

Kevin Alejandro Avilés Betanzos

Manuel Octavio Ramírez Sucre

Ingrid Mayanin Rodríguez Buenfil

RESUMEN

Desde tiempos antiguos, se han empleado métodos como el prensado para extraer compuestos útiles de las plantas. Con el avance de la ciencia, estos métodos dieron paso al uso de solventes orgánicos, que facilitaron la extracción de carbohidratos, proteínas, vitaminas y otros compuestos esenciales. Sin embargo, su toxicidad y alto impacto ambiental motivaron la búsqueda de alternativas sostenibles.

En 2011, los solventes eutécticos profundos (DES) emergieron como una alternativa sostenible, basada en los principios de la química verde. Estos solventes, están constituidos por sólidos (naturales y sintéticos) que al mezclarse y calentarse producen un líquido viscoso, por la formación de puentes de hidrógeno. Sin embargo, aún con la gran capacidad de extraer compuestos bioactivos, se encontraron posibles riesgos en la salud de quienes pudieran llegar a consumirlos.

Lo anterior llevó al desarrollo de los solventes eutécticos naturales profundos (NADES), conformados por aminoácidos, azúcares y otros metabolitos únicamente naturales. Los NADES destacan por ser seguros, económicos y fáciles de preparar, además de permitir la extracción dirigida de compuestos bioactivos como polifenoles. Su aplicación elimina procesos de purificación, reduciendo costos y contaminación.

Los NADES marcan el inicio de una nueva era en la extracción sostenible, combinando eficiencia y respeto por el medio ambiente.

Palabras clave: Solventes del Futuro, Química verde, Extracción sostenible, NADES



Desde la antigüedad, hemos recurrido a métodos para extraer sustancias de las plantas y aprovechar sus beneficios. El prensado fue uno de los primeros métodos para obtener extractos de plantas, el cual consiste como su nombre lo dice en presionar la o las partes de interés de la planta, hasta obtener un líquido, por ejemplo, el aceite de oliva se obtiene a partir del prensado de los frutos del olivo . Con el avance de la ciencia, estos métodos dieron paso a los solventes orgánicos, permitiendo una extracción eficiente de carbohidratos, proteínas, lípidos, vitaminas, entre otros, para su análisis y aplicación. Sin embargo, esta eficiencia trajo consigo costos ambientales y de salud que en la actualidad buscamos superar (Carreón-Hidalgo, García-Alvarado, & Salgado-Cervantes, 2024).

Pero ¿qué es un solvente?, Un solvente es una sustancia, generalmente líquida, que tiene la capacidad de dispersar otra sustancia sin alterar su composición química. En una solución,

el solvente es el componente en mayor proporción y permite que el soluto (la sustancia disuelta) se distribuya uniformemente.

El agua es el solvente universal más usado, pero no disuelve sustancias como grasas y aceites (CONAGUA, 2017). Por ello, se emplean solventes orgánicos como metanol, etanol y hexano, que tienen buena afinidad por ciertos compuestos, pero su alta toxicidad limita su uso, ya que pueden afectar la salud y contaminar el agua (Martínez & Rojas, 2022).

Las propiedades indeseadas de algunos solventes impiden el uso directo de los extractos en productos farmacéuticos, cosméticos y alimentarios, por lo que deben eliminarse con procesos industriales costosos. Esto ha impulsado la búsqueda de alternativas en la química verde, enfocada en desarrollar procesos sostenibles con materias primas





renovables, biodegradables, de bajo impacto tóxico y alto rendimiento de extracción. (Welton, 2015).

Esta búsqueda rindió frutos en el año 2011, identificándose una familia de solventes verdes, los solventes eutécticos profundos o DES (Benvenuti, Zielinski, & Ferreira, 2019). Los DES tienen la particularidad de que están formados de dos o más componentes sólidos, que una vez mezclados y calentados, se obtiene un solvente líquido viscoso.

Las características de los DES, derivan de los puentes de hidrógeno (PuH) que se forman entre sus componentes. Estos PuH se comportan de forma similar a los presentes entre las moléculas del agua en donde la parte positiva (hidrogeno) de una molécula de agua se une a la parte negativa (oxigeno) de otra molécula de agua (Figura 1).

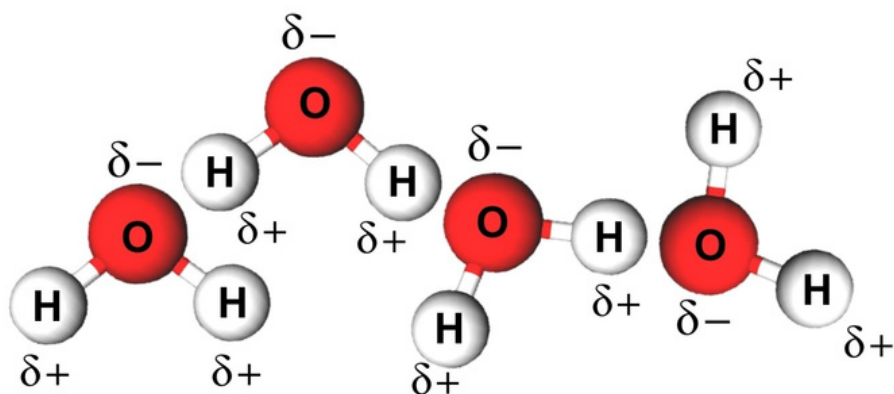


Figura 1. Representación gráfica de la formación de puentes de hidrógeno entre moléculas de agua. Fuente: Elaboración propia.



Estos PuH permiten que los componentes del DES permanezcan unidos, pero también que puedan fluir; si bien son uniones relativamente fuertes y estables, no hay que confundirlos con enlaces covalentes que son uniones mucho más fuertes como las que se forman, por ejemplo, entre el carbono y oxígeno para formar dióxido de carbono (CO_2).

Retomando la idea sobre la formación de PuH entre los componentes del DES, es importante mencionar la presencia de dos grupos, los aceptores de hidrógeno (HBA) y los donadores de hidrógeno (HBD).

Para comprender un poco mejor los que son los puentes de hidrógeno entre los HBA y HBD imagina que son como un **pegamento temporal** que une dos piezas:

- **Los HBD** son como las piezas que tienen el **pegamento** (hidrógenos), para hacer la conexión.
- **Los HBA** son como las piezas que tienen una **superficie porosa o receptiva**, listas para atrapar ese material pegajoso (electrones libres).

Esta una unión que puede permanecer de esta forma por mucho tiempo siempre y cuando no se aplique una fuerza suficiente para romperla, mientras que bajo esta misma analogía el enlace covalente sería la unión de dos piezas utilizando clavos o tornillos que permiten una unión mucho más fuerte y que la fuerza necesaria para separarlo es mucho mayor a la que se utilizaría para separar un puente de hidrógeno.

Los DES destacan por mejorar la extracción de compuestos bioactivos de diversas fuentes, pero algunos componentes pueden dañar la salud de quien los consume. Sin embargo, se identificó una subfamilia compuesta únicamente por metabolitos naturales, como aminoácidos, azúcares, sales y alcoholes, denominada Solventes Eutécticos Naturales Profundos (NADES). En estos, el principal HBA es el cloruro de colina, una sal presente en organismos vivos, combinable con HBD naturales como glucosa, fructosa, prolina y glicerol.





Los NADES han revolucionado la forma de extraer compuestos bioactivos por el bajo costo de sus componentes y la facilidad de preparación (Mezclar y calentar, Figura 2). Una de las ventajas es la personalización, por ejemplo, aumentar o disminuir la cantidad de donador y/o aceptor de hidrógeno, así como una mayor o menor adición de agua, influye en una mejor afinidad de algún compuesto de interés, es decir, la extracción se puede dirigir hacia un compuesto como polifenoles, vitamina C, carotenoides, entre otros (Carreón-Hidalgo, García-Alvarado, & Salgado-Cervantes, 2024)

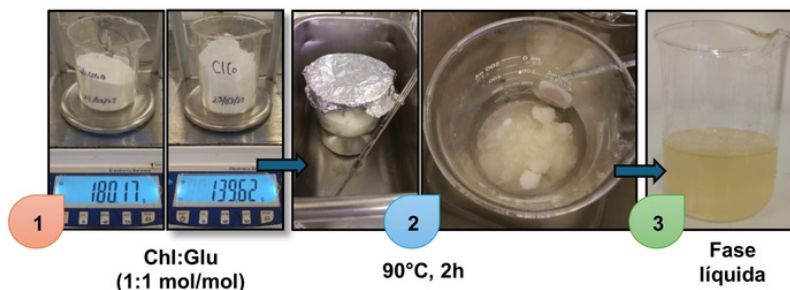


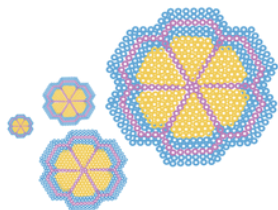
Figura 2. Proceso de elaboración de un solvente eutéctico natural profundo. 1) Pesaje de sus componentes; 2) Mezclado y calentamiento; 3) obtención de la fase líquida viscosa. Chl = Cloruro de colina; Glu = Glucosa; mol/mol = Proporción molar; °C = Grados Celsius; h = hora (s). Fuente: Elaboración propia

Otra ventaja de los NADES es que, una vez realizada la extracción, se puede utilizar el extracto directamente para consumo o como ingrediente para la formulación de productos como nutraceuticos o alimentos funcionales, cosméticos o cremas. A diferencia de los solventes tradicionales, los NADES no solo reducen la contaminación, sino que también eliminan la necesidad de costosos procesos de purificación. Esto significa productos más asequibles y menos residuos tóxicos en el planeta.

Los solventes del futuro no solo nos acercan a un mundo más sostenible, sino que también nos permiten imaginar un futuro donde la ciencia y el medio ambiente van de la mano. ¿Qué otros avances nos esperan con esta revolución verde en la extracción de compuestos bioactivos?

CONCLUSIÓN

Los NADES representan una innovación clave en el campo de la extracción de compuestos bioactivos, combinando eficacia, sostenibilidad y seguridad. Su capacidad para reducir costos, minimizar el impacto ambiental y adaptarse a las necesidades específicas de extracción los convierte en los solventes del futuro. Este avance no solo refuerza el compromiso con la química verde, sino que también orienta el camino hacia una producción más limpia y accesible de productos nutraceuticos, cosméticos y alimentarios, mostrando cómo la ciencia puede ser una aliada en la construcción de un mundo más sostenible.



Kevin Alejandro Avilés Betanzos ¹

keaviles_al@ciatej.edu.mx

Manuel Octavio Ramírez Sucre ¹

oramirez@ciatej.mx

Ingrid Mayanin Rodríguez Buenfil ¹

irodriguez@ciatej.mx

¹ Centro Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A.C., Subsele Sureste, Tablaje Catastral 31264, Km. 5.5 Carretera Sierra Papacal-Chuburná Puerto, Parque Científico Tecnológico de Yucatán.

BIBLIOGRAFÍA

- Carreón-Hidalgo, A., García-Alvarado, M. A., & Salgado-Cervantes, M. A. (2024). Solventes eutécticos profundos naturales: Aplicaciones en la extracción de compuestos bioactivos. Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería. Recuperado el 11 de febrero de 2025, de <https://smmb.mx/wp-content/uploads/2024/07/Carreon-Hidalgo-et-al.pdf>
- Comisión Nacional del Agua, CONAGUA (2017). Las propiedades del agua. Gobierno de México. Recuperado el 12 de febrero de 2025, de <https://www.gob.mx/conagua/articulos/las-propiedades-del-agua>
- Benvenuti, L., Zielinski, A. A. F., & Ferreira, S. R. S. (2019). Which is the best food emerging solvent: IL, DES or NADES? Trends in Food Science & Technology, 90, 133–146. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.06.003>
- Mora-Barrantes, Jose Carlos, Morera-Ramos, Leticia, Ulate-Salas, Melany, Núñez-Agüero, Valery, Acuña-Salazar, Edwin, & Cordero-Carvajal, Mariel. (2022). Clasificación del riesgo químico de solventes orgánicos mediante la aplicación del método "CHEM21 selection guide of classical and less classical-solvents. Revista Tecnología en Marcha, 35(1), 28–43. <https://dx.doi.org/10.18845/tm.v35i1.5370>
- Welton, T. (2015). Solvents and sustainable chemistry. Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 471(2183), 20150502. <https://doi.org/10.1098/rspa.2015.0502>