



# Análisis bibliométrico sobre uso de humedales construidos para tratamiento de efluentes líquidos de industrias lácteas

Ana Victoria Chamorro Narváez<sup>1</sup>  
Suleidy Arjenis Cuarán Guaranguay<sup>2</sup>  
Tatiana Mañunga<sup>3</sup>

## Resumen

Los humedales construidos son una alternativa de tratamiento, caracterizada por su alta eficiencia en remoción de contaminantes. Aunque son usados desde hace más de 20 años, en algunas experiencias se aprecia que presentan deficiencias. En el caso de efluentes de la industria láctea, resulta importante determinar variables y aspectos críticos para su implementación; así, en esta investigación, con apoyo de herramientas de la vigilancia tecnológica, se realizó un estudio bibliométrico sobre su uso, para el tratamiento de efluentes líquidos de la industria láctea. Se empleó una metodología cualitativa, realizando búsqueda de artículos científicos en diferentes bases de datos, los cuales fueron usados para la elaboración de mapas bibliométricos a través del software VOSviewer. Los resultados mostraron que se pudo recuperar 1974 documentos entre 2000 y 2020. También, se identificó siete clústeres temáticos en la definición de corrientes principales de investigación. La estrecha relación en temas como industria láctea, biomasa, carbono, nitrificación, nitratos y humedales construidos de flujo subsuperficial permitió reconocer que, además de la remoción de carbono, es importante la remoción de nitrógeno. Finalmente, se concluye que la vigilancia tecnológica permitió encontrar el estado actual de la investigación y, reconocer factores críticos para el diseño e implementación de humedales construidos.

**Palabras clave:** análisis bibliométrico; humedales construidos; tratamiento de aguas residuales; industria láctea.

---

<sup>1</sup> achamorro@umariana.edu.co

<sup>2</sup> sucuaran@umariana.edu.co

<sup>3</sup> tmanunga@umariana.edu.co Universidad Mariana. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Ambiental



## Introducción

Actualmente, Colombia se identifica como el cuarto productor de leche en América Latina, con un volumen aproximado de 6.500 millones de litros anuales (Proexport Colombia, 2011). Según Prado (2013), uno de los principales impactos ambientales que se genera en la industria láctea, se encuentra en los efluentes y aguas residuales (AR), debido a las propiedades de la materia prima. Este tipo de aguas se caracteriza principalmente, por poseer una gran cantidad de materia orgánica (MO), en especial, grasas y aceites; además, esta contiene concentración de sólidos suspendidos y valores de pH que superan los rangos permisibles para su vertimiento, trayendo consigo el deterioro del cuerpo receptor y, sus consecuentes impactos sobre los recursos naturales y las comunidades. Por lo anterior, se requiere un tratamiento de agua residual que elimine los contaminantes físicos, químicos y biológicos presentes en el agua.

A diferencia de las técnicas convencionales, el tratamiento de agua residual por medio de humedales artificiales o construidos (HC), es una alternativa que tiene bajos costos, tanto en implementación como en mantenimiento. Sus costos de operación se ubican entre \$1.242.429 y \$12.570.000 (Haro y Aponte, 2010); y, mantenimiento \$1.000.000 al año, aproximadamente (Granados, 2018), en comparación con los sistemas tradicionales de tratamiento de AR, que se encuentran entre \$1.623.250.430 y, cerca de \$7.394.708.110 (Maca-Millán, 2014); es decir, que el costo de operación y mantenimiento es menor, pues tienen una vida útil de 25 años y, sus requerimientos energéticos de operación son mínimos, dado que la conducción del agua a los HC es, prácticamente, por gravedad (Arteaga-Cortez et al., 2019), con una eficacia de remoción de carga orgánica contaminante cercana al 80 % (Romero-Aguilar et al., 2009); y, en remoción de nitrógeno total, su eficiencia promedio es de 90,8 %; para nitrógeno amoniacal es de 91,6 % y, para nitratos, de 92,5 % (Rodríguez-Momroy y Durán, 2006). Así, los HC son una alternativa económica y ecológicamente aceptable para el tratamiento de agua residual de la industria láctea.

En la práctica, algunos resultados muestran que los HC presentan deficiencias en su funcionamiento, lo que deriva en bajos niveles de eficiencia. Una de las principales razones obedece a que son diseñados, construidos y operados a partir de criterios inadecuados, desconociendo las condiciones climáticas y las mismas características del agua residual que condicionan su funcionamiento. De esta manera, se cree que un sistema de HC es una gran estrategia para el tratamiento de este tipo de agua residual, ya que diferentes investigaciones han demostrado su alta eficiencia de remoción de contaminantes y su gran aporte en cuanto a sus bajos costos de implementación, operación y mantenimiento.

Por otro lado, se considera que el análisis bibliométrico basado en algunos indicadores, como: la afiliación o vinculación institucional de los documentos, fechas o rangos de tiempo de publicación, autores principales y referencias y citas usadas por ellos, revistas, libros, palabras clave o descriptores y, por supuesto, los títulos y resúmenes incluidos en los documentos analizados (Solano et al., 2009), puede ser una herramienta útil para la identificación de factores críticos necesarios para el diseño, implementación, operación y mantenimiento de un HC para la reducción de la carga contaminante de un efluente de la industria láctea.



Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue realizar un análisis bibliométrico sobre el uso de HC para tratamiento de efluentes líquidos de industrias lácteas. Se empleó una metodología cualitativa, buscando información en diferentes bases de datos como SCOPUS, SCIELO, IEEE, para luego ser procesada mediante mapas bibliométricos que permitan un mejor análisis de la información encontrada. Así, los resultados representan insumos importantes para una posterior identificación de factores críticos de diseño e implementación de HC para el tratamiento de AR proveniente de industrias lácteas.

## Metodología

La estrategia metodológica que se utilizó para el desarrollado de este trabajo se dividió en dos etapas. En la Etapa 1 se recopiló información mediante la selección de fuentes bibliográficas y conformación de la base de datos. En la Etapa 2 se elaboró los mapas bibliométricos a través del software VOSViewer. A continuación, se describe brevemente cada etapa.

### Etapa 1: Recopilación de datos entre los años 2000-2020:

- a) **Selección de conectores booleanos:** se encuentra los siguientes: AND, OR, AND NOT, para formular las ecuaciones de búsqueda (Tabla 1).
- b) **Selección de fuentes bibliográficas:** se presenta las bases de datos seleccionadas para el desarrollo de esta investigación.
  - ✓ SCOPUS
  - ✓ SCIELO
  - ✓ BAASE
  - ✓ IEEE

Además, se incluyó la búsqueda de patentes en la base SPACENET.

Los criterios asumidos para efectuar la búsqueda fueron los siguientes: año, lugar, tipo de información y palabras clave. Los documentos encontrados fueron descargados en formato "\*.RIS".

- a) **Conformación de la base de datos:** se encontró 1800 artículos con referencia al tema de investigación, de los cuales se procedió a conformar la base de datos en el software Excel con título, autores, resumen, revista, volumen, número, página de inicio del documento, año de publicación, referencias.

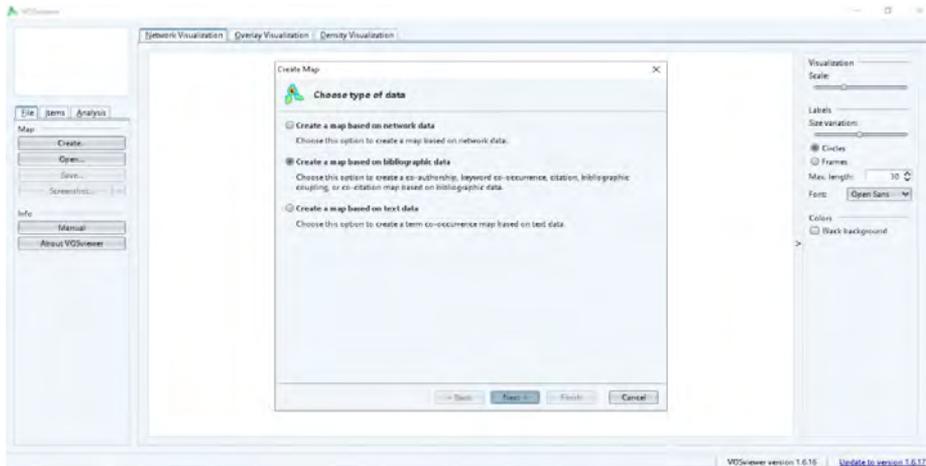




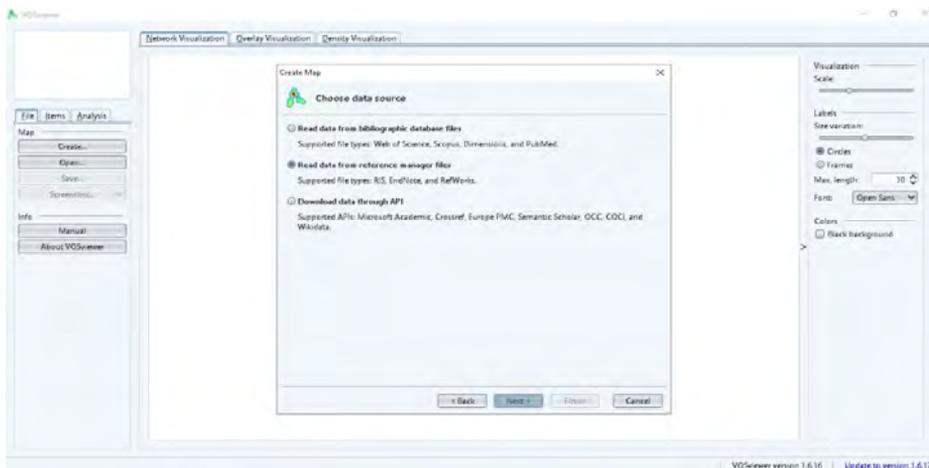
## Etapa 2: Construcción de mapas bibliométricos

Se utilizó el software VOSviewer para crear mapas basados en datos de red. Los pasos a seguir durante el estudio para generar los mapas bibliométricos fueron los siguientes:

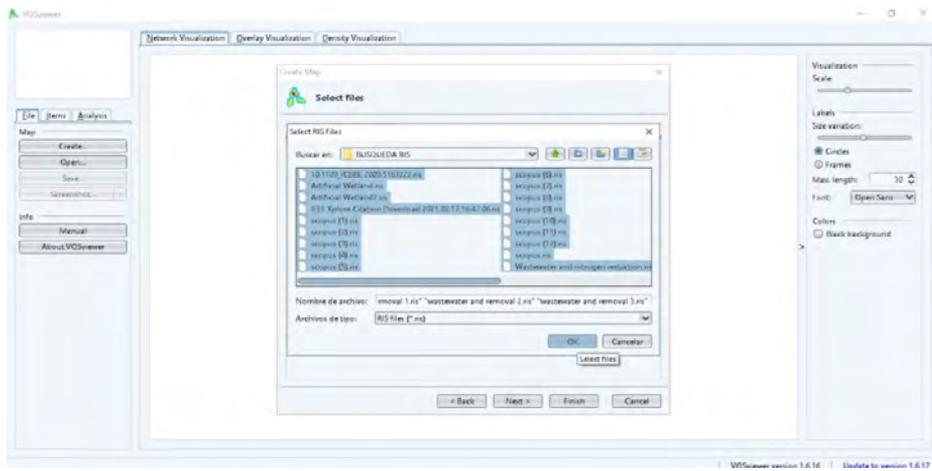
1. Crear un mapa basado en los datos bibliográficos extraídos de la Web of Science



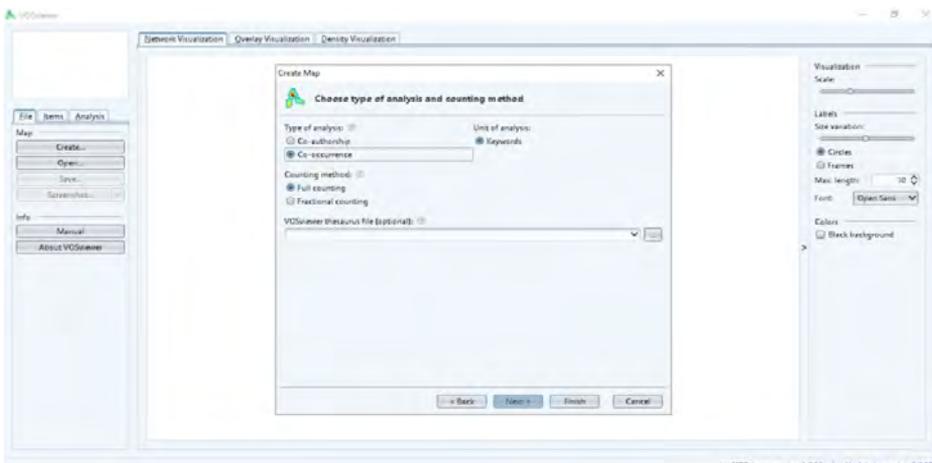
2. Obtener datos de un archivo que contenga una base de datos bibliográficos



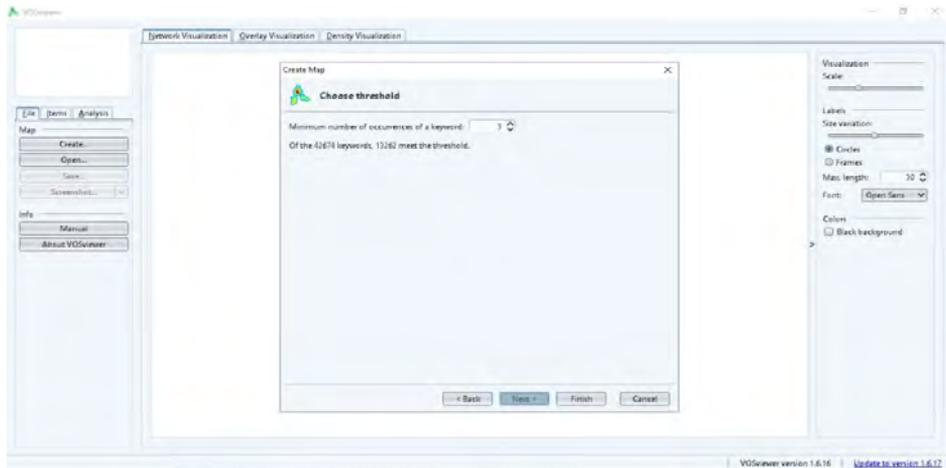
### 3. Subir documentos obtenidos de las bases de datos



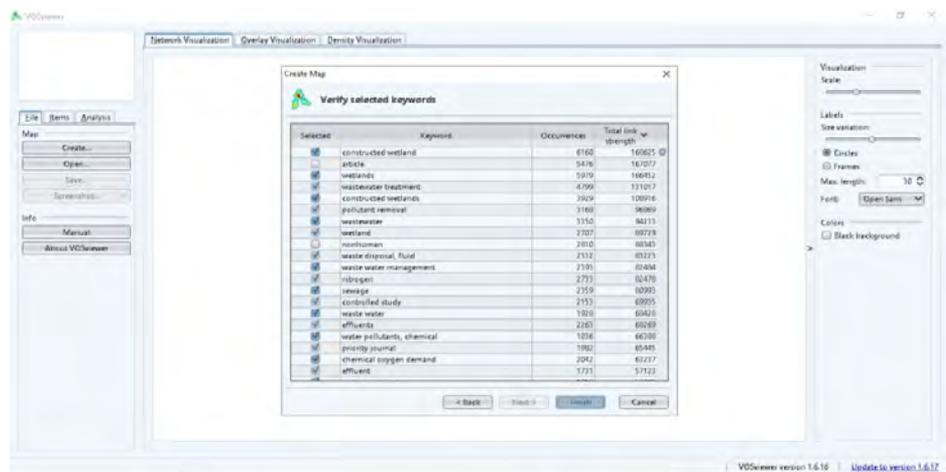
### 4. Elegir el tipo de análisis y elemento bibliográfico deseado (autores, artículos...)



- Establecer el número mínimo de documentos y citas del elemento bibliográfico



- Filtrar palabras que no hagan ningún aporte a la investigación; finalizar guardando, con el formato deseado



## Análisis y Discusión de Resultados

Para el cumplimiento del objetivo se empleó palabras clave que, junto con los operadores boléanos, sirvieron para el desarrollo de ecuaciones de búsqueda, las que se usó para recopilar los metadatos de artículos científicos en bases de datos como IEEE, SCOPUS y SCIELO. En total, se recuperó 1974 documentos correspondientes al periodo 2000-2020. Con este material se realizó el estudio, con ayuda del software VOSviewer para organizar y clasificar los indicadores bibliométricos.



En la Tabla 1 se presenta las ecuaciones de búsqueda, las bases de datos consultadas y el total de documentos recopilados, respectivamente. De forma general, se observó que SCOPUS, por ser un repositorio de carácter mundial, alberga un mayor contenido de información de alta calidad que permitió obtener resultados favorables para esta investigación; igualmente, las demás bases de datos, aunque con menos rangos, aportaron gran información.

**Tabla 1**

*Ecuaciones de búsqueda, bases de datos y número de artículos encontrados*

<b>Ecuación de búsqueda</b>	<b>Base de datos</b>	<b>Número de artículos</b>
<i>wastewater AND whey</i>	SCOPUS	152
<i>wastewater AND cheese AND whey</i>	SCOPUS	91
<i>"Wastewater treatment" AND "Cheese whey"</i>	SCOPUS	42
<i>"Wastewater treatment" AND "Dairy industry"</i>	SCOPUS	113
<i>"Wastewater treatment" AND "Dairy industry" AND "Constructed wetlands"</i>	SCOPUS	7
<i>"Constructed AND wetlands" AND "whey"</i>	SCOPUS	4
<i>Constructed wetlands OR "artificial wetlands" AND "phosphorous removal"</i>	SCOPUS	114
<i>Constructed wetlands OR "artificial wetlands" AND Nitrogen removal AND Wastewater treatment AND cheese</i>	SCOPUS	4
<i>Constructed wetlands OR "artificial wetlands" AND "Nutrient removal" AND Wastewater treatment AND cheese</i>	SCOPUS	4
<i>Constructed wetlands AND phragmites AND australis AND Wastewater</i>	SCOPUS	346
<i>Constructed wetlands AND phragmites AND australis AND Wastewater AND cheese</i>	SCOPUS	2
<i>Constructed wetlands AND Wastewater AND cold weather</i>	SCOPUS	11
<i>Artificial wetlands nitrogen removal</i>	SCIELO	3

Ecuación de búsqueda	Base de datos	Número de artículos
<i>Constructed wetlands nitrogen removal</i>	SCIELO	11
<i>Dairy industry wetlands</i>	SCIELO	2
<i>Wastewater treatment Cheese whey</i>	SCIELO	4
<i>Humedales artificiales macrofitas</i>	SCIELO	4
<i>Humedal construido</i>	SCIELO	18
<i>Remoción de fósforo humedal agua residual industria láctea</i>	SCIELO	5
<i>agua residual suero</i>	SCIELO	2
	SCIELO	3
	BASE	100
<i>wastewater whey</i>	BASE	100
	BASE	100
	BASE	4
	BASE	100
<i>“artificial wetlands”</i>	BASE	100
	BASE	68
<i>“Dairy industry waste”</i>	BASE	32
<i>Constructed wetlands whey</i>	BASE	3
<i>artificial wetlands nutrient</i>	BASE	98
<i>artificial wetlands nitrogen removal</i>	BASE	59
<i>artificial wetlands phosphorous removal</i>	BASE	2
<i>Wastewater treatment Cheese whey</i>	BASE	92
<i>artificial wetlands phragmites australis</i>	BASE	39
<i>Constructed wetlands Cold weather</i>	BASE	4
<i>Constructed wetlands AND Wastewater treatment</i>	IEEE	47
<i>Constructed wetlands OR artificial wetlands AND cheese</i>	IEEE	100

En el mapa bibliométrico de la Figura 1, a continuación, la dimensión de los clústeres se determinó por diferentes factores como, el número de palabras clave, la ocurrencia de palabras en cada clúster y, los diferentes colores con los que se



**Tabla 2***Clústeres o grupos de palabras*

Clústeres	Palabras clave	Ítem	%	Color	Tema Principal
1	Wastewater, effluents, constructed wetland	208	33,2	Red	humedales construidos para agua residual
2	wastewater, dairy industry, pH	179	28,5	Green	agua residual de la industria láctea
3	wastewater treatment, waste water management, chemical oxygen demand	114	18,2	Blue	tratamiento de agua residual
4	effluent, biochemical oxygen demand, ammonia	43	6,9	Yellow	propiedades de los efluentes
5	dairying, nitrification, nitrates	38	6,1	Purple	métodos de tratamiento para efluentes de productos lácteos
6	water, food industry, biological materials	28	4,5	Cyan	propiedades del agua residual de industrias de alimentos
7	waste component removal, dissolved oxygen, temperature	17	2,7	Orange	Remoción de contaminantes

Clúster 1: HC con agua residual (33,2 %), tiene un total de 208 palabras clave; esta línea de investigación se centró en AR, efluentes, HC, humedales con mayor peso.

Clúster 2: agua residual de la industria láctea (28,5 %); tiene un total de 179 palabras clave; este grupo temático se centró en agua residual, industria láctea, pH, residuos industriales, biomasa con mayor peso.

Clúster 3: tratamiento de agua residual (18,2 %); tiene un total de 114 palabras clave; esta línea de investigación se centró en tratamiento de agua residual, gestión de agua residual, demanda química de oxígeno, AR, siendo estas palabras clave, las de mayor peso.

Clúster 4: propiedades de los efluentes (6,9 %); tiene un total de 43 palabras clave. Esta línea de investigación se centró en efluentes, DBO, amonio, tratamiento de AR, carbono, industria láctea.

Clúster 5: métodos de tratamiento para efluentes de productos lácteos (6,1 %); tiene un total de 38 palabras clave; esta corriente de investigación se centró en productos lácteos, nitrificación, nitratos, HC de flujo subsuperficial, compuestos de amonio, siendo las palabras clave de mayor peso.



Clúster 6: propiedades del agua residual de industrias de alimentos (4,5 %); tiene un total de 28 palabras clave; la línea de investigación se centró en agua, materiales biológicos, óxido-reducción, contaminante orgánico, industria de alimentos, gestión de residuos, como las palabras con mayor peso.

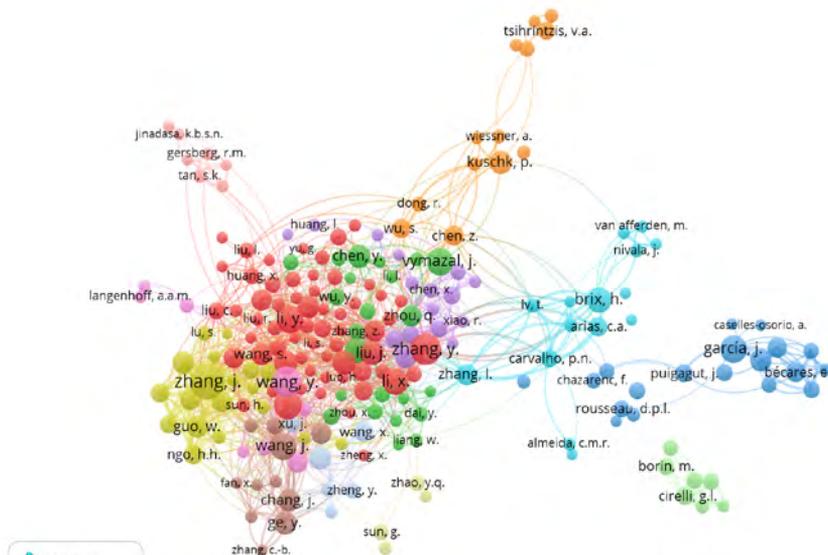
Clúster 7: remoción de contaminantes (2,7 %); tiene un total de 17 palabras clave; la línea de investigación se centró en: eliminación de componentes de desecho, oxígeno disuelto, temperatura, remoción, flujo subterráneo horizontal, conductividad eléctrica.

En el mapa bibliométrico de la Figura 2 se identifica la estructura del estado actual de los principales autores en documentos con, al menos, una afiliación; cada círculo (nodo) representa un investigador. Según Limaymanta et al. (2020), el tamaño del círculo representa la fuerza de acoplamiento bibliográfico de los investigadores.

De acuerdo con el acoplamiento bibliográfico, cuanto más cerca se encuentran dos investigadores en la visualización, mayor será la relación entre ellos; en este caso, los autores se enlazan dando a conocer algunas técnicas de tratamiento de AR con los diferentes tipos de HC, los cuales son una alternativa de tratamiento natural; es decir, investigadores que se ubican cerca el uno del otro, tienden a citar las mismas publicaciones; por ejemplo, Wang et al. (2017) dan a conocer la aplicación de la digestión por microondas en la determinación del nitrógeno y el fósforo en humedales y Wu et al. (2017), quienes realizan el tratamiento de AR basado en la descomposición a escala. Por otra parte, las agrupaciones de colores indican a los investigadores que, los autores están fuertemente relacionados entre sí, según la fuerza de acoplamiento bibliográfico; esto es, estos hablan sobre un tema en común; en este caso, la remoción de nitrógeno y fósforo a través de HC, que contribuyó a esta investigación, dado que está orientada a la reducción de carga orgánica.

## Figura 2

*Estructura del estado actual de los principales autores*

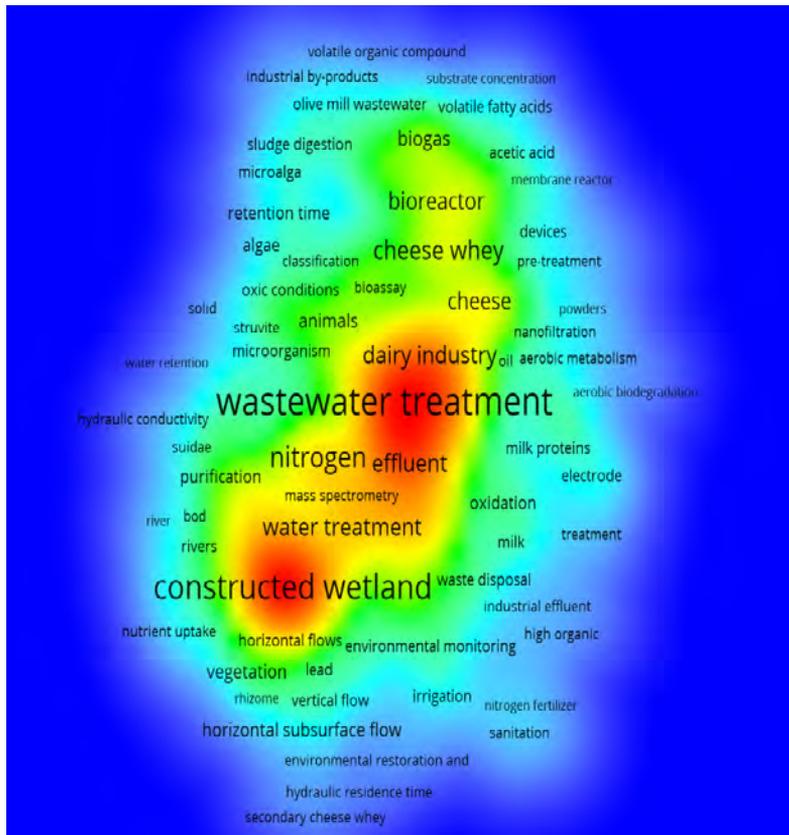






## Figura 4

### Mapa bibliométrico de calor



En resumen, un análisis bibliométrico busca sintetizar la información generada por las bases de datos, mediante mapas bibliométricos que permiten identificar documentos de gran interés en los cuales se puede relacionar el tratamiento de AR en los diferentes tipos de HC, como es el caso de los humedales de flujo superficial y humedales de flujo subsuperficial; dentro de este último se ubican humedales de flujo subsuperficial horizontal y vertical. Según Díaz (2014), en Colombia los humedales de flujo subsuperficial en su construcción han estado enfocados, primordialmente, hacia la realización de pruebas piloto en el tratamiento de agua residual doméstica con caudales y poblaciones de diseño relativamente pequeñas. Se ha evidenciado una alta eficiencia de remoción en parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, principalmente en pH, DQO, DOB<sub>5</sub>, sólidos totales, conductividad, nitrógeno total, nitrógeno amoniacal, oxígeno disuelto, turbiedad, fósforo total.



## Conclusiones

De acuerdo con el análisis bibliométrico, se presentó una mayor interrelación entre las palabras clave “wastewater treatment” y “constructed wetland”, mostrando que hay una alta información de los diferentes tratamientos de AR con el uso de HC, para realizar un análisis completo sobre los factores críticos. Los HC son una alternativa para el tratamiento de AR debido a su alta eficiencia, al igual que los métodos convencionales, además de tener bajos costos de operación y mantenimiento.

## Referencias

- Arteaga-Cortez, V. N., Quevedo-Nolasco, A., Del Valle-Paniagua, D., Castro-Popoca, M., Bravo-Vinaja, Á. y Ramírez-Zierold, J. A. (2019). Estado del arte: una revisión actual de los mecanismos que utilizan los humedales artificiales para la remoción de nitrógeno y fósforo. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 10(5), 319-343. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2019-05-12>
- Díaz, C. D. (2014). Tratamiento de agua residual a través de humedales. *V Congreso Internacional de Ingeniería Civil, Universidad Santo Tomás Seccional Tunja*. <http://www.ustatunja.edu.co/cong/images/Articulos/-TRATAMIENTO%20DE%20AGUA%20RESIDUAL%20A%20TRAVES%20DE%20HUMEDALES.pdf>
- Gálvez, C. (2016). Visualización de las principales líneas de investigación en salud pública: Un análisis basado e mapas bibliométricos aplicados a la revista española de salud pública (2006-2015). *Revista Española de Salud Pública*, 90, e40028.
- Granados, M. M. (2018). *Estudio de factibilidad de la implementación de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en ecosistema de alta montaña en toquilla* [Tesis de Especialización, Universidad Libre]. <https://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/11576>
- Haro, M. E. y Aponte, N. O. (2010). *Evaluación de un humedal artificial como tratamiento de agua residual en un asentamiento irregular* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Autónoma de México]. <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/1399/Tesina.pdf?sequence=1>
- Limaymanta, C. H., Zulueta-Rafael, H., Restrepo-Arango, C. y Álvarez-Muñoz, P. (2020). Análisis bibliométrico y cienciométrico de la producción científica de Perú y Ecuador desde Web of Science (2009-2018). *Información, Cultura y Sociedad*, (43), 31-52. <https://doi.org/10.34096/ics.i43.7926>
- Maca-Millán, G. S. (2014). *Evaluación económica de un sistema de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Guadalajara de Buga* [Tesis de Pregrado, Universidad del Valle]. <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/xmlui/handle/10893/7150?show=full>



- Prado, D. J. (2013). *Valoración de impactos ambientales generados en la industria láctea y cárnica en la ciudad de Cuenca* [Tesis de Pregrado, Universidad del Azuay]. <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/3265/1/10039.pdf>
- Proexport Colombia. (2011). Sector Lácteo en Colombia. Promoción de Turismo, Inversión y Exportaciones. <http://portugalcolombia.com/media/Perfil-Lacteo-Colombia.pdf>
- Rodríguez-Momroy, J. y Durán, C. (2006). Remoción de nitrógeno en un sistema de tratamiento de aguas residuales usando humedales artificiales de flujo vertical a escala de banco. *Tecnología, Ciencia, Educación*, 21(1), 25-33.
- Romero-Aguilar, M., Colín-Cruz, A., Sánchez-Salinas, E. y Ortiz-Hernández, L. (2009). Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de la carga orgánica. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 25(3), 157-167.
- Solano, E. Castellanos, S. J., López M. M. y Hernández, J. I. (2009). La bibliometría: una herramienta eficaz para evaluar la actividad científica postgraduada. *Científica de las Ciencias Médicas en Cienfuegos*, 7(4), 291-294.
- Wang, M., Zhang, D. Q., Dong, J. W., & Tan, S. K. (2017). Constructed wetlands for wastewater treatment in a cold climate: A review. *Journal of Environmental Sciences*, 57, 293-311. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2016.12.019>
- Wu, S., He, S., Zhou, W., Gu, J., Huang, J., Gao, L., & Zhang, X. (2017). Decomposition characteristics of three different kinds of aquatic macrophytes and their potential application as carbon resources in a constructed wetland. *Environmental Pollution*, 231, 1122-1133. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.07.049>