl-3- hexafluorofosfato de Metilimidazolio	Son prácticamente neutros y estables en atmosferas aireadas	Reaccionan exotérmicamente con ácidos de lewis fuertes tales como $AlCl_3$ y con el agua.

Basados en [Cf₃so₃]-
trifluorometanosulfonato [tf₂n]-
bistriflimida



1-Butyl-3- cloruro de
metilimidazolio

Líquidos iónicos muy
estables y de baja
reactividad por sus bajos
puntos de fusión

Esta clase de líquidos iónicos
tienen un alto costo y flúor o
trazas de haluros dentro de su
composición, resultando en
una disposición compleja al
momento de eliminar
desechos.

Basados en (as) alquilsulfatos
(sas) alquilsulfonatos

Diseñados para mejorar los inconvenientes que presentan los demás líquidos iónicos basados en los aniones anteriores, teniendo en cuenta características como: son económicos, no contienen flúor ni trazas de haluros, pueden prepararse fácilmente bajo condiciones comunes del ambiente, poseen una amplia ventana electroquímica y son estables en aire.

Fuente: Autor.

Propiedades de los líquidos iónicos

Actualmente los líquidos son estudiados en diversos campos de investigación, los más sobresalientes son aquellos con características asimétricas y voluminosos que contienen átomos de nitrógeno (imidazol, pirrolidino, piridinio, amonio, etc.), fósforo (fosfonio) o azufre (sulfonio), combinados con una gran variedad de aniones, pasando desde iones orgánicos simples como los haluros o especies orgánicas más complejas como es el caso del triflato, lo que conlleva a que tengan fuerzas de atracción catión- anión más débiles, comparadas con las sales iónicas convencionales, estas fuerzas permiten que los líquidos iónicos permanezcan en este estado en diversos intervalos de temperatura que van de los 30° a los 80° Celsius, incluyendo la temperatura ambiente en la que comúnmente se emplean (Baltazar et al., 2007).

Para tener una elección adecuada del disolvente para ser utilizado como medio para llevar

a cabo la reacción química, se tienen en cuenta diversas características que deben cumplir dentro de un esquema de propiedades fisicoquímicas: el intervalo de la temperatura de operación es importante al momento de aplicar las diferentes técnicas de extracción, la solubilidad de reactantes catalizadores y productos de reacción.

Los líquidos iónicos poseen una de las propiedades más importantes para ser utilizados como disolventes alternativos como lo es su baja presión de vapor y puntos de fusión a temperaturas relativamente bajas, adicional a esto la volatilidad de estos es mínima lo que representa una pérdida mínima durante el proceso, cada una de estas características y propiedades son relevantes al momento de seleccionar cada líquido iónico.

De igual manera, los líquidos iónicos presentan una alta polaridad la cual se encuentra directamente relacionada con la solubilidad, esto facilita el desarrollo de las diferentes técnicas y procesos de extracción utilizados.

En los primeros años el uso de aniones basados en flúor era común al ser los más sencillos de utilizar y purificar, sin embargo, el uso de estos resulta tener cierta dificultad en determinadas condiciones, en presencia de agua tiende a hidrolizarse liberando ácidos tóxicos y corrosivos como el ácido clorhídrico (HCl) o el ácido fluorhídrico (HF) y ácido fosfórico (I, 2017).

En la historia también se tienen los líquidos iónicos formados por iones de cloro los cuales requieren condiciones más fuertes, las cuales fueron descubiertas cuando Hurley y Weir mezclaron cloruro de alquilpiridinio con cloruro de aluminio logrando una reacción cuyo resultado es un líquido incoloro, este tipo de líquidos iónicos tienen temperaturas de fusión mucho más bajas de lo esperado, además no se comportan como simples mezclas binarias, el sistema que formaban y sus características ácido- base de Lewis

Por otro lado, los líquidos iónicos con aniones de tipo nitrato, nitrito, tienen puntos de

fusión por encima de 40 °C lo que dificulta su empleo, algunos ejemplos de los líquidos iónicos utilizados como disolventes están relacionados en la tabla 2, junto con algunas de sus principales propiedades.

Tabla 2

Ejemplos de Líquidos iónicos y sus propiedades más relevantes

ABREVIATURA	NOMBRE	FORMULA	DENSIDAD (20°C)	PUNTO DE FUSIÓN	SOLUBLE EN AGUA	VISCOSIDAD mPa/s a 25°C
[bmim][PF ₆]	1-Butyl-3-methylimidazolium hexafluorophosphate	C ₈ H ₁₅ F ₆ N ₂ P	1.38 g/mL	-8 °C	INSOLUBLE	300
[bmim]BF ₄	Tetrafluoroborato de 1-butil-3-metilimidazolio	C ₈ H ₁₅ BF ₄ N ₂	1,2 g/cm ³	-71 °C	INSOLUBLE	279,86
bmim [FeCl ₄]	1-Butyl-3-methylimidazolium Tetrachloroferrate	C ₈ H ₁₅ Cl ₄ FeN ₂	1.365 g/cm ³	-8°C	INSOLUBLE	
[EMIM]CF ₃ SO ₃ [a]	1-Ethyl-3-methylimidazolium trifluoromethanesulfonate	C ₇ H ₁₁ F ₃ N ₂ O ₃ S	1.39 g/cm ³	-9°C	SOLUBLE	39.8
[BMIM]CF ₃ SO ₃ [B]	1-Butyl-3-methylimidazolium trifluoromethanesulfonate	C ₉ H ₁₅ F ₃ N ₂ O ₃ S	1.29 g/cm ³	-15°C	SOLUBLE	80

[EMIM]MetilSO₄	1-Ethyl-3-methylimidazolium acetate	C ₈ H ₁₄ N ₂ O ₂	1.027 g/cm ³	-20°C	INSOLUBLE	93
[bmim]Cl	1-Butyl-3-methylimidazolium chloride	C ₈ H ₁₅ ClN ₂	1.086 g/cm ³	70 °C	SOLUBLE	CRISTAL
[EMIM]Cl	1-Ethyl-3-methylimidazolium chloride-aluminum chloride	(C ₆ H ₁₁ ClN ₂) ₂ (AlCl ₃) ₃		77 - 79°C	SOLUBLE	CRISTAL
[EMIM]NO₃	1-Ethyl-3-methylimidazolium nitrate	C ₆ H ₁₁ N ₃ O ₃	1.28 g/cm ³	38°C	SOLUBLE	CRISTAL
[EMIM]AlCl₄	1-Ethyl-3-Methylimidazolium Tetrachloroaluminate	C ₆ H ₁₁ AlCl ₄ N ₂	1.304 g/cm ³	9°C	SOLUBLE	
[EMIM]BF₄	1-Ethyl-3-methylimidazolium tetrafluoroborate	C ₆ H ₁₁ BF ₄ N ₂	1.294 g/cm ³	15°C	INSOLUBLE	33.8

Fuente: Autor

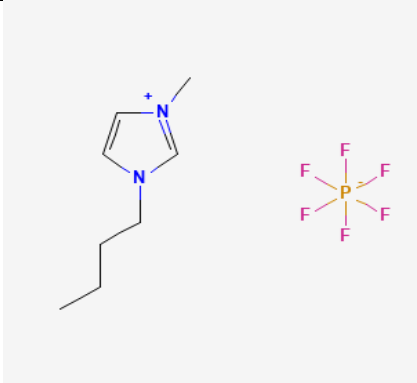
Estructura de los Líquidos Iónicos

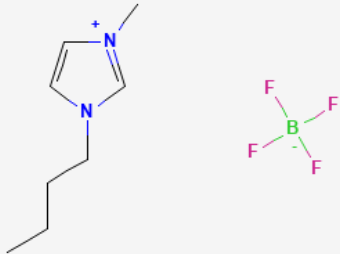
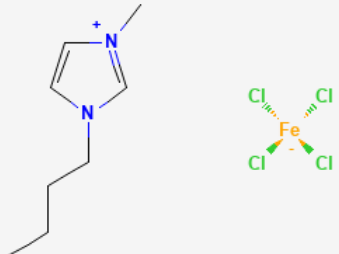
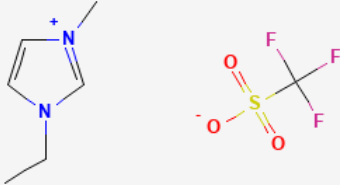
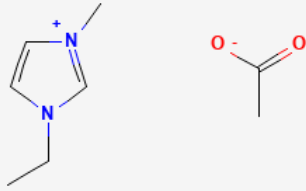
Como se ha tratado en apartados anteriores los líquidos iónicos se clasifican como fluidos que se encuentran compuestos por iones que se distinguen de las sales comunes por su punto de fusión por debajo de los 100°C, de allí que la estructura y organización supramolecular de los líquidos iónicos tengan una relevante importancia en el efecto que éstos pueden tener sobre reacciones químicas u otros procesos. (I, 2017)

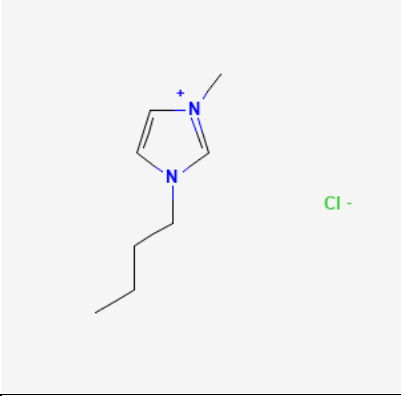
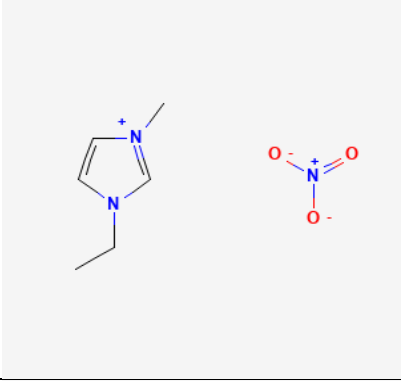
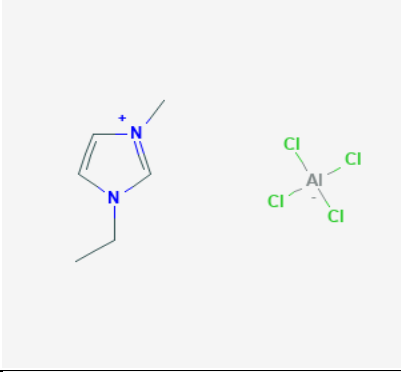
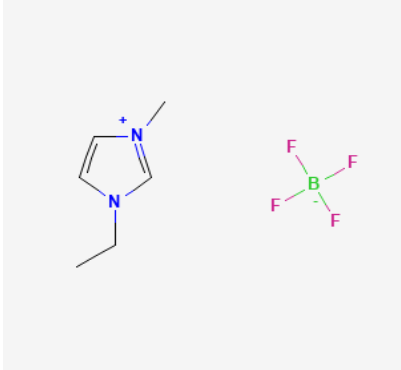
Teniendo en cuenta la revisión realizada hasta este punto podemos evidenciar que pueden ser utilizados convenientemente para reemplazar los disolventes orgánicos convencionales, en la tabla 3 podemos apreciar las estructuras de algunos ejemplos de líquidos iónicos utilizados de manera regular en procesos de extracción.

Tabla 3

Ejemplos estructurales de líquidos iónicos

ABREVIATURA	NOMBRE	ESTRUCTURA
(bmim)(PF ₆)	1-Butyl-3-methylimidazolium hexafluorophosphate	 <p>The image shows two chemical structures. On the left is the 1-butyl-3-methylimidazolium cation, a five-membered imidazole ring with a methyl group on the nitrogen at position 3 and a butyl group on the nitrogen at position 1. The nitrogen at position 3 has a positive charge (+). On the right is the hexafluorophosphate anion, a central phosphorus atom (P) bonded to six fluorine atoms (F) in an octahedral arrangement.</p>

[bmim]BF₄	Tetrafluoroborato de 1-butil-3-metilimidazolio	
bmim [FeCl₄]	1-Butyl-3-methylimidazolium Tetrachloroferrate	
[EMIM]CF₃SO₃[a]	1-Ethyl-3-methylimidazolium trifluoromethanesulfonate	
[EMIM]MetilSO₄	1-Ethyl-3-methylimidazolium acetate	

[bmim]Cl	1-Butyl-3-methylimidazolium chloride	 <p>The image shows the chemical structure of the 1-butyl-3-methylimidazolium cation, which consists of a five-membered imidazole ring with a methyl group on the nitrogen at position 3 and a butyl group on the nitrogen at position 1. The nitrogen at position 1 has a positive charge. To the right of the cation is the chloride anion, represented as Cl⁻.</p>
[EMIM]NO₃	1-Ethyl-3-methylimidazolium nitrate	 <p>The image shows the chemical structure of the 1-ethyl-3-methylimidazolium cation, which consists of a five-membered imidazole ring with a methyl group on the nitrogen at position 3 and an ethyl group on the nitrogen at position 1. The nitrogen at position 1 has a positive charge. To the right of the cation is the nitrate anion, represented as NO₃⁻.</p>
[EMIM]AlCl₄	1-Ethyl-3-Methylimidazolium Tetrachloroaluminate	 <p>The image shows the chemical structure of the 1-ethyl-3-methylimidazolium cation, which consists of a five-membered imidazole ring with a methyl group on the nitrogen at position 3 and an ethyl group on the nitrogen at position 1. The nitrogen at position 1 has a positive charge. To the right of the cation is the tetrachloroaluminate anion, represented as AlCl₄⁻.</p>
[EMIM]BF₄	1-Ethyl-3-methylimidazolium tetrafluoroborate	 <p>The image shows the chemical structure of the 1-ethyl-3-methylimidazolium cation, which consists of a five-membered imidazole ring with a methyl group on the nitrogen at position 3 and an ethyl group on the nitrogen at position 1. The nitrogen at position 1 has a positive charge. To the right of the cation is the tetrafluoroborate anion, represented as BF₄⁻.</p>

Fuente: National Library of medicine (2021)

Técnicas de Extracción de Productos Naturales con Líquidos Iónicos

En este capítulo se presentan las principales técnicas empleados en la extracción de productos naturales, según los estudios consultados para cada uno de los procesos se logran utilizar los líquidos iónicos con la finalidad de recuperar compuestos de interés a partir de diferentes matrices de origen natural como las plantas (Prado, 2012).

Proceso de extracción simple

El principio base de este proceso consiste en tener el material vegetal sin tratar o en polvo el cual se coloca en un recipiente junto con el disolvente, durante varias horas o incluso días, en este tiempo el material soluble es transferido de la muestra sólida al solvente, adicional a esto se adiciona agitación con el fin de aumentar la tasa de transferencia de masa aumentando la turbulencia (Prado, 2012).

Mediante la inclusión de la agitación se facilita que las partículas mantengan el contacto del sólido con el solvente y de esta manera acelerar el proceso favoreciendo la difusión de los componentes extraídos con la ventaja de evitar la sobresaturación en la proximidad inmediata de la superficie del sólido a extraer (Agarwal A, Shen H, Agarwal S, Rao AV, 1997).

La temperatura suele tener un efecto significativo en el proceso de extracción porque los cambios pueden modificar las propiedades tanto del soluto como del solvente de allí que la temperatura afecte la solubilidad y difusividad de los solutos de igual manera la viscosidad y la tensión superficial de los líquidos (G. F. Silva, F. M. C. Gamarra, A. L. Oliveira and F. A. Cabral, Braz. J. Chem. 2008).

Por otro lado, en la extracción de productos naturales puede ser necesario utilizar condiciones menos agresivas, como temperatura moderada y protección de la luz y el oxígeno, para evitar la degradación de algunos compuestos termosensibles que disminuirían la calidad del

producto, cuando se trabaja a temperatura ambiente, los tiempos de extracción suelen ser prolongados y necesarios para lograr altas recuperaciones, los procedimientos de remojo se pueden llevar a cabo más rápidamente cuando se usa altas temperaturas de extracción en lugar de la temperatura ambiente, la temperatura del proceso sintonizable se convierte en una ventaja de remojo en el método de extracción (S. Melo, G. M. N. Costa, A. C. C. Viana and F. L. P. Pessoa, J.2009).

El material sólido restante al final del proceso se prensa y generalmente se vuelve a extraer, las fases líquidas combinadas de las diversas extracciones pasan por un paso extra de concentración para recuperar los compuestos objetivo después de la eliminación del disolvente. Hay varios métodos de concentración que se utilizan para recuperar los compuestos objetivo, incluida la evaporación, la extracción en fase sólida, y liofilización.

Soxhlet

El aparato clásico de Soxhlet fue diseñado por Franz von Soxhlet en 1879 y sigue siendo útil hasta hoy. El uso de etanol en algunos procesos de extracción de productos naturales mediante el uso de este aparato ha representado una oportunidad para incluirlos líquidos iónicos como alternativas de solvente, teniendo en cuenta los largos tiempos de extracción y la baja generación de residuos.

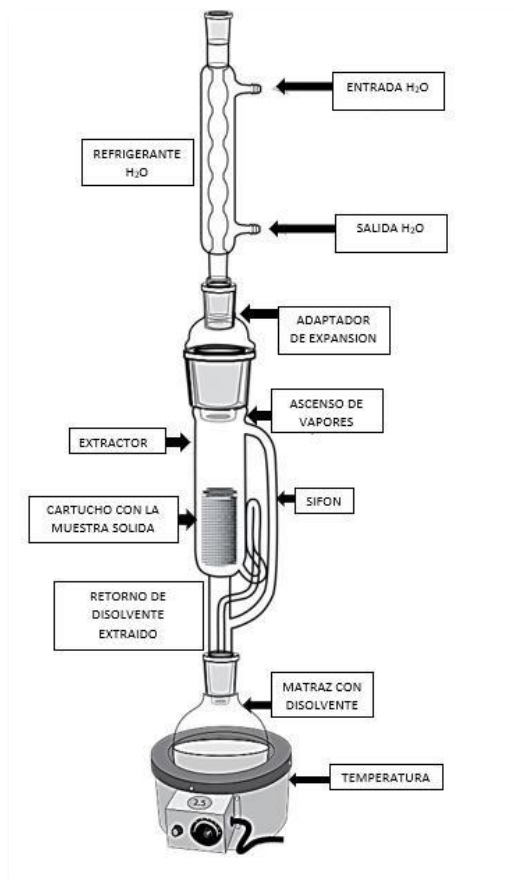
Se ha utilizado durante mucho tiempo para la extracción de productos naturales de origen vegetal. También es útil para análisis de suelos y sedimentos, así como para análisis de alimentos. Soxhlet se utiliza como método de extracción de referencia para evaluar el desempeño de nuevos enfoques de extracción sólido-líquido, incluso para los métodos de extracción más avanzados, debido a su simplicidad, bajo costo por muestra, económico y robusto aparato de extracción.

Como se aprecia en la figura 2, el equipo Soxhlet está compuesto por elementos como:

- Condensador de reflujo refrigerado por agua.
- Cartucho Soxhlet donde se ubica el sólido a extraer.
- Columna de extracción, allí se inserta el cartucho Soxhlet con el sólido a extraer, y que presenta un sifón por donde cae el disolvente después de la extracción hasta el matraz.
- Matraz de fondo redondo que debe ser aprox. 3 o 4 veces del tamaño de la cámara de disolvente.
- Una fuente de temperatura.

Figura 2

Aparato de soxlet con sus partes



Fuente: Autor

Soxhlet es una técnica general y bien establecida, que supera en rendimiento a otras técnicas de extracción convencionales excepto, en un campo limitado de aplicaciones, la extracción de compuestos termolábiles. Por eso, Soxhlet es el aparato recomendado para varias determinaciones analíticas (E. Antignac, G. J. Nohynek, J. Clouzeau and H. Toutain, 2011).

El funcionamiento de este equipo para desarrollar la técnica es muy básico, el principio es similar a los métodos de extracción simple ya que el sólido que se va a utilizar para extraer (semillas, hojas de planta, etc.) se coloca en un cartucho previamente fabricado con papel de filtro, una vez que se ha introducido el sólido, se coloca dentro de la columna de extracción, se llena el matraz con disolvente teniendo en cuenta no sobrepasar la mitad del recipiente, se añade plato poroso y se comienza a calentar.

Una vez inicie el proceso se presenta un reflujo constante cuya duración depende en gran medida del solvente, así como el tamaño de partícula del sólido y las características del vegetal, de esta manera cuando se vuelve a calentar el disolvente se evapora puro y vuelve a arrastrar al caer más compuesto a extraer, el proceso se repite automáticamente hasta que se considera que la extracción se ha completado.

Extracción por agua y vapor

Es el método de extracción de agua y vapor es el más utilizado a escala industrial para el procesamiento de productos naturales cuando los compuestos objetivo son volátiles, uno de los líquidos iónicos más utilizados en este método de extracción es el tetrafluoroborato de 1-etil-3-metilimidazolio [EMIM] [BF₄] teniendo en cuenta que es un excelente agente de separación para la (Lidersi Acosta Cordero, 2016) destilación extractiva, especialmente en la separación de la mezcla etanol-agua y el proceso requiere menos energía que el proceso. La adición de [EMIM][BF₄] a la mezcla etanol-agua produce un incremento de la fracción molar del vapor de

etanol. Esto es debido a las fuertes interacciones selectivas entre el líquido iónico y las moléculas de agua (Lidersi Acosta Cordero, 2016).

Esta técnica simplemente implica vaporizar o liberar los volátiles de los compuestos de la matriz sólida a altas temperaturas utilizando agua y / o vapor como agente de extracción. El agua / vapor calienta la matriz sólida, que libera los compuestos volátiles presentes, estos se vaporizan tomando el calor de vaporización del vapor, y luego se transportan al vapor a través de la difusión (R. Japon-Lujan and M. D. Luque de Castro, J. Chromatogr. 2006).

Hay dos variantes de la destilación con proceso de agua / vapor:

Directa destilación de vapor

En este tipo de proceso la matriz sólida se apoya en una rejilla perforada o pantalla insertada a cierta distancia por encima de la parte inferior del alambique, pero no está en contacto directo con el agua. La caldera puede estar dentro o fuera del compuesto, el vapor saturado fluye hacia arriba a través del sólido, recolectando el evaporado de los componentes.

Destilación de agua (hidrodestilación)

La matriz sólida se sumerge en la ebullición del agua o flotando sobre ella, dependiendo de su densidad. En este caso la caldera está dentro, puede ser necesario el reposo y la agitación para evitar la aglutinación. El vapor seco de la destilación fluye a través del lecho de matriz sólida, como en el proceso de destilación directa por vapor, pero el vapor se genera fuera del alambique y puede recalentarse a presiones moderadas, debido a esta característica, se utiliza ampliamente para extraer terpenos y sesquiterpenos, que tienen puntos de ebullición por encima de 150°C (I. Borrás- Linares, D. Arraez-Roman, M. Herrero, E. Ibañez, A. Segura-Carretero and A. Fernandez-Gutierrez, 2011).

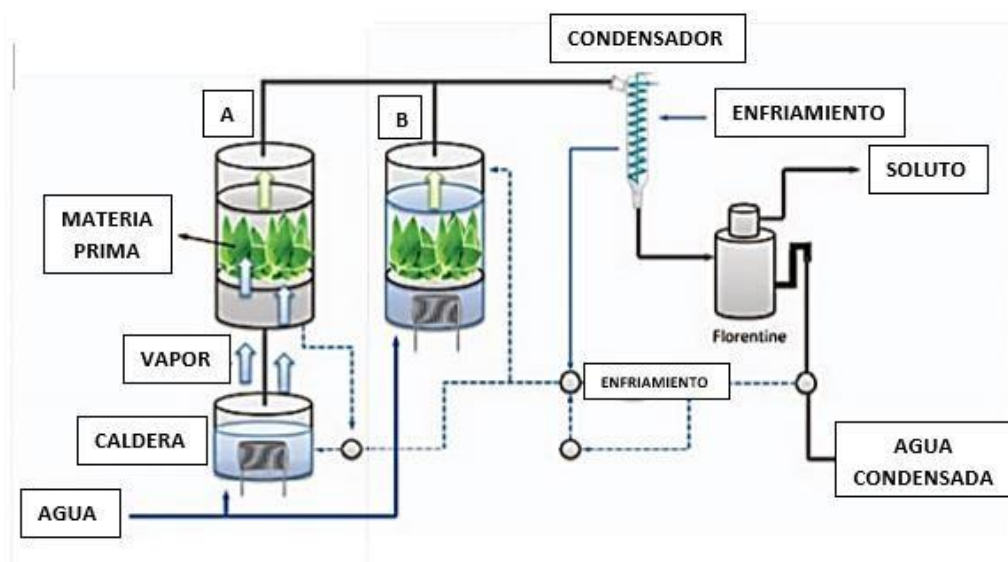
Este proceso de extracción con vapor sobrecalentado es más efectivo que la

hidrodestilación regular cuando se trata de compuestos que tienen puntos de ebullición superiores a $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ en este proceso, primero se debe extraer el aceite esencial de la matriz sólida utilizando alta temperatura y luego debe separarse de la fase de agua como resultado, se deben considerar varios puntos al aplicar la destilación.

Como se aprecia en la figura 2 la diferencia entre las dos variaciones radica únicamente en la posición de la caldera o fuente de calor para lograr el rendimiento de los compuestos a obtener.

Figura 3

Diagrama de flujo general destilación con agua / vapor



Nota.: (A) Directa destilación de vapor / (B) •Destilación de agua(hidrodestilación

Fuente: P. Costa, C. Grosso, S. Goncalves, P. B. Andrade, P. Valentao, G. Bernardo-Gily A. Romano, 2012

La selección adecuada de la variable a utilizar al momento de realizar una extracción depende directamente de la temperatura de ebullición ya que solo los componentes con puntos de ebullición por debajo de $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ se pueden separar por destilación regular del agua para

compuestos con ebullición por encima de 100° C se requiere destilación de vapor sobrecalentado.

La preparación del sólido cumple un papel importante ya que el contenido de los compuestos en la materia prima puede variar con el grado de madurez de la planta, el proceso de cultivo y condiciones edafoclimáticas.

Además, el preprocesamiento del material vegetal puede alterar su perfil fitoquímico, al preparar el material sólido para la extracción, hay algunos aspectos que debe tenerse en cuenta para que el paso de extracción posterior sea más eficiente como lo son el tamaño partícula, contenido de humedad, homogeneidad y porosidad.

La selección adecuada del solvente a utilizar es el parámetro principal que afecta la eficiencia del proceso, porque determina dos factores importantes:

La solubilidad de los compuestos objetivo y la penetrabilidad en la matriz.

Las características del solvente que deben considerarse incluyen propiedades fisicoquímicas que afectaran directamente el rendimiento y efectividad del proceso, como lo son:

- Pureza
- Reactividad: el disolvente no debe reaccionar con los compuestos objetivo.
- Estabilidad química y térmica: deben asegurarse bajo la extracción.
- Viscosidad: la baja viscosidad aumenta la tasa de transferencia de masa al trabajar a temperaturas muy altas.
- Coeficiente de difusión.
- Punto de ebullición: el punto de ebullición bajo requiere poca energía para la eliminación del disolvente del extracto;
- Inflamabilidad: deben evitarse los disolventes inflamables

- Toxicidad y cuestiones normativas: las cuestiones medioambientales y de salud deben ser considerado, tanto para el consumidor de los productos naturales como para el operador del sistema de extracción.

Teniendo en cuenta todos estos aspectos, no existe un disolvente universal para extraer compuestos bioactivos de productos naturales, porque los disolventes específicos son requeridos para cada materia prima y compuesto objetivo (T. M. Takeuchi, C. G. Pereira, M. E. M. Braga, M. R. Marostica Jr., P. F. Leal and M. A. A. Meireles, 2009).

Proceso de extracción asistida por ultrasonido

El uso del ultrasonido se ha considerado una innovadora y prometedora técnica del siglo XXI, con numerosas aplicaciones en los campos farmacéutico, cosmético, químico y alimentario desde la segunda mitad del siglo 20, es una onda mecánica que necesita un medio elástico para esparcirse y se diferencia de los sonidos audibles por la onda de frecuencia, las frecuencias audibles para los humanos se componen entre 16 Hz y 20 kHz, mientras que las frecuencias de ultrasonido oscilan entre 20 kHz y 10 MHz, de esta amplia gama de frecuencias, se distinguen dos grupos principales y ambos se utilizan en la industria alimentaria: ecografías de diagnóstico y de potencia (T. J. Mason et. al, 2005).

- Ultrasonido de diagnóstico (también llamada alta frecuencia de ultrasonidos) Oscilan entre 2 MHz y 10 MHz ($I > 1 \text{ W cm}^{-2}$) y se utiliza en varios campos, como la imagen médica o incluso para la detección de defectos, en inspección de adherencia para plásticos.
- Ultrasonido de potencia convencional (también llamado ultrasonidos de baja frecuencia) Oscilan entre 20 kHz y 100 kHz ($I < 1 \text{ W cm}^{-2}$). En el rango extendido se utiliza en sonoquímica (20 kHz a 2 MHz) y en este rango el ultrasonido es capaz de producir efectos físicos y / o químicos en el medio para facilitar o acelerar reacciones químicas o incluso para

otras aplicaciones en la industria, como el corte y la soldadura de plásticos.

Los principales parámetros físicos que caracterizan al ultrasonido son la potencia(W), la frecuencia (Hz) y la longitud de onda (cm), a partir de la cual el ultrasonido se calcula la intensidad (I) ($W\text{ cm}^{-2}$).

A escala de laboratorio, se han obtenido numerosos extractos mediante ultrasonido, como carotenoides, antioxidantes, aceites esenciales, aromas, etc, con el fin de obtener mejores resultados, la elección del equipo de ultrasonido es de gran importancia (M. D. Esclapez et. al, 2011).

El primer equipo por lotes desarrollado fue el baño de limpieza ultrasónico, que es utilizado para la dispersión sólida en disolvente (la solubilidad de partículas sólidas aumenta a medida que el tamaño de las partículas se reduce), para desgasificar soluciones o limpiar material pequeño por inmersión. En la figura 4 se aprecian ejemplos de los sistemas de ultrasonido de uso más común como lo son el baño de ultrasonido y el reactor de ultrasonido, equipos de fácil implementación y uso además de un costo moderado.

Figura 4

Sistemas ultrasónicos más comunes: (A) baño de ultrasonido; (B) reactor de ultrasonido



Fuente: (M Rostagno, 2013)

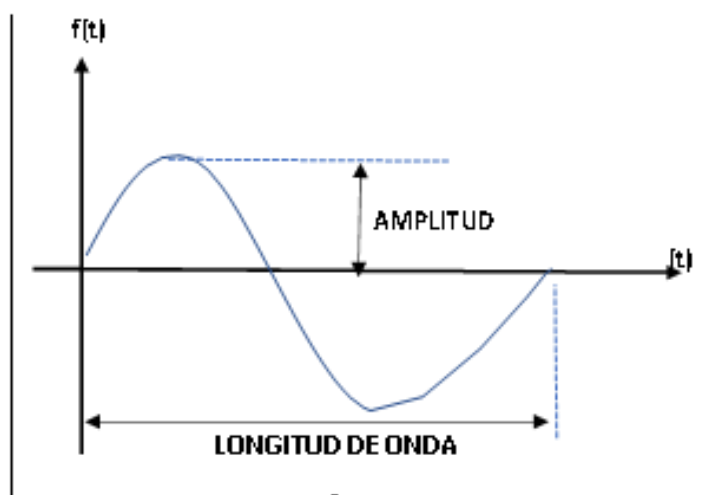
Los parámetros más importantes que pueden influir en la extracción asistida por ultrasonido además de los parámetros intrínsecamente relacionados con el dispositivo ultrasónico (como la frecuencia, longitud de onda y amplitud de la onda), la potencia ultrasónica y la consiguiente intensidad tienen también un efecto sobre la extracción y se puede optimizar.

Dado que el ultrasonido es una onda mecánica, la frecuencia, la longitud de onda y la amplitud pueden influir en las burbujas de cavitación y, por lo tanto, en la extracción.

Estos parámetros se describen a continuación (figura 5)

Figura 5

Principales parámetros físicos de una onda ultrasónica



Fuente: (M Rostagno, 2013)

- La frecuencia (f) se mide en hercios y expresa el número de ciclos por segundos. Para fines de extracción, las frecuencias más comunes son 20–50 kHz.
- El período (P) es el recíproco de la frecuencia ($1 / f$), y también lo es el tiempo de un ciclo, tanto la frecuencia como el período están determinados por la fuente de ultrasonido solamente.
- La longitud de onda (λ) representa la longitud o distancia de un ciclo y es determinado por la

fuelle de ultrasonido (con una frecuencia determinada) y el medio (con una velocidad de propagación dada)

- La amplitud (A) representa la altura de la ola y generalmente se mide en decibelios (dB) o pascales (Pa). La amplitud tiene un efecto sobre el formación eimplosión de burbujas de cavitación.
- La velocidad de propagación (C) representa qué tan rápido se mueve la onda en el medio específico, la velocidad de propagación depende del medio y es relacionado con la rigidez del medio y algo llamado volumen módulo (directamente relacionado con la rigidez del medio), por lo tanto, si es más denso los materiales también tienen una velocidad de propagación más rápida.

Parámetros del medio

El medio al que se aplica el ultrasonido presenta características intrínsecas que deben tenerse en cuenta para lograr los resultados esperados en el proceso de extracción. Además del control y optimización de los parámetros del dispositivo ultrasónico, los últimos alcanzarán el medio donde los compuestos deben extraerse.

Cuanto mayor sea el poder de penetración y menor la fuerza relativa, menores los efectos sobre la superficie del medio. Para lograr la cavitación, a medida que aumenta la frecuencia sónica, la intensidad del ultrasonido aplicado debe aumentarse, para asegurar que las fuerzas cohesivas de los medios líquidos se superan y se crean vacíos. Otro parámetro importante que debe tenerse en cuenta es el fenómeno de atenuación (que es inversamente proporcional a la frecuencia de ultrasonido), aunque puede ser reducido eligiendo la forma apropiada del recipiente de reacción (J. P. Lorimer and T. J. Mason, 1987).

Tipo de disolvente.

La elección del disolvente no está determinada únicamente por la solubilidad del objetivo o los analitos en el disolvente, sino también por parámetros físicos como la viscosidad, tensión superficial y presión de vapor del medio. El aumento de la viscosidad aumenta las interacciones moleculares, por lo tanto, el umbral de cavitación aumenta significativamente, de la misma forma, una alta tensión superficial disminuye la cavitación así las cosas, la amplitud debe aumentarse cuando se está trabajando con muestras de alta viscosidad, esto se debe a que a medida que la viscosidad de la muestra aumenta así mismo aumenta la resistencia de la muestra al movimiento del dispositivo ultrasónico (H. M. Santos, et. al,2008).

Temperatura.

El aumento de temperatura genera la subida del vapor presión y la disminución de la viscosidad y tensión superficial, induciendo más vapores de disolvente para entrar en la cavidad de la burbuja, reduciendo la diferencia de presión entre el interior y el exterior de la burbuja, que colapsará menos violentamente y reducir los efectos de sonicación, como consecuencia, a mayor temperatura, la cavitación se puede lograr a amplitudes más bajas. sin embargo, los efectos sonoquímicos de tales burbujas pueden reducirse y el uso de las temperaturas por encima de un cierto umbral pueden generar burbujas de cavitación que crecen muy rápidamente, disminuyendo su eficacia (H. M. Santos, et. al,2008).

Método de extracción por microondas

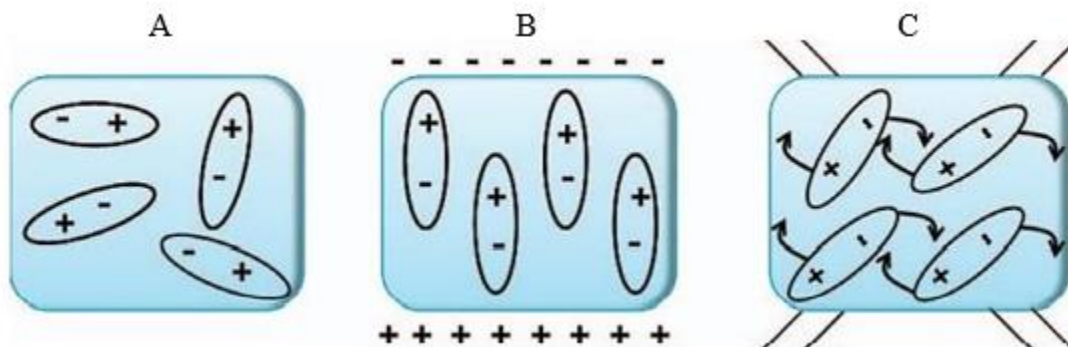
El uso de la energía de microondas para acelerar los procesos de extracción fue descrito por primera vez cuando investigadores americanos usaron disolventes polareso mezclas, que absorbían la energía de microondas, para extraer grasa de alimentos y pesticidas de suelos, con base en los estudios realizados lograron determinar que la velocidad de extracción por

microondas era significativamente más rápida, logrando recuperaciones similares o incluso superiores a las del sistema tradicional de Soxhlet y con una reducción importante de la cantidad de disolvente empleado (Ganzler et al. En1984).

El principio de calentamiento con energía de microondas se basa en los efectos directos de microondas sobre moléculas del material. La transformación de la energía electromagnética en energía calorífica se produce por dos mecanismos: iónico conducción y rotación del dipolo tanto en el disolvente como en la muestra. En muchas aplicaciones estos dos mecanismos tienen lugar simultáneamente, lo que efectivamente cambia la energía de microondas a energía térmica. La conducción iónica se debe a la migración electroforética en el campo electromagnético (C. Sparr Eskilsson et, al. 2000).

La energía de microondas es una radiación no ionizante que cubre un orden de 3 en la escala de magnitud de 300 MHz a 300 GHz (longitud de onda en aire o vacío entre 1 m y 1 mm). Las microondas son ondas electromagnéticas formadas por dos campos perpendiculares oscilantes: campo eléctrico y campo magnético.

La generación de calor en la muestra por el campo de microondas requiere la presencia de un compuesto dieléctrico y la liberación de calor se observa solo si la muestra tiene pérdidas dieléctricas o pérdidas de conducción bajo irradiación de microondas. Esta habilidad de un solvente para absorber la energía de microondas y convertirla en calor en parte dependen del factor de disipación

Figura 6*Comportamiento de moléculas dipolares*

Nota: (A) Sin campo eléctrico (B) Bajo campo eléctrico continuo (C) Bajo campo eléctrico de alta

Fuente: (B. Kaufmann and P. Christen, 2002).

En la figura 6 se aprecia el comportamiento esquemático de moléculas dipolares sin un campo eléctrico y bajo campos eléctricos continuos o de alta frecuencia, el más largo momento dipolar de la molécula más vigorosa es la oscilación en el campo de microondas, esta rotación del dipolo conduce a la ruptura del hidrógeno débil (B. Kaufmann and P. Christen, 2002).

Los disolventes polares como el agua tienen altas pérdidas dieléctricas; su dipolo permanente se verá afectado por las microondas que fueron fuertemente absorbidas. Sin embargo, los disolventes no polares como el hexano no se calientan cuando se exponen a microondas y se denominan disolventes transparentes para microondas. Los disolventes más utilizados en este proceso presentan constante dieléctrica y un factor de pérdida dieléctrica específicos, tabla. 4 (C. Sparr Eskilsson et, al. 2000) (B. Kaufmann and P. Christen, 2002).

Una particularidad del calentamiento por microondas es, por tanto, la selectividad, ya que solo las moléculas polares se pueden calentar, la segunda especificidad consiste en la diferencia del calentamiento conductivo clásico, el calentamiento por microondas es volumétrico, toda la

muestra se calienta al mismo tiempo. La temperatura gradiente se invierte en comparación con el calentamiento convencional, porque el calentamiento requiere colocar en el corazón de la mezcla de matriz de solvente mientras que en el convencional calienta la superficie se calienta primero (V. Camel, 2001).

Constantes físicas de los solventes

Los solventes orgánicos utilizados en los diferentes procesos de extracción se caracterizan por bajos puntos de ebullición, se evaporan fácilmente y puntos de inflamación es bajo.

Tabla 4

Constantes físicas de los solventes más utilizados en la extracción por microondas

Solvente	ε' constante dieléctrica	ε'' factor de pérdida dieléctrica	tan d (X 10⁻⁴)
Hexano	1.89	<0.1	
Heptano	1.92	0	
Diclorometano	8.9	1.14	
2-propanol	19.9	1.66	6700
Acetona	20.7	2.69	
Ethanol	24.3	1.69	2500
Methanol	32.6	2.87	6400
Acetonitrilo	37.5	3.44	

Agua	78.3	1.87	1570
-------------	------	------	------

Fuente: autor

Calentamiento por microondas aplicado a matrices de plantas

En el caso de la extracción de muestras de plantas, el efecto de la energía de microondas depende en gran medida de la naturaleza tanto del disolvente como de la matriz, en la mayoría de los casos el solvente seleccionado tiene una alta constante dieléctrica, de modo que fuertemente absorbe la energía de microondas, sin embargo, en algunos casos, solo la matriz de muestra puede calentarse, de modo que los solutos se liberen en un disolvente frío; este es particularmente útil para prevenir la degradación de compuestos termolábiles (V. Camel and T. Anal, 2000).

Los compuestos extraídos se disuelven en un disolvente circundante para facilitar la separación de la planta restante, en este sentido, el mecanismo de extracción asistida por microondas es diferente de los de extracción Soxhlet y extracción de flujo de calor que dependen de una serie de procesos de permeación y solubilización para lavar los componentes intracelulares fuera de la matriz vegetal (M. Gao, et al, 2007) (H.-Y. Zhou and C.-Z. Liu, J, 2006).

Los recipientes utilizados para la extracción suelen estar hechos de materiales transparentes, (por ejemplo, vidrio, poliéster imida o tetrafluorometoxilo) y están revestidos con revestimientos de PFA (perfluoroalcoxi) o teflón, algunos sistemas también incluyen agitación magnética dentro del recipiente de extracción que permite el contacto continuo entre la superficie de la muestra y el disolvente, por lo que la temperatura aumenta en un plazo más corto y se reduce el tiempo total de extracción (C. Sparr Eskilsson et al. 2000).

Parámetros que Influyen en la Extracción Asistida por Microondas

Solvente

En el caso de la extracción de tejido vegetal, el compuesto o el grupo de compuestos de interés está presente en varias células y en diferentes partes de la materia prima, para extraer estos compuestos, el disolvente debe alcanzarlos y disolverlos, el solvente generalmente ataca la pared celular de las materias primas y la penetra para alcanzar los compuestos, pero también puede disolver otras impurezas. La elección del solvente, por lo tanto, debe ser tal que extraiga selectivamente el objetivo (M. Desai, et al, 2010).

Por lo tanto, el proceso de extracción asistida por microondas se realiza a menudo con el mismo disolvente empleado para la extracción tradicional, sin embargo, los disolventes de extracción óptimos para esta clase de extracción no siempre se pueden deducir directamente de los utilizados en los métodos convencionales, la elección del disolvente se dicta como para otros técnicas de extracción, por la solubilidad de los compuestos objetivo y por la interacción entre el solvente y la matriz vegetal, además por las propiedades de absorción de microondas del solvente determinadas por su constante dieléctrica (C. Sparr Eskilsson et al. 2000).

Temperatura y presión

La temperatura es un parámetro importante para todas las técnicas de extracción, ya que contribuye a un aumento del rendimiento. Con un aumento de temperatura, el solvente tiene mayor capacidad para solubilizar los compuestos objetivo, y aporta a la disminución de la viscosidad del solvente, lo que mejora la humectación de la muestra y la matriz, esto lleva a altas recuperaciones de extracción, La influencia de la temperatura en un recipiente cerrado en la extracción muestra que el aumento de la temperatura del disolvente de 60° C a 120° C aumenta significativamente la eficiencia de extracción, esto es porque una temperatura más alta provoca

interacciones intermoleculares dentro del solvente dando lugar a un movimiento molecular más alto, y provocando que la solubilidad incremente. El aumento de temperatura también puede causar la apertura de la matriz celular, y como resultado, aumenta la disponibilidad de antraquinonas para la extracción. (S. Hemwimon, et, al2007)

Tiempo de extracción

Una de las principales ventajas de la extracción asistida por microondas es el muy corto tiempo (varios minutos o segundos) tomado en comparación con las técnicas convencionales. A veces, una muestra se puede extraer en varios pasos utilizando ciclos de extracción, se puede utilizar el mismo disolvente para los diferentes ciclos con un pasode enfriamiento entre cada ciclo de irradiación. Esta práctica ayuda a mejorar el rendimiento de extracción, evitando el calentamiento prolongado y utilizando el mismodisolvente, también se puede cambiar para cada ciclo de extracción para evitar saturación (W. Xiao, et, al 2008).

Tamaño de la matriz

El tamaño de las partículas de la planta y la distribución del tamaño suelen tener una influencia significativa en la eficiencia del proceso, los tamaños de partícula de los materiales extraídos suelen ser en el rango de $100 \mu\text{m} \pm 2 \mu\text{m}$, el uso de polvos finos pueden mejorar la extracción, por lo que los materiales de menor tamaño tienen menos profundidad de difusión para la molécula fuera de la matriz de la planta al disolvente circundante. Además, el área de superficie más grande de un polvo fino proporciona contacto entre la matriz de la planta y el solvente y las partículas más pequeñas tienen menos profundidad de penetración que conduce a una exposición uniforme de las microondas (X. Pan, et. al 2000). A continuación, en la tabla 5, se pueden diferenciar de manera comparativa las diferentes técnicas de extracción que se han tratado en este capítulo, así mismo se encuentran la ventajas y posibles desventajas de cada uno.

Tabla 5

Resumen comparativo técnicas de extracción utilizadas en la obtención de productos naturales

Técnica de extracción	Estado del material	Importancia de la Temperatura	Adicional	Ventajas	Desventajas
Proceso de extracción simple	El vegetal está sin tratar	Es ideal la temperatura ambiente, o un aumento progresivo, una temperatura excesiva afecta tanto las propiedades del soluto como del solvente	Cuando se utiliza agitación se garantiza que el soluto entre en contacto con el solvente	Permite la recuperación del material sobrante para un nuevo proceso de extracción. Permite la inclusión de condiciones más agresivas como la luz, oxígeno o la misma temperatura, todo en ambiente regulado y controlado	La operación que requiere mucho tiempo y mano de obra. Gran volumen de disolventes peligrosos y mayor limpieza. La alta demanda de energía para la mezcla solvente-soluto. La pérdida de calidad del producto en la etapa de evaporación del solvente, en particular para productos alimenticios y farmacéuticos, debido a la retención de productos químicos indeseables y la degradación de componentes termosensibles

Soxhlet	El vegetal esta sin tratar	Se debe mantener una temperatura constante que permita la evaporación del solvente, así como el ciclo de manera repetitiva	Requiere plato poroso para evitar que la ebullición del solvente presente proyección de líquido, y conseguir una ebullición continua, homogénea y controlada	El solvente se utiliza varias veces dando un máximo de aprovechamiento al mismo el uso de altas temperaturas permite una mayor transferencia de masa	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere un tiempo de extracción largo no se puede aplicar agitación. • Se puede presentar descomposición térmica de los compuestos • No se puede utilizar para componentes altamente volátiles o con puntos de ebullición más altos que el solvente en uso
Extracción asistida por ultrasonido	Matriz utilizada puede ser fresco o seco.	Burbujas de cavitación y un área de contacto sólido-solvente más grande	Caso de matrices secas, una absorción del líquido podría ocurrir (rehidratación) dependiendo de la porosidad del material y debe ser estudiado cuidadosamente.	El disolvente y la temperatura elegidos pueden influir en el rendimiento final de la extracción	<p>Cuando la temperatura está cerca del punto de ebullición del solvente, la burbuja podría no inducir suficientes fuerzas de corte de energía para interrumpir tejidos celulares. Un control de temperatura es imperativo para evitar la degradación de compuestos termolábiles.</p>

Extracción por microondas	La matriz vegetal se puede rehidratar para favorecer el calentamiento	La temperatura se dispersa de manera uniforme lo que permite aprovechar la totalidad de la muestra de manera más eficiente y con tiempos más cortos	El uso de materiales como vidrio, poliéster amida o tetrafluorometoxilo para la fabricación de los recipientes permite el aumento de temperatura en un plazo más corto	La velocidad de extracción por microondas era significativamente más rápida, logrando recuperaciones similares o incluso superiores a las del sistema tradicional de Soxhlet requiere una cantidad menor de solvente comparado con las técnicas más empleadas.	Una viscosidad más alta del medio reduce este mecanismo al afectar rotación molecular. Solo las moléculas polares se pueden calentar por lo tanto el nivel de selectividad es importante para desarrollar el proceso.
				El calentamiento por microondas es volumétrico, toda la muestra se calienta al mismo tiempo.	El calentamiento forzado del agua en el núcleo del material puede causar vaporización de líquido dentro de las celdas, que puede conducir a la ruptura de las paredes de la celda. El proceso se lleva a cabo en fracciones de tiempo más bajas con respecto a las técnicas tradicionales

Extracción agua/vapor	El vegetal se puede tratar de manera controlada para no alterar las propiedades fisicoquímicas	Se puede trabajar con temperaturas por encima de los 100°C ya que el vapor cumple la función de vehículo	Tiene dos variaciones que se utilizan dependiendo de la temperatura de ebullición de los compuestos a extraer	Puede recalentarse a presiones moderadas, debido a esta característica, se utiliza ampliamente para extraer terpenos y sesquiterpenos, que tienen puntos de ebullición por encima de 150°C, el método genera productos sin disolventes orgánicos; no hay necesidad de pasos de separación posteriores ya que el aceite volátil es el producto final que sale del separador	<ul style="list-style-type: none"> • Los compuestos bioactivos a aislar no pueden ser degradados fácilmente por altas temperaturas. En segundo lugar, como el agua caliente estará en contacto con el compuesto extraído, la estabilidad a la hidrólisis también debe confirmarse antes de la destilación. • Puede existir una posible degradación térmica de productos • Posible hidrólisis, especialmente para ésteres, este es un problema extremadamente difícil de superar si ocurre
-----------------------	--	--	---	--	--

Líquidos iónicos aplicados a la extracción de productos naturales

En este capítulo se trata el tema central del documento donde se exaltan las ventajas del uso de líquidos iónicos dentro de los diferentes procesos de extracción de productos naturales teniendo en cuenta los diferentes estudios, artículos y documentos revisados.

Actualmente existen diferentes tipos de disolventes para satisfacer diferentes necesidades específicas con un desempeño óptimo como la extracción de productos naturales, los cuales son usados como antimicrobianos, antioxidantes, compuestos fenólicos entre otros. La extracción de productos naturales como procedimiento estándar convergen en el uso de disolventes cotidianos, manteniendo un rendimiento limitado y generando diversos residuos nocivos para el medio ambiente. La química verde como parte del conjunto de ciencias que buscan aportar de manera significativa al concepto de responsabilidad ambiental plantea en diferentes prácticas de cuidado del medio ambiente, para lograr estos objetivos se deben tener en cuenta los doce principios de la química verde establecidos en los años 90 (Anastas & Warner, 1998, p.30).

Actualmente se encuentran diversos estudios donde se propone la aplicación de estos principios introduciendo nuevas tecnologías y productos innovadores como los solventes verdes donde encontramos los líquidos iónicos los cuales como se ha relacionado anteriormente pueden reemplazar los solventes de uso cotidiano teniendo en cuenta que no son volátiles, ni inflamables, eliminan los peligros asociados con solventes orgánicos volátiles, reducen el uso de energía y minimizan las emisiones de desechos (Pájaro & Verbel, 2011).

Recientemente, se están implementando técnicas más limpias y amigables con el medio ambiente, con el uso de líquidos iónicos y fluidos supercríticos de nueva generación, teniendo en cuenta que representan una buena alternativa para la extracción y fraccionamiento de diferentes productos de calidad superior ya que al dejar de lado los disolventes no se tienen impurezas de los

extractos utilizados.

En las diferentes fuentes académicas se destacan estudios comparativos donde se analizaron procesos de extracción de productos naturales con el uso de solventes convencionales y procesos comparativos con líquidos iónicos se evidencia la eficiencia de las nuevas alternativas, a continuación, en la tabla 6, se describen ejemplos claros de cómo se planteó el estudio con los líquidos iónicos como eje central.

Tabla 6

Comparativo uso de líquidos iónicos en la extracción de productos naturales y sus ventajas

Material vegetal	Parte utilizada	Técnica De extracción	Líquido iónico	Temp °c	Producto	Conclusión del estudio
Regaliz también llamado regalicia, orozuz uorosús	Raíz	Extracción asistida por ultrasonidos, aparato ultrasónico	1-alkil-3-metilimidazolio [C ₈ MIM]BF ₄ / [C ₈ MIM]PF ₆ , [C ₈ MIM] SbF ₆ / [C ₈ MIM] N(CN) ₂ [C ₈ MIM] (CF ₃ SO ₂) ₂ N/ [C ₈ MIM]CF ₃ SO ₃ / [C ₂ MIM]BF ₄ [C ₄ MIM]BF ₄ / [C ₆ MIM]BF ₄ [C ₁₀ MIM]BF ₄ / [C ₁₂ MIM]BF ₄	80 -100	Flavonoides prenilados de Regaliz	Según el estudio comparativo de diferentes líquidos iónicos con los solventes convencionales como agua y metanol se determinó que el 1-octyl-3-methylimidazolium tetrafluoroborato [C ₈ MIM]BF ₄ mostro un mejor desempeño en la obtención de compuestos como lo son IAA ácido 3-indol-acético, LIF fluoruro de litio, LCD licoricidina, GBD glabridina. De igual manera se logró una reciclabilidad aceptable del líquido iónico mediante el uso de técnica SPE simple. El método mostro eficiencia para la extracción de productos naturales simples.
Fuente: Highly efficient and selective extraction of minor bioactive natural products using pure ionic liquids: Application to prenylated flavonoids in						

licorice –2019, https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1226086X19304174						
Polygonum multiflorum (Reynoutria multiflora)	Hojas y tallo	Métodos de extracción tradicionales con control ultrasónico en blanco	1,3-dibutil benzimidazol p-toluenosulfonato	39 - 59	Antraquinonas de Polygonum multiflorum	Con el uso de líquidos iónicos se logró un rendimiento del 97.2% en la extracción de antraquininas lo que representa una selectividad del 7.2% y una pequeña pérdida de glucósidos, esto permite abrir una exploración para mejorar el método, además de mostrar una recuperación de líquido iónico satisfactoria y aplicable.
Fuente: High effective extraction of selected anthraquinones from Polygonum multiflorum using ionic liquids with ultrasonic assistance – 2020 - https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167732220310862						
Citrus sinensi (naranja)	Fruto	Sistema de extracción por microondas	[C ₄ MIM] Cl [C ₂ MIM] OAc	100	Aceites esenciales	Se evidenció que el rendimiento del Líquido Iónico intensificó el proceso de extracción obteniendo un mayor rendimiento en tiempos más cortos, abre la puerta a más estudios con el fin de identificar la capacidad de absorber y transformar la energía del proceso sin que los LI afecten el tipo de compuesto a extraer.
Fuente; Effect of imidazolium ionic liquids as microwave absorption media for the intensification of microwave-assisted extraction of Citrus sinensis peel essential oils – 2020 - https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S025527012030739X						

Ulva spp (lechuga demar)	Toda laplanta	Extracciónsimple	<p>1-alkil-3-metilimidazolio cloruro como 1-hexil-3-metilimidazolio, [C₆C1im] Cl</p> <p>1-cloruro de metil-3-octilimidazolio, [C₈C1im] Cl</p> <p>1-decil-3- cloruro de metilimidazolio, [C₁₀C1im] Cl</p> <p>cloruro de 1-dodecil-3-metilimidazolio [C₁₂C1im] Cl</p> <p>cloruro de 1-metil-3-tetra decilimidazolio, [C₁₄C1im] Cl</p> <p>cloruro de 1-hexadecil-3-metilimidazolio, [C₁₆C1im] Cl</p> <p>cloruro de tributiltetradecilfosfonio, [P_{4,4,4,14}] Cl</p> <p>cloruro de deciltrimetilamonio, [N_{1,1,1,10}] Cl</p>	20 - 25	Clorofila de la ulvasp	Según el estudio comparativo de los diferentes Li con el metanol se evidencio que el cloruro de tributiltetradecilfosfonio, [P _{4,4,4,14}] Cl presento un mayor rendimiento, así como un favorecimiento económico teniendo en cuenta el resultado obtenido, así como la estabilidad final del producto.
<p>Fuente: Extraction of chlorophyll from wild and farmed Ulva spp. using aqueous solutions of ionic liquids – 2020 - https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1383586620320633</p>						

Albahaca	Semillas	Extracción simple	<p>cloruro de 1-butil piridinio [C₄Py]Cl</p> <p>cloruro de 1-butil-3-metil piridinio [C₄C₁Py] Cl</p> <p>cloruro de 1-octil-3-metilpiridinio [C₈C₁Py] Cl</p> <p>cloruro de 1-hexadecil-3-metilpiridinio [C₁₆C₁Py] Cl</p>	110	Mucilago	Como base del estudio se determinó como nuevo método de extracción donde se utilizó el cloruro de 1-butil-3-metilpiridinio y se demostró un mayor rendimiento logrando hasta un 25% a una temperatura constante de 110 grad C. adicional se evidencio que la recuperación y reutilización de los líquidos iónicos favorecen tanto económica como ambientalmente el proceso.
Fuente: Extraction of basil seed mucilage using ionic liquid and preparation of AuNps/mucilage nanocomposite for catalytic degradation of dye – 2020 - https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141813020341611						
Chlorella sorokiniana	Toda la planta	Extracción simple	<p>Dimetilcarbamato de dimetilamonio</p> <p>Dipropilcarbamato de dipropilamonio</p> <p>Dialilcarbamato de dialilamonio</p> <p>Dibutilcarbamato de dibutilamonio</p>	40	Luteina	Se logró evidenciar que la cadena larga de los aniones presentes en los Li contribuye para disolver ciertos compuestos de pared celular y así permiten una extracción más adecuada de los lípidos de microalgas.
Fuente: Permeabilization of Chlorella sorokiniana and extraction of lutein by distillable CO ₂ -based alkyl carbamate ionic liquids – 2020 - https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1383586620319456						

Nanopartículas de quitosano	Toda laplanta	Extracciónsimple	<p>1-etil-3-metilimidazolio L - (+)-lactate ([Emim][L-L])</p> <p>Tetrafluoroborato de 1-hexilpiridinio ([HPy] BF₄)</p> <p>Bromuro de 1-dodecil-3-metilimidazolio ([C₁₂mim] Br)</p> <p>Cloruro de 1-dodecil-3-metilimidazolio ([C₁₂mim] Cl)</p> <p>Nitrato de 1-dodecil-3-metilimidazolio ([C₁₂mim] NO₃)</p> <p>1-hidrogenosulfato de dodecil-3-metilimidazolio ([C₁₂mim] HSO₃)</p>	40	Curcumina, demetoxicurcumina y bisdemetoxicurcumina	Las diferentes modificaciones propuestas para desarrollar el método permitieron evidenciar niveles de detección bajos, así como recuperación satisfactoria de reactivos para la determinación simultanea de curcuminoides en complejas muestras solidas con un método de bajo costo y amigable con el medio ambiente.
<p>Fuente: Extraction and enrichment of natural pigments from solid samples using ionic liquids and chitosan nanoparticles – 2016 - https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0021967316310561</p>						
Higuera	Hojas	Sistema de dos fases acuoso líquidoiónico	<p>[Emim] Br [Bmim] Br [Hmim] Br [Omim] Br [Bmim] BF₄</p> <p>[Bmim] Cl [Bmim] HSO₄</p> <p>[Bmim] NO₃</p>	30	Ácido psoralico-glucósido y psoraleno	Las ventajas el método utilizando Li radica en el favorecimiento para aprovechar el rendimiento comparado con métodos convencionales ya que no se utilizan solventes orgánicos nocivos, consumo de energía bajo y rápido, una operación fácil y con posibles ampliaciones, desafortunadamente los Li

						utilizados tienen un costo elevado lo que se puede modificar sintetizando los líquidos o recuperando los utilizados.
Fuente: Simultaneous extraction, transformation and purification of psoralen from fig leaves using pH-dependent ionic liquid solvent based aqueous two-phase system – 2017 - https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652617324927						
Te de vid chino	Hojas	Proceso en columna cromatográfica	1-alkil-3 metil imidazolio bromuro ([Emim] Br), butilo ([Bmim] Br) hexilo ([Hmim] Br) y octilo ([Omim] Br)) Cloruro de 1-alkil-3-metilimidazol ([Emim] Cl) butilo ([Bmim] Cl) hexilo ([Hmim] Cl)) Hexafluorofosfato de 1-alkil-3-metilimidazolio ([Emim] PF ₆) butilo ([Bmim] PF ₆)); 1-butyl-3-metil imidazolio ([Bmim] OTF) ferrato de cloro ([Bmim] FeCl ₄) 1-etil-3-metil imidazolio ([Emim]SO ₄ CH ₂ CH ₃))	35	Dihidromiricetina	Durante la evaluación se tienen en cuenta factores como tiempo de ultrasonido, relación líquido-sólido y la concentración del Li los cuales pueden afectar el rendimiento al utilizar los diferentes Li de igual manera se puede apreciar que la no polaridad de estos aumenta la cadena de carbono lo que favorece la extracción del compuesto, finalmente se cuantifican rendimientos hasta en un 40 % y una reducción en el tiempo de extracción teniendo reducción de costos y favorecimiento ambiental.
Fuente: Two green approaches for extraction of dihydromyricetin from Chinese vine tea using β -Cyclodextrin-based and ionic liquid-based ultrasonic-assisted extraction methods – 2019 - https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960308518309192						

Te hindú	Hojas	Separación magnética	e1-alquil-3-metilimidazolio (C _n MIMFeCl ₄ , n=1~5) C ₃ MIMFeCl ₄	25	Polifenoles	Se determinó la eficiencia del proceso utilizando Li y comparando el rendimiento con disolventes tradicionales ya que se obtuvo una mayor cantidad de polifenoles, adicional se logró reutilizar el Li de manera satisfactoria después de su uso manteniendo estables los componentes antioxidantes del té.
Fuente: Systematic investigation for extraction and separation of polyphenols in tea leaves by magnetic ionic liquids – 2018 - https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/jsfa.8983						
Herba Artemisiae Scoparia	Toda laplanta	Sistema de cromatografía HPLC YL9100	[EMIM] [Br] [BMIM] [Br] [HMIM] [Br] [DMIM] [Br] [BMIM] [BF ₄] [BMIM] [PF ₆] [BMIM] [Tf ₂ N]	30, 40, 50, 60, 70, 80	Compuestos bioactivos, rutina, quercetina y escoparona	El uso de Li con diferentes longitudes de cadena de alquilo permitieron aumentar la extracción de e rutina, quercetina y escoparona teniendo una influencia positiva favoreciendo la optimización de procesos de extracción.
Fuente: Optimized extraction of bioactive compounds from Herba Artemisiae Scopariae with ionic liquids and deep eutectic solvents – 2017 - https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10826076.2017.1322522						
Brezo	Flores	Extracción simple	E 1-butyl-3-metilimidazolio con tres tipos diferentes de aniones	100	Flavonoides	El rendimiento de la extracción fue mayor cuando se utilizó Li comparado con un procedimiento similar con el uso de etanol 6%,

			[Bmim] cl [Bmim] BF ₄ [Bmim] PF ₆			elcación imidazolio fue de gran importancia en el proceso de extracción por la presencia de su estructura aromática permitió fuertes interacciones con polarizables y analitos aromáticos.
Fuente: Screening of ionic liquids for extraction of flavonoids from heather – 2017 - https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/14786419.2018.1437441						
Radix Puerariae Lobatae	Raíz	Columna de zafiro de fase reservada	[Bmim] Br [C2OHmim] BF ₄ [COOHmim] BF ₄ [Bmim] OH	30	Pueranin	Li basado en elcación imidazol con el anión Br fue el que aumento positivamente el proceso de extracción después de varios ensayos donde se modificaban factores de trabajo, permitiendo alcanzar un rendimiento de hasta el 99%, esto permite pensar en implementar el método gracias a la reutilización del Li y la eficiencia de este
Fuente: Extraction of Puerarin using Ionic Liquid Based Aqueous Two-Phase Systems – 2012 - https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01496395.2012.659787						
Ponkan (naranja china)	cascara	columna	Variedades de CAAIL colinaa alanina [Ch][Ala]colina serina [Ch] [Ser] colina cisteína [Ch] [Cys]colina prolina [Ch] [Pro] colina ácido aspártico [Ch] [Asp]colina valina [Ch] [Val]	25	flavonoides y pectina	Comparando el procedimiento realizado con diferentes técnicas donde se utilizan disolventes convencionales el rendimiento fue mucho mayor, así como la posibilidad de realizar

			colina leucina [Ch] [Leu] colina fenilalanina [Ch] [Phe] que consisten en catión colina y diferentes aniones de aminoácidos.			extracciones selectivas y respetuosas con el medio ambiente, lleva a pensar en una posible aplicación a nivel industrial.
Fuente: Applications of choline amino acid ionic liquid in extraction and separation of flavonoids and pectin from ponkan peels – 2015 - https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01496395.2016.1143006						
L. aggregata	Raiz	Extracción asistida por ultrasonido	Cloruro de 1-butil-3- metilimidazolio ([Bmim] Cl)el bromuro de 1-butil-3- metilimidazolio ([Bmim] Br) 1-butil-3-metilimidazolio tetrafluoroborato ([Bmim] BF ₄) Hexafluorofosfato de 1-butil-3- metilimidazolio ([BMim]PF ₆) 1- butil-3- metilimitrfluorometanosulfonato de dazolio ([BMim] SO ₃ F ₃) Hidrogenosulfato de 1butil-3- metilimidazolio ([Bmim] HSO ₄) Bromuro de 1-etil-3- metilimidazolio ([Emim] Br) bromuro de 1-hexil-3- metilimidazolio ([Hmim] Br) bromuro de 1-octil-3- metilimidazolio ([Omim] Br)	40	Linderano y norisoboldina	Comparando el procedimiento realizado con diferentes técnicas donde se utilizan disolventes convencionales el rendimiento fue mucho mayor, así como la posibilidad de realizar extracciones selectivas y respetuosas con el medio ambiente, lleva a pensar en una posible aplicación a nivel industrial.

Fuente: A sequential separation of linderane and norisoboldine using supercritical fluid and ionic liquid-based ultrasonic-assisted extraction from Lindera aggregate - 2018 - https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01496395.2018.1486425						
Chamaecyparis obtusa	Hojas y tallo	Extracción asistida por ultrasonido	Líquido iónico a partir de 1-bromodecano, reticulante DVB (12,0 mmol) y el iniciador AIBN(0,15 g)	30	Quercitrina y miricetina	Se pudo determinar que el líquido iónico obtenido tiene una buena distribución de diámetro, así como alta capacidad de absorción lo que es muy conveniente al momento de implementar el método en las diferentes áreas y campos que incluyen la absorción de productos naturales mediante el uso de líquidos iónicos.
Fuente: Facile Preparation of an Ionic Liquid Composite Mesoporous Polymer as a Solid Phase Extraction Adsorbent for the Separation and Purification of Flavonoids from Chamaecyparis obtusa – 2015 - https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00032719.2012.763170						
Chamaecyparis obtusa	Hojas	Método de extracción dispersiva multifase (MPDE)	cloruro de 1-etil-3-metilimidazolio ([EMIM] [Cl]), 1-butil-3-metil-cloruro de imidazolio ([BMIM] [Cl]), cloruro de 1-hexil-3-metilimidazolio ([HMIM][Cl]), cloruro de 1-oxil-3-metilimidazolio ([OMIM] [Cl]), 1-decil-3-metilimidazo-cloruro de litio ([DMIM] [Cl]), bromuro de 1-oxil-3-metilimidazolio ([OMIM] [Br]),	60	Flavonoides	Se logró evidenciar un método eficiente, sencillo y amigable con el medio ambiente lo que facilita la extracción de flavonoides, así como diferentes compuestos polifenólicos de muestras biológicas con un grado de complejidad alto.

			tetrafluoroborato de 1-oxil- 3- metilimidazolio ([OMIM][BF ₄])			
Fuente: Combined Application of Ionic Liquid and Hybrid Poly (Ionic Liquid)-Bonded Silica: An Alternative Method for Extraction, Separation and Determination of Flavonoids from Plants – 2012 - https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00032719.2012.721106						
Valeriana officinalis L.	Flores y hojas	Extracción de Soxhlet	ion 1-alquil-3-metilimidazolio en combinación con cloruro {[C ₄ C ₁ im] Cl, [C ₆ C ₁ im] Cl, [C ₁₀ C ₁ im] Cl, [C ₁₂ C ₁ im] Cl}, bromuro {[C ₁₂ C ₁ im]Br}, sacarinato {[C ₄ C ₁ im] [Sac]} y acesulfamato {[C ₄ C ₁ im] [Ace]} como aniones	40	Ácidos sesquiterpénicos	La variedad en los diferentes datos obtenidos depende directamente del tipo de anión, así como el tipo de catión utilizado en el líquido iónico, igualmente el tiempo de extracción y temperatura.
Fuente: Ionic liquid-assisted micellar extraction for the quantitative determination of sesquiterpenic acids in Valeriana officinalis L. (Caprifoliaceae) – 2016 - https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01496395.2017.1295995						
Schisandrae chinensis	Fruto	Sistema analítico UHPLC	1-butil-3- metilimidazoliobromurode ([C ₄ MIM] Br), 1-hexil-3- metilimidazoliobromurode ([C ₆ MIM]Br), 1-octil-3- metilimidazoliobromurode ([C ₈ MIM] Br), 1-decil-3- metilimidazoliobromurode ([C ₁₀ MIM]Br), 1-dodecil -3-methylimida-	45	Lignanos	Según los resultados obtenidos se evidencia un mayor rendimiento de los líquidos iónicos comparados con el metanol, lo que permite demostrar la eficiencia de estos

			zoliombromuro de ([C ₁₂ MIM]Br)			
--	--	--	---	--	--	--

Fuente: Nonlinear response surface in the study of aqueous two-phase system and ionic liquid extraction of lignans from Schisandrae chinensis and mechanism clarification – 2019 - <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01496395.2019.1590413>

Conclusiones

Este estudio tuvo como objetivo la identificación del uso de los líquidos iónicos como disolventes de la nueva generación, para la extracción de productos naturales teniendo en cuenta la revisión documental de diferentes artículos y literaturas que relacionan el uso de los mismos, después de realizar la búsqueda detallada de la información adecuada podemos llegar a determinar que en la mayoría de los casos el uso de líquidos iónicos intensificó el rendimiento de cada uno de los procesos de extracción o facilitó la reutilización sin tener pérdida en el producto final.

Al comparar el rendimiento y desperdicio en cada uno de los estudios consultados se evidenció un cambio positivo en los diferentes procesos de extracción utilizados ya sea proceso de extracción simple hasta proceso de extracción asistida por microondas, en estas técnicas se realizaron pruebas de manera comparativa utilizando disolventes de uso tradicional y líquidos iónicos aplicando las variables correspondientes a temperatura con el fin de mantener una trazabilidad que permita llegar a la evaluación de rendimiento y favorabilidad de costo en cada uno de los procesos..

En diferentes oportunidades se logró realizar extracciones de manera selectiva logrando individualizar diferentes productos que requieren técnicas y procedimientos de extracción más detallados y logrando aplicar métodos efectivos con alto rendimiento y de manera favorable para el cuidado del medio ambiente.

El uso de los líquidos iónicos determinados como lo son 1-butil-3-metilimidazoliobromuro de ([C4MIM] Br), 1-hexil-3-metilimidazoliobromuro de ([C6MIM]Br), 1-octil-3-metilimidazoliobromuro de ([C8MIM Br), 1-decil-3-metilimidazoliobromuro de ([C10MIM]Br), 1-dodecil -3-methylimida-zolium bromuro de ([C12MIM]Br) en sistemas de

extracción analíticos permitieron lograr un mayor rendimiento en el proceso comparado con solventes de uso cotidiano como lo es el metanol.

Recomendaciones

La química verde como ciencia favorable para beneficiar el cuidado del medio ambiente requiere una mayor profundización en diferentes aspectos académicos ya que así se podría incentivar la innovación y cambio ideológico al momento de aplicar la química en diversos campos de investigación.

A pesar de que los líquidos iónicos están siendo objeto de diversos estudios e investigaciones que buscan su aplicabilidad en favor del medio ambiente y el desarrollo de procesos con un mayor rendimiento, este campo aún tiene grandes vacíos por lo que es importante mantener una línea de investigación continua teniendo en cuenta los antecedentes concluyentes que se tienen en cada uno de los estudios que se consultaron para el desarrollo del presente documento.

A pesar del costo inicial que se tiene establecido para realizar un cambio de disolvente tradicional por un líquido iónico, se debe tener en cuenta el rendimiento y efectividad que representa, ya que aun después de realizar una extracción la reutilización de los residuos y la recuperación del líquido iónico utilizado representa una inversión con beneficio final.

Finalmente se evidenció que el valor agregado en cada uno de los procesos aplicados en los estudios y artículos de consulta es el rendimiento y la recuperación de residuos reutilizables, esto representa una gran ventaja en un determinado momento de aplicación a nivel industrial, diversas técnicas que utilizaron líquidos iónicos aún están a nivel laboratorio y un escalamiento industrial permitiría dar relevancia significativa en las líneas de investigación existentes.

Referencias

- Castillo, F. (2015). Ionic Liquids: Methods of Synthesis and Applications. *Conciencia Tecnológica*, 49(49), 52–56. <https://www.redalyc.org/pdf/944/94438997007.pdf>
- Rodriguez, C, I. (2017). Líquidos iónicos. propiedades, síntesis y aplicaciones. *Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Educación a Distancia España*.
<https://es.scribd.com/document/580841925/LIQUIDOS-IONICOS-2>
- Koel, M. (2005). Ionic liquids in chemical analysis. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 35(3), 177–192. <https://doi.org/10.1080/10408340500304016>
- Rostagno, M. J. P. (2013). Natural product extraction Principles and applications. *Google Books*
https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=eFt9EAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT21&dq=Natural+product+extraction+Principles+and+applications.+&ots=Rv-x8yK6Gc&sig=5zyP1qL5vsZe5L6y7AprYkcT_XU&redir_esc=y#v=onepage&q=Natural%20product%20extraction%20Principles%20and%20applications.&f=false
- Pájaro, N. P., Verbel, J. T. (2011). Química verde: un nuevo reto. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 21(2), 169–182.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-81702011000200009
- Pérez de los Rios, A. (2007). Los líquidos iónicos como nuevos medios de reacción y separación en reacciones de transesterificación enzimáticas. *Universidad de Murcia*, 1–434.
<https://www.tdx.cat/handle/10803/10937>
- Baltazar, Q. Q., Chandawalla, J., Sawyer, K., & Anderson, J. L. (2007). Interfacial and micellar properties of imidazolium-based monocationic and dicationic ionic liquids. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, *Tesis Doctorals en Xarxa* 302(1–3), 150–156. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2007.02.012>

- Días, J., Martínez, R., Barrero, R. (2012). Líquidos iónicos: propiedades físicoquímicas y aplicación potencial en el mejoramiento de crudos pesados Ionic liquids: physicochemical properties and potential application in upgrading of heavy crude oils. *Scielo*
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-100X2012000100008
- Doria Serrano, M. del C. (2009). Química verde: un nuevo enfoque para el cuidado del medio ambiente. *Educación Química*, 20(4). *Revista Universidad Autónoma de México* 412–420
[https://doi.org/10.1016/s0187-893x\(18\)30044-2](https://doi.org/10.1016/s0187-893x(18)30044-2)
- Koel, M. (2005). Ionic liquids in chemical analysis. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 35(3), 177–192. <https://doi.org/10.1080/10408340500304016>
- Antignac, E., Nohynek, G., Clouzeau, J., Toutain, H. (2011). Safety of botanical ingredients in personal care products/cosmetics *Food Chem. Toxicol. National Library of Medicine*.
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21111022/>
- Agarwal, A., Shen, S., Agarwal, S., Rao, A. (2001). Lycopene Content of Tomato Products: Its Stability, Bioavailability and In Vivo Antioxidant Properties *Food, Journal of Medicinal Food., Vol 4, N° 1* <https://www.liebertpub.com/doi/10.1089/10966200152053668>
- Silva, F., Gamarra, F., Oliveira, A., Cabral, F. (2008). Eng. Extraction of bixin from annatto seeds using supercritical carbon dioxide. *Scielo – Brasil*.
<https://www.scielo.br/j/bjce/a/dTJrHNZWcnJRNDpcNShcwGB/?lang=en>
- Melo, S., Costa, G., Viana, A., Pessoa, J. (2009). Supercritical fluid extraction from vegetable materials. *The Journal of Supercritical Fluids, Vol 29*.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0896844614000928?via%3Dihub>
- Rostagno, M., Villares, A., Guillamon, E., Garcia-Lafuente, A., Martínez, J. Sample preparation for the analysis of isoflavones from soybeans and soy foods. (2009) *National Library of*

Medicine. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19041977/>

Antignac, E., Nohynek, G., Clouzeau, J., Toutain, H. (2011). Safety of botanical ingredients in personal care products/cosmetics *Food Chem. Toxicol., Food and Chemical Toxicology Vol 49. Pag 234*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0278691510006800>

Japon-Lujan, R., Luque de Castro, M., Chromatogr, J. (2006) Superheated liquid extraction of oleuropein and related biophenols from olive leaves. *Journal of Chromatography A. Vol 1136 pag. 185 – 191*.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S002196730601867X>

Borras-Linares, I., Arraez-Roman, D., Herrero, M., Ibañez, E., Segura-Carretero, A., Fernandez-Gutierrez, A. (2011). Comparison of different extraction procedures for the comprehensive characterization of bioactive phenolic compounds in *Rosmarinus officinalis* by reversed-phase high-performance liquid chromatography with diode array detection coupled to electrospray time-of-flight mass spectrometry, *National Library of Medicine*.

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21835416/>

Takeuchi, T., Pereira, C., Braga, M., Maróstica Jr, M., Meireles, A. (2009). Intensification of bioactive compounds extraction from medicinal plants using ultrasonic irradiation – Taylor & Francis Group, Boca Raton, *Scienceopen.com, p. 137*.

<https://www.scienceopen.com/document?vid=0e2fb629-e9ae-4089-9914-eb9a625a5a7b>

Esclapez, M., Garcia-Perez, J., Mulet, A., Carcel, A., (2011). Ultrasound-assisted extraction of natural products. Repositorio Institucional, Universitat Politecnica de Valencia.

<https://riunet.upv.es/handle/10251/70887>

Mason, T., Riera, E., Vercet, A., Lopez-Buesa, P. (2005). Application of Ultrasound. *Emerging Technologies for Food Processing, ed. Da-Wen Sun, Academic Press. p. 323*.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780126767575500153>

Suslick, K., Eddingsaas, N., Flannigan, D., Hopkins S. (2011). Extreme conditions during multibubble cavitation: Sonoluminescence as a spectroscopic probe. *Ultrasonics Sonochemistry*. Vol., 18 pag, 842 – 846.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1350417710002634>

W. Lauterborn, W., Kurz, T. (2010). Physics of bubble oscillations. *Iop science*

<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0034-4885/73/10/106501>

Povey, M., Mason, T (1998) *Ultrasound in Food Processing*, Springer, *New York Blackie Academic & Professional*

Feng, H., Barbosa-Canovas, G., Weiss, J. (2010). *Ultrasound Technologies for Food and Bioprocessing*, Springer,

Rostagno, M. (2013) *Natural product extraction Principles and applications*. *RSC Publishing*.

Suslick, K., Eddingsaas, N., Flannigan, D., Hopkins, S., Xu, H. (2011). Extreme conditions during multibubble cavitation: Sonoluminescence as a spectroscopic probe, *Ultrasonics Sonochemistry*, Vol 18, pag, 842.

<https://suslick.scs.illinois.edu/documents/ultrasonsonochem.2011842.pdf>

Tiwari, B., O'Donnell, C., Patras, A., Cullen, P., Agric, J. (2008). Anthocyanin and Ascorbic Acid Degradation in Sonicated Strawberry Juice. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/jf801824v>

Santos, H., Lodeiro, C., Capelo-Martinez, J. (2008). *Ultrasound in Chemistry: Analytical Applications*, Wiley, *Ultrasound in Chemistry: Analytical Applications* p. 171. *Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA*,

Sun, Y., Liu, D., Chen, J., Ye, X., Yu, D. (2011) Effects of different factors of ultrasound

treatment on the extraction yield of the all-trans- β -carotene from citrus peels. *National Library of Medicine, Vol 18, pag 243*. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20637676/>

Lorimer, J., Mason, T., Chem. (1987). Some Physico-Chemical Aspects of So-Called “Homogeneous Sonochemistry” Vol 16, pag 239. *Dordrecht: Kluwer Academic Publishers*

Palma, M., Barroso, C.,(2002) Ultrasound-assisted extraction, and determination of tartaric and malic acids from grapes and winemaking by-products, *Analytica Chimica Acta*.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0003267001015276>.

Zhang, Q., Zhang, Z., Yue, X., Fan, X., Li, T., Chen, F. (2009). Two angiotensin-converting enzyme-inhibitory peptides from almond protein and the protective action on vascular endothelial function, *National Library of Medicine. Vol 116, pag, 513*.
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27502043/>

Ganzler, K., Salgo, A. Valko, K. (1986). Microwave extraction. A novel sample preparation method for chromatography. *Journal of Chromatography. Vol, 371 pag, 299-306*.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0021967301947144>

Wang, L. and Weller, C.L. (2006). Recent Advances in Extraction of Nutraceuticals from Plants. *Trends in Food Science and Technology, Vol 17, pag, 300-312*.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924224405003559>

Letellier, M., Budzinski, H.,(1999) Analysis Microwave assisted extraction of organic compounds, *Analisis Vol, 27, Number 3, Isotopic analysis*
<https://doi.org/10.1051/analisis:1999116>

Sparr Eskilsson, C., Björklund, E., Chromatogr, J. (2000). Analytical-scale microwave-assisted extraction. *National Library of Medicine*. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11192157/>

Ganzler, K., Szinai, I., Salgo, A. (1990). A, Effective sample preparation method for extracting

biologically active compounds from different matrices by a microwave technique. *Journal of Chromatography A* Vol 520, pag 257.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0021967390851099>

Camel, V. (2000). Microwave-assisted solvent extraction of environmental samples. *TrAC Trends in Analytical Chemistry* Vol 19, pag 229 – 248

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0165993699001855>

Kaufmann, B., Christen, P. (2002). Recent extraction techniques for natural products: microwave-assisted extraction and pressurised solvent extraction, *Phytochemical Analysis*.

<https://analyticalsciencejournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/pca.631>

Kingston, H., Jassie, L. (1988). Introduction to Microwave Sample Preparation theory and practice, *American Chemical Society, Washington, DC*,

Camel, V. (2001). Analyst, Recent extraction techniques for solid matrices—supercritical fluid extraction, pressurized fluid extraction and microwave-assisted extraction: their potential and pitfalls. *National Library of Medicine*. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11478658/>

Baghurst, D., Mingos, D., Chem, J. (1999). Superheating effects associated with microwave dielectric heating. *Journal of the Chemical Society, Chemical Communications*

<https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/1992/c3/c39920000674>

Starmans, D., Nijhuis, H. (1996). Trends Food Sci. Technol. Extraction of secondary metabolites from plant material. *Trends in Food Science & Technology* Vol 7, Pag 191 – 197

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0924224496100200>

Rostagno, M., Villares, A., Guillamo'n, E., Garcia-Lafuente, A., Martinez, J. (2009). A Sample preparation for the analysis of isoflavones from soybeans and soy foods, *Journal of Chromatography A* (2009)

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0021967308020128>

Gao, M., Huang, W., RoyChowdhury, M., Liu, C. (2007). Acta, Microwave- assisted extraction of scutellarin from *Erigeron breviscapus* Hand-Mazz and its determination by high-performance liquid chromatography. *Analytica Chimica Acta Vol 591, pag 161 – 166.*

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0003267007007003?via%3Dihub>

Zhou, H., Liu, C. J. (2006). Microwave-assisted extraction of solanesol from tobacco leaves. *National Library of Medicine.* <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16919654/>

Kratchanova, M., Pavlova, E., Panchev, I. (2004). The effect of microwave heating of fresh orange peels on the fruit tissue and quality of extracted pectin. *Carbohydrate Polymers, Vol 56, pag 181 – 185*

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0144861704000542>

Croteau, L., Akhtar, M., Belanger, J., Jocelyn Pare, J. (1994). Microwave-assisted process (MAP™): a new tool for the analytical laboratory. *TrAC Trends in Analytical Chemistry, Vol 13, pag 176 – 184*

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0165993694870330?via%3Dihub>

Routray, W., Orsat, V. (2012). Food Bioprocess Technol. Microwave-Assisted Extraction of Flavonoids: A Review. *Food and Bioprocess Technology Vol 2, pag 409 – 424.*

<https://www.infona.pl/resource/bwmeta1.element.springer-c235b64a-a226-383f-b6f0-10105522d6ae#>

Sahraoui, N., Vian, M., El Maataoui, M., Boutekedjiret, C., Chemat, F. (2011). Valorization of citrus by-products using Microwave Steam Distillation. *Innovative Food Science & Emerging Technologies. Vol. 12 pag. 163-170*

<https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20113182739>

- Desai, M., Parikh, J., Parikh, P. (2010). Sep. Purif. Rev. Extraction of Natural Products Using Microwaves as a Heat Source, *Taylor y francis On line. Vol 39.*
<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15422111003662320>
- Hemwimon, S., Pavasant, P., Shotipruk, A. (2007). Microwave- assisted extraction of antioxidative anthraquinones from roots of *Morindacitrifolia*. *Separation and Purification Technology. Vol 54, pag 44 - 50*
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1383586606002589?via%3Dihub>
- Xiao, W., Han, L., Shi, B. (2008). Technol. Microwave-assisted extraction of flavonoids from *Radix Astragali*. *Separation and Purification Technology. Vol 62, pag 614 – 618.*
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1383586608001469>
- Pan, X., Liu, H., Jia, G., Shu, Y. (2000). Microwave-assisted extraction of glycyrrhizic acid from licorice root. *National Library of Medicine.* <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10828417/>
- Anastas, P., Warner, J. (1998). *Green Chemistry: Theory and Practice, Oxford University Press: New York,*
- Hu, YL., Hu, K., Kong, LM., Xia, F., Yang, XW., Xu, G. (2019). Palladium- Catalyzed Enantioselective C–H Aminocarbonylation: Synthesis of Chiral Isoquinolinones. *OL Organic letters.* <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.orglett.9b00315>
- Song, W., Qiao, X., Chen, K., Wang, Y., Ji, S., J. Feng, K. Li, Y. Lin, M. Ye. (2017). Biosynthesis-Based Quantitative Analysis of 151 Secondary Metabolites of Licorice To Differentiate Medicinal *Glycyrrhiza* Species and Their Hybrids. *Analytical Chemistry*
<https://europepmc.org/article/med/28192986>
- Johnson, K. E. (2007). What's an Ionic Liquid? *The Electrochemical Society Interface, 38-41.*
https://www.electrochem.org/dl/interface/spr/spr07/spr07_p38.pdf

Castillo Borja, F. (2015). Líquidos Iónicos: Métodos de Síntesis y Aplicaciones. *Conciencia Tecnológica*, Vol 49, pag,52-56. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94438997007>