

Fotocatálisis con óxido de gadolinio para desinfección *in vitro* de cuatro serotipos de *Salmonella*

Hinojoza-Figueroa R. A.¹ • Macías-Rodríguez M. E.^{1*}
López-Álvarez M. A.¹ • Gutiérrez-González P.¹

Palabras clave: oxido de gadolinio, fotocatalisis, descontaminación, *Salmonella*
Key words: gadolinium oxide, photocatalysis, decontamination, *Salmonella*

Introducción

Según estadísticas de los CDC, 44% de las enfermedades transmitidas por alimentos (ETAs) que han llevado a la hospitalización por consumo de frutas frescas desde el año 1998 al 2018 son adjudicados a *Salmonella*. Se estima que este patógeno causa 1.35 millones de infecciones, 26,500 hospitalizaciones y 420 muertes anuales en Estados Unidos [1]. Por ello, continuamente se busca evaluar la efectividad de métodos comúnmente utilizados para la desinfección de frutas y hortalizas, donde los compuestos más utilizados son el cloro, peróxido de hidrógeno, hipoclorito de sodio y ácidos orgánicos como el ácido cítrico, acético y láctico, entre otros [2].

Sin embargo, se buscan nuevos materiales de desin-

fección para reducir las limitaciones que pueden presentar los actuales. En este sentido, estudios recientes han mostrado que el uso de óxidos de lantánidos fotocatalizados, aportan beneficios medioambientales al oxidar contaminantes orgánicos sin dejar residuos tóxicos [3]. La fotocatalisis ha mostrado buenos resultados en la eliminación de virus y microorganismos; no obstante, se carece de experimentos enfocados a evaluar la efectividad de estos en la desinfección de alimentos y de manera particular de frutas y hortalizas. Por ello en este trabajo se propone sintetizar, caracterizar y estudiar el efecto del óxido de gadolinio nanoestructurado como fotocatalizador para la desinfección de una mezcla de *Salmonella* serotipos

1 Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías. Universidad de Guadalajara. Blvd. Gral. Marcelino García Barragán 1421, Guadalajara, 44430 Jalisco México.

* mesther.macias@academicos.udg.mx



Typhimurium, Enteritidis, Montevideo y Saintpaul utilizando un material de prueba (perlas de vidrio).

Aunado a esto, el hecho de que estos productos se consumen generalmente sin ningún tipo de cocción, eleva considerablemente la posibilidad de contraer enfermedades, lo cual está altamente influenciado por prácticas de consumo como el lavado o la desinfección previa.

Metodología

La síntesis del óxido de gadolinio se realizó utilizando el método de combustión. Para ello se empleó nitrato de gadolinio hexahidratado como material precursor y urea como combustible, en una relación molar equivalente de 1:2.5.

El análisis de la estructura cristalina se llevó a cabo mediante difracción de rayos X utilizando un difractómetro Empyrean®; la morfología del material se determinó mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) utilizando un microscopio TESCAN®, modelo MIRA, finalmente los valores Band-Gap fueron determinados en un equipo Cary Series Uv-Vis Spectrophotometer Agilent Technologies®.

Los ensayos de descontaminación se llevaron a cabo en una cámara cerrada construida de acrílico que en su interior cuenta con dos cámaras separadas por una base perforada parcialmente, de tal forma que la zona de fotocátalisis permite la no irradiación directa del alimento con las lámparas de UV (Figura 1).

Para las pruebas de descontaminación, se utilizaron perlas de vidrio estériles de 4mm de diámetro que fueron inoculadas e incubadas por 18h a 35°C con una mezcla de las cepas de *Salmonella*, serotipos Thyphi-

murium, Enteritidis, Montevideo y Saintpaul a una concentración de 1×10^6 cel/mL. Antes del ensayo de fotocátalisis las perlas se enjuagaron suavemente con 10 mL de búfer de fosfatos (PBS). Finalmente, las perlas se colocaron en cajas de Petri estériles, y cada caja se colocó abierta sobre el segundo nivel de la cámara, sometiéndolas a tratamiento fotocatalítico utilizando 1.5 y 3 mg/mL de óxido de gadolinio suspendido en agua destilada (colocado en la cámara inferior) por 5 y 10 min respectivamente.

Para el conteo de células viables, se colocaron las perlas de vidrio tratadas, en una bolsa de stomacher® la cual contenía 9mL de PBS estéril, se agitaron vigorosamente de manera manual con un ángulo de 90° por 1 min y se aplicó el método de frotación durante 3 min más. Posteriormente se prepararon diluciones seriadas y se sembró en superficie en placas de agar soya tripticaseína conteniendo 0.1% de rifampicina, incubando finalmente por 24h a 35°C.

El conteo de colonias fue realizado posteriormente y los resultados se expresaron en UFC/g de perlas. Los ensayos fueron realizados con un diseño experimental 2k y los resultados se analizaron con el Software Statgraphics® 18.

Resultados y discusión

La Figura 2 muestra la micrografía de los polvos de óxido de gadolinio. Como se observa, la superficie del material exhibe una morfología basada en la formación de abundantes poros. Esta morfología es típica del método de combustión y es atribuida al desprendimiento de los diversos gases generados durante la reacción de combustión.



Figura 1. Equipo de fotocátalisis.

Por otro lado, en la Figura 3 se presenta el patrón de difracción (difractograma) de los polvos obtenidos al finalizar la reacción de combustión y después de ser calcinados a 600°C. De acuerdo con el difractograma, no se observaron líneas de difracción que indicaran la formación de carbonatos o remanentes orgánicos provenientes de la descomposición térmica de la urea, esto indica que se obtuvo una fase pura y cristalina de este óxido. Cabe destacar que cada una de las líneas de difracción que aparecen en el difractograma fueron comparadas con las reportadas para el Gd₂O₃ utilizando el archivo de difracción JCPDF #1014 proveniente de la base de datos JADE. El valor de band gap obtenido fue de 5.2 eV, lo que es similar a lo previamente reportado (Figura 4).

Los ensayos de descontaminación microbiana se presentan en la Tabla 1. El análisis de varianza para

el diseño 2K (Tabla 2) muestra que todos los valores de P fueron mayores al nivel de confianza dado $\alpha=0.05$, lo que significa que ninguno de los efectos “tiempo, concentración del material o la interacción entre ellos” representa un valor significativamente diferente.

Debido a que los efectos del tiempo, concentración y su interacción no fueron significativos, se decidió realizar un segundo análisis en el cuál, se realizó un estadístico de T-student para comparar las medias de los resultados tras aplicar la fotocatalisis contra los controles que consistieron en perlas de vidrio inoculadas sin aplicar el tratamiento, obteniendo un valor de P=0.1095. Lo que significa que los valores no son significativamente diferentes entre las perlas con tratamiento de fotocatalisis o sin someterse al tratamiento.

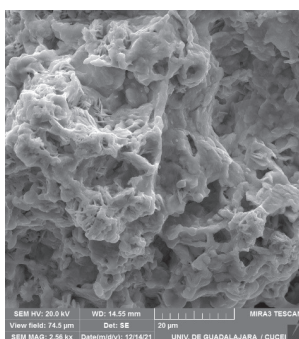


Figura 2. Micrografía del óxido de gadolinio.

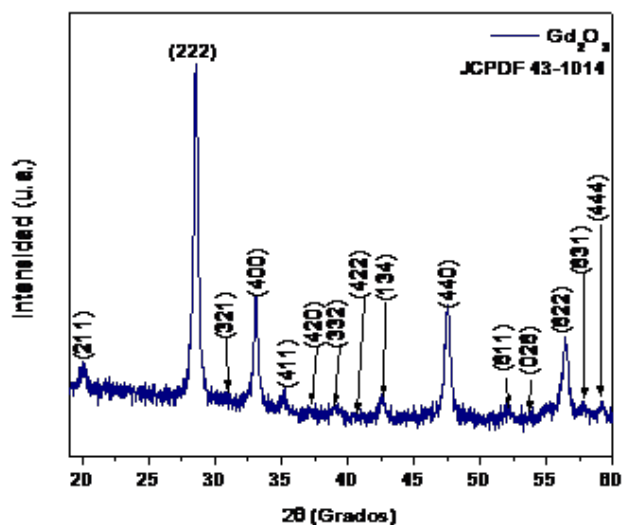


Figura 3. Difractograma del óxido de gadolinio.

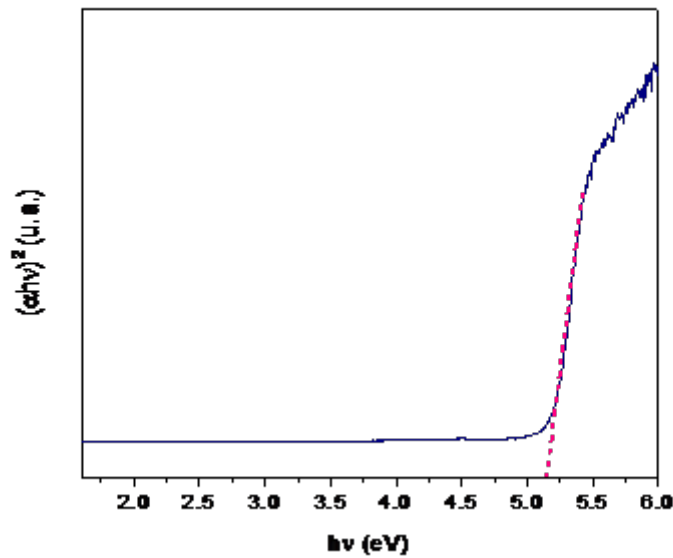


Figura 4. Band-gap del óxido de gadolinio.

Tabla 1. Log UFC/g a distintas condiciones de tratamiento fotocatalítico con óxido de gadolinio.

Tiempo de exposición (min)	Log UFC/g en perlas Concentración de óxido de gadolinio (mg/mL)		
	0	1.5	3
0	4.82 ± 0.07	ND	ND
5		3.70 ± 1.72	4.59 ± 0.51
10		3.77 ± 0.73	1.70 ± 0.00

Tabla 2. Análisis de varianza para la variable de respuesta Log UFC/g.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Tiempo	2.02005	1	2.02005	0.98	0.3776
B:Concentración	0.07605	1	0.07605	0.04	0.8568
AB	2.35445	1	2.35445	1.15	0.3447
Error total	8.2194	4	2.05485		
Total (corr.)	12.67	7			

Conclusión

Los resultados mostraron que las combinaciones elegidas de concentración de óxido de gadolinio y tiempos de exposición utilizados no fueron lo suficientemente efectivos para obtener un resultado significativamente diferente en la descontaminación de materiales inoculados con *Salmonella*, aunque se observa una tendencia que muestra una disminución en el número

de Log UFC/g de perlas con tratamiento fotocatalítico contra las perlas de vidrio sin tratamiento.

Agradecimientos

A la Universidad de Guadalajara y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada.

Referencias

1. Centers for Disease Control and Prevention. Salmonella. Available at: <https://www.cdc.gov/salmonella/index.html> Accessibility verified August 26, 2022.
2. Ortiz-Solà J., ;Abadias M., Colás-Medà P., Sánchez G., Bobo G., Viñas, I. Evaluation of a sanitizing washing step with different chemical disinfectants for the strawberry processing industry. *International Journal of Food Microbiology*. 2020 (334).
3. Veerachandra K., Yemmireddy, Yen-Con Hung. Using Photocatalyst Metal Oxides as Antimicrobial Surface Coatings to Ensure Food Safety—Opportunities and Challenges. *Comprehensive reviews in food science and food safety*. 2017;4(16):617-631.