

25. Medio ambiente

Desarrollo de una metodología experimental para el estudio de la inactivación fotocatalítica de *Escherichia coli*

Rosenberg, Nadia¹; Flores, Marina²; Labas, Marisol²

¹ autor; ² orientador

nadiarosenberg96@gmail.com; marinaflorespogliani@gmail.com; mlabas@santafe-conicet.gov.ar

Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas

Universidad Nacional del Litoral

Resumen

Los contaminantes del aire interior pueden ser eliminados en forma eficiente mediante fotocatalisis heterogénea, debido a las propiedades únicas de este proceso. Sin embargo, la mayoría de los estudios realizados han estado orientados a los contaminantes químicos, existiendo poca información sobre la eficacia de estos procesos en la descontaminación biológica. El objetivo del presente trabajo es desarrollar una metodología experimental adecuada para el estudio de la inactivación fotocatalítica de *Escherichia coli* (*E. coli*), un microorganismo modelo, utilizando dióxido de titanio (TiO₂) como catalizador. Para ello, se utilizó un fotorreactor simple para irradiar muestras de *E. coli*, las cuales estaban dispersas en la superficie de filtros absolutos para aire, que tenían TiO₂ depositado. Se aplicaron distintas variantes a fin de determinar el número adecuado de depósitos sobre el soporte filtrante, la duración del ensayo, la dilución del microorganismo a utilizar y el método de recuento. Los resultados mostraron que el ensayo es reproducible cuando este posee media hora de duración, se utiliza un depósito de TiO₂, una dilución de *E. coli* de 10⁻⁵ y el recuento se realiza mediante siembra de agar directa. La utilización de esa técnica permitirá realizar ensayos en los que se puedan determinar los parámetros cinéticos de la desinfección, los que pueden ser utilizados para el desarrollo de dispositivos que posibiliten la descontaminación del aire de espacios interiores.

Palabras clave: aire, desinfección, dióxido de titanio, descontaminación biológica

Introducción

Las actividades de la vida diaria implican que los seres humanos pasen gran parte de su tiempo en espacios cerrados, tales como oficinas y viviendas. Por lo tanto, la

calidad del aire en estos lugares puede tener un impacto negativo en la salud de las personas. Generalmente, estos espacios tienen una ventilación inadecuada o el aire es recirculado, por lo

que puede llegar a existir una acumulación progresiva de contaminantes. En consecuencia, es posible alcanzar niveles de contaminantes en el aire interior más altos que en el aire exterior (Paz, 2010).

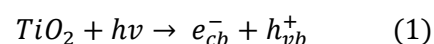
Los compuestos orgánicos volátiles (COVs), los óxidos de nitrógeno (NOx), el monóxido de carbono y el material particulado están entre los principales contaminantes del aire interior (Haghighat Mamaghani, Haghighat, y Lee, 2017). También se destacan los contaminantes de origen microbiológico, que incluyen bacterias, virus, hongos y esporas, comúnmente en forma de 'bioaerosoles'. Estos microorganismos pueden fluir libremente junto con el aire y, en consecuencia, extenderse en un área amplia en un corto período de tiempo (Byung Uk, Yun, Ji y Bae, 2008), favoreciendo la propagación de enfermedades.

En las últimas décadas, se ha estudiado extensamente la fotocatalisis heterogénea como método de desinfección, tanto para aire como para agua (Kim, Kim, Cho y Cho, 2003; Byung Uk *et al.*, 2008; Kibanova, Cervini-Silva y Destailats, 2009). Esto se debe a que el proceso posee características que favorecen la descontaminación: 1) ocurre a temperatura ambiente; 2) es poco selectivo, por lo que puede usarse para una amplia gama de contaminantes; 3) los

productos finales generalmente no son tóxicos (Haghighat Mamaghani *et al.*, 2017) y 4) funciona mejor a bajos niveles de concentración (ppb o ppm), que son la carga típica en el aire de edificios y oficinas (Paz, 2010; Boyjoo, Hongqi, Liu, Pareek, y Wang, 2017).

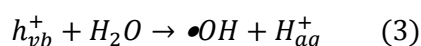
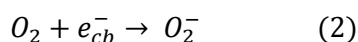
Los procesos fotocatalíticos se basan en la irradiación con luz UV de suspensiones de óxidos semiconductores (TiO₂, ZnO, CdS, óxidos de hierro) en presencia de las especies contaminantes que se quiere degradar. La mayoría de los procesos fotocatalíticos estudiados utilizan dióxido de titanio (TiO₂) como catalizador, debido a que genera especies altamente oxidantes, es químicamente estable, no tóxico y tiene un bajo costo (Wang, Huang, Yu y Wong, 2015).

Cuando el TiO₂ es irradiado, la adsorción de un fotón con suficiente energía por promueve electrones desde la banda de valencia (e_{vb}^-) a la banda de conducción (e_{cv}^-), dejando un orificio con carga positiva en la banda de valencia (h_{vb}^+):

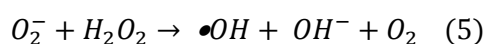
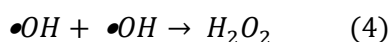


Como los electrones son libres de migrar dentro de la banda de conducción, los huecos generados pueden ser ocupados por la migración de un electrón de una molécula adyacente (lo que, a su vez, genera un hueco). Este proceso puede repetirse: los electrones y los huecos pueden recombinarse o, cuando llegan a la superficie, reaccionar y generar

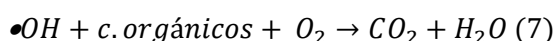
especies reactivas de oxígeno (ROS), como ion superóxido (2) y radicales hidroxilo (3):



Cuando estas especies están en solución, pueden reaccionar para dar peróxido de hidrógeno (4), más radicales hidroxilo (5) e hidroperoxilo (6).



La reacción de estos radicales con compuestos orgánicos da como resultado una mineralización de los mismos (7):



El tema de esta investigación es la inactivación de contaminantes microbiológicos presentes en el aire interior utilizando *Escherichia coli* (*E. coli*) como contaminante modelo. Las tecnologías tradicionales de descontaminación del aire para eliminar contaminantes gaseosos están limitadas a métodos físicos, tales como la ventilación, la adsorción y la filtración (Boyjoo *et al.*, 2017). Cuando se utiliza filtración, los microorganismos capturados en los filtros mantienen su viabilidad, pudiendo separarse y resuspenderse durante la limpieza y mantenimiento del filtro. Es por este motivo que es necesario desarrollar una metodología de control contra los microorganismos depositados en estos filtros, siendo la fotocatalisis heterogénea

una tecnología factible de ser incorporada a los procesos de filtración.

La fotocatalisis heterogénea ha demostrado ser capaz de eliminar un amplio rango de microorganismos, incluyendo bacterias *gram* negativas y *gram* positivas, hongos filamentosos y unicelulares y algunas endosporas. El mecanismo de inactivación generalmente implica la degradación de la pared celular y de la membrana plasmática mediante la producción de especies reactivas de oxígeno, lo que culmina con la lisis de la bacteria. La inactivación es más eficiente mientras mayor sea el tiempo de contacto entre el catalizador y los organismos (Howard, Iram y Sajnu, 2011).

Para lograr una fotocatalisis efectiva, es necesario que la superficie del fotocatalizador se encuentre adecuadamente irradiada. Para esto, puede utilizarse un material soporte, de forma que permita la retención de los microorganismos aerotransportados y facilite así el contacto con el fotocatalizador y la radiación UV. Si como material se utilizan superficies filtrantes, es posible realizar en forma conjunta tanto filtración como fotocatalisis

El soporte para el catalizador debe cumplir las siguientes condiciones: 1) facilitar el transporte de masa hacia y desde los sitios activos; 2) incrementar el tiempo de residencia efectivo cerca del catalizador; 3) evitar bloquear la radiación hacia los

sitios activos (Kibanova *et al.*, 2009); 4) poseer una gran área superficial; 5) ser estable bajo la radiación y 6) poseer una alta afinidad de adsorción para el contaminante (Haghighat Mamaghani *et al.*, 2017).

Objetivos

El objetivo del presente trabajo es desarrollar una técnica que permita aplicar procesos avanzados de oxidación para la inactivación de *E. coli* soportada en filtros de aire absolutos. Los objetivos específicos son:

- 1) Caracterizar filtros absolutos de aire para la desinfección fotocatalítica de *E. coli* utilizando TiO_2 como catalizador.
- 2) Optimizar el proceso de desinfección de forma tal que se logren altas tasas de inactivación con un bajo tiempo de contacto y utilizando la menor cantidad de insumos posibles.

Materiales y métodos

1. Catalizador

Se utilizó dióxido de titanio Aeroxide P25 (Sigma-Aldrich) como catalizador. El mismo posee $35-65 \text{ m}^2/\text{g}$ de superficie específica y un tamaño de partícula de 21 nm. El dióxido de titanio P25 posee una combinación única de las estructuras cristalinas anatasa y rutilo, lo que lo vuelve adecuado para muchas aplicaciones fotocatalíticas.

2. Material de soporte y deposición del catalizador

Como soporte del microorganismo se utilizaron filtros absolutos para aire (Casiba). Los mismos están compuestos por microfibras de vidrio extrafina resistente a la humedad. La eficiencia de filtrado se encuentra entre 95 y 99,99% para partículas de $0,3 \mu\text{m}$, por lo que se utilizan en áreas limpias, ambientes controlados, instalaciones de aire acondicionado central y ventilación industrial de alta calidad de filtración de aire. Los filtros se comercializan en un soporte metálico, por lo tanto, se separaron y fraccionaron en un tamaño de $5 \text{ cm} \times 2 \text{ cm}$ para su utilización en el presente trabajo.

La deposición del catalizador sobre la superficie de los filtros se realizó mediante la técnica de inmersión (*dip coating*), debido a que dicha técnica es eficiente para realizar depósitos de TiO_2 sobre filtros (Temporetti, Labas y Brandi, 2015). Los filtros fueron sumergidos durante un minuto en una solución de 1gr de TiO_2 en 100ml de agua destilada (Temporetti *et al.*, 2015). El secado se realizó en estufa a 60°C durante 1 hora, con el lado hidrofóbico del filtro hacia arriba. En caso de requerirse más depósitos sobre un mismo filtro, se repitió el procedimiento de inmersión y secado.

Se realizó una serie de depósitos, se pesaron los filtros y se realizaron

observaciones de los depósitos en microscopio (Leika), a fin de determinar en qué punto se saturaban de TiO_2 . Luego se realizaron ensayos experimentales de desinfección y se graficaron las curvas de inactivación, que representan la pérdida de viabilidad de *E. coli* en función del tiempo.

3. Siembra del microorganismo modelo

Como microorganismo modelo se utilizó *Escherichia coli* ATCC 8739, un bacilo gram negativo de la familia de las enterobacterias. Este microorganismo es ampliamente utilizado a nivel global en diversos tipos de investigaciones debido a su fácil manipulación: es fácil de cultivar, no requiere grandes cantidades de energía y no demanda condiciones de vida sofisticadas.

Para cada ensayo experimental se realizó un cultivo del microorganismo. Se tomó un inóculo utilizando un ansa estéril y se introdujo en un erlenmeyer con caldo nutritivo (Biokar). Este es un medio no selectivo utilizado para el desarrollo de microorganismos con escasos requerimientos nutricionales. Está compuesto por triptona (10 g/L), extracto de carne (5 g/L) y cloruro de sodio (5 g/L). El cultivo se colocó en estufa a 37°C durante 22 horas, pues previamente se determinó mediante la construcción de una curva de crecimiento que es a este tiempo cuando la bacteria inicia la fase

exponencial (Flores, 2014). La fase exponencial se corresponde con el máximo crecimiento del microorganismo, antes de que comience la fase de decaimiento por agotamiento de los recursos.

Este cultivo se utilizó para realizar diluciones seriadas en tubos con 9 ml de agua de peptona (Biokar), que funciona como diluyente y medio de enriquecimiento no selectivo. Está compuesto por peptona de carne (10 g/L) y cloruro de sodio (5 g/L).

Utilizando una micropipeta con punta estéril, se tomó 1,0 ml del cultivo de *E. coli* y se transfirió al primer tubo (dilución 10^{-1}). La suspensión se mezcló utilizando un vortex durante unos segundos. Con una nueva punta estéril de micropipeta, se transfirió 1,0 ml al siguiente tubo de dilución (dilución 10^{-2}) y se mezcló en vortex. Este procedimiento se repitió hasta obtener el número requerido de diluciones.

Para realizar la siembra del microorganismo en cada filtro se tomó 0.1 ml de la dilución elegida con una jeringa descartable de tuberculina y se colocó sobre la superficie hidrofílica del filtro en forma de pequeñas gotas. Estas gotas se esparcieron sobre la superficie utilizando un ansa. La cantidad de filtros sembrados para cada ensayo fue variable con el tiempo de reacción.

Se probaron diluciones 10^{-5} , 10^{-6} y 10^{-7} . La dilución adecuada debería ser la que permita contabilizar las colonias presentes en la superficie de los filtros luego de 24 horas de incubación. Para determinar la dilución adecuada se graficaron curvas de inactivación. Además, se determinó la eficiencia de la inactivación bacteriana mediante la siguiente expresión:

$$\eta\% = \frac{C_0 - C_f}{C_0} \cdot 100 \quad (8)$$

En la cual:

- η es la eficiencia
- C_0 es la concentración del microorganismo a tiempo 0
- C_f es la concentración del microorganismo al final del ensayo

Para favorecer el desarrollo de únicamente colonias de *E. coli* en la superficie de placas de Petri y filtros se utilizó Levine EMB agar (Biokar) como medio de crecimiento. Este es un medio selectivo y diferencial, adecuado para el crecimiento de enterobacterias. Ejerce un efecto inhibitorio sobre una amplia variedad de bacterias *gram* positivas y, entre las bacterias *gram* negativas, permite diferenciar entre los organismos capaces de utilizar la lactosa y/o sacarosa (colonias color azulado-negro, brillo metálico) y aquellos que son incapaces de hacerlo (incoloras). Se utilizó este medio debido a que muchas cepas de *E. coli* presentan un característico brillo metálico cuando crecen en él.

4. Determinación de la concentración inicial del microorganismo

Para determinar la concentración inicial de bacterias se optó por la técnica de recuento en placa por siembra en superficie. Este método ofrece la ventaja de cuantificar únicamente los microorganismos viables presentes en términos de unidades formadoras de colonia (UFC).

Se utilizó una micropipeta de punta estéril para colocar 1,0 ml de la misma solución de *E. coli* utilizada para sembrar los filtros sobre una placa de Petri con EMB solidificado. Esta solución se esparció utilizando un ansa y luego se colocó invertida en estufa a 37°C durante 24 horas. Posteriormente, se determinó el número de colonias presentes en la placa y se calculó la concentración inicial de *E. coli* mediante la siguiente expresión:

$$C_0 = \frac{C \cdot 10^D}{0,1} \quad (9)$$

En la cual:

- C_0 es la concentración inicial del microorganismo (UFC/ml)
- C es el conteo realizado en la placa (UFC)
- D es el número de la dilución

5. Ensayo experimental

Se utilizó un fotorreactor simple. El mismo posee forma de caja y sus caras laterales son abiertas. En su parte superior dispone

de un sistema emisor, el cual consiste en cinco lámparas UV-A actínicas (Sylvania F15W T12, 15 Watts) con $\lambda_{max} = 365$ nm que aportan un flujo de radiación incidente prácticamente uniforme sobre una bandeja que se encuentra en la base.

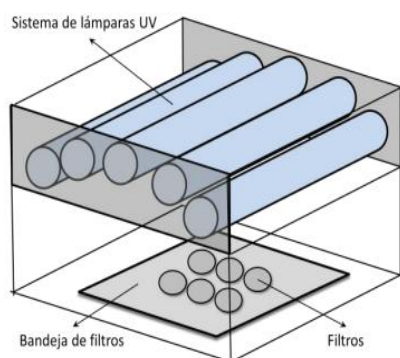


Figura 1. Esquema del fotorreactor

Los filtros con el catalizador depositado y el microorganismo disperso en su superficie fueron distribuidos sobre la bandeja de la base metálica. Una vez colocados, se encendieron las lámparas del fotorreactor y se inició el ensayo experimental. Los filtros se fueron retirando a distintos tiempos. Este procedimiento permitió seguir la reacción de desinfección a lo largo del tiempo. Como muestras de control, también se irradiaron filtros con el microorganismo disperso pero sin catalizador.

Durante el transcurso del ensayo, los filtros se fueron humedeciendo con solución fisiológica estéril cada 2 minutos en promedio, a fin de evitar muerte de los microorganismos por desecación.

Se realizaron ensayos de entre 20 y 30 minutos de duración, tomando muestras cada 5 minutos.

6. Recuento de las colonias

Para estudiar la inactivación de *E. coli* a lo largo del tiempo, es necesario poder contabilizar el número de colonias en los filtros. Para ello, se probaron diferentes métodos de recubrimiento con EMB utilizando filtros sin depósito (sD) y con un depósito (1D) sembrados con 0,1 ml de solución de *E. coli*. El recuento de las colonias en las placas y los filtros se realizó luego de 24 horas de incubación en estufa a 37°C.

6.1. Siembra por inmersión

Se colocó cada filtro en una placa de Petri de vidrio estéril y se vertió EMB disuelto en la placa hasta que los filtros estuvieron completamente cubiertos. A continuación, se cerraron las placas y se les imprimieron movimientos circulares suaves en un sentido y otro (aproximadamente 5 veces cada sentido). Una vez solidificado el EMB, se llevaron a estufa durante 24 horas a 37 °C.

6.2. Siembra por impresión

Se calentaron en el microondas 2 placas de Petri con EMB estéril solidificado durante 30 segundos, a fin de ablandar la superficie. Posteriormente, se colocó cada filtro de cara al agar durante 5

segundos, realizando una suave presión sobre la placa. Luego, se retiraron y se dispusieron en placas estériles. Finalmente, se llevaron las placas de Petri y las placas con los filtros a estufa 24 horas a 37°C.

6.3. Siembra indirecta

Se colocó cada filtro de cara en una placa de Petri con EMB y se presionó con una espátula para asegurar el contacto con el agar. Posteriormente, se llevaron las placas a estufa durante 24 horas a 37°C.

6.4. Siembra utilizando agua de peptona

Se colocó cada filtro en un tubo que contenía 10 ml de agua de peptona y se realizó una agitación constante durante 4 minutos. A continuación, se utilizó una micropipeta estéril para tomar 0,1 ml de cada tubo y sembrarlo en una placa de Petri con 15 ml de EMB. Finalmente, se llevaron las placas a estufa durante 24 horas a 37°C.

6.5. Siembra de agar directa

Se cubrió la superficie de cada filtro con EMB líquido utilizando una micropipeta estéril. Posteriormente, los filtros fueron llevados a estufa durante 24 horas a 37°C.

Resultados y discusión

1. Selección de la técnica de recuento

1.1. Siembra por inmersión

Como se puede observar en las imágenes, el método no es apropiado para contabilizar las colonias debido a que se forman pátinas sobre la superficie de los filtros. Cuando se forman pátinas no es posible contabilizar las colonias pues éstas no están individualizadas.

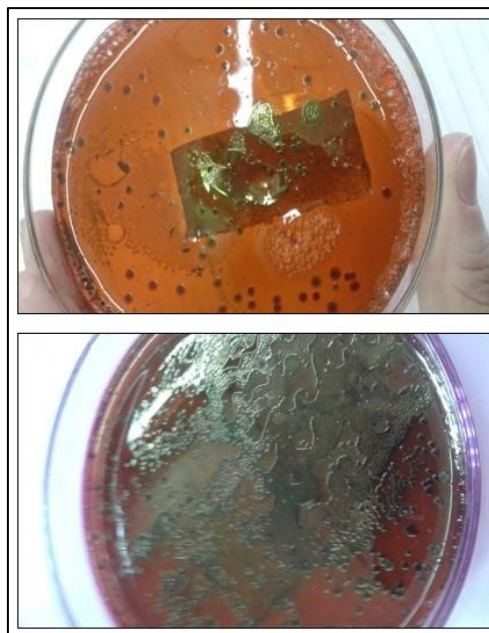


Figura 2. Siembra por inmersión. Arriba: placa filtro sD. Abajo: placa filtro 1D.

1.2. Siembra por impresión

El método fue descartado debido a que el crecimiento en la placa del filtro 1D fue en forma de pátina y en la placa del filtro sD fue complejo de realizar, dado el alto número de UFC presentes en una pequeña superficie. Además, no se pudo determinar el número de colonias en los filtros, debido a que éstas aparecieron en forma difusa y de un color muy claro, lo que imposibilitaba su individualización.

1.3. Siembra indirecta

En el filtro sD se pudieron contabilizar 112 colonias y 50 en la placa. En cuanto al filtro 1D, se pudieron contabilizar 90 colonias en el mismo y 10 en la placa.

1.4. Siembra utilizando agua de peptona

El recuento para ambas placas fue 60 UFC. Comparado con los recuentos obtenidos con otras técnicas este es bajo, por lo que se desestimó la técnica.

1.5. Siembra directa

Se observaron colonias en forma de pequeños puntos negros sobre la superficie de los filtros. En el filtro sin depósito se contabilizaron 263 colonias, mientras que en el filtro con un depósito se contabilizaron 260.

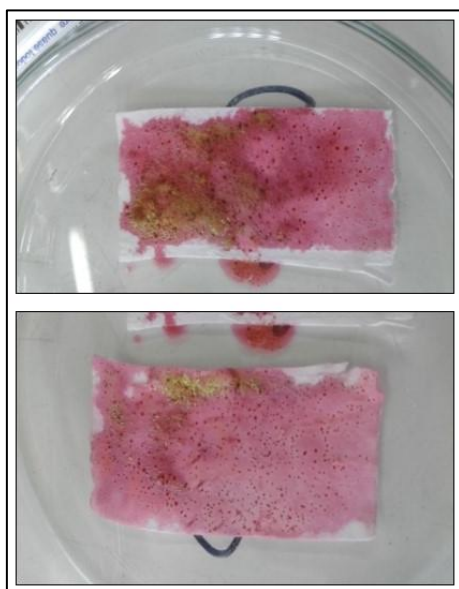


Figura 3. Siembra directa. Arriba: filtro sD.
Abajo: filtro 1D.

Tabla 1. Síntesis de los resultados –
Métodos de recuento

Tipo de siembra	Resultado	
	Filtro sD	Filtro 1D
Por inmersión	-	-
Por impresión	-	-
Indirecta	√	√
Con agua peptona	-	-
Directa	√	√

Se eligió el método de siembra directa debido a la facilidad de individualizar a simple vista las colonias comparado con el método de siembra indirecta. Además, con esta técnica el recuento se realiza únicamente en los filtros, evitándose la dispersión en placa, la cual puede conducir a recuentos erróneos.

2. Tiempo de reacción

Inicialmente, se realizaron ensayos de 20 minutos de duración. Sin embargo, al final de estos ensayos no se obtenían las eficiencias de inactivación deseadas. Por lo tanto, se decidió realizar ensayos de 30 minutos de duración para incrementar el tiempo de contacto, número de muestras e inactivación total.

3. Número de depósitos

Se realizó el pesaje de los filtros y se observó que el peso del filtro no aumenta significativamente a partir del segundo

depósito, por lo que se puede afirmar que el mismo se satura de TiO_2 .

Tabla 2. Pesaje de los filtros con y sin depósitos

Nº de depósitos	Peso (gr)
Sin depósito	0,0795
1 depósito	0,0846
2 depósitos	0,0858
3 depósitos	0,0860

En las observaciones en microscopio se apreciaron zonas oscuras en la superficie de los filtros, que se corresponden con conglomerados de TiO_2 . Al pasar de 1D a 2D se evidenció un aumento de zonas oscuras en la cara llana, que es la cara del filtro en la que se siembra el microorganismo. Sin embargo, la comparación entre 2D, 3D, 4D y 5D no mostró diferencias, lo que se corresponde con la condición de saturación del filtro previamente mencionada.

Por lo tanto, se concluyó que los filtros se saturan con el segundo depósito. En consecuencia, para los ensayos experimentales se debían realizar, como máximo, dos depósitos en los filtros.

A continuación, se presentan las curvas de inactivación con 1D y 2D obtenidas para la dilución 10^{-6} :

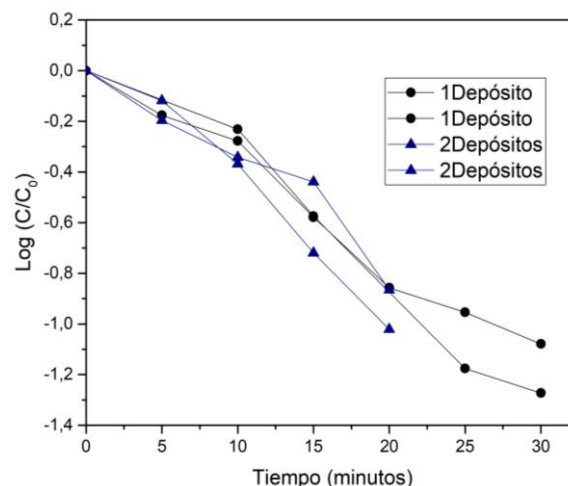


Figura 4. Inactivación de *E. coli* en filtros de aire absolutos con 1D de TiO_2 (●) y con 2D de TiO_2 (▲). Dilución: 10^{-6} .

Se observa que, si bien se requiere un tiempo de contacto mayor, utilizando un depósito se obtienen tasas de inactivación más altas que con dos depósitos. Es posible que las partículas del TiO_2 no activo ejerzan un efecto "pantalla", cubriendo a las bacterias y protegiéndolas de las especies oxidativas. En consecuencia, la fotocatalisis no logra ser completamente eficiente.

Adicionalmente, realizar un solo depósito implica un menor consumo de insumos (cantidad de TiO_2 , energía). Por lo tanto, se decidió utilizar filtros con 1D.

4. Elección de la dilución

En los ensayos con distintas diluciones y filtros con 1D se obtuvieron las siguientes curvas de inactivación:

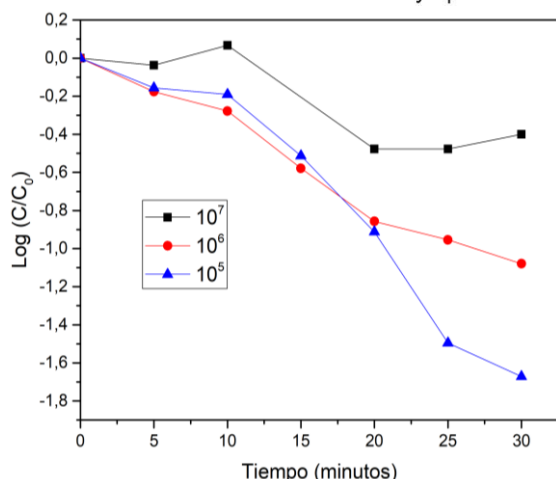


Figura 5. Inactivación de *E. coli* en filtros de aire con 1D de TiO₂. Dilución 10⁻⁵ (▲), dilución 10⁻⁶ (●) y dilución 10⁻⁷ (■).

La curva de inactivación correspondiente a la dilución 10⁻⁷ es sustancialmente diferente de las demás. Esto puede deberse a que, al obtenerse conteos muy bajos y colonias pequeñas, aumentaban los errores en la determinación del número de colonias sobre la superficie de los filtros. Por lo tanto, esta dilución se descartó.

Se observa que la tasa de inactivación aumenta con la dilución (10⁻⁵ > 10⁻⁶ > 10⁻⁷). Lo mismo ocurre con las eficiencias:

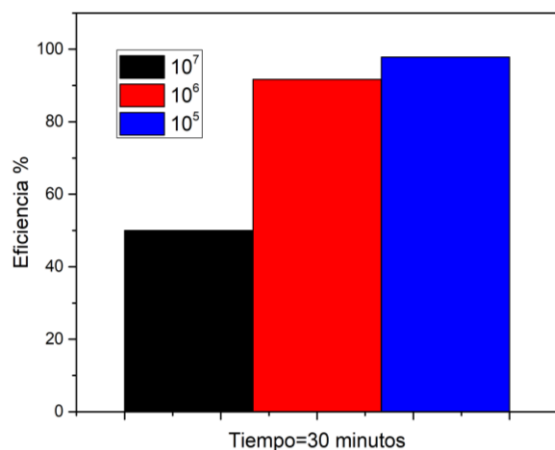


Figura 6. Eficiencia de la inactivación, diluciones 10⁻⁵, 10⁻⁶ y 10⁻⁷.

Los ensayos utilizando dilución 10⁻⁵ poseen la mayor eficiencia (97,87%). Además, si lo que se desea es inactivar la mayor cantidad posible de microorganismos es conveniente que la concentración inicial sea lo más alta posible. Por lo tanto, se concluye que la dilución óptima del microorganismo es 10⁻⁵.

5. Síntesis de los resultados

Se presenta un resumen de las condiciones experimentales óptimas:

Tabla 3. Condiciones experimentales

Variable	Resultado
Duración del ensayo	30 minutos
Número de depósitos	1
Dilución del microorganismo	10 ⁻⁵
Técnica de recuento	Siembra directa

Conclusiones

Se logró desarrollar una técnica adecuada para determinar la inactivación mediante fotocatalisis heterogénea de *E. coli* soportada en filtros absolutos. Mediante la utilización de esa técnica, es posible realizar ensayos en los que se puedan

determinar, en base a las curvas de inactivación y la intensidad de radiación, los parámetros cinéticos de la desinfección. Estos parámetros pueden ser utilizados para desarrollar dispositivos que permitan la desinfección de aire interior.

Bibliografía

Byung Uk, L., Yun, S. H., Ji, J. y Bae, G. (2008). Inactivation of *S. epidermidis*, *B. subtilis* and *E. coli* Bacteria Bioaerosols Deposited on Filter Utilizing Airborne Silver Nanoparticles. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 18 (1), 176-182.

Boyjoo, Y., Hongqi, S., Liu, J., Pareek, V. y Wang, S. (2017). A review on photocatalysis for air treatment: From catalyst development to reactor design. *Chemical Engineering Journal*, 310, 537-559.

Flores, M. J. (2014). *Estudio de la cinética de desinfección en agua utilizando un agente oxidante y su combinación con radiación UV* (tesis doctoral). Facultad de Ingeniería Química, Santa Fe, Argentina.

Haghighat Mamaghani, A., Haghighat, F. y Lee, C., (2017). Photocatalytic oxidation technology for indoor environment air purification: The state-of-the-art. *Applied Catalysis B: environmental*, 203, 247-269.

Howard, A. F., Iram, B. D. y Sajnu, V. (2011). Photocatalytic disinfection using titanium dioxide: spectrum and mechanism

of antimicrobial activity. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 90, 1847-1868.

Kibanova, D., Cervini-Silva, J. y Destailats, H. (2009). Efficiency of Clay-TiO₂ Nanocomposites on the Photocatalytic Elimination of a Model Hydrophobic Air Pollutant. *Environmental Science & Technology*, 43, 1500-1506.

Kim, B., Kim, D., Cho, D y Cho, S. (2003). Bactericidal effect of TiO₂ photocatalyst on selected food-borne pathogenic bacteria. *Chemosphere*, 52, 277-281.

Paz, Y. (2010). Application of TiO₂ photocatalysis for air treatment: Patent's overview. *Applied Catalysis B: environmental*, 99, 448-460.

Temporetti, A.; Labas, M.D. y Brandi, R.J. (2015). *Fotocatálisis heterogénea para la desinfección de aire en ambientes interiores*. Libro de resúmenes del XIX Encuentro de Jóvenes Investigadores de la UNL, Santa Fe, Argentina.

Wang, W., Huang, G., Yu, J. C. y Wong, P. W. (2015). Advances in photocatalytic disinfection of bacteria: Development of photocatalysts and mechanism. *Journal of Environmental Sciences*, 34, 232-247.

Financiamiento

El presente trabajo se realizó utilizando los fondos CAID 2016 PIC 50420150100012 LI 'Desarrollo de nuevos dispositivos y nuevas estrategias para estudios cinéticos en la descontaminación

Universidad Nacional de Cuyo | Mendoza | Argentina
de aire y agua mediante Procesos
Avanzados de Oxidación'; Director: Dr.
Rodolfo Brandi, Codirectora: Dra. Marisol
Labas.

17, 18 y 19 de octubre de 2018



Asociación de Universidades
GRUPO MONTEVIDEO



UNCUYO
UNIVERSIDAD
NACIONAL DE CUYO

