



DISEÑO E INSTALACIÓN DE UNA PLANTA PILOTO PARA LA FABRICACIÓN DE DESINFECTANTE LÍQUIDO

Jouber Antonio Azua Alvia
Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí
jouber.azua@uleam.edu.ec

Juan Honorio Cellán Vera
Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí
e1311757882@live.uleam.edu.ec

Cindy Monserrate Zambrano Arteaga
Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí
e1314738525@live.uleam.edu.ec

Autor para correspondencia: jouber.azua@uleam.edu.ec

Recibido: 21/04/2026 **Aceptado:** 20/06/2026 **Publicado:** 15/07/2026

RESUMEN

El presente trabajo desarrolla el diseño e instalación de una planta piloto para la fabricación de desinfectante líquido, planteada como una propuesta de aplicación práctica dentro de la carrera de Ingeniería Industrial de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM). El estudio tuvo como objetivo establecer las condiciones óptimas de formulación, mezcla, homogeneización y envasado de un desinfectante de uso doméstico a base de amonio cuaternario, tomando en cuenta el balance de materia y energía, la selección de equipos adecuados y la evaluación de la eficiencia del producto. Se trabajó con tres concentraciones de amonio cuaternario (1,2 %, 2 % y 4 %) complementadas con alcohol etílico, tensoactivo nonilfenol, fragancia, colorante y agua desionizada. Se diseñaron los diagramas de flujo del proceso, se definieron las características de los equipos principales (motor agitador, tanques y llenadora automática), y se verificó la calidad del producto mediante pruebas microbiológicas. Los resultados demostraron que la formulación al 2 % de amonio cuaternario presentó la mejor relación entre eficiencia, biocida y estabilidad fisicoquímica, con una eficacia del 99.5 % frente a bacterias representativas. La planta piloto instalada garantiza un proceso reproducible, seguro y con potencial de escalamiento industrial.

Palabras clave: amonio cuaternario; desinfectante líquido; eficiencia bactericida; ingeniería de procesos; planta piloto.



DESING AND INSTALLATION OF A PILOT PLANT FOR THE PRODUCTION OF LIQUID DISINFECTANT

ABSTRACT

This work develops the design and installation of a pilot plant for the manufacture of liquid disinfectant, proposed as a proposal for practical application within the Industrial Engineering career of the Eloy Alfaro Lay University of Manabí (ULEAM). The objective of the study was to establish the optimal conditions for the formulation, mixing, homogenization and packaging of a quaternary ammonium-based disinfectant for domestic use, taking into account the balance of matter and energy, the selection of appropriate equipment and the evaluation of the efficiency of the product. Three concentrations of quaternary ammonium (1.2%, 2% and 4%) supplemented with ethyl alcohol, nonylphenol surfactant, fragrance, colorant and deionized water were used. The process flow diagrams were designed, the characteristics of the main equipment (agitator motor, tanks and automatic filler) were defined, and the product quality was verified through microbiological tests. The results showed that the 2% quaternary ammonium formulation presented the best relationship between efficiency, biocide and physicochemical stability, with an efficacy of 99.5% against representative bacteria. The installed pilot plant guarantees a reproducible, safe process with potential for industrial scaling.

Keywords: quaternary ammonium; liquid disinfectant; bactericidal efficiency; process engineering; pilot plant.

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, el uso de desinfectantes líquidos dejó de ser exclusivo de ambientes hospitalarios y pasó a formar parte de la limpieza cotidiana de hogares e industrias (Lu *et al.*, 2024). Este incremento se relaciona con una mayor preocupación social por la higiene, especialmente después de La pandemia de coronavirus COVID-19 (Hora *et al.*, 2020), donde la demanda de productos eficaces y seguros se volvió un requisito básico.

Entre los agentes utilizados, el amonio cuaternario ha demostrado ser una de las alternativas más estables y con mejor efectividad frente a bacterias y otros microorganismos (Maillard, 2002; Gerba, 2015; Boyce, 2023). Su acción consiste en

dañar la membrana celular hasta lograr la desactivación del patógeno (McDonnell & Russell, 1999; García *et al.*, 2018). No obstante, durante su formulación y dosificación es indispensable controlar la concentración, ya que un exceso puede generar afectaciones menores a la salud de las personas y un valor muy bajo reduce la eficacia del producto (Buffet-Bataillon *et al.*, 2006).

La instalación de plantas piloto en entornos universitarios, como en la carrera de Ingeniería Industrial de la ULEAM, representa una oportunidad estratégica para vincular la teoría con la práctica.

Este proyecto se fundamenta en el principio de escalamiento progresivo descrito por (Schut *et al.*, 2020), quienes proponen que el proceso de escalamiento constituye una fase esencial para vincular la experimentación científica con la generación de impactos a nivel social e industrial.

Desde esta perspectiva, las plantas piloto representan un entorno intermedio donde se validan las condiciones técnicas, organizativas e institucionales necesarias para que una innovación transite de la escala experimental hacia su aplicación práctica, garantizando eficiencia, sostenibilidad y resultados medibles en contextos reales.

El diseño y montaje de una planta piloto para la fabricación de desinfectante líquido no solo persigue la obtención de un producto de calidad, sino también la formación integral de los futuros ingenieros en el ámbito del diseño, la operación y la evaluación de procesos químicos e industriales.

2. METODOLOGÍA

El desarrollo del proyecto se llevó a cabo en el laboratorio de química de la carrera de Ingeniería Industrial y trasladado al Laboratorio CESECCA de la Universidad

Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM), durante el período académico 2025-1. La investigación adoptó un enfoque experimental y descriptivo, orientado al diseño, implementación y validación de una planta piloto para la producción de desinfectante líquido de uso doméstico a base de amonio cuaternario de quinta generación.

El proceso metodológico inició con la revisión bibliográfica sobre formulaciones de desinfectantes, parámetros de control de calidad y criterios de escalamiento progresivo.

Posteriormente, se establecieron las proporciones de los componentes principales: amonio cuaternario (1.2 %, 2 % y 4 %), nonilfenol como tensoactivo, alcohol al 70%, fragancias (brisa y limón) y colorantes hidrosolubles siguiendo criterios de seguridad y eficiencia documentadas en estudios recientes (Arnold *et al.*, 2023).

Cada formulación fue sometida a ensayos de homogeneización y estabilidad, empleando un agitador magnético en los ensayos de laboratorio y posteriormente un tanque mezclador diseñado para la producción a mayor escala.

La formulación se preparó mediante un proceso de mezcla física, sin reacción química. Los ingredientes se incorporaron en el tanque mezclador siguiendo una secuencia controlada para garantizar la uniformidad y estabilidad del producto.

2.1. El procedimiento experimental

El procedimiento experimental comprendió los siguientes procedimientos, primero, la dosificación de los componentes conforme al balance de materia determinado para cada formulación (Tabla 1). Por ejemplo, se tiene la dosificación al 2%



Tabla 1. Balance de materia

Volumen Total	500,00	ml	x (%)	F. de volumen
Amonio	10,00	ml	2,00	0,02000
Nonil	7,50	ml	1,50	0,01500
Fragancia	3,00	ml	0,60	0,00600
Colorante	0,01	ml	0,00	0,00002
Alcohol	4,00	ml	0,80	0,00800
Agua	475,49	ml	95,10	0,95099

Fuente: Elaboración propia

Después se procedió a la agitación mecánica continua mediante un sistema de hélice a velocidad constante (Figura 1), asegurando la disolución homogénea del nonilfenol y la distribución uniforme del colorante y la fragancia.

Figura 1. Agitador mecánico



Posteriormente se realizó el envasado final en botellas de polietileno de alta densidad (HDPE) de 500 ml, seleccionadas por su resistencia química y reciclabilidad (Figura 2).

Figura 2. *Etapas de envasado del desinfectante líquido.*



Para cada formulación se hizo el cálculo de balance de materia de forma manual y con hoja de cálculo, verificando la cantidad real de insumos utilizados en cada lote. También se registraron pérdidas por cambios de presentación, por ejemplo la limpieza del circuito al utilizar otra fragancia y color, además, los ajustes necesarios en el tiempo de agitación.

Estos datos permitieron comprobar el cumplimiento del principio de conservación de masa, e identificar pequeños errores de operación que suelen aparecer en un proceso real, como el tiempo muerto entre mezclado y envasado.

Por último, se implementaron pruebas microbiológicas de eficacia biocida frente a *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus*, siguiendo protocolos de laboratorio normalizados (Denyer *et al.*, 2004). El cumplimiento normativo se verificó mediante la aplicación de los parámetros establecidos por la Norma Técnica Ecuatoriana del Instituto Ecuatoriano de Normalización (NTE INEN, 1985, evaluando pH, alcalinidad libre, contenido de materia activa y estabilidad del tensoactivo. Se realizaron además pruebas sensoriales de color, olor y transparencia, asegurando la calidad organoléptica del desinfectante.

2.2. Método estadístico para la determinación de la fórmula óptima

Para determinar la concentración óptima del desinfectante, se aplicó un enfoque estadístico de tipo inferencial, basado en dos técnicas complementarias: la prueba t pareada y el análisis de varianza (ANOVA) de un factor.

En primer lugar, la prueba t pareada permitió comparar los valores promedio de Unidades Formadoras de Colonias (UFC) antes y después de la aplicación del desinfectante, a fin de establecer si la reducción microbiana era estadísticamente significativa. Se trabajó con un nivel de confianza del 95 %, lo que ayudó determinar con alta fiabilidad que la disminución en la carga bacteriana fue producto directo de la acción del desinfectante y no de factores aleatorios.

Posteriormente, se aplicó un ANOVA de un factor para evaluar si existían diferencias significativas entre las tres concentraciones de amonio cuaternario (1.2 %, 2 % y 4 %). El análisis arrojó un valor de $p = 0,041$ ($< 0,05$), indicando la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre las medias de reducción microbiana. El tratamiento de los datos reveló que la formulación con 2% de amonio cuaternario presentó la mayor eficacia biocida y la menor dispersión de resultados, consolidándola como la fórmula óptima por su balance entre efectividad, estabilidad físico-química y racionalidad económica. Este enfoque

estadístico permitió validar experimentalmente la formulación y respaldar las decisiones de diseño con evidencia cuantitativa y reproducible.

3.RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los ensayos demostraron que la formulación con 2 % de amonio cuaternario tal como se muestra en la [tabla 2](#) ofreció el mejor desempeño global, combinando alta eficacia antimicrobiana con estabilidad físico-química y buena aceptación sensorial. La incorporación de nonilfenol como tensoactivo ayudó a mantener una mezcla homogénea, evitando la separación de fases durante el almacenamiento (Pascoe *et al.*, 2022), mientras que el alcohol etílico al 70 % potenció la acción desinfectante del producto (Kampf, 2018).

Tabla 2. *Análisis físico-químico de las variantes del producto*

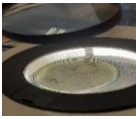
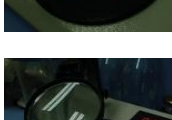
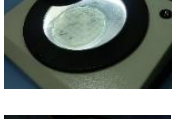
Muestra	Concentración de Amonio cuaternario (%)	PH	Densidad (g/cm^3)	Alcalinidad (%)	
				Ácido Acética	Ácido cítrico
Muestra 1	1,2	6,37	0,997	0,08	0,09
Muestra 2	2	5,40	0,980	0,18	0,20
Muestra 3	4	7,06	0,991	0,08	0,07

Fuente: Elaboración propia

La evaluación del pH se mantuvo en un rango neutro (6,5-7,0), óptimo para la manipulación segura y compatible con superficies domésticas. No se observaron cambios de color ni precipitaciones tras 30 días de almacenamiento, confirmando la estabilidad del producto final. Las pruebas microbiológicas revelaron una eficacia superior al 99 % en la eliminación de bacterias comunes de superficie (Kuda *et al.*, 2008; Otter *et al.*, 2011), cumpliendo los requisitos técnicos establecidos por la normativa nacional (Tabla 3). Asimismo, la fragancia limón

obtuvo mayor preferencia en la evaluación sensorial por su aroma fresco y persistente, mientras que la versión “brisa” se valoró por su suavidad olfativa.

Tabla 3. Pruebas microbiológicas

Lugar donde se realizó el Muestreo	Concentración de Amonio Cuaternario	Recuento microbiano antes de la desinfección (UFC/100 m ²)	Evidencia Microbiológica Inicial	Recuento microbiano después de la desinfección (UFC/100 m ²)	Evidencia Microbiológica Final
Mesa de Laboratorio del CESECCA	1,2	18x10		1x10	
	2,0	1x10		<1x10	
	4,0	24x10		1x10	
Puertas de acceso a la Universidad	1,2	27x10		2x10	
	2,0	18x10		<1x10	
	4,0	11x10		1x10	

Fuente: Elaboración propia

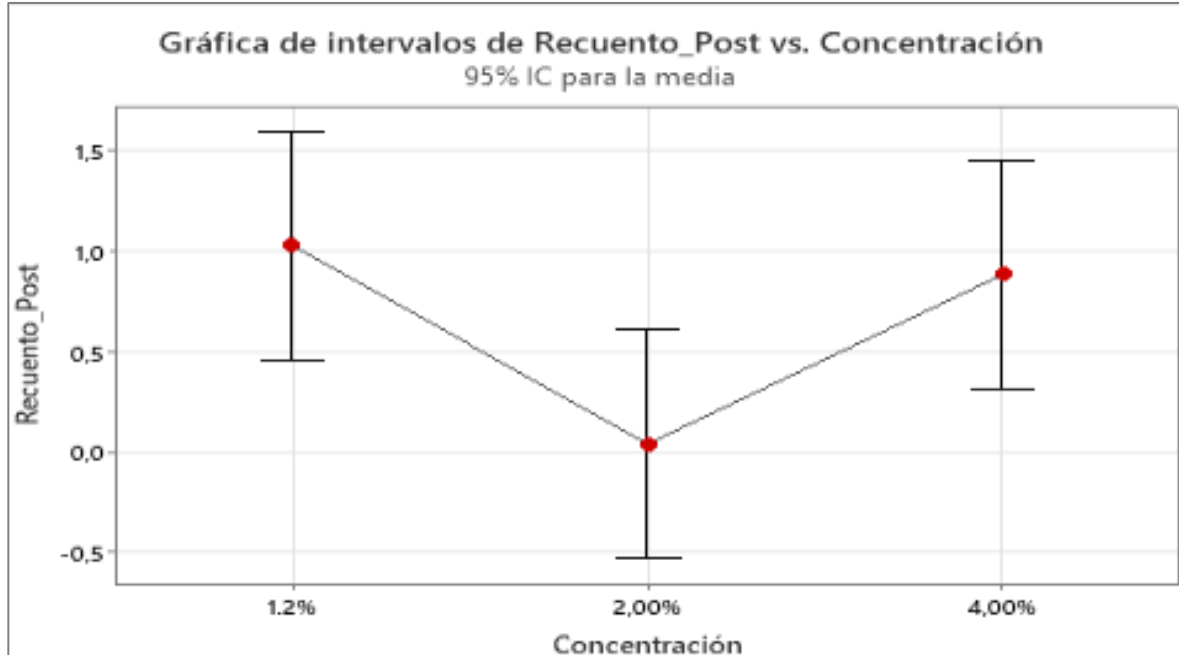


En términos de operación, el tanque mezclador mostró un desempeño eficiente: la agitación mecánica garantizó la disolución completa de los componentes en un tiempo promedio de 15 minutos por lote, lo que valida su funcionalidad en procesos de planta piloto con potencial de escalamiento industrial.

3.1. Discusión estadística

El tratamiento estadístico de los resultados confirmó de manera concluyente la eficacia del desinfectante formulado en la planta piloto (Shah *et al.*, 2021). La prueba t pareada evidenció una disminución significativa en la carga microbiana, con una reducción promedio de 14,42 UFC y un $p < 0,05$ (Figura 3), lo que descarta la hipótesis nula y demuestra que el producto ejerce un efecto real sobre los microorganismos presentes en superficies.

Figura 3. Comparación de Medias de UFC.



Fuente: Elaboración propia

El ANOVA de un factor complementó este análisis, evidenciando que la

concentración del 2% de amonio cuaternario presenta una eficacia significativamente superior respecto a las formulaciones de 1,2 % y 4 %. Esta diferencia refleja una mayor potencia biocida, y una mayor estabilidad y menor variabilidad en los resultados, aspectos clave en la reproducibilidad industrial.

Los resultados estadísticos coincidieron con las observaciones de laboratorio: la fórmula del 2% funcionó mejor y mostró menos variación entre réplicas. Esto facilitó el control durante el mezclado y redujo problemas de estabilidad.

Además, las pruebas sensoriales y fisicoquímicas confirmaron que el producto era estable, tenía buen olor y no generaba residuos visibles después del almacenamiento.

Con estos datos, la planta piloto demuestra que puede fabricar un desinfectante que cumple la norma NTE INEN 2985 y que también resulta viable para una producción a mayor escala, con costos accesibles y un proceso relativamente sencillo de operar.

3.2. Diagrama P&ID

El diagrama P&ID de la planta piloto representa la conexión entre los equipos principales y los instrumentos que intervienen en la producción del desinfectante. En él se observan los flujos de proceso, válvulas, sensores, líneas de control y la secuencia operativa desde la mezcla hasta el envasado final (Figura 4).

El sistema incluye un tanque de agitación, bomba centrífuga, variador de frecuencia, caudalímetro, sensores de nivel, válvulas de control, compresor y una llenadora automática conectada a una banda transportadora. Cada componente se integra mediante señales al PLC, que regula la velocidad del motor, activa la bomba y controla la apertura de válvulas según las condiciones de nivel y caudal (Alphonsus & Abdullah, 2016).

El diagrama ilustra un sistema de procesamiento de líquidos controlado por un PLC (Controlador Lógico Programable). El sistema incluye los siguientes componentes y flujos:

- Alimentación y Control:** El PLC (PLC) es el núcleo de control, conectado a una fuente de alimentación y a una línea de tierra. Controla las bombas, válvulas y sensores.
- Alimentación de Líquidos:**
 - Tanque abietto fragancia:** Alimentado por una **Bomba centrífuga** controlada por el PLC.
 - Tanque abietto Amonio:** Alimentado por una **Bomba centrífuga** controlada por el PLC.
 - Tanque abietto alcohol:** Alimentado por una **Bomba centrífuga** controlada por el PLC.
 - Tanque abietto colorante:** Alimentado por una **Bomba centrífuga** controlada por el PLC.
 - Tanque abietto agua:** Alimentado por una **Bomba centrífuga** controlada por el PLC.
- Control de Flujo:** Cada línea de alimentación está equipada con una **Válvula de control** y un **caudalímetro** para medir el flujo.
- Procesamiento:** Los líquidos se mezclan en un **Tanque de agitación** que cuenta con un agitador y sensores de nivel (LSL - Límite Superior Líquido).
- Envase:** El líquido procesado es transferido a una **llenadora de líquido** y luego a un **Transportador de envase** (VFD - Variador de Frecuencia).
- Control de Envase:** El PLC controla la llenadora y el transportador.

Legenda:

- líneas de control
- líneas de proceso

En concordancia con las tendencias recientes, los diagramas P&ID se consideran una herramienta esencial para el diseño digital y la automatización segura de plantas piloto, pues permiten integrar la operación con sistemas de control inteligente y gemelos digitales (Židek *et al.*, 2020; Najid *et al.*, 2022; Onaji *et al.*, 2022).



4. CONCLUSIONES

El desarrollo de la planta piloto permitió comprobar que es posible fabricar un desinfectante doméstico a base de amonio cuaternario con buena estabilidad y eficacia. El proceso de mezclado no presentó dificultades mayores, aunque se observaron pérdidas mínimas de alcohol durante la agitación y pequeños cambios de pH en algunas réplicas, los cuales se corrigieron con ajustes de secuencia de mezcla.

La formulación al 2% fue la más conveniente porque ofreció una reducción microbiana elevada y mantuvo su estabilidad durante el almacenamiento. Además, resultó más económica que la variante del 4 % y más eficiente que la del 1,2 %. La interpretación estadística confirmó esta tendencia.

Finalmente, el proyecto sirvió como práctica profesional para los estudiantes, quienes tuvieron contacto directo con equipos reales, protocolos de control de calidad y normas técnicas. Esto demuestra que las plantas piloto universitarias generan conocimiento aplicado y fortalecen la formación práctica y la transferencia tecnológica hacia la industria local.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alphonsus, E. R., & Abdullah, M. O. (2016). A review on the applications of programmable logic controllers (PLC) in process industries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 1185-1205. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.025>

Arnold, W. A., Blum, A., Branyan, J., Bruton, T. A., Carignan, C. C., Cortopassi, G., Datta, S., Dewitt, J., Doherty, A. C., Halden, R. U., Harari, H., Hartmann, E. M., Hrubec, T. C., Iyer, S., Kwiatkowski, C. F., Lapier, J., Li, D., Li, L., Muñoz Ortiz, J. G., ... Zheng, G. (2023). Quaternary Ammonium



- Compounds: A Chemical Class of Emerging Concern. *Environmental Science and Technology*, 57(20), 7645-7665. <https://doi.org/10.1021/ACS.EST.2C08244>
- Boyce, J. M. (2023). Quaternary ammonium disinfectants and antiseptics: Tolerance, resistance and potential impact on antibiotic resistance. *Infection Control & Hospital Epidemiology*. <https://doi.org/10.1017/ice.2023.32>
- Buffet-Bataillon, S., Tattevin, P., Bonnaure-Mallet, M., & Jolivet-Gougeon, A. (2006). Efflux pump induction by quaternary ammonium compounds and fluoroquinolone resistance in bacteria. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 50(10), 3532-3535. <https://doi.org/10.1128/AAC.00375-06>
- Denyer, S. P., Maillard, J.-Y., & Russell, A. D. (2004). Antimicrobial effectiveness testing in the pharmaceutical and medical device industries. *Journal of Applied Microbiology*, 97(2), 247-254. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2004.02304.x>
- García, M. T., Campos, E., Ribosa, I., Latorre, A., & Sánchez-Leal, J. (2018). Mechanisms of action of benzalkonium chloride against *Escherichia coli*. *Frontiers in Microbiology*, 9, 1259. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.01259>
- Gerba, C. P. (2015). Quaternary ammonium biocides: Efficacy in application. *Applied and Environmental Microbiology*, 81(2), 464-469. <https://doi.org/10.1128/AEM.02633-14>
- Hora, P. I., Pati, S. G., McNamara, P. J., & Arnold, W. A. (2020). Increased use of quaternary ammonium compounds during the SARS-CoV-2 pandemic and beyond: Considerations for human and environmental health.



- Environmental Science & Technology Letters*, 7(9), 622-631.
<https://doi.org/10.1021/acs.estlett.0c00437>
- Kampf, G. (2018). Efficacy of ethanol against viruses in hand disinfection. *Journal of Hospital Infection*, 98(4), 331-338.
<https://doi.org/10.1016/j.jhin.2017.08.025>
- Kuda, T., Yano, T., & Kuda, Y. (2008). Resistances to benzalkonium chloride of bacteria dried on stainless steel surfaces. *Journal of Food Protection*, 71(2), 288-292. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-71.2.288>
- Lu, Z., Na, G., Gao, H., Wang, Z., & Yao, Z. (2024). Quaternary ammonium compounds in disinfectant products: Environmental and health implications. *Environmental Science: Advances*. <https://doi.org/10.1039/D3VA00063J>
- Maillard, J. Y. (2002). Bacterial resistance to biocides in the healthcare environment: Should it be of genuine concern? *Journal of Hospital Infection*, 52(3), 163-170. <https://doi.org/10.1053/jhin.2002.1304>
- McDonnell, G., & Russell, A. D. (1999). Antiseptics and disinfectants: Activity, action, and resistance. *Clinical Microbiology Reviews*, 12(1), 147-179. <https://doi.org/10.1128/CMR.12.1.147>
- Najid, N., Hakizimana, J. N., Kouzbou, S., Gourich, B., Ruiz-García, A., Vial, C., Stiriba, Y., & Semiat, R. (2022). Fouling control and modeling in reverse osmosis for seawater desalination: A review. *Computers & Chemical Engineering*, 162, 107794. <https://doi.org/10.1016/J.COMPHEMENG.2022.107794>
- Onaji, I., Tiwari, D., Soulatiantork, P., Song, B., & Tiwari, A. (2022). Digital twin in manufacturing: conceptual framework and case studies. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 35(8), 831-858. <https://doi.org/10.1080/0951192X.2022.2027014;CTYPE:STRING:JOURNAL>



- Otter, J. A., Yezli, S., & French, G. L. (2011). The role of contaminated surfaces in the transmission of nosocomial pathogens. *Infection Control & Hospital Epidemiology*, 32(7), 687-699. <https://doi.org/10.1086/660363>
- Pascoe, M. J., Mandal, S., Williams, O. A., & Maillard, J.Y. (2022). Impact of material properties in determining quaternary ammonium compound adsorption and wipe product efficacy against biofilms. *Journal of Hospital Infection*, 126, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2022.03.013>
- Schut, M., Leeuwis, C., & Thiele, G. (2020). Science of Scaling: Understanding and guiding the scaling of innovation for societal outcomes. *Agricultural Systems*, 184, 102908. <https://doi.org/10.1016/J.AGSY.2020.102908>
- Shah, K., Persaud, R., & Maillard, J. Y. (2021). Efficacy of a next-generation quaternary ammonium sanitizer against biofilms. *Surfaces*, 1(1), 8. <https://doi.org/10.3390/surfaces1010008>
- Židek, K., Pitel', J., Adámek, M., Lazorík, P., & Hošovský, A. (2020). Digital Twin of Experimental Smart Manufacturing Assembly System for Industry 4.0 Concept. *Sustainability* 12(9), 36-58. <https://doi.org/10.3390/SU12093658>