

Parabenos en agua: Una revisión usando Tree of Science

*

Paraben in Water: A Review Using Tree of Science

Recibido: junio 25 de 2022 - Evaluado: septiembre 18 de 2022 - Aceptado: noviembre 23 de 2022

Ana Marcela Ruiz-Montilla **
Roby Esneyder Franco-Gómez***
Viviana Andrea Morales-Sánchez****
Mary Luna Zuluaga-Buritica*****

Para citar este artículo / To cite this Article

A. M. Ruiz-Montilla, R. E. Franco-Gómez, V. A. Morales-Sánchez, Mary Luna Zuluaga-Buritica “Parabenos en agua: Una revisión usando Tree of Science” Revista de Ingenierías Interfaces, vol. 5, no.2, pp.1-17, 2022.

Resumen

Aunque los parabenos son disruptores endocrinos y son bioacumulables en el organismo, son altamente usados en la industria farmacéutica y la literatura científica alrededor de este tema está fragmentada y las revisiones actuales tienen un enfoque narrativo. El objetivo de este artículo es entender la evolución de las diferentes discusiones sobre parabenos. Se realizó una consulta en Scopus y se aplicó el algoritmo de Tree of Science. Los resultados se muestran en forma de raíz, tronco y ramas. Estas últimas identifican las tres temáticas más importantes, que fueron: técnicas químicas y analíticas de remoción de parabenos en diversas matrices, los cuerpos de agua y su relación con la presencia de parabenos catalogados como contaminantes emergentes. La última subárea es la identificación de parabenos utilizando técnicas cromatográficas y preparación de muestras miniaturizadas. En general, se presenta una discusión alrededor del impacto de los parabenos en la salud humana.

Palabras clave: Parabenos, agua, contaminantes emergentes, Tree of Science, cienciometría.

*Artículo inédito: “Parabenos en agua: Una revisión usando Tree of Science”.

**Correo electrónico: ana.ruiz33184@ucaldas.edu.co, <https://orcid.org/0000-0002-7620-8188>, Universidad de Caldas, Colombia.

*** Correo electrónico: robysneider@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0230-058X>, Universidad de Caldas, Colombia.

**** Correo electrónico: viviana.morales@ucaldas.edu.co, <https://orcid.org/0000-0002-5081-8228>, Universidad de Caldas, Colombia.

***** Correo electrónico: luna.zuluaga@ucaldas.edu.co, <https://orcid.org/0000-0003-0262-5031>, Universidad de Caldas, Colombia.

Artículo de Revisión. Ana Marcela Ruiz-Montilla, Roby Esneyder Franco-Gómez, Viviana Andrea Morales-Sánchez, Mary Luna Zuluaga-Buritica.

Abstract

Although parabens are endocrine disruptors and bioaccumulate in the body, they are widely used in the pharmaceutical industry and the scientific literature on this subject is fragmented and current reviews have a narrative approach. The objective of this article is to understand the evolution of the different discussions about parabens. A query was made in Scopus and the Tree of Science algorithm was applied. The results are displayed in the form of root, trunk, and branches. These last ones identify the three most important themes, which were: chemical and analytical techniques for removing parabens in various matrices, bodies of water, and their relationship with the presence of parabens cataloged as emerging contaminants. The last sub-area is the identification of parabens using chromatographic techniques and the preparation of miniaturized samples. In general, a discussion is presented around the impact of parabens on human health.

Keywords: Parabens, water, emerging pollutants, Tree of Science, scientometrics

1. Introducción

Los contaminantes emergentes tipo parabeno, son considerados disruptores endocrinos, ya que se mimetizan en los receptores celulares generando alteraciones en los organismos debido a su bioacumulación. Se reportan alteraciones como: obesidad, problemas reproductivos, cáncer de mama, cáncer de próstata e incluso algunas alteraciones mentales. La importancia de analizar la concentración de parabenos en aguas radica en el amplio uso en la industria cosmética, productos de aseo personal, productos de aseo del hogar y alimentos, consecuencia de la alta capacidad antimicrobiana de estos contaminantes a medida que incrementa la cadena alifática de los parabenos, también llamados ésteres del ácido p-hidroxibenzoico.

La necesidad de estudiar con lupa el impacto de los parabenos en la salud humana se generó desde hace varias décadas al encontrarse una influencia con tumores mamarios. En este sentido, varias revisiones de literatura han emergido para entender las diferentes controversias que ha ocasionado el tema. Por ejemplo, Wei et al. [1], a través de una revisión narrativa, muestran que los parabenos se han encontrado en diferentes concentraciones en mujeres embarazadas y la población en general, donde países como Estados Unidos o continentes como Europa presentan las mayores concentraciones. Aunque el impacto negativo de los parabenos ha sido algo controversial en la literatura académica, Darbre & Harvey [2] encontraron, en su revisión de literatura, evidencia que sugiere una influencia de los parabenos en los andrógenos y el cáncer de mama femenino. El impacto de los parabenos en la salud humana ha sido un tema controvertido en la ciencia; sin embargo, no se ha identificado una revisión usando técnicas cuantitativas como Tree of Science (ToS) para identificar los principales aportes en esta área.

Los conceptos más importantes sobre parabenos en agua fueron identificados a partir de una consulta en Scopus y, después, se aplicó el algoritmo de Tree of Science (ToS). Esta investigación es novedosa desde la parte metodológica porque utiliza un desarrollo reciente de ToS donde se pueden identificar fácilmente las ramas o subáreas del tema [3]. ToS facilita el proceso de revisión realizando cálculos a través de la teoría de grafos y

mostrando los resultados en forma de raíz, tronco y ramas. Esto facilita a los investigadores identificar rápidamente los artículos más relevantes y pertinentes dentro de un área del conocimiento.

Los resultados mostraron tres grandes áreas sobre los parabenos en el agua. La primera muestra las diferentes técnicas químicas y analíticas de remoción de parabenos en diversas matrices. La segunda, los cuerpos de agua y su relación con la presencia de parabenos catalogados como contaminantes emergentes. Y la tercera, explica la identificación de parabenos utilizando técnicas cromatográficas y preparación de muestras miniaturizadas.

La siguiente sección explica de forma detallada la metodología, después los resultados en forma de raíz, tronco y ramas. Finalmente, las conclusiones y futuras investigaciones.

2. Materiales y Métodos

Para identificar los principales aportes teóricos sobre parabenos en agua se realizó una consulta en Scopus y, a estos resultados, se aplicó el algoritmo de ToS. Scopus es una de las bases de datos más importantes para la comunidad científica [4]. Se utilizaron las palabras “paraben*” en título, y “water” en título, abstract y palabras claves con un rango de fecha superior al año 2000. La búsqueda dio 370 documentos relacionados con el tema los cuales fueron cargados a la nueva plataforma de ToS que incluye el concepto de ramas [3]. Inicialmente ToS fue creada con la base de datos de Web of Science [5] pero recientemente, con los nuevos desarrollos de Core of Science se desarrolló el código para utilizar los datos de Scopus y mostrar las ramas a partir de un análisis de clusterización [6].

ToS ha sido ampliamente utilizado por la comunidad científica en diferentes áreas como educación [7], administración [8]–[10], mercadeo [11]–[13], salud [14], ingeniería [15], [16] y ciencias naturales [17]. Una explicación del proceso de adopción de ToS se encuentra en el trabajo de Eggers et al. [18] y una explicación detallada del algoritmo en el trabajo de Valencia-Hernandez et al. [6].

3. Resultados

Raíz

El primer trabajo que mostró las propiedades tóxicas de los parabenos fue Routledge et al. [19]. Los autores realizaron un análisis de los efectos del alquil hidroxibenzoato en ratas dando como resultado que a una exposición subcutánea produjo una respuesta menor que el 17β -estradiol, implicando su efecto en la salud humana y silvestre. Sin embargo, solo seis años después se pudo identificar que los parabenos permanecen intactos en la mama humana y que aparecían en tumores [20]. Estos hallazgos plantean la necesidad de seguir investigando los efectos de los parabenos en la salud humana inclusive en dosis bajas. Aunque los dos estudios mencionados generaron una controversia sobre la posibilidad de toxicidad de los parabenos, Soni et al. [21] mostró con sus experimentos que había una

relación negativa con respecto a un potencial cancerígeno generando un mayor debate y la necesidad de realizar más estudios. Debido al debate alrededor de la toxicidad de los parabenos, Canosa et al. [22] realizaron experimentos para detectar su existencia en agua clorada. Los resultados mostraron las mismas concentraciones de parabenos en agua ultrapura y agua de grifo, pero detectaron formas dicloradas de metil y propil parabeno en agua de grifo.

Algunas investigaciones han propuesto analizar el agua residual para identificar la existencia de parabenos y sus concentraciones. Por ejemplo, [23] proponen una nueva aplicación con fibra de microextracción en fase sólida y cromatografía de gases para cuantificar parabenos en agua. Los resultados mostraron parabenos en aguas residuales en concentraciones de hasta 3 ng/ml. Kasprzyk-Hordern et al. [24] analizaron la existencia y la cantidad de drogas ilícitas en tres ríos en el Reino Unido (incluyendo fármacos para el cuidado personal que tuvieran parabenos). Los autores proponen la necesidad de tratar mejor las aguas residuales para evitar este tipo de contaminaciones, aunque se den en niveles bajos [25]. En conclusión, aunque existen estudios que apoyan la tesis de que los parabenos no son dañinos para la salud humana [26], también existen estudios que muestran lo contrario [27] generando una incertidumbre sobre el impacto de los parabenos en la salud.

Tronco

Se cree que los parabenos son disruptores endocrinos en los organismos acuáticos y poseen efectos adversos en los seres humanos; por lo tanto, es importante identificar y cuantificar sus fuentes. Eriksson et al. [28] realizaron un análisis de flujo de sustancias mostrando que muchos artículos domésticos contienen parabenos y, aunque, la importación de parabenos está aumentando; la cantidad de productos industriales está disminuyendo. La presencia de parabenos en agua ha generado una alerta mundial, motivando investigaciones que identifican las concentraciones y el impacto de parabenos en aguas residuales. Dobbins et al. [29] determinó que en aguas residuales en países desarrollados los parabenos representan un peligro para los organismos acuáticos.

Debido al impacto de los parabenos en la salud humana, varias investigaciones han enfocado sus esfuerzos en identificar diferentes estrategias para eliminar estos compuestos en el agua. Por ejemplo, Chin et al. [30] estudió la efectividad del polímero reticulado β -CD para absorber los parabenos dando resultados positivos en muestras reales. También se han utilizado membranas debido a que son dispositivos desechables y previenen la contaminación cruzada [31].

Por otro lado, González-Mariño et al. [32] evaluaron la presencia de aguas residuales y la biodegradabilidad de siete parabenos y tres derivados halogenados de metilparabeno. Los parabenos no halogenados tienen vidas medias inferior a 4 días, mientras que los derivados halogenados de metilprepano tenían una vida media de hasta 10 días. Los parabenos se degradan rápidamente en las aguas residuales reales, con vidas medias inferiores a 10 h para el n-butil-parabeno, mientras que las especies dihalogenadas nuevamente resultaron ser más estables, con vidas medias superiores a una semana.

Rama 1 Técnicas químicas y analíticas de remoción de parabenos en diversas matrices.

Los crecientes reportes de concentraciones y el debate científico alrededor del impacto de los parabenos ha generado la necesidad de identificar diferentes tecnologías para la separación de estos elementos en el agua. Entre las técnicas de eliminación de estos contaminantes emergentes se encuentra la degradación catalítica, la cual tiene ventajas en cuanto a la cinética de reacción ya que es más reactiva y rápida. Se destaca la superioridad de los sistemas de fotocátalisis, fenton, persulfato y ozonización; y ozonización catalítica [33].

Se estudió la degradación fotocatalítica de MeP, EtP, PrP y BuP simultáneamente en matrices de agua bajo radiación de luz visible utilizando nano fotocatalizador plasmónico doble de plata revelando que en la proporción molar apropiada de Ag-Ag₃PO₄/ Ag-AgCl mostraron actividades fotocatalíticas superiores al uso de nanocatalizadores plasmónicos simples debido a las resonancias superficiales. El proceso de fotodegradación se controló mediante el uso de un método de extracción en fase sólida combinado con cromatografía de gases y espectrometría de masas, obteniendo un modelo cinético de pseudo primer orden tomando en cuenta los efluentes de la planta de tratamiento de aguas residuales y aguas de grifo evidenciado que los constituyentes de la matriz reducen la eficiencia de degradación cuando son altamente contaminadas [34].

Se estudió la degradación de tres parabenos en una mezcla por medio de fotocátalisis, oxidación catalítica y usando TiO soportados en nanotubos como catalizadores. Con radiación UVA se reportó la eliminación del 50% de parabenos, 35 % para catalizadores NTs_5 y NTs_20, la degradación total de parabenos se logró usando ozonización catalítica. El uso de nanotubos como catalizadores en la ozonización redujo la dosis de ozono requerido, por lo cual se visualiza la influencia positiva en la integración de estos materiales para los procesos avanzados de oxidación. La evaluación de la toxicidad de la mezcla se realizó usando semillas de berro *Lepidium sativum* y la bacteria *Aliivrio fischeri*, considerando a la vía directa de ozono molecular como el principal mecanismo de degradación [35].

Unas mejoras al uso de catalizadores con TiO₂ reportado es el uso de estos catalizadores con N₂. Se estudió la degradación fotocatalítica de etil parabeno bajo radiación solar con un flujo de electrones de $1,3 \times 10^{-4}$ E/m².s. Se destaca que el dióxido de titanio es un polvo por la cual se llevó a reacción sol-gel bajo flujo de amoníaco. Se utilizaron concentraciones de etil parabeno entre 150 y 900 µg/L, las cargas de catalizador oscilaron entre 100 y 1000 mg/L, el pH se varió entre 3 y 9, en matrices (agua ultrapura, agua enriquecida con ácidos, bicarbonatos, agua potable y aguas residuales tratadas secundariamente), además se destaca que para concentraciones de EtP de hasta 300 µg/L, la tasa de degradación se aproxima a una cinética de primer orden, la cual cambia un orden inferior. La degradación incrementa linealmente con el uso de catalizador hasta 750 mg/L y peróxido hasta 100 mg/L. Concluyendo finalmente que condiciones casi neutras (pH= 6,5-7,5) y alcalinas (pH=9) no afectan la degradación producida al reducir a un pH ácido [36].

Se evaluó la eficiencia de remoción de metil, etil y propil parabeno usando radiación ultravioleta con peroxido de hidrogeno, identificando la intensidad de luz ultravioleta incidente de $(1,59 \times 10^{-6}$ Einstein/cm.s), y la longitud del camino óptico de (5,83 cm) de un reactor, se comparó la vida media de descomposición de parabenos y la evolución del pH, arrojando una constante de velocidad de pseudo primer orden, concluyendo que al usar peroxido de hidrogeno a 25 μ M condujo a una eliminación del 80% de propilparabeno (10 mg/L) en un tiempo de reacción de 90 minutos, mientras que se oxido el 505 de metil y etil parabeno [37].

Se investigó bajo la degradación fotocatalítica de metilparabeno ajo luz solar utilizando un metal sintetizado (UiO-66-NH₂, se probaron tres matrices (agua destilada, agua del río Lima y aguas residuales urbanas con una eliminación completa del metilparabeno en 1 H para el agua destilada, eliminación del 70% en matrices de agua natural en 3 Horas de reacción. El estado estacionario del catalizador se logró a las 5 horas, manteniéndose constante por 25H. La degradación fotocatalítica usando este nuevo material dio lugar a 5 subproductos de reacción, 4 de los cuales son ácidos carboxílicos, en parabenos de cadena más larga la eficiencia de degradación es menor [38].

Se realizaron estudios sobre la neurotoxicidad tras la exposición crónica a butilparabeno (BuP) en adultos de pez cebra revelando que la exposición por 28 días a concentraciones en rangos de 0, 0,01, 0.1 y 1 mg/L generó una penetración del BuP a la barrera hematoencefálica y perjudicó el comportamiento neurológico en fotosensibilidad de 1,0 mg/L y en memoria a 0,1 y 1 mg/L. Además, el análisis de neuroesteroides indicó que el BuP incrementó los niveles de cortisol de manera dependiente de la concentración, sugiriendo que el cortisol y la alopregnanolona son marcadores neuroesteroides significativos asociados con la fotosensibilidad y los déficits de memoria. por otra parte, se demostró que BuP puede atravesar la sangre y el cerebro y modular los niveles de transcripciones asociadas con la fototransducción y el ritmo circadiano, dando como resultado respuestas neuroconductuales anormales a la estimulación de la luz, el aprendizaje y la memoria [39].

Se implementaron estrategias ecológicas para el aislamiento y detección de parabenos en agua y orina por medio de extracción en fase sólida magnética (MSPE). Los parabenos se determinaron por cromatografía líquida equipada con detector ultravioleta visible. El carbón activado magnéticamente (MAC) se obtuvo a partir de residuos de café, además, fue utilizado como adsorbente, además, como adsorbente se utilizó un material sintetizado de DL-mentol y solvente eutéctico profundo (DES) a base de ácido acético siendo este, menos tóxico para la degradación de parabenos. En un tiempo de 8 minutos se dieron las condiciones ideales para 10 mg de adsorbente y 3 minutos de desorción con DL-DES obteniendo linealidad superior entre 0,3 y 1000 ng/mL. Con coeficientes de regresión entre (0,9962 y 0,9990), con límites de detección (LOD) entre 0,1 y 0,3 mg/mL y límites de cuantificación (LOQ) entre 0,3 y 0,5 mg/mL con precisiones expresadas como RSD en un rango de 3,49 a 9,15%. Con muestras reales de piscina, río y orina. Las recuperaciones obtenidas para muestras de agua fueron entre 82,60 y 114,40% con RSD y para muestras de orina entre 81,80 y 118,20% con RSD \leq 9,28 para muestras de orina [40].

En aguas superficiales y envasadas de áreas urbanas y reales del estado de Osun en Nigeria, se identificaron las concentraciones de MeP, EtP, PrP y BuP usando cromatografía líquida de alta eficiencia con detector ultravioleta visible HPLC-UV, encontrando concentraciones promedio entre 163 y 68 $\mu\text{g/L}$ en aguas superficiales y subterráneas respectivamente, siendo el MeP el parabeno con frecuencias de detección más altas (entre 88,0 y 50,0%), seguido de BuP (entre 69 y 50%) en aguas superficiales y subterráneas respectivamente. Al no evidenciar diferencias significativas en las concentraciones de aguas en las zonas rurales y urbanas se sugirió que la población en general está expuesta en igual proporción a estos contaminantes en aguas. La evaluación de riesgos ecológicos utilizando algas y peces evidencio que el pez *Daphnia* es el organismo más sensible, además, la evaluación de la exposición humana mostró que los lactantes presentan una ingesta diarios estimada de (1,71 $\mu\text{g/kg}$) en comparación con niños pequeños y adolescentes [41].

Se evaluaron los análogos de bisfenol, parabenos y metabolitos de parabenos encontrando concentraciones de 106 ng/L, 453 ng/L y 231 ng/L en muestras acuosas y concentraciones de 41.6 ng/g, 6,46 ng/g y 460 ng/g en organismos marinos respectivamente. Evidenciado concentraciones significativamente más altas de metabolitos de parabenos que de parabenos en el ambiente marino. Los factores de bioacumulación (BAF) para los compuestos se encontró en un rango entre 0,11 y 5,07. Los rangos de bioacumulacion para el ácido 4-hidroxibenzoico (4HB), protocatecuato de metilo (OH-MeP) y protocatecuato de etilo (OH-EtP) fueron respectivamente (3,3 < lg BAF < 3,7), (Log BAF > 3,7) [42].

Rama 2 - Los cuerpos de agua y su relación con la presencia de parabenos catalogados como contaminantes emergentes.

Los parabenos se añaden ampliamente a los alimentos, cosméticos y medicamentos como conservantes y son contaminantes típicos de los productos farmacéuticos y productos para el cuidado personal (PPCP) [43]. Sin embargo, su destino y transporte en cuencas urbanas siguen siendo en gran medida inexplorados. En este sentido, Zhao et al. [44] proporcionó evidencia cuantitativa de que la esorrentía de carreteras puede ser una fuente importante de contaminación de parabenos.

Adhikari et al. [45] realizaron el primer estudio longitudinal que investiga el uso de antimicrobianos durante la pandemia de COVID-19 mediante el empleo de epidemiología basada en las aguas residuales. Mientras que un aumento general en el uso de antimicrobianos fue evidente por el análisis de las aguas residuales de Arizona Estados Unidos, una reducción notable en el uso del triclosán y el triclocarban fue evidente durante la pandemia, desencadenada por los Estados Unidos al prohibirlos por regulación de la FDA.

Evaluar las implicaciones para la exposición humana y el riesgo ecológico de los parabenos resulta importante. En este sentido, siete parabenos, incluidos el metilparabeno (MeP), el etilparabeno (EtP), el propilparabeno (PrP), el iso-propilparabeno (iPrP), el butilparabeno (BuP), el bencilparabeno (BzP) y el heptilparabeno fueron monitoreados en aguas residuales, debido a que existe un umbral de seguridad recomendado por el Comité Conjunto de Expertos FAO/OMS en Aditivos Alimentarios en 1974 (10 mg/kg-bw/día)

[46]. Las formas de tratamiento de estos contaminantes emergentes y persistentes en los cuerpos de agua, contemplan el empleo de plantas de tratamiento de aguas residuales y el empleo de microalgas las cuales requieren mayor investigación en el área de la fisicoquímica y enfrentar desafíos de optimización de procesos [43].

Otras estrategias de eliminación de este tipo de analitos de interés ambiental y en salud pública por sus efectos adversos en la disrupción endocrina sugieren estrategias para mejorar el rendimiento fotocatalítico mediante el diseño de la heteroestructura del marco S las cuales pueden proporcionar más información sobre el desarrollo de un fotocatalizador de alta eficiencia hacia la utilización de la energía solar y el tratamiento ambiental [47].

Este tipo de contaminantes se viene extendiendo a diversos tipos de cuerpos de agua. Tal es el caso de aguas superficiales del río brasileño, Mogi Guaçu. En este, se encontró la presencia de contaminantes tales como el metilparabeno (MP), el etilparabeno (EP), el propilparabeno (PP) y el butilparabeno (BP) a través de cromatografía líquida de ultrarendimiento junto con la ionización por electrospray en conjunto con el detector de espectrometría de masas. Además, se identificó la necesidad de acciones urgentes para proteger de manera efectiva la biodiversidad de este ecosistema debido a los efectos adversos en los individuos acuáticos [48].

Como ya se ha mencionado anteriormente, los seres humanos están sujetos a la exposición de los parabenos está muy extendida y los parabenos urinarios son ampliamente utilizados como biomarcadores de exposición. Sin embargo, ¿los niveles de estos productos químicos son adecuados para evaluar la exposición a los parabenos? Para resolver este interrogante, realizó un estudio de intervención controlando el uso de PCP para explorar la exposición de los parabenos con el cual demostró que los PCP eran las principales fuentes de parabenos, representando más del 99 % de la exposición total [49].

Identificar los focos de exposición a este tipo de contaminantes resulta importante y aún más las formas de eliminación. Una de estas que se ha explorado recientemente son los sistemas bifásicos acuosos como ruta adecuada para eliminar y concentrar parabenos de medios acuosos. Para lo cual se requiere obtener los datos experimentales de equilibrio líquido-líquido de diferentes ABS compuestos por polímeros [poli(etileno)glicol, Mw: 6000, 2000, y 400 g·mol⁻¹ y poli(propileno)glicol (PPG), Mw: 400 g·mol⁻¹], sal [(NH₄)₂SO₄] y agua. Este tipo de sistemas propuestos por [50]. resultan ser efectivos para dividir los parabenos en la fase de polímero con eficiencias hasta de extracción de hasta el 99,9% [50].

Rama 3 - Identificación de parabenos utilizando técnicas cromatográficas y preparación de muestras miniaturizadas

Debido a su elevado uso, los parabenos se vuelven a liberar continuamente en el medio ambiente y están presentes en el agua natural. La concienciación sobre la presencia de parabenos en el medio ambiente y sus efectos negativos sobre la salud humana ha hecho que aumente el interés por su análisis de trazas. La cromatografía de gases es uno de los métodos más comunes de análisis de parabenos. Sin embargo, como las concentraciones

ambientales de parabenos son bajas, es necesario realizar una preconcentración antes del análisis cromatográfico [51].

Existen algunos métodos publicados para la extracción de parabenos de matrices acuosas. La extracción en fase sólida SPE es el más común, pero requiere grandes cantidades de disolventes orgánicos tóxicos. Por ello, las técnicas de microextracción están ganando interés. Se han publicado algunos artículos sobre la preconcentración de parabenos mediante microextracción en fase sólida. La microextracción en fase líquida (LPME) se ha desarrollado como una versión miniaturizada de la extracción líquido-líquido. Se han extraído parabenos de muestras de agua utilizando técnicas de LPME como la microextracción de gota única y la LPME de fibra hueca.

La técnica de LPME recientemente introducida de microextracción líquido-líquido dispersiva (DLLME) se basa en un sistema de disolvente ternario. Se inyecta rápidamente en la fase acuosa una mezcla de disolvente de extracción inmiscible en agua (por regla general, de mayor densidad que el agua), disuelta en un disolvente dispersante inmiscible en agua. Se forma una solución turbia. Está formada por finas gotas de disolvente de extracción [51].

Por otra parte, se propone un nuevo procedimiento para la introducción de muestras de líquidos iónicos en la cromatografía de gases (GC). Este procedimiento, basado en la desorción térmica de microgotas, permite el análisis directo de los combustibles preconcentrados por microextracción líquido-líquido basada en líquidos iónicos (IL-LLME) utilizando la combinación de una unidad de desorción térmica (TDU) y un inyector de vaporización a temperatura programada (PTV). Se estudiaron y evaluaron dos metodologías diferentes de IL-LLME, una basada en la formación de una emulsión de microgotas mediante microextracción líquido-líquido dispersiva (DLLME) y otra mediante microextracción por emulsificación asistida por ultrasonidos (USAEME).

La DLLME demostró ser ventajosa y, en consecuencia, se adoptó para fines de preconcentración. Este método de fácil aplicación se utilizó para la determinación de cinco parabenos (metil-, etil-, propil-, butil- e isobutil-parabeno) en aguas de piscinas, tras su acetilación in situ. Las condiciones optimizadas de TDU/PTV permitieron transferir a la columna capilar los analitos contenidos en 20 mL del IL enriquecido. La cuantificación de las muestras se llevó a cabo contra estándares acuosos, y se obtuvieron límites de cuantificación de entre 4,3 y 8,1 ng L⁻¹, dependiendo del compuesto. En el análisis de diez muestras se obtuvieron concentraciones de entre 9 y 47 ng L⁻¹ para algunos analitos [52].

Otras investigaciones han propuesto investigar sobre la determinación de parabenos en condimentos, como salsa de soja, vinagre y vino de cocina, desarrollando técnicas de microextracción por adsorción en barra utilizando partículas de poliimida (PI) como fase de extracción seguida de desorción térmica y cromatografía de gases-espectrometría de masas (BA μ E/TD-GC-MS) para detectar estos parabenos en condimentos anteriormente mencionados, las partículas de PI se prepararon mediante pulverización neumática combinada con el método de transformación de fase por inmersión-precipitación. Las partículas preparadas tienen superficies altamente porosas, en las que los nanoporos

abiertos de 10-60 nm están estrechamente empaquetados. Las partículas de entre 250-500 μm se tamizaron a continuación y se utilizaron como fase de extracción para BA μ E.

En contraste con la superficie lisa y densa de la barra de transformación de fase PI convencional, la superficie rugosa macroscópica de la barra de partículas PI y sus superficies microscópicas de partículas porosas proporcionaron interfaces de extracción más grandes y más sitios de adsorción en la superficie, y ambos mejoraron el flujo de masa de extracción. Con un tiempo de extracción de 2 min, las recuperaciones absolutas de parabenos por la barra de partículas de PI fueron 1,9~2,7 veces las obtenidas por la barra de transformación de fase de PI convencional. Las precisiones intralote e interlote de las barras de partículas de PI fueron inferiores al 4,6% y al 7,5%, respectivamente, y la barra de partículas de PI exhibió una larga vida útil de más de 50 ciclos de extracción/desorción. Para realizar una determinación rápida de los parabenos, el tiempo de extracción se fijó en 2 minutos [44]. El rendimiento analítico para las muestras de agua estándar mostró una amplia linealidad (0,14-50 $\mu\text{g/L}$) con buenos coeficientes de correlación ($r > 0,9980$), buena precisión ($\text{RSD} < 5,6\%$), límites de detección adecuados (0,005-0,008 $\mu\text{g/L}$) y altos factores de enriquecimiento (305-626). Para el análisis de parabenos en condimentos diluidos, las recuperaciones relativas se situaron entre el 86,1% y el 109,0% con RSDs que oscilaron entre el 0,1% y el 8,7% [53].

Conclusiones

Este trabajo identifica los principales aportes teóricos sobre parabenos en agua y los muestra en forma de raíz, tronco y ramas (ToS). La metodología de ToS permite entender los inicios de esta temática, su evolución y las tres más grandes subáreas. La identificación de parabenos en el agua ha sido un tema de interés científico debido a su relación con cáncer de mamá en mujeres. Los parabenos son químicos utilizados en cosméticos, pero cuando penetran la piel humana no son transformados y entran al cuerpo humano en su estado inicial. Dentro de la literatura académica se encontró investigaciones que apoyan esta tesis, pero otras que no ya que han encontrado parabenos en dosis muy bajas en el cuerpo humano lo que no representa riesgo para la salud. Por esta razón, esta investigación usando ToS permite entender esta temática de una forma objetiva entendiendo sus inicios y los aportes más recientes.

Los cuerpos de agua resultan ser una de las principales fuentes susceptibles a ser contaminadas por este tipo de analitos de interés ambiental y en salud humana. Adicionalmente, se evidencia algunos de los métodos de caracterización química, efectos adversos a su exposición en diferentes organismos de la red trófica y algunos métodos para su eliminación.

El uso deliberado de parabenos ha hecho que se liberen en el medio ambiente, generando contaminación y enfermedades en los seres vivos, por esta razón es importante identificarlos por técnicas cromatográficas y de preparación de muestra miniaturizadas que permiten identificar trazas de parabenos y de bajas concentraciones.

Para identificar los artículos se realizó una búsqueda en Scopus, lo que puede ser una limitación ya que se descartan artículos en Web of Science. Aunque el algoritmo ToS crea una red de citaciones para identificar los artículos más importantes permitiendo extraer las referencias y disminuyendo el sesgo del uso de una sola base de datos, se sugiere que investigaciones futuras realicen el mismo ejercicio con WoS para identificar diferentes subáreas o que unas consultas en Scopus y WoS para mejorar la cobertura de la búsqueda.

Referencias

[1]F. Wei, M. Mortimer, H. Cheng, N. Sang, and L.-H. Guo, “Parabens as chemicals of emerging concern in the environment and humans: A review,” *Sci. Total Environ.*, vol. 778, p. 146150, Jul. 2021, doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.146150. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146150>

[2]P. D. Darbre and P. W. Harvey, “Paraben esters: review of recent studies of endocrine toxicity, absorption, esterase and human exposure, and discussion of potential human health risks,” *J. Appl. Toxicol.*, vol. 28, no. 5, pp. 561–578, Jul. 2008, doi: 10.1002/jat.1358. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1002/jat.1358>

[3]S. Robledo, M. Zuluaga, L. A. Valencia, O. Arbelaez-Echeverri, P. Duque, and J.-D. Alzate-Cardona, “Tree of Science with Scopus: A Shiny Application,” *Issues Sci. Technol. Librariansh.*, vol. 100, 2022, doi: 10.29173/istl2698. [Online]. Available: <https://doi.org/10.29173/istl2698>

[4]J. A. Moral-Muñoz, E. Herrera-Viedma, A. Santisteban-Espejo, and M. J. Cobo, “Software tools for conducting bibliometric analysis in science: An up-to-date review,” *EPI*, vol. 29, no. 1, Jan. 2020, doi: 10.3145/epi.2020.ene.03. [Online]. Available: <https://recyt.fecyt.es/index.php/EPI/article/view/epi.2020.ene.03>

[5]M. Zuluaga, S. Robledo, O. Arbelaez-Echeverri, G. A. Osorio-Zuluaga, and N. Duque-Méndez, “Tree of Science - ToS: A Web-based Tool for Scientific Literature Recommendation. Search Less, Research More!,” *Issues Sci. Technol. Librariansh.*, vol. 100, 2022, doi: 10.29173/istl2696. [Online]. Available: <https://doi.org/10.29173/istl2696>

[6]D. S. Valencia-Hernandez, S. Robledo, R. Pinilla, N. D. Duque-Méndez, and G. Olivart-Tost, “SAP Algorithm for Citation Analysis: An improvement to Tree of Science,” *Ingeniería e Investigación*, vol. 40, no. 1, pp. 45–49, 2020, doi: 10.15446/ing.investig.v40n1.77718. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.15446/ing.investig.v40n1.77718>

[7]J. C. V. Uribe, A. C. S. Rocha, O. V. Rodríguez, and Á. O. Tuberquia, “Blended Learning: una revisión cuantitativa,” *Interfaces*, vol. 5, no. 1, Sep. 2022 [Online]. Available: <https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/interfaces/article/view/9458>. [Accessed: Oct. 01, 2022]

[8]A. E. Rubio, G. Y. F. Yepes, and L. A. V. Marín, “Gobernanza para el desarrollo y la sostenibilidad de los destinos turísticos: una revisión de la literatura con ToS,” *Interfaces*, vol. 5, no. 1, Sep. 2022 [Online]. Available: <https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/interfaces/article/view/9459>. [Accessed: Oct. 01, 2022]

[9]S. Robledo, A. M. Grisales Aguirre, M. Hughes, and F. Eggers, “‘Hasta la vista, baby’ – will machine learning terminate human literature reviews in entrepreneurship?,” *J. Small Bus. Manage.*, pp. 1–30, Aug. 2021, doi: 10.1080/00472778.2021.1955125. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1080/00472778.2021.1955125>

[10]N. A. Barrera Rubaceti, S. Robledo Giraldo, and M. Zarela Sepulveda, “Una revisión bibliográfica del Fintech y sus principales subáreas de estudio,” *Econ. CUC*, vol. 43, no. 1, pp. 83–100, Jul. 2021, doi: 10.17981/econcuc.43.1.2022.econ.4. [Online]. Available: <https://revistascientificas.cuc.edu.co/economicascuc/article/view/3246>

[11]D. R. Carvajal, M. Carvajal, A. T. Cardona, and A. M. G. Aguirre, “Competencias en networking: perspectivas desde una revisión literaria,” *Interfaces*, vol. 4, no. 1, Feb. 2021 [Online]. Available: <http://biblos.unilibrecucuta.edu.co/ojs/index.php/ingenieria/article/view/513>. [Accessed: Sep. 13, 2022]

[12]G. Torres, S. Robledo, and S. R. Berrío, “Orientación al mercado: importancia, evolución y enfoques emergentes usando análisis cuantitativo,” *criteriolibre*, vol. 19, no. 35, pp. 326–340, 2021, doi: 10.18041/1900-0642/criteriolibre.2021v19n35.8371. [Online]. Available: <https://revistas.infotegra.com/libre3308/index.php/criteriolibre/article/view/8371>. [Accessed: Jun. 17, 2022]

[13]A. M. Barrera Rodríguez, E. J. Duque Oliva, and J. A. Vieira Salazar, “Actor engagement: origin, evolution and trends,” *J. bus. ind. mark.*, Sep. 2022, doi: 10.1108/jbim-11-2021-0512. [Online]. Available: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/JBIM-11-2021-0512/full/html>

[14]A. S. Gómez Tabares and M. C. Correa Duque, “La asociación entre acoso y ciberacoso escolar y el efecto predictor de la desconexión moral: una revisión bibliométrica basada en la teoría de grafos,” *Educ. XX1*, vol. 25, no. 1, pp. 273–308, Jan. 2022, doi: 10.5944/educxx1.29995. [Online]. Available: <https://redined.educacion.gob.es/xmlui/handle/11162/222825>

[15]V. A. Hurtado-Marín, J. D. Agudelo-Giraldo, S. Robledo, and E. Restrepo-Parra, “Analysis of dynamic networks based on the Ising model for the case of study of co-authorship of scientific articles,” *Sci. Rep.*, vol. 11, no. 1, p. 5721, Mar. 2021, doi: 10.1038/s41598-021-85041-8. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-021-85041-8>

[16]J. A. Vivares, L. Avella, and W. Sarache, “Trends and challenges in operations strategy research: Findings from a systematic literature review,” *Cuadernos de Gestión*, vol. 22, no.

2, pp. 81–96, May 2022, doi: 10.5295/cdg.211543ja. [Online]. Available: <https://addi.ehu.es/handle/10810/56546>

[17]D. D. Durán-Aranguren, S. Robledo, E. Gomez-Restrepo, J. W. Arboleda Valencia, and N. A. Tarazona, “Scientometric Overview of Coffee By-Products and Their Applications,” *Molecules*, vol. 26, no. 24, p. 7605, Dec. 2021, doi: 10.3390/molecules26247605. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/1420-3049/26/24/7605>. [Accessed: Dec. 15, 2021]

[18]F. Eggers, H. Risselada, T. Niemand, and S. Robledo, “Referral campaigns for software startups: The impact of network characteristics on product adoption,” *J. Bus. Res.*, vol. 145, pp. 309–324, Jun. 2022, doi: 10.1016/j.jbusres.2022.03.007. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0148296322002351>

[19]E. J. Routledge, J. Parker, J. Odum, J. Ashby, and J. P. Sumpter, “Some alkyl hydroxy benzoate preservatives (parabens) are estrogenic,” *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, vol. 153, no. 1, pp. 12–19, Nov. 1998, doi: 10.1006/taap.1998.8544. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1006/taap.1998.8544>

[20]P. D. Darbre, A. Aljarrah, W. R. Miller, N. G. Coldham, M. J. Sauer, and G. S. Pope, “Concentrations of parabens in human breast tumours,” *J. Appl. Toxicol.*, vol. 24, no. 1, pp. 5–13, Jan. 2004, doi: 10.1002/jat.958. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1002/jat.958>

[21]M. G. Soni, I. G. Carabin, and G. A. Burdock, “Safety assessment of esters of p-hydroxybenzoic acid (parabens),” *Food Chem. Toxicol.*, vol. 43, no. 7, pp. 985–1015, Jul. 2005, doi: 10.1016/j.fct.2005.01.020. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fct.2005.01.020>

[22]P. Canosa, I. Rodríguez, E. Rubí, N. Negreira, and R. Cela, “Formation of halogenated by-products of parabens in chlorinated water,” *Anal. Chim. Acta*, vol. 575, no. 1, pp. 106–113, Aug. 2006, doi: 10.1016/j.aca.2006.05.068. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aca.2006.05.068>

[23]P. Canosa, I. Rodríguez, E. Rubí, M. H. Bollaín, and R. Cela, “Optimisation of a solid-phase microextraction method for the determination of parabens in water samples at the low ng per litre level,” *J. Chromatogr. A*, vol. 1124, no. 1–2, pp. 3–10, Aug. 2006, doi: 10.1016/j.chroma.2006.03.045. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1016/j.chroma.2006.03.045>

[24]B. Kasprzyk-Hordern, R. M. Dinsdale, and A. J. Guwy, “The occurrence of pharmaceuticals, personal care products, endocrine disruptors and illicit drugs in surface water in South Wales, UK,” *Water Res.*, vol. 42, no. 13, pp. 3498–3518, Jul. 2008, doi: 10.1016/j.watres.2008.04.026. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2008.04.026>

[25]J. Boberg, C. Taxvig, S. Christiansen, and U. Hass, “Possible endocrine disrupting effects of parabens and their metabolites,” *Reprod. Toxicol.*, vol. 30, no. 2, pp. 301–312,

Sep. 2010, doi: 10.1016/j.reprotox.2010.03.011. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1016/j.reprotox.2010.03.011>

[26]F. A. Andersen, “Final Amended Report on the Safety Assessment of Methylparaben, Ethylparaben, Propylparaben, Isopropylparaben, Butylparaben, Isobutylparaben, and Benzylparaben as used in Cosmetic Products,” *Int. J. Toxicol.*, vol. 27, no. 4_suppl, pp. 1–82, Jul. 2008, doi: 10.1177/109158180802704s01. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1177/109158180802704s01>

[27]D. Błędzka, J. Gromadzińska, and W. Wąsowicz, “Parabens. From environmental studies to human health,” *Environ. Int.*, vol. 67, pp. 27–42, Jun. 2014, doi: 10.1016/j.envint.2014.02.007. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2014.02.007>

[28]E. Eriksson, H. R. Andersen, and A. Ledin, “Substance flow analysis of parabens in Denmark complemented with a survey of presence and frequency in various commodities,” *J. Hazard. Mater.*, vol. 156, no. 1–3, pp. 240–259, Aug. 2008, doi: 10.1016/j.jhazmat.2007.12.022. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.12.022>

[29]L. L. Dobbins, S. Usenko, R. A. Brain, and B. W. Brooks, “Probabilistic ecological hazard assessment of parabens using *Daphnia magna* and *Pimephales promelas*,” *Environ. Toxicol. Chem.*, vol. 28, no. 12, pp. 2744–2753, Dec. 2009, doi: 10.1897/08-523.1. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1897/08-523.1>

[30]Y. P. Chin, S. Mohamad, and M. R. B. Abas, “Removal of parabens from aqueous solution using β -cyclodextrin cross-linked polymer,” *Int. J. Mol. Sci.*, vol. 11, no. 9, pp. 3459–3471, Sep. 2010, doi: 10.3390/ijms11092459. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.3390/ijms11092459>

[31]E. Villaverde-de-Sáa, I. González-Mariño, J. B. Quintana, R. Rodil, I. Rodríguez, and R. Cela, “In-sample acetylation-non-porous membrane-assisted liquid-liquid extraction for the determination of parabens and triclosan in water samples,” *Anal. Bioanal. Chem.*, vol. 397, no. 6, pp. 2559–2568, Jul. 2010, doi: 10.1007/s00216-010-3789-2. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1007/s00216-010-3789-2>

[32]I. González-Mariño, J. B. Quintana, I. Rodríguez, and R. Cela, “Evaluation of the occurrence and biodegradation of parabens and halogenated by-products in wastewater by accurate-mass liquid chromatography-quadrupole-time-of-flight-mass spectrometry (LC-QTOF-MS),” *Water Res.*, vol. 45, no. 20, pp. 6770–6780, Dec. 2011, doi: 10.1016/j.watres.2011.10.027. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2011.10.027>

[33]K. Vellingiri, V. Choudhary, D. W. Boukhvalov, and L. Philip, “Overview of catalytic removal of parabens from water and wastewater,” *ACS EST Water*, vol. 2, no. 9, pp. 1475–1499, Sep. 2022, doi: 10.1021/acsestwater.2c00037. [Online]. Available: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsestwater.2c00037>

[34]Z. Monjezi, M. Vosough, K. T. Heydar, and A. Tarlani, “Enhanced photocatalytic treatment using plasmonic Ag@Ag₃PO₄/Ag@AgCl nanophotocatalyst for simultaneous degradation of multiple parabens and UV-filters in various aquatic environments under visible light irradiation,” *Photochem. Photobiol. Sci.*, vol. 21, no. 9, pp. 1601–1616, May 2022, doi: 10.1007/s43630-022-00243-x. [Online]. Available: <https://link.springer.com/article/10.1007/s43630-022-00243-x>. [Accessed: Nov. 05, 2022]

[35]J. Lincho, J. Gomes, M. Kobylanski, B. Bajorowicz, A. Zaleska-Medynska, and R. C. Martins, “TiO₂ nanotube catalysts for parabens mixture degradation by photocatalysis and ozone-based technologies,” *Process Saf. Environ. Prot.*, vol. 152, pp. 601–613, Aug. 2021, doi: 10.1016/j.psep.2021.06.044. [Online]. Available: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0957582021003372>

[36]A. Petala, Z. Frontistis, M. Antonopoulou, I. Konstantinou, D. I. Kondarides, and D. Mantzavinos, “Kinetics of ethyl paraben degradation by simulated solar radiation in the presence of N-doped TiO₂ catalysts,” *Water Res.*, vol. 81, pp. 157–166, Sep. 2015, doi: 10.1016/j.watres.2015.05.056. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2015.05.056>

[37] X. Pierens, V.-D. Nguyen, T. Lauzier, and K. Benhabib, “Chemical actinometry and paraben decomposition in aqueous solution utilizing ultraviolet radiation combined with hydrogen peroxide,” *Chem. Pap.*, vol. 74, no. 12, pp. 4283–4294, Dec. 2020, doi: 10.1007/s11696-020-01237-8. [Online]. Available: <https://link.springer.com/10.1007/s11696-020-01237-8>

[38]M. Peñas-Garzón et al., “Solar photocatalytic degradation of parabens using UiO-66-NH₂,” *Sep. Purif. Technol.*, vol. 286, no. 120467, p. 120467, Apr. 2022, doi: 10.1016/j.seppur.2022.120467. [Online]. Available: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1383586622000272>

[39]J. L. Kim et al., “Chronic exposure to butyl-paraben causes photosensitivity disruption and memory impairment in adult zebrafish,” *Aquat. Toxicol.*, vol. 251, p. 106279, Oct. 2022, doi: 10.1016/j.aquatox.2022.106279. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquatox.2022.106279>

[40]R. R. Pasupuleti, J.-R. Hsieh, V. R. Pasupuleti, and Y.-L. Huang, “Eco-friendly magnetic Solid-Phase extraction and deep eutectic solvent for the separation and detection of parabens from the environmental water and urine samples,” *Microchem. J.*, vol. 178, no. 107330, p. 107330, Jul. 2022, doi: 10.1016/j.microc.2022.107330. [Online]. Available: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0026265X22001588>

[41]N. B. Bolujoko et al., “Occurrence and human exposure assessment of parabens in water sources in Osun State, Nigeria,” *Sci. Total Environ.*, vol. 814, p. 152448, Mar. 2022, doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.152448. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152448>

[42]X. Zhao, W. Qiu, Y. Zheng, J. Xiong, C. Gao, and S. Hu, "Occurrence, distribution, bioaccumulation, and ecological risk of bisphenol analogues, parabens and their metabolites in the Pearl River Estuary, South China," *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, vol. 180, pp. 43–52, Sep. 2019, doi: 10.1016/j.ecoenv.2019.04.083. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.04.083>

[43]F. Vale, C. A. Sousa, H. Sousa, L. Santos, and M. Simões, "Parabens as emerging contaminants: Environmental persistence, current practices and treatment processes," *J. Clean. Prod.*, vol. 347, no. 131244, p. 131244, May 2022, doi: 10.1016/j.jclepro.2022.131244. [Online]. Available: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652622008757>

[44]X. Zhao et al., "Road runoff as a significant nonpoint source of parabens and their metabolites in urban rivers," *Chemosphere*, vol. 301, p. 134632, Aug. 2022, doi: 10.1016/j.chemosphere.2022.134632. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134632>

[45]S. Adhikari et al., "Mass trends of parabens, triclocarban and triclosan in Arizona wastewater collected after the 2017 FDA ban on antimicrobials and during the COVID-19 pandemic," *Water Res.*, vol. 222, p. 118894, Aug. 2022, doi: 10.1016/j.watres.2022.118894. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2022.118894>

[46]T. M. Le et al., "A survey of parabens in aquatic environments in Hanoi, Vietnam and its implications for human exposure and ecological risk," *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.*, vol. 29, no. 31, Jul. 2022, doi: 10.1007/s11356-022-19254-3. [Online]. Available: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35174457/>. [Accessed: Nov. 05, 2022]

[47]C. Hu, M. Tian, L. Wu, and L. Chen, "Enhanced photocatalytic degradation of paraben preservative over designed g-CN/BiVO₄ S-scheme system and toxicity assessment," *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, vol. 231, p. 113175, Feb. 2022, doi: 10.1016/j.ecoenv.2022.113175. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.113175>

[48]C. A. Galinaro, M. Spadoto, F. W. B. de Aquino, N. de Souza Pelinson, and E. M. Vieira, "Environmental risk assessment of parabens in surface water from a Brazilian river: the case of Mogi Guaçu Basin, São Paulo State, under precipitation anomalies," *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 29, no. 6, pp. 8816–8830, Sep. 2021, doi: 10.1007/s11356-021-16315-x. [Online]. Available: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-021-16315-x>. [Accessed: Nov. 05, 2022]

[49]K. Huang, X. Zhang, B. Wang, X. Wang, and Y. You, "Accurate assessment of parabens exposure in healthy Chinese female adults: Findings from a multi-pathway exposure assessment coupled with intervention study," *Environ. Res.*, vol. 193, p. 110540, Feb. 2021, doi: 10.1016/j.envres.2020.110540. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envres.2020.110540>. [Accessed: Nov. 05, 2022]

[50]R. T. Gonsalves, F. O. Farias, M. R. Mafra, and L. Igarashi-Mafra, “Aqueous biphasic systems as a suitable route to remove and concentrate parabens from aqueous media,” *Ind. Eng. Chem. Res.*, vol. 59, no. 50, pp. 21882–21893, Dec. 2020, doi: 10.1021/acs.iecr.0c04102. [Online]. Available: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.iecr.0c04102>

[51]S. Clavijo, J. Avivar, R. Suárez, and V. Cerdà, “In-syringe magnetic stirring-assisted dispersive liquid–liquid microextraction and silylation prior gas chromatography–mass spectrometry for ultraviolet filters determination in environmental water samples,” *J. Chromatogr. A*, vol. 1443, pp. 26–34, Apr. 2016, doi: 10.1016/j.chroma.2016.03.036. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1016/j.chroma.2016.03.036>. [Accessed: Nov. 05, 2022]

[52]J. I. Cacho, N. Campillo, P. Viñas, and M. Hernández-Córdoba, “Improved sensitivity gas chromatography-mass spectrometry determination of parabens in waters using ionic liquids,” *Talanta*, vol. 146, pp. 568–574, Jan. 2016, doi: 10.1016/j.talanta.2015.09.022. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1016/j.talanta.2015.09.022>

[53]X. Yan, D. Zhong, Y. Zhan, Y. Li, and D. Wu, “Porous polyimide particle-coated adsorptive microextraction bar combined with thermal desorption-gas chromatography for rapid determination of parabens in condiments,” *J. Chromatogr. A*, vol. 1601, pp. 71–78, Sep. 2019, doi: 10.1016/j.chroma.2019.05.017. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1016/j.chroma.2019.05.017>