



Análisis de Componentes Principales Categóricos en una revisión sistemática sobre descontaminación de aguas residuales.

Ma. De los Angeles Amaro S.^a, Gladys Linares F.^b, José Antonio Rivera T.^c.

^a *Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Posgrado en Ciencias Ambientales del Instituto de Ciencias,* ^b *Departamento de Investigaciones en Ciencias Agrícolas (BUAP),* ^c *Centro de Investigaciones en Ciencias Microbiológicas (BUAP).*

^a m.angy2434@gmail.com, ^b gladys.linares@correo.buap.mx, ^c jart70@yahoo.com.

Resumen

Se realizó una revisión sistemática de los tipos de tratamientos de aguas residuales con luz UV (UV/H₂O₂, UV/O₃, UV/H₂O₂/O₃) y de ósmosis inversa para conocer cuál sería la mejor herramienta de descontaminación en México. A través del análisis de componentes principales para datos categóricos, se identificaron los principales componentes que fueron, tipo de tratamiento y tipo de efluente estudiado. De los cien artículos revisados, el uso de los procesos fotoquímicos que incluían UV/H₂O₂/O₃ presentaron una mayor degradación de los contaminantes, sin embargo, por el alto costo del equipo, los tratamientos más utilizados son por separado, UV con peróxido (UV/H₂O₂) y UV con ozono (UV/O₃), donde influyen el tipo de contaminante a remover, además de ser uno de los tratamientos más eficaces, se reporta una baja utilización de la ósmosis inversa para la descontaminación.

Palabra claves: procesos fotoquímicos, componentes principales, aguas residuales.

Introducción

Los cuerpos de agua en México cada año reciben millones de metros cúbicos de aguas residuales tratadas de forma inadecuada o sin tratamiento. Se estima una afectación del 25% de la población por escasez de agua para consumo humano (ONU, 2018). Se han realizado estudios sobre los tratamientos terciarios de descontaminación, como alternativas eficientes en el tratamiento de aguas residuales, actualmente se propone a los procesos avanzados de oxidación (POA) en donde el radical hidroxilo ($\cdot\text{OH}$) es el principal agente oxidativo (Litter, 2005). Los tratamientos que se reportan con mayor frecuencia en la literatura son UV/ peróxido de hidrógeno (UV/H₂O₂), UV/ Ozono (UV/O₃) y UV/peróxido de hidrogeno/ozono (UV/H₂O₂/O₃) (Chuanxi *et al.*, 2020).

Una de las principales evidencias dentro de las investigaciones científicas son las revisiones sistemáticas, las cuales constituyen una herramienta esencial para sintetizar la información científica disponible, incrementar validez de los estudios individuales e identificar áreas de incertidumbre en donde se requiera realizar investigaciones más profundas (González *et al.*, 2011)

Dada esta información, el objetivo de este estudio fue la ejecución de un análisis de componentes principales de variables categóricas en una revisión sistemática de la frecuencia del uso y efectividad de los principales procesos fotoquímicos (UV/H₂O₂, UV/O₃, UV/H₂O₂/O₃) y la complementación con otros tratamientos como es la ósmosis inversa, utilizados en diferentes tipos de efluentes de aguas residuales.

Metodología

Se realizó una revisión de la literatura en las siguientes bases de datos: *Scielo*, *Redalyc*, *NCBI*, *Science Direct*, *Scopus* y *Dialnet* en el período de 2010 a 2020. Se tomaron en cuenta las siguientes palabras clave en el idioma español e inglés: aguas residuales (wastewater), ósmosis inversa (reverse osmosis), tratamiento de aguas residuales (wastewater treatment); se excluyeron, además, trabajos que contuvieran tratamientos de UV con otros componentes que no fueran peróxido de hidrógeno u ozono.

Al abordar las temáticas en la investigación sobre descontaminación de aguas residuales se evidenciaron las cuatro siguientes:

- (a) tipo de tratamiento,
- (b) remoción de contaminantes,
- (c) carga bacteriana y
- (d) tipo de efluente tratado

Aspectos estadísticos

Se utilizó el análisis de componentes principales ya que esta técnica permite el tratamiento conjunto de las variables observadas e identifica el mismo número de variables ficticias para sintetizar la información

El análisis de componentes principales categórico se conoce también por el acrónimo CATPCA, del inglés *CAT*egorical *P*roincipal *C*omponents *A*nalysis.

Como es bien conocido, el Análisis de Componentes Principales busca la reducción de un conjunto original de variables cuantitativas, que están correlacionadas, en un nuevo conjunto más pequeño de componentes no correlacionados, que representen la mayor parte de la información encontrada en las variables originales.

El CATPCA intenta reducir la dimensionalidad de un conjunto de variables

categóricas al mismo tiempo que tiene en cuenta toda la variación que sea posible. Se asignan valores de escala a cada categoría de cada variable de manera que estos valores sean óptimos respecto a la solución de componentes principales. Los objetos del análisis, en nuestro caso los artículos científicos, reciben puntuaciones para los componentes en función de los datos cuantificados. Los gráficos de las puntuaciones de componentes revelan los patrones de los objetos del análisis y pueden revelar objetos poco habituales en los datos. La solución de un análisis de componentes principales categórico maximiza las correlaciones de las puntuaciones de objetos con cada una de las variables cuantificadas para el número de componentes (dimensiones) especificado.

Este procedimiento cuantifica simultáneamente las variables categóricas a la vez que reduce la dimensionalidad de los datos. La técnica es más útil cuando un extenso número de variables impide una interpretación eficaz de las relaciones entre los objetos (sujetos y unidades). Al reducir la dimensionalidad, se interpreta un pequeño número de componentes en lugar de un extenso número de variables.

El CATPCA es similar al Análisis de Correspondencia Múltiple, salvo en que es capaz de especificar un nivel de análisis de variable en variable.

Resultados y Discusión

La selección bibliográfica, a partir de los criterios especificados, arrojó un total de 100 artículos científicos. A partir de la revisión sistemática, se realizó la selección de las variables más importantes que fueron: tipo de tratamiento, remoción de contaminantes, carga bacteriana y tipo de efluente tratado.

De acuerdo al CATPCA, se obtuvieron los siguientes resultados. El porcentaje de varianza de acuerdo a las dos primeras

dimensiones (Tabla 1), explica el 34% de la variabilidad con la dimensión 1, destacando las variables tipo de efluente y tipo de tratamientos; la dimensión 2 explica el 26.87% de la variabilidad resaltando la variable de carga bacteriana. En total, estas dos primeras dimensiones explican el 60% de la variabilidad del fenómeno.

Tabla 1. Varianza contabilizada

	Coordenadas del centroide			Total (coordenadas de vector)		
	Dimensión		Media	Dimensión		Total
	1	2		1	2	
Tipo de Efluentes	.506	.153	.329	.504	.152	.655
Tipo de Tratamientos	.469	.005	.237	.462	.001	.463
Remoción de Contamin	.382	.079	.231	.382	.079	.461
Carga bacteriana	.008	.637	.422	.008	.637	.845
Total activo	1.364	1.075	1.219	1.355	1.069	2.424
% de varianza	34.100	26.865	30.483	33.879	26.720	60.608

La figura 1 explica, de manera gráfica, el porcentaje de la variabilidad para los cuatro componentes o dimensiones. La tendencia se debe a que la mayor parte de los artículos reportan la degradación de un tipo determinado de contaminante muchas veces creado en laboratorios o extraído de un tipo de agua residual en específico y de acuerdo al estudio de la carga bacteriana se centran en el estudio de bacterias que podrían causar daño en la salud de las personas como *E. coli*, coliformes totales, *Salmonella spp.* entre otras, en las que las personas entran en contacto mediante aguas residuales altamente contaminadas, por lo que determinados estudios reportados son más específicos en el porcentaje de remoción o inactivación total o parcial de bacterias.

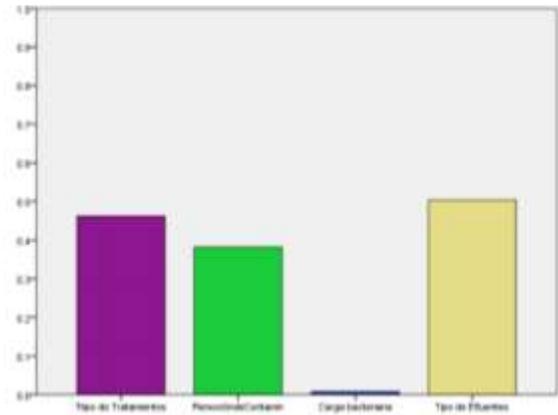


Fig 1. Varianza contabilizada para los cuatro componentes

La representación gráfica de los cien artículos estudiados se muestra en la figura 2, se resaltan a los artículos más importantes en cada dimensión, siendo así los documentos número 46, 4, 42 y 81 así como los artículos número 5, 34, 39, 61, 63, 64, 77 y 97, los cuales reportan en su mayoría el uso conjunto de los procesos fotoquímicos con peróxido de hidrógeno y ozono (UV/H₂O₂/O₃), solamente se destacan dos artículos en la utilización de la ósmosis inversa y de UV con ozono (UV/O₃). Lo que podría deberse al tipo de agua residual que tratan o a los altos costos de utilización de los tratamientos en diferentes partes del mundo.

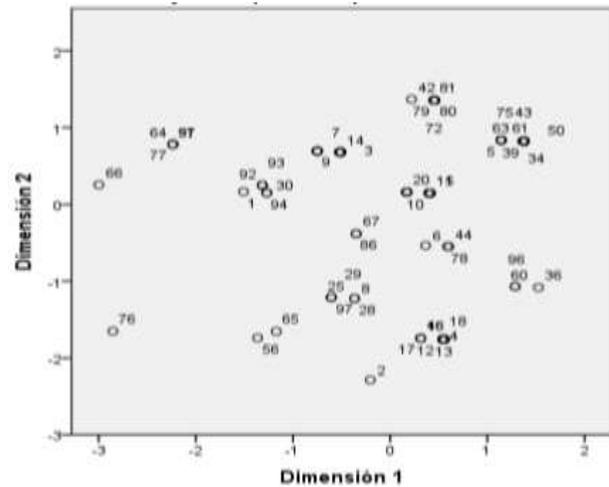


Fig. 2 Puntos objetos por número de casos en dos dimensiones.

Los artículos resaltados, reportan estudios sobre aguas simuladas en laboratorio, tratando contaminantes emergentes como metanfetaminas, microcistinas, sulfatos y productos provenientes de hospitales, entre otros. Además, estas investigaciones son realizadas mayormente en países como China, Bélgica, Turquía y Malasia.

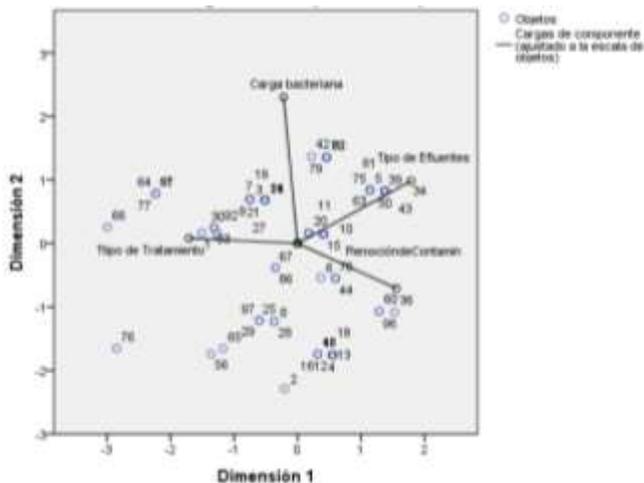


Fig. 3. Diagrama de dispersión del número de artículos en dos dimensiones

El diagrama de dispersión biespacial (Figura 3) muestra el número del artículo científico que aborda más algún tipo de temática. Es decir, los artículos número 16, 12, 48 y 13 hablan sobre la remoción de los contaminantes, pero al mismo tiempo se alejan de la temática carga bacteriana. Se puede describir que en la dimensión 1 destacan las temáticas del tipo de efluente, tipo de tratamiento y la remoción de los contaminantes, y mientras que la carga bacteriana es la que destaca o tiene mayor peso en la dimensión 2 como se ha descrito anteriormente.

Conclusiones

El análisis de componentes principales categóricos (CATPCA), esclareció el panorama de la literatura publicada sobre el estudio de los procesos fotoquímicos al revelar los componentes más importantes para implementar

dichos tratamientos. Teniendo esto en cuenta la utilización de estos tratamientos sería una opción viable para la descontaminación de algunos efluentes en México.

Referencias

Chuanxi Yang, Xiaoning Wang, Lingli Zhang, Wenping Dong, Cheng Yang (2020). Investigation of kinetics and mechanism for the degradation of antibiotic norfloxacin in wastewater by UV/H₂O₂. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*. **115**, 117-127.

Litter M. (2005). Introduction to photochemical advanced oxidation processes for water treatment, *The Handbook of Environmental Chemistry*, 2, L: *Environmental Photochemistry Part II*. Springer-Verlag, D. Bahnemann and P. Boule (Eds.)

ONU (Organización de las Naciones Unidas) (2018). Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2018. Naciones Unidas. Nueva York. Eisbn: 978-92-1-363319-9.

González F. I.; Urrutia G y Alonso C. P. (2011). Revisiones sistemáticas y metaanálisis: bases conceptuales e interpretación. *Rev. Esp Cardiol* 64 (8), 688-696.