



**PARÁMETROS DE EVALUACIÓN DE DESINFECTANTES UTILIZADOS EN LA
INDUSTRIA DE ALIMENTOS_ UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA 2013-2023**

Estefania Duque Salazar
Zor Maribel Benítez Piedrahita

Trabajo de grado presentado para optar al título de Microbiólogo Industrial y Ambiental

Asesor
Laura Castrillón Cano, Magíster (MSc) en Biología

Universidad de Antioquia
Escuela de Microbiología
Seleccione pregrado o posgrado UdeA (A-Z)
Medellín, Antioquia, Colombia
2024

Cita

(Duque Salazar & Benítez Piedrahita, 2024)

Referencia

Estilo APA 7 (2020)

Duque Salazar, E., & Benítez Piedrahita, M. (2024). PARÁMETROS DE EVALUACIÓN DE DESINFECTANTES UTILIZADOS EN LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS_ UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA 2013-2023 [Trabajo de grado profesional]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.



Biblioteca Carlos Gaviria Díaz

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

PARÁMETROS DE EVALUACIÓN DE DESINFECTANTES UTILIZADOS EN LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA 2013-2023

EVALUATION PARAMETERS OF DISINFECTANTS USED IN THE FOOD INDUSTRY: A SYSTEMATIC REVIEW 2013-2023

Zor Maribel Benítez Piedrahita¹, Estefanía Duque Salazar¹, Laura Victoria Castrillón Cano²

Resumen

Introducción: Una desinfección ineficaz de superficies así como el uso inadecuado de biocidas, pueden provocar la supervivencia de diversos microorganismos como bacterias y hongos en las superficies de la industria alimentaria. La determinación de la eficacia de los desinfectantes, medida en términos de la reducción logarítmica, se puede ver afectada por diversos factores como la concentración del desinfectante, el tiempo de contacto, el tipo de superficie, la cantidad de materia orgánica presente y sobretodo el tipo de microorganismos evaluados. Esta revisión considera los principales biocidas utilizados en la industria alimentaria, destacando su eficacia, microorganismo blanco y el método de evaluación utilizado.

Objetivo: Describir los parámetros utilizados para la evaluación de desinfectantes utilizados en la industria de alimentos entre el 2013 y 2023 por medio de una revisión sistemática de la literatura.

Método: Se realizó una revisión sistemática de la literatura siguiendo los lineamientos de la declaración PRISMA. La estrategia de búsqueda incluyó las bases de datos Scopus, Scielo, ScienceDirect y Google Académico. En la fase de identificación de la información, se consideraron la sensibilidad, especificidad y exhaustividad de la búsqueda para obtener resultados pertinentes. Las palabras clave fueron validadas con los descriptores Agrovoc, Decs y Mesh. Se realizaron búsquedas estructuradas con operadores booleanos, y se aplicaron criterios de inclusión y exclusión previamente definidos.

Resultados: Se identificaron 542 artículos de diversas bases de datos y, tras eliminar 94 duplicados, se evaluaron 448 publicaciones por sus títulos y resúmenes. Se descartaron 297 por no cumplir con los criterios de inclusión y 125 tras una lectura completa por no describir la metodología de evaluación de desinfectantes. De los 26 artículos restantes, 12 fueron considerados pertinentes y se añadieron tres estudios de literatura gris, resultando en 15 artículos incluidos en la revisión sistemática.

Conclusión: Es importante reconocer que, debido a la naturaleza estandarizada de la mayoría de los métodos usados, estos podrían no reflejar completamente las condiciones reales de los entornos industriales. Esto genera la necesidad de complementar estos estudios de eficacia con ensayos adicionales que simulen de manera más precisa los ambientes específicos de cada industria.

Palabras clave: revisión sistemática, biocida, microorganismo, desinfectante, industria alimentaria, superficies, eficacia.

1. Estudiantes Microbiología Industrial y Ambiental, Escuela de Microbiología, Universidad de Antioquia

2. Asesora, Escuela de Microbiología, Universidad de Antioquia

ABSTRACT

Introduction: Ineffective surface disinfection and inadequate use of biocides can lead to the survival of various microorganisms such as bacteria and fungi on surfaces in the food industry. The disinfectants or biocides used in the industry have different modes of action to eliminate the microorganisms of interest, which is affected by their concentration, the contact time, the type of surface, the amount of organic matter present on the surface and above all the type of microorganisms present. This review considers the main biocides used in the food industry, highlighting their efficacy, target microorganism and the evaluation method used.

Objective: To describe the parameters used for the evaluation of disinfectants used in the food industry between 2013 and 2023 by means of a systematic review of the literature.

Method: A systematic review of the literature was carried out following the guidelines of the PRISMA statement. The search strategy included Scopus, Scielo, ScienceDirect and Google Scholar databases. In the information identification phase, the sensitivity, specificity and completeness of the search were considered to obtain relevant results. Keywords were validated with the descriptors Agrovoc, Decs and Mesh. Structured searches were performed with Boolean operators, and previously defined inclusion and exclusion criteria were applied.

Results: We identified 542 articles from various databases and, after eliminating 94 duplicates, 448 publications were evaluated for their titles and abstracts. A total of 297 were discarded for not meeting the inclusion criteria and 125 were discarded after a complete reading for not describing the disinfectant evaluation methodology. Of the remaining 26 articles, 12 were considered relevant and three gray literature studies were added, resulting in 15 articles included in the systematic review.

Conclusion: It is important to recognize that, due to the standardized nature of most of the methods used, they may not fully reflect the actual conditions of industrial environments. This creates the need to complement these efficacy studies with additional tests that more accurately simulate industry-specific environments.

Keywords: systematic review, biocide, microorganism, disinfectant, food industry, surfaces, efficacy

INTRODUCCIÓN

Para el 2029 se estima que el volumen de alimentos consumidos por año sea de 3,087 billones de kilogramos a nivel mundial, cifra que representa un incremento comparado con los 2,200 billones de kilogramos del 2019 (Statista, s. f.). La demanda creciente en la producción y consumo de alimentos representa grandes retos para la industria en lo referido a la inocuidad alimentaria, pues la contaminación microbiológica puede poner en riesgo la productividad del sector, además de la confianza y la salud de los consumidores (Arispe & Tapia, 2018). La contaminación por microorganismos puede surgir en diferentes etapas de la cadena alimentaria y depender del proceso de producción y del tipo de alimento que se procese, además, puede estar causada por una amplia variedad de microorganismos, siendo las bacterias y los hongos los grupos más relevantes (Kailasa et al., 2017).

Dentro de los microorganismos patógenos más relevantes para la industria de alimentos se encuentran: *Campylobacter spp.*, *Salmonella*, *Shigella*, *Escherichia coli*, *Clostridium botulinum*, *Clostridium perfringens*, *Yersinia*, *Vibrio cholerae*, *V. vulnificus*, *V. Parahaemolyticus*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus spp.*, y *Listeria sp.* (Rocha et al., 2020). Estos microorganismos pueden ocasionar infecciones o intoxicaciones alimentarias desde leves a graves, según la OMS, 600 millones de personas se enferman y 420,000 mueren anualmente a causa de enfermedades transmitidas por alimentos (*Boletín Epidemiológico*, 2024).

De otro lado, se encuentran los microorganismos deteriorantes que pueden alterar las características de los alimentos, provocar mal olor, producción de gases y reducir la vida útil de los mismos (Lorenzo et al., 2018). Entre los deteriorantes más comunes están bacterias como *Brochothrix thermosphacta*, *Carnobacterium spp.*, *Lactobacillus spp.*, *Lactococcus spp.*, *Leuconostoc spp.*, *Pediococcus spp.*, *Streptococcus spp.*, *Kurthia zopfii* y *Weissella sp.*; levaduras como *Zygosaccharomyces*, *Candida*, *Saccharomyces*, *Debaryomyces* y *Brettanomyces*; y hongos como *Penicillium*, *Aspergillus* y *Cladosporium* (Cortés-Higareda et al., 2021). La FDA estima que cada año el retiro de un producto del mercado puede costarle a las empresas globales 10 millones de dólares (*Recalls of Foods Due to Microbiological - ProQuest*, 2021.). Este retiro puede ser debido a diversas razones, incluyendo el mal etiquetado, la omisión de información sobre alérgenos y el mal estado de los alimentos (Bejarano-Roncancio et al., 2016).

Diferentes organizaciones de carácter internacional como la FAO, la OMS y la Comisión Europea han desarrollado normas, códigos de prácticas, directrices y recomendaciones de seguridad con el propósito de proteger la salud de los consumidores (*Inocuidad de Alimentos*, 2024). En este sentido, una de las estrategias más efectivas para evitar la contaminación de los alimentos es la implementación de protocolos de limpieza y desinfección. Entre los desinfectantes comúnmente empleados se incluyen ácidos, aldehídos, alcoholes, halógenos, peróxidos, compuestos de amonio cuaternario, biguanidas, compuestos yodados, compuestos fenólicos y diversas mezclas entre compuestos químicos, además de los desinfectantes de origen vegetal. Cada tipo de desinfectante tiene un mecanismo de acción sobre los microorganismos y su efectividad depende de factores como la concentración utilizada, el tiempo de contacto, el tipo de superficie, el tipo de microorganismos objetivo y la materia orgánica presente en el entorno, entre otros (Aryal & Muriana, 2019).

La efectividad de un desinfectante puede medirse a través de pruebas de laboratorio utilizando como referencia las normas técnicas internacionales, tales como las normas ISO (International Organization for Standardization), EN (European Norms), AOAC (Association of Official Analytical Collaboration), EPA (Environmental Protection Agency), JIS (Japanese Industrial Standards) ASTM (American Society for Testing and Materials), (McSharry et al., 2021). En estos protocolos se establecen los parámetros y condiciones de evaluación, tales como las cepas utilizadas, las concentraciones del desinfectante, la temperatura, el tiempo de exposición, las pruebas de neutralización y el criterio de eficacia de la prueba, entre otros. Por ejemplo, el método AOAC 960.09, que evalúa la actividad de un desinfectante en superficies de la industria de alimentos, define como criterio de eficacia una reducción de 5 logaritmos sobre *Escherichia coli* ATCC 11229 y *Staphylococcus aureus* ATCC 6538 en 30 segundos de exposición, mientras que la Regulación Europea (EN 13697, 2024) recomienda el mismo criterio de reducción sobre *Pseudomonas aeruginosa* y *Staphylococcus aureus* en 5 minutos de contacto.

A la fecha, numerosos reportes evalúan el efecto de los desinfectantes utilizados en superficies de procesamiento de alimentos, donde se incluyen modificaciones a las condiciones dictadas por los métodos normalizados (Pacheappan et al., 2021). Algunas de las variaciones incluyen el uso de

diferentes microorganismos, concentraciones de desinfectantes, la presencia de materia orgánica, diferentes neutralizadores y formas de nombrar los efectos del compuesto. Por ejemplo, algunos estudios evalúan cepas aisladas de las zonas de procesamiento o de los alimentos (Udompijitkul et al. (2013), Bernardi et al. (2019), Fernandes et al. (2020)) con tiempos de exposición a los desinfectantes químicos entre 30 segundos y 60 min, además de emplear una variedad de términos para describir el efecto de los compuestos como; actividad antibacteriana, actividad antimicrobiana, efectividad biocida, poder desinfectante, sensibilidad, resistencia, entre otros (Bernardi et al. (2019), Iñiguez-Moreno et al. (2018), Pacheappan et al. (2021), Yim et al. (2021), Park et al. (2020). A pesar de las investigaciones, es difícil encontrar un criterio unificado en cuanto a las concentraciones y tiempos de exposición de los desinfectantes para obtener una reducción logarítmica eficaz con diferentes microorganismos de interés bajo condiciones de exposición que simulan la realidad de las múltiples industrias alimenticias.

Una revisión sistemática que pueda sintetizar la información sobre las condiciones de evaluación de los desinfectantes en la industria de alimentos, puede ayudar a identificar necesidades actuales de la industria y al diseño de las pruebas de evaluación de desinfectantes de acuerdo a estas, facilitando así el seguimiento y la implementación de medidas de control efectivas y coherentes con las realidades del entorno industrial. Por lo cual el objetivo de este trabajo fue describir los parámetros utilizados para la evaluación de desinfectantes utilizados en la industria de alimentos entre el 2013 y 2023 por medio de una revisión sistemática de la literatura.

MATERIALES Y MÉTODO

Tipo de estudio

Revisión sistemática

Estrategia de búsqueda y de identificación de los resultados

Se realizó una revisión sistemática de la literatura y se documentó siguiendo los lineamientos de la declaración PRISMA (Page et al., 2021). Se realizó una búsqueda por sensibilidad y especificidad de la literatura la cual incluyó las bases de datos Scopus, Scielo, ScienceDirect y el motor de búsqueda de Google Academic; las palabras clave se validaron con los descriptores

Agrovoc, Decs, Mesh y se usaron términos libres las cuales fueron :Bactericidal, biocide, methods, effectiveness, efficiency, food industry y surfaces. Se utilizaron las estrategias de búsqueda: "disinfectant efficacy" OR "biocidal efficacy" OR "bacteriostatic efficacy" AND "food industry"; y (effect OR evaluation OR reduction OR efficiency OR effectiveness) AND (biocide OR disinfectant) AND ("food industry" OR "food processing").

Criterios de inclusión y exclusión

Los resultados encontrados en la primera etapa de búsqueda, se tamizaron con las palabras claves en los títulos y resúmenes, así como por el idioma de publicación en Inglés. Se eligió la ventana de tiempo de 2013-2023, dado que el mayor número de publicaciones pertinentes se encontró después del 2013 y los estudios después del 2023 se centran en la evaluación de la resistencia bacteriana a los desinfectantes, así como a la evaluación de la eficacia en biopelículas y ambientes hospitalarios. Se incluyeron estudios que emplearon cepas de referencia y cepas aisladas como contaminantes habituales de los alimentos y que describieran rangos de inóculos utilizados, tipo de evaluación (suspensión o superficie), tiempos de exposición, concentraciones utilizadas de los desinfectantes, principio activo de los desinfectantes además de la descripción de las modificaciones a los métodos normalizados. Se excluyeron artículos que evaluaban desinfectantes en ambientes hospitalarios o espacios relacionados con la atención en salud, aquellos que evaluaban agua electrolizada, gases, productos de nanotecnología, desinfección de biopelículas, resistencia a desinfectantes y artículos que evaluaban el desinfectante directamente en el alimento.

Extracción de datos de los estudios seleccionados

Los artículos fueron analizados de manera independiente por dos investigadoras para garantizar la reproducibilidad, y cualquier discrepancia durante el proceso se resolvió por consenso o se acudió a un tercer investigador bajo cuyo criterio se determinó la pertinencia. Se utilizó la aplicación Mendeley para eliminar los duplicados y posteriormente la información se registró en una base de datos de Google Sheets a las cuales se les extrajo la siguiente información: nombre de los desinfectantes y sus concentraciones, neutralizador empleado, microorganismos diana, tipo de superficie, tiempo de contacto, temperatura, pH, sustancias interferentes, concentración inicial del

inóculo, forma de nombrar el efecto del desinfectante, técnica utilizada, fórmula para calcular la eficacia, reducción logarítmica después de cada tratamiento, criterio de evaluación, tipo de industria, revista, año y país de publicación. Esta información se organizó y describió de manera individual para cada estudio antes de proceder a la síntesis global.

Análisis de datos

Después de la extracción de los datos, se realizó un análisis de las tendencias utilizando estadística descriptiva con el software Excel y R® (4.4.1) teniendo en cuenta tres fases:

- 1) Descripción de la distribución de los datos por categorías; donde se reportan las frecuencias de los datos obtenidos según su principio activo del desinfectante, tipo de microorganismos, y tipo de método de evaluación o superficie utilizada.
- 2) Síntesis de los parámetros de evaluación reportados; donde se enlistan los parámetros de evaluación reportados, con respecto al tipo de desinfectante y concentración, el tiempo de contacto, tipo de microorganismo, neutralizador, sustancia de interferencia y forma de nombrar el efecto
- 3) Análisis de los factores que afectan la eficiencia de los desinfectantes, como tipo de superficie o método de evaluación, tipo de microorganismo y reducción logarítmicas de acuerdo al factor ct (concentración y tiempo).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Proceso de rastreo

Con base en los criterios de búsqueda previamente especificados, se recolectaron un total de 542 artículos de investigación (ScienceDirect 154, Scopus 344 y Scielo 44). Luego, utilizando Mendeley Desktop, se eliminaron 94 artículos duplicados, 448 artículos fueron sometidos a cribado. Durante esta fase, se excluyeron 297 artículos por no cumplir con los criterios de inclusión, basados en la revisión de títulos y resúmenes. Los 151 registros restantes fueron evaluados en su totalidad, de los cuales 125 fueron excluidos por no proporcionar una metodología adecuada para la evaluación de desinfectantes. Finalmente, 12 estudios fueron considerados pertinentes para la revisión sistemática. Además, se identificaron 49 registros adicionales en Google Scholar, de los cuales 3 cumplieron los criterios

de inclusión y fueron añadidos a la revisión. Así, un total de 15 estudios cumplían con los criterios de inclusión y exclusión (Fig. 1)

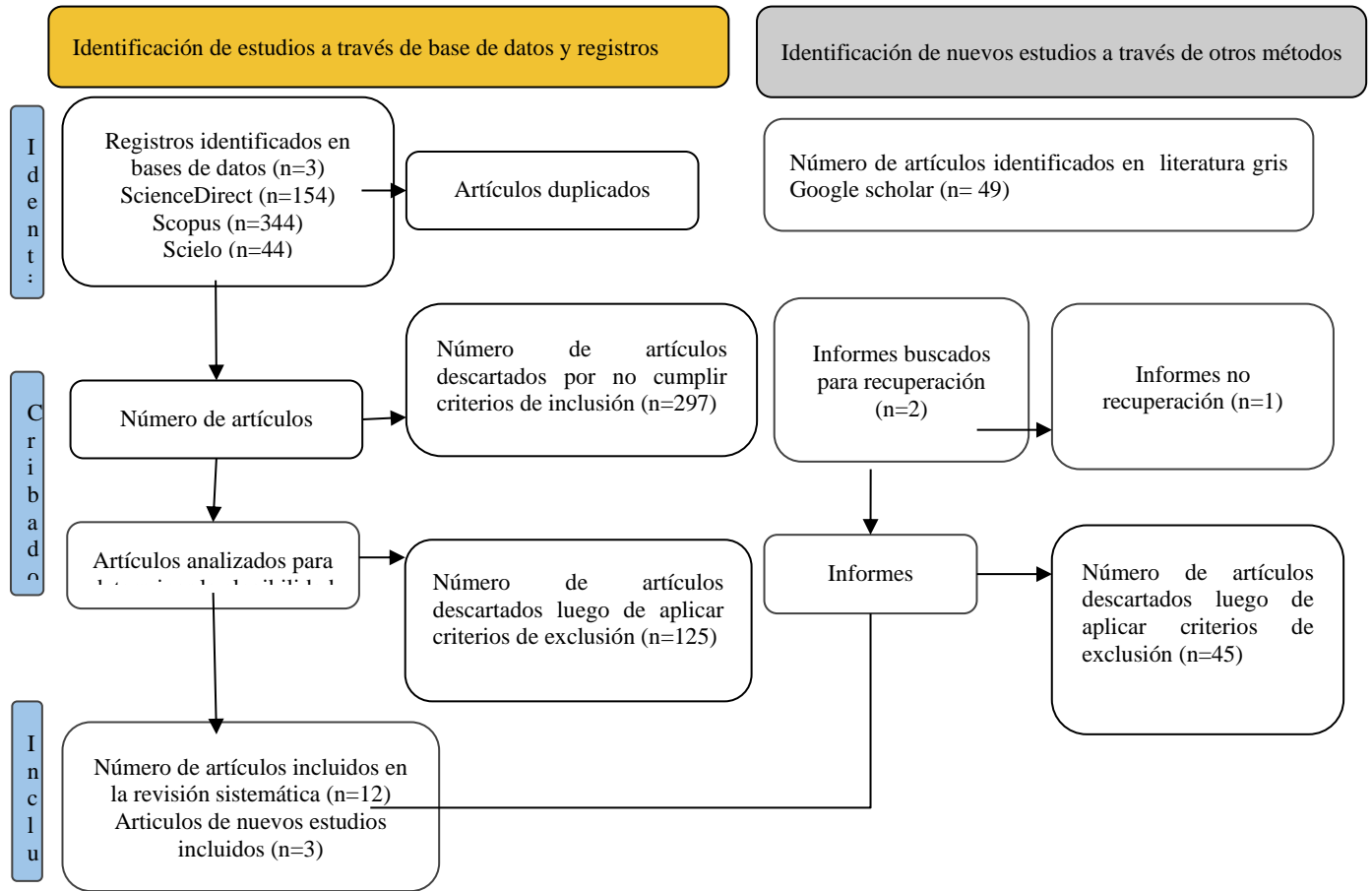


Figura 1. Flujograma de la estrategia de búsqueda. Fuente: Elaboración propia

Síntesis de los parámetros de evaluación reportados

El segundo aspecto importante es destacar las diferencias en los parámetros de evaluación reportados, con respecto al tipo de desinfectante y concentración, el tiempo de contacto, tipo de microorganismo, neutralizador, sustancia de interferencia y forma de nombrar el efecto. En la **tabla 1** se listan las condiciones de evaluación de los desinfectantes empleados en la industria de alimentos en los reportes seleccionados para la revisión sistemática.

La mayoría de los estudios evaluaron al menos dos tipos de compuestos de las categorías mencionadas anteriormente. Los compuestos con mayor frecuencia de evaluación fueron: amonios cuaternarios de diferentes generaciones, ácido peracético y el hipoclorito de sodio, mientras que los compuestos evaluados en solo un estudio fueron la grasa aniónica ácida, aceites esenciales con carvacrol, ácido glicólico, glioxal, ácido cítrico, ácido málico, ácido peroxiacético, y mezclas únicas entre diferentes compuestos.

En cuanto a las cepas o microorganismos, un total de nueve estudios utilizaron cepas de referencia de la colección ATCC, mientras que un estudio empleó cepas identificadas a nivel de género y especie según se detalla en la tabla, sin especificar su procedencia. Además, cinco artículos mencionan que los microorganismos fueron aislados de alimentos o áreas de procesamiento. Los estudios evaluaron un tipo de microorganismo, ya sea bacterias, bacterias esporuladas, mohos y levaduras. Las bacterias fueron el grupo más evaluado, con un total de diez artículos; seguidas por los mohos y levaduras, con dos artículos; y finalmente, las bacterias esporuladas, con tres artículos evaluados.

Para la descripción del efecto del desinfectante se emplearon diferentes términos tales como; sanitización, eficacia del desinfectante, actividad antimicrobiana, reducción microbiana, eficacia bactericida, sensibilidad, actividad germicida, e inactivación de células. En todos los artículos se utilizó el método cuantitativo para verificar el número final de células después de los tratamientos y la reducción microbiana se calculó realizando transformación de los datos a logaritmos y estimando la reducción de la población microbiana de un inóculo estándar o de prueba después del

tratamiento (Norma ASTM F838-15a, 2019). El inóculo de prueba estuvo entre 10^6 y 10^8 UFC/mL en los estudios incluidos. Un total de 8 artículos mencionan el criterio de eficacia del desinfectante, como una reducción de al menos 5 log₁₀. Es importante aclarar que todas las reducciones encontradas se reportan en base 10; sin embargo, para términos de escritura se describe sólo como reducción Log. A pesar de que en muchos de los estudios se nombra el efecto del desinfectante con diferentes términos, no todos pueden ser considerados como sinónimos, por ejemplo, para la determinación de sanitizantes el criterio de reducción logarítmica difiere con respecto al de desinfectante, pues para este se considera una reducción de por lo menos 3 log o una efectividad del 99.9% ASTM E1153 (Situ Biosciences, 2021)

Se encontró que se emplea una variedad de tiempos diferentes a los contemplados en los métodos normalizados. El rango de tiempo evaluado para bacterias fue entre 0,5 min-60 min, para mohos y levaduras desde 15 min y para bacterias esporuladas fue de 1-min a 60 min. El tiempo que más se repitió entre los estudios fue el de 5 minutos.

Una de las condiciones que puede afectar el uso de desinfectantes en superficies es la presencia de materia orgánica, debido a que su presencia puede resultar en la reducción del poder biocida del compuesto o la generación de subproductos nocivos (Diomedi et al., 2017). Solo en 3 reportes se incluyen sustancias interferentes para simular condiciones de suciedad, los más comunes fueron: una mezcla de leche, yema de huevo y extracto carne y Albúmina de suero bovino. Estas sustancias son importantes porque ayudan a realizar la evaluación en condiciones que simulan las condiciones reales del entorno de procesamiento de alimentos, pero no son obligatorias para las fases iniciales de evaluación de desinfectantes.

Con respecto al método de evaluación de la actividad del desinfectante, los estudios consideraron el de dilución-neutralización, en el cual se utiliza un compuesto que pueda neutralizar la actividad del desinfectante después del tiempo de contacto, con el fin de paralizar los efectos residuales (Valoración de desinfectantes. Método de dilución- neutralización 2021). Si no se realiza la neutralización, el tiempo que se indique como tiempo de contacto podría no ser confiable (Innotec, 2021). De los 15 artículos, solo 13 reportan el neutralizante y 6 de estos emplean un caldo comercial llamado Dey Engley, el cual contiene una mezcla de neutralizadores para la mayoría de los compuestos activos que se emplean en la industria farmacéutica o cosmética. No obstante, es

requisito de las pruebas verificar que la neutralización sea efectiva y la mayoría de los artículos no muestran los datos de estos ensayos previos, algunos de los estudios evalúan desinfectantes de diferente naturaleza química y emplean un único neutralizador, como es el caso de Udompijtkul et al. (2013)

Por otro lado, parámetros como temperatura y el pH son poco descritos en los reportes. La literatura reporta que estos dos factores pueden afectar la efectividad del desinfectante, pero solo cinco estudios variaron la temperatura, mientras que en otros solo se mencionó que las pruebas se realizaron a temperatura ambiente. Con respecto al pH la eficacia de los desinfectantes se manifiesta en un rango específico y esa actividad puede influir por cambios relativamente pequeños de este (NTP: 429 Desinfectantes, 2019), sin embargo, se encontró que solo una investigación incluyó la variación del pH en las investigaciones.

Tabla.1 Parámetros para la evaluación de la eficacia de los desinfectantes empleados en la industria de alimentos

| Autor | Desinfectante / Concentración (ppm) | Microorganismo Diana | Descripción del efecto | Tiempo contacto (min) | Neutralizador | Sustancia interferente |
|---|--|--|----------------------------|-----------------------|--|--------------------------------------|
| Udompijitkul, P., Alnoman, M., Paredes-Sabja, D., & Sarker, M. R. (2013). | Etanol (70000), Yodoforo (BTF) (12.5 y 25) , Quats (200) Ácido peracético +Peróxido de hidrógeno (50000) | Esporas de <i>C. perfringens</i> | Sanitización | 1-2 -5-10-60 | Na2HPO4 | - |
| Sudhaus, N., Nagengast, H., Pina-Pérez, M. C., Martínez, A., & Klein, G. (2014) | Ácido peracético (5000,10000,15000,20000) | Esporas de <i>B.cereus</i> | Eficacia del desinfectante | 5-30-60 | 3,0% de Tween 0,3% de lecitina , 0,1% de l - histidina 0,5% de tiosulfato de sodio | Superficie sucia |
| Magalhães, R., Ferreira, V., Brandão, T., Palencia, R. C., Almeida, G., & Teixeira, P. (2016) | Quats 1 (50000), peroxido de hidrogeno (15000) | <i>L. monocytogenes</i> | Actividad antimicrobiana | 5-20 | Caldo neutralizante Dey-Engley | - |
| Iñiguez-Moreno, M., Avila-Novoa, M. G., Iñiguez-Moreno, E., Guerrero-Medina, P. J., & Gutiérrez-Lomelí, M. (2017) | Quats 3 (200,), Quats 5 (400,),Hipoclorito de sodio (200), Dióxido de Cloro (4000), Yodo (25), Ácido fosfórico+Quats 3 (200), Peróxido de hidrógeno + Ácido peracético(80, 375), Peróxido de hidrógeno + Ácido peracético +Ácido acético (53,200), Peróxido de hidrógeno (20000) , Peróxido de hidrógeno + enzima (1000, 8000), Propóleo (2000), Acido fosforico Acido succinico +Acido octanoico (2000) | <i>E. coli</i> , <i>S. entérica</i> , <i>P. aeruginosa</i> , <i>S. aureus ATCC 6538</i> , <i>S. aureus ATCC 25923</i> | Reducción microbiana | 0,5 | Caldo neutralizante Dey-Engley | - |
| Iñiguez-Moreno, M., Avila-Novoa, M. G., & Gutiérrez-Lomelí, M. (2018). | Quats (40), Yodo (25), Ácido peróxido (200), Grasa aniónica ácida detergente-desinfectante (200) | <i>E. coli</i> , <i>S. enterica</i> , <i>S. typhimurium</i> , <i>P. aeruginosa</i> , <i>L. monocytogenes</i> , <i>B. cereus</i> , | Eficacia del desinfectante | 0,5 -30 | Caldo neutralizante Dey-Engley | Leche, yema de huevo, extracto carne |
| Bernardi, A. O., Stefanello, A., Garcia, M. V., Parussolo, G., Stefanello, R. F., Moro, C. B., & Copetti, M. V. (2018). | Ácido peracético (1500, 15000, 30000), Biguanidina (20000,35000,50000) , Quats (3000, 25000, 50000), Hipoclorito de sodio (1000,5000, 10000), Quats 1 (20000,35000,50000) | <i>A. brasiliensis</i> , <i>C. albicans</i> , <i>C. cladosporioides</i> , <i>P. commune</i> , <i>P. polonicum</i> , <i>P. roqueforti</i> | Eficacia del desinfectante | 15 | Tiosulfato de sodio, caldo nutritivo con 0,5 % de Tween 80 y triptona al 1 % | - |
| Falcó, I., Verdeguer, M., Aznar, R., Sánchez, G., & Randazzo, W. (2019) | Aceites esenciales cuya composición principal es carvacrol 91% | <i>S. enterica</i> , <i>E. coli</i> | Eficacia bactericida | 1-5 | Agua peptonada (PW) | Albúmina de suero bovino |
| Bernardi, A. O., Stefanello, A., Lemos, J. G., Garcia, M. V., & Copetti, M. V. (2019). | Quats 1 3000, 25000, 50000), Ácido peracético (1500, 15000, 30000), Biguanidina (20000,35000,50000), Quats (3000, 25000, 50000), | <i>P. roqueforti</i> , <i>P. paneum</i> , <i>H. burtonii</i> , <i>A. pseudoglaucus</i> | Sensibilidad | 15 | Tiosulfato de sodio, caldo nutritivo con 0,5 % de Tween 80 y triptona al 1 % | - |

| | | | | | | |
|---|---|--|----------------------------|---------|---|--------------------------|
| | Hipoclorito de sodio (100, 1000, 2000) | | | | | |
| Park, K. M., Yoon, S., Choi, T., Kim, H. J., Park, K. J., & Koo, M. (2020) | Mezcla ((R. officinalis L., C. sinensis L. y ácido cítrico) (2500,5000,10000) | <i>L. monocytogenes</i> , <i>B. cereus</i> , <i>S. aureus</i> , <i>E. coli</i> , <i>S. entérica</i> , | Actividad antimicrobiana | 5 | Caldo neutralizante Dey-Engley | - |
| Fernandes, S., Gomes, I. B., & Simões, M. (2020) | Quats 1 (5,10, 20, 40, 50, 80,100) Ácido glicólico (100, 500, 1000, 10000 y 20000), Glioxal (1000, 5000, 10000, 15000 , 20000), Ácido peracético (0.1, 1, 10, 20, 50, 80 y 100) | <i>P. fluorescens</i> , <i>B. cereus</i> | Actividad antimicrobiana | 30 | Polisorbato, 30 g/L de saponina, 1 g/L de L-histidina , 3 g/L de lecitina, 5 g/L de tiosulfato de sodio en tampón fosfato | |
| Seo, Y., Lee, G., Song, S., Kim, K., & Cho, M. (2021). | Ácido cítrico (36000), Ácido málico 36000), Mezcla de Ácido málico +Ácido cítrico | <i>S. Typhimurium</i> , <i>P. aeruginosa</i> , <i>L. monocytogenes</i> , <i>E. coli</i> | Actividad germicida | 5-8-10 | - | - |
| Pacheappan, G. D., Samsudin, N. I. P., & Hasan, H. (2021) | Quats (3,000, 10000,15000), Ácido peracético (3,000, 10000,15000), Extracto natural ((3,000, 10000,15000),) | <i>E. coli</i> , <i>S. aureus</i> , <i>B. subtilis</i> , <i>L. monocytogenes</i> | Reducción microbiana | 5-10-15 | Caldo neutralizante Dey-Engley | - |
| Yim, J., Song, K., Kim, H., Bae, D., Chon, J., & Seo, K. (2021). | Hipoclorito de sodio (1, 10, 50, 100) Quats (1, 10, 50, 100), Hipoclorito de calcio , (1, 10, 50, 100), | <i>B. anthracis</i> | Inactivación de células | 10 | Caldo neutralizante Dey-Engley | - |
| Didouh, N., Bendimered, N., Postellec, F., Deperieux, E., Leguerinel, I., & BoudjemâA, B. M. (2022) | Biocida a base de cloro (500, 750, 1000), Detergente ácido a base de fosfórico ácido, 8000,20000, 50000), | <i>esporas B. cereus</i> | Eficacia del desinfectante | 10 | - | - |
| Kim, J., Zhang, B., & Park, J. (2023). | Hipoclorito de sodio (0, 20, 50, 100 y 200), Ácido peracético (0, 20, 50, 100 y 200) | <i>L. monocytogenes</i> , <i>B. cereus</i> , <i>S. aureus</i> , <i>E. coli</i> , <i>S. typhimurium</i> , | Inactivación de células | 1-5 | 3 g de lecitina , 30 g de polisorbato 80, 5 g de tiosulfato de sodio, 1 g de l - histidina y 30 g de saponina | Albúmina de suero bovino |

Descripción de la distribución de los datos por categorías

En primer lugar, encontramos que de los reportes seleccionados se extrajeron 991 datos relacionados con el tipo de microorganismo probado, el tipo de superficie o forma de evaluación y el grupo de desinfectante utilizado. En la **tabla 1** se reportan las frecuencias de los datos obtenidos en función de las categorías mencionadas, además se utilizó una paleta de color rosa, donde la intensidad del color indica mayor cantidad de datos. Los microorganismos de prueba usados incluyen: bacterias gramnegativas 408 datos (41.5%), bacterias Gram positivas 200 datos (20.1%), bacterias esporuladas 145 datos (12.9%), mohos 207 datos (20.8%) y levaduras 48 datos (4.8%).

Las bacterias gramnegativas son las más evaluadas, ya que incluyen a los principales indicadores microbiológicos y patógenos en alimentos, como *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella*.

Los datos también se agruparon de acuerdo con la superficie y formas de evaluación; la superficie con más datos fue el acero inoxidable (433 datos, 43.6%), seguido por el polipropileno (125 datos, 12.6%) y vidrio (12 datos, 1.1%). La forma más común de evaluación, después de la superficie de acero inoxidable fue la prueba de evaluación en suspensión (421 datos, 42.5%). Cabe destacar que solo tres de estas investigaciones evaluaron la efectividad del desinfectante únicamente en suspensión; las otras combinaban la prueba en suspensión con al menos una prueba de superficie, y sólo uno de los quince estudios revisados evaluó en suspensión y en las tres superficies mencionadas. Según la recomendación de la USP (United States Pharmacopeial), para la evaluación de desinfectantes, primero se debe estimar primero la concentración mínima inhibitoria, luego realizar pruebas en suspensión y posteriormente en superficie.

Tabla.2 Distribución de los datos de los 15 reportes incluidos para la revisión sistemática. La intensidad de los tonos rosa aumenta con el aumento en la frecuencia de los datos.

| | | | | | | | | | | |
|--------------|------|-----|-------|------|------|------|-------|------|------|-----|
| Total | 330 | 1 | 211 | 51 | 24 | 8 | 240 | 38 | 82 | 991 |
| % | 33,3 | 0,1 | 21,29 | 5,15 | 2,42 | 0,81 | 24,22 | 4,44 | 8,27 | |

Tipo de desinfectante

Se identificaron nueve categorías de desinfectantes, entre las que hay dieciséis compuestos o combinaciones evaluadas. El agrupamiento por compuesto obedece a lo establecido en la USP y se realizó así por la diversidad de compuestos y mezclas reportadas. En la **Tabla 2** y **Figura 2** se observa cómo cada grupo de desinfectantes se relaciona con la reducción logarítmica reportada. Los compuestos halogenados representaron 330 datos (33.3%), dentro de estos se encuentran el hipoclorito de sodio (NaOCl), el cloro (Cl₂), el dióxido de cloro (ClO₂), los yodóforos y yodo (I₂). El mecanismo de acción de estos compuestos se basa en deshidratar y solubilizar las proteínas, transformándolas en materiales fácilmente eliminables (Byun et al., 2021). Los datos encontrados se agruparon con reducciones 2 a 4 log, que representaron la media de los datos. Sin embargo, se reportaron reducciones de hasta 8 log con estos compuestos.

Se encontraron 240 datos (24,22 %) correspondientes oxidantes como el ácido peracético (C₂H₄O₃) y el peróxido de hidrógeno (H₂O₂). El ácido peracético es comúnmente usado en la industria alimentaria ya que no es tóxico y es amigable con el medio ambiente. Para los agentes oxidantes, el mecanismo descrito es la reacción con grupos sulfhidrilo y dobles enlaces de las proteínas y lípidos afectando la integridad de la membrana (López, 2022). Para estos desinfectantes se encuentran datos agrupados entre 2-7 log y en algunos casos reducciones de hasta 8 log.

Los compuestos de amonio cuaternario (Quats) se analizaron en 221 datos (21.2%), estos se clasifican en compuestos de primera, tercera y quinta generación. Su mecanismo de acción está dirigido a la membrana citoplasmática, uniéndose irreversiblemente a los fosfolípidos y proteínas de membrana, permeabilizando y ocasionando la salida del material citoplasmático (Diomedi et

al., 2017), para este grupo se reportaron reducciones principalmente entre 1.8 a 3.8 log, aunque en algunas investigaciones se observaron reducciones de hasta 7 log.

Se encontraron 51 datos (5.15%) donde se evaluaron biguanidas como desinfectantes. La Clorhexidina es la molécula catiónica más común entre los desinfectantes a base de biguanida, con actividad de amplio espectro y considerada un producto antiséptico (López et al., 2017). Su mecanismo de acción se asocia a su alta afinidad por la membrana celular de bacterias y levaduras, penetrando fácilmente por difusión pasiva, afectando la permeabilidad de la membrana celular y ocasionando la pérdida de elementos esenciales como el potasio y el fósforo. En altas concentraciones, puede coagular el citoplasma celular (McDonnell & Russell, 2019). Los datos encontrados se agrupan desde 0.8 log y un máximo de 3 log.

Los desinfectantes a base de ácidos fueron evaluados en 24 datos (2.42%). Entre estos se encuentran ácidos orgánicos como el ácido cítrico, ácido fosfórico y ácido acético. El mecanismo de acción de los ácidos implica la disociación de iones de hidrógeno libres, alterando el pH y permeando la membrana externa de las bacterias para ingresar a la célula (Diomedì et al., 2017). Dentro de la célula alteran el pH intracelular y quelan iones metálicos, afectando la actividad enzimática. En general, los ácidos orgánicos son compuestos no tóxicos, por lo tanto, son apropiados para su uso en la industria alimentaria (Bai et al., 2022). Estos reportan datos agrupados con reducciones de hasta 7 log.

Los extractos naturales también han aumentado su interés como compuestos para desinfectar entornos de procesamiento de alimentos debido a que son menos tóxicos y amigables con el medio ambiente. Sin embargo, los estudios que evalúan los aceites esenciales para la inhibición bacteriana en estos entornos siguen siendo limitados. Se encontraron 38 datos (4.4%), que corresponden a aceites esenciales, extracto de propóleo y extracto de semilla de pomelo. Su actividad se debe al efecto oxidante de las paredes celulares de los microorganismos, generando la alteración de su estructura. Los datos encontrados se agrupan con reducciones entre 0.5 y 3 log, con algunos datos aislados de hasta 8 log.

También se encontraron diferentes tipos de mezclas 82 datos (8.27%). Entre las que se encuentran ácido peracético y peróxido de hidrógeno, ácido cítrico y ácido málico, ácido cítrico más ácido

málico y ácido peracético, ácido fosfórico más amonio cuaternario (Quats), ácido peracético y peróxido de hidrógeno más ácido acético. Esta es quizá una estrategia utilizada para aumentar la eficacia de los compuestos desinfectantes ya probados. La mezcla más común fue ácido peracético con peróxido de hidrógeno (12 datos). La combinación causa una mayor permeabilidad de la membrana celular que cuando se usan individualmente, en comparación con otros desinfectantes (Alberto, 2016), se observó que las mezclas mostraron mayor eficacia respecto a los desinfectantes individuales con reducciones entre 6 y 7 log.

Otros compuestos encontrados en menor proporción en los estudios revisados fueron los aldehídos 8 datos (0.8%), entre estos se evaluó el glioxal, cuyo mecanismo de acción implica la alquilación de grupos de microorganismos hidroxilo, amino, carboxilo y sulfhidrilo, que afecta la síntesis de ARN, ADN y proteínas (Mcdonnell & Russell, 2019) con reducciones entre 1.8 y 4.5 log. Los alcoholes solo se evaluaron en una investigación de Udompijtkul et al. (2013) donde se utilizó etanol al 70 %. El mecanismo de acción de los alcoholes se debe a la alteración de la membrana celular, así como la desnaturalización de proteínas, generando interferencia en el metabolismo y la lisis (Diomedi et al., 2017), solo se observó una reducción 1.8 log.

Entre los estudios incluidos, algunos autores establecen criterios basados en normas internacionales para determinar la efectividad del desinfectante. Según la norma EN 13697:2001, un desinfectante debe reducir el número inicial de microorganismos en 3 log en el caso de hongos para considerarse eficiente (Norma Europea EN 13697, 2001). Autores como Sudhaus et al. (2014), Bernardi et al. (2018), y Bernardi et al. (2019) señalan que se logra una máxima eficacia cuando se reduce el recuento de hongos en al menos 4 log en comparación con el control positivo. Por otro lado, Park et al. (2020), Iñiguez-Moreno et al. (2017), y Kim et al. (2023) basaron sus estudios en la norma europea EN 1276:2019, que considera que los desinfectantes son eficaces si el valor de reducción logarítmica es mayor a 5 log.

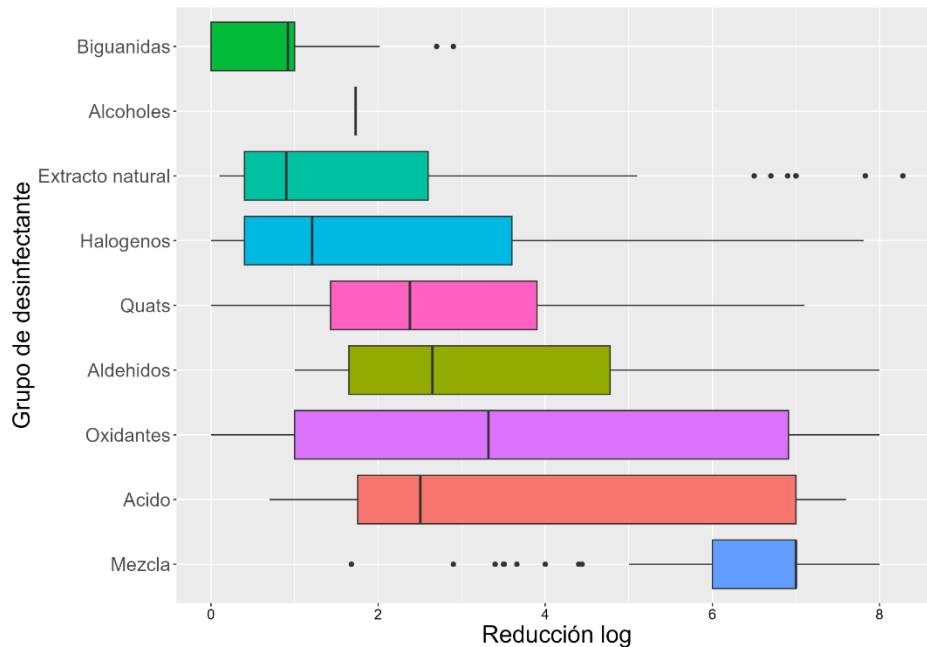


FIGURA 2. Reducción Log vs grupos de desinfectantes

Análisis de los factores que afectan la eficacia de los desinfectantes

Identificamos 4 parámetros que tiene una mayor variabilidad con relación a la eficacia de los desinfectantes: Tipo de superficie o método de evaluación, Tipo de microorganismo, tipo de desinfectante y el tiempo y concentración utilizada que se agrupó en un factor al que denominamos CT (concentración-tiempo).

Tipo de superficie o método de evaluación

La revisión sistemática incluyó ensayos donde se empleaban dos métodos de evaluación de desinfectantes, en superficie y en suspensión, este último es un método que permite evaluar de manera precisa la concentración óptima para inactivar una cantidad de microorganismos y se realiza según las normas EN 1276:2019 y EN 1040:2006, este método es utilizado en 8 de los 15 artículos incluidos. En la **(Figura 3)** se observa que las investigaciones incluidas con este método lograron reducciones desde 2-8 log. Sudhaus et al. (2014) en un ensayo de suspensión de esporas de *B. cereus*, demuestran que las esporas en suspensión son más susceptibles a los desinfectantes que las esporas que están secas y adheridas a las superficies. Iñiguez-Moreno et al. (2017) concluyen que utilizando esta técnica se observa que la mayoría de los desinfectantes lograron

reducir el 99,999% de los microorganismos en la suspensión, que corresponde en al menos 5 Log. Ambos estudios afirman que si bien las pruebas de suspensión son útiles para identificar la eficacia de un desinfectante y permiten comparar la susceptibilidad de los microorganismos usando diferentes cepas, es importante realizar estudios adicionales con pruebas de superficie que permitan acercarse a las condiciones reales de los entornos industriales.

Con relación a las superficies en contacto con alimentos, se describe que deben ser lisas, duras y no porosas, ya que son más fáciles de limpiar y se evita la acumulación de alimentos que pueden llevar al crecimiento de microorganismos (Codex Alimentarius. (2023)). El acero inoxidable es la superficie más común (43.3%), autores como Udompitkul et al. (2013) y Didouh et al. (2022) expresan que seleccionaron acero inoxidable como modelo, ya que es una superficie de amplio uso en las industrias alimentarias, además de que tiene una alta resistencia a la corrosión, de fácil limpieza y desinfección. Por otro lado, el polipropileno y vidrio son los principales materiales de empaque de una diversidad de alimentos.

Se encontró una relación entre la reducción log y el tipo de superficie (**Figura 3**). Park et al. (2020), en su investigación, mencionan que al comparar la actividad antibacteriana en diferentes superficies como acero inoxidable y polipropileno, y utilizando una mezcla desinfectante en diferentes concentraciones, el acero inoxidable mostró una reducción de hasta 5 log UFC/mL en patógenos como *E. coli*, *B. cereus*, *S. Enteritidis* y *S. aureus*, mientras que en polipropileno *S. aureus* sobrevivió en la superficie hasta por 24h. Asimismo, Iñiguez-Moreno et al. (2018) compararon la efectividad de cuatro desinfectantes y su efecto sobre ambas superficies, encontrando para la superficie de acero inoxidable un mayor efecto residual y disminución de *L. monocytogenes* ATCC 19111, *E. coli* ATCC 11303 en 6 Log 10 UFC/mL, mientras que en polipropileno solo redujo los conteos en 3 Log 10 UFC/mL para los mismos patógenos. Kim et al. (2023) compararon la efectividad del desinfectante con un inóculo inicial de 5–6 log/mL adherido a superficie de acero inoxidable y mostraron una reducción de más de 4 log después del tratamiento, asegurando que el acero inoxidable, especialmente el 304, se limpia tan fácilmente como el vidrio y más fácilmente que el polipropileno.

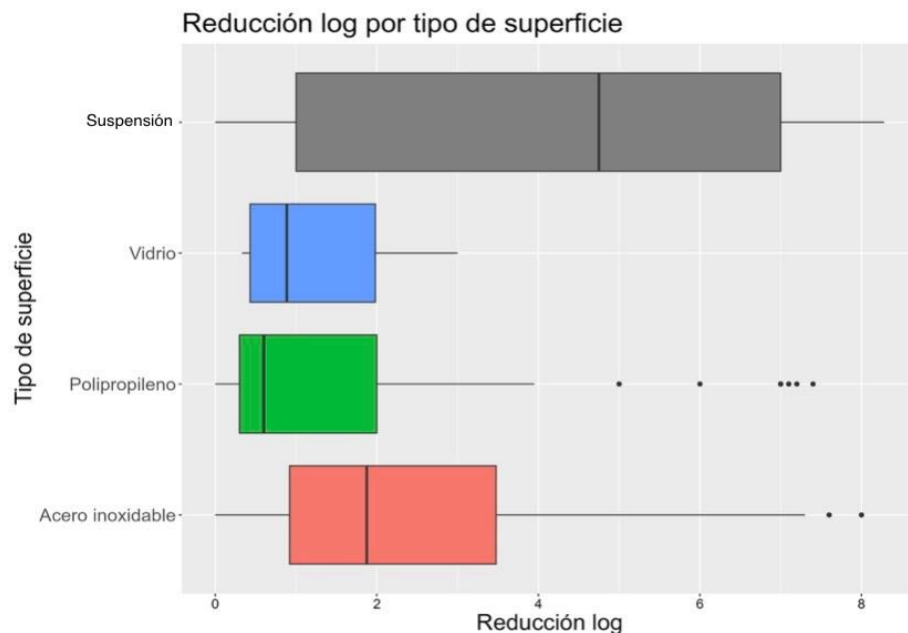


FIGURA 3. Reducción Log reportada en los estudios según el tipo de superficie o método de evaluación

Tipo de microorganismo

El tipo de microorganismos utilizado para determinar cuantitativamente la reducción logarítmica es elegido por cada establecimiento o industria para evaluar la efectividad del desinfectante. La AOAC 961.02 (2023), recomienda diferentes microorganismos estándar para determinar la eficacia de los desinfectantes, pero también deja abierta la posibilidad de hacerlo con microorganismos aislados. Los estudios que incluyeron cepas aisladas fueron Udompijtkul et al. (2013) cuyas cepas provenían de alimentos contaminados, Bernardi et al. (2019) de productos de panadería, Didouh et al. (2022) de plantas lecheras, Fernandes et al. (2020)

Nueve de los quince estudios siguen la recomendación de utilizar cepas de referencia de la colección ATCC (American Type Culture Collection) mientras que seis evalúan cepas aisladas. Al comparar las cepas aisladas con las cepas de referencia en la **Figura 4**, se puede evidenciar una tendencia a encontrar reducciones menores en los aislados. Por ejemplo, Bernardi et al. (2018) y (2019) usaron hongos aislados y de referencia, evaluaron diferentes desinfectantes como biguanidas, ácido peracético, hipoclorito de sodio y Quats, en concentraciones y tiempo de contacto

similares, al analizar los datos obtenidos en cada estudio, se observó una mayor reducción log en el estudio con cepas de referencia en relación con las aisladas; por ejemplo encontraron que la máxima reducción para *P. roqueforti* aislado de una industria panadera fue de 2,2 log, mientras que *P. roqueforti* de referencia alcanzó una reducción de 4 log con ácido peracético a una concentración de 250.000 ppm en 15 minutos de exposición, (Rozman et al., 2022).

Otro factor importante es el tipo de microorganismo utilizado, ya que los hongos y las bacterias esporuladas pueden tener una mayor resistencia a los desinfectantes debido a sus características estructurales. Por ejemplo, Fernandes et al. (2020) evaluaron cepas *P. fluorescens*, que es una bacteria Gram negativa y *B. cereus* una bacteria esporulada, con los desinfectantes como ácido peracético, ácido glicólico, Glioxal, Quats, bajo las mismas condiciones de tiempo y concentración. Se encontró que *P. fluorescens* fue más susceptible a todos los biocidas probados, alcanzando una reducción de hasta 7 log, mientras que *B. cereus* logró una reducción menor a 3 log. Es importante mencionar que se observaron datos atípicos cuando se usó ácido peracético en concentraciones de 20, 80 y 100 ppm en el que se logró reducir en 4.5, 7.3 y 8 log respectivamente, siendo este desinfectante el que reportó mayor efectividad para las cepas aisladas.

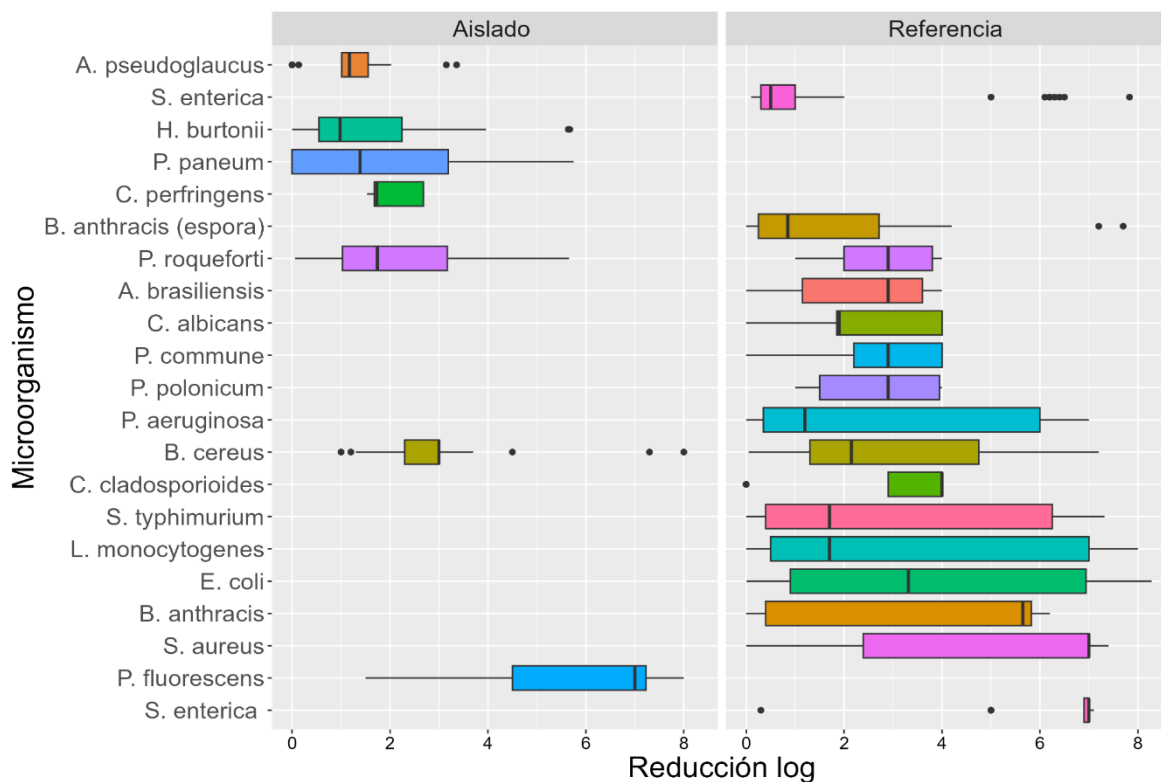


FIGURA 4. Reducción Log vs tipo de microorganismos aislados y de referencia.

Reducción logarítmicas de acuerdo al factor CT (Concentración y tiempo)

Según lo reportado por Disinfection and Sterilization Guideline (2023), al aumentar la concentración del desinfectante, hay un incremento proporcional en la inactivación de microorganismos. Esto se debe a que una mayor concentración de agente activo está disponible para interactuar con los microorganismos. Sin embargo, se alcanza un punto óptimo donde la mayoría de los microorganismos presentes son inactivados de manera eficiente, y aumentar más la concentración del desinfectante no resulta en una reducción significativa adicional de los microorganismos (Rozman et al., 2021).

Ante la variabilidad de concentraciones y tiempos de exposición reportados con relación a la eficacia (medida en términos de reducción logarítmica), la concentración y el tiempo de exposición se agrupó en un factor denominado CT (Gallandat et al., 2021). El factor CT ($\text{mg}\times\text{min}/\text{L}$) se calculó multiplicando el tiempo de exposición por la concentración del desinfectante, tal como lo reporta la **Gráfica 5** muestra las reducciones logarítmicas en función de los “CT” reportados para los 5 grupos de microorganismos. En este sentido, nueve estudios evaluaron la eficacia de desinfectantes usando bacterias gramnegativas como *E.coli*, *P. aeruginosa*, *P. fluorescens*, *S. enterica* y *S. typhimurium*.

Al observar la exposición de *E.coli* a desinfectantes como hipoclorito de sodio 50 ppm (CT= 500 $\text{mg}\times\text{min}/\text{L}$), 100 ppm (CT= 500 $\text{mg}\times\text{min}/\text{L}$), 200 ppm (CT= 200 $\text{mg}\times\text{min}/\text{L}$), ácido peracético 50 ppm (CT= 250 $\text{mg}\times\text{min}/\text{L}$), 100 ppm (CT= 500 $\text{mg}\times\text{min}/\text{L}$), 200 ppm (CT= 1.000 $\text{mg}\times\text{min}/\text{L}$) y mezclas de desinfectantes oxidantes 53 ppm (CT= 13.25 $\text{mg}\times\text{min}/\text{L}$) y 200 ppm (CT= 100 $\text{mg}\times\text{min}/\text{L}$), todos evaluados en tiempos de 0.5 a 5 minutos y en ausencia de materia orgánica, resultaron en una reducción entre 5 y 7 Log. Sin embargo, Iñiguez-Moreno et al. (2017) reportaron que cuando se usó extracto de carne como sustancia de interferencia, con la misma concentración y tiempo de exposición de hipoclorito de sodio 50 ppm (CT= 500 $\text{mg}\times\text{min}/\text{L}$) y ácido peracético 50 ppm (CT= 250 $\text{mg}\times\text{min}/\text{L}$) resultaron en una reducción log de 5 y 5.9 respectivamente.

Las bacterias como *Salmonella* también son de gran interés en la industria alimentaria debido a que es el agente etiológico de numerosos brotes transmitidos por alimentos. Según Kim et al. (2023), el

yodo a una concentración de 25 ppm logró reducciones de 7 log en tan solo 0.5 minutos de exposición (CT= 12.5mg×min/L). Iñiguez-Moreno et al. (2018), con las mismas condiciones de tiempo de exposición, pero usando leche como sustancia de interferencia, se obtuvo una reducción de 6.2 log. Estos mismos autores encontraron que el ácido peracético, en concentración de 50, 100 y 200 ppm y tiempos de exposición de 0.5, 1 y 5 minutos (CT= 50, 100 y 200 mg×min/L), con y sin sustancias de interferencia, logró reducciones de 6-7 log. Esto sugiere que el yodo y el ácido peracético tiene una alta eficiencia para este patógeno. En otro estudio Kim et al. (2023) evaluaron el hipoclorito de sodio en concentraciones de 20, 50, 100 y 200 ppm por 0.5, 1 y 5 minutos (CT= 20, 50, 100, 500 y 1000 mg×min/L), encontrando que solo con CT mayores a 200 mg×min/L se reportan reducciones mayores a 6 log.

Falcó et al. (2019) evaluaron aceites esenciales cuya composición principal es el carvacrol con CT de 1000, 5000, 25000 y 50000 mg×min/L, mostrando ineficiencia en todas las concentraciones y tiempos de exposición probados. Se observa un comportamiento similar de los resultados en las demás bacterias gramnegativas, cuya reducción log se ve afectada en cierta medida por la presencia de materia orgánica. De esta manera, estos estudios pueden ofrecer información valiosa sobre el efecto de una inadecuada limpieza antes de la desinfección, como se estipula en los protocolos.

Las bacterias grampositivas fueron evaluadas en siete artículos, la más común es *Listeria Monocytogenes*, Pacheappan et al. (2021) reportan que los desinfectantes probados, ácido peracético, Quats y un desinfectante a base plantas cuya composición principal es carvacrol, en concentraciones de 3.000, 5.000 y 10.000 ppm con tiempos de exposición de 5, 10 y 15 min (CT de 20.000-100.000 mg×min/L), reducen hasta 8 log, pero las mismas condiciones evaluadas en prueba de superficie de acero inoxidable reporta reducciones entre 3.6 y 3.8 log, y utilizando una sustancia de interferencia no encontraron variaciones significativas. Kim et al. (2023) reporta que el ácido peracético en una concentración de 50 ppm y 5 minutos de exposición (CT= 250 mg×min/L) redujo en más de 7.8 log; sin embargo, en concentraciones de 20 ppm en 1 y 5 (CT= 20 y 100 mg×min/L) es inefectivo. Este mismo autor observó que usando hipoclorito de sodio, se requieren concentraciones 100 a 200 ppm y tiempos de exposición de 1 y 5 minutos (CT= 100 y 200 mg×min/L) ya que en concentraciones menores no se evidencia reducciones significativas. Las mezclas de diferentes compuestos evidenciaron alta efectividad contra *L. Monocytogenes* Park et al. (2020) reporta que la mezcla antibacteriana multicomponente con *Rosmarinus officinalis* L.,

Camellia sinensis, ácido cítrico, ϵ -polilisin, en concentraciones de 2.500, 5.000 y 100.000 ppm durante 5 minutos de exposición (CT= 12.500 y 50.000 mg \times min/L) logran reducciones de 5, 7 y 8 log respectivamente. Iñiguez-Moreno et al. (2017) utilizaron una mezcla de ácido peracético y peróxido de hidrógeno en concentraciones de 53 y 80 ppm en 0.5 minutos de exposición (CT= 26.5 y 40 mg \times min/L) lograron reducciones de 7 log.

Uno de los patógenos más resistentes a condiciones ambientales adversas es *S. aureus*, logrando persistir a temperaturas de congelación y descongelación, lo que lo hace de gran interés para las empresas transformadoras de alimentos crudos (Aguas et al. (2017). Kim et al. (2023) evaluaron la reducción log de *S. aureus* usando agentes oxidantes y halógenos, obteniendo reducciones de hasta 7.81 log con hipoclorito de sodio 200 ppm durante 5 min (CT=1000 mg \times min/L), utilizando método de suspensión y material de interferencia. Además, en el documento se resalta que, para alcanzar esa misma reducción sin usar materia orgánica, se necesitan solo 100 ppm del desinfectante en el mismo tiempo de contacto (CT= 500 mg \times min/L). La eficacia de los agentes oxidantes como ácido peracético mostró reducciones entre 6.57 y 7.2 log en concentraciones de 50 ppm y por 1 min (CT=50 mg \times min/L). Sin embargo, cuando se usó la misma concentración, tiempo y con material de interferencia, la reducción log fue de 0.65 log. Esto evidencia, como se mencionó anteriormente, que la interferencia de materia orgánica influye en la eficacia del desinfectante.

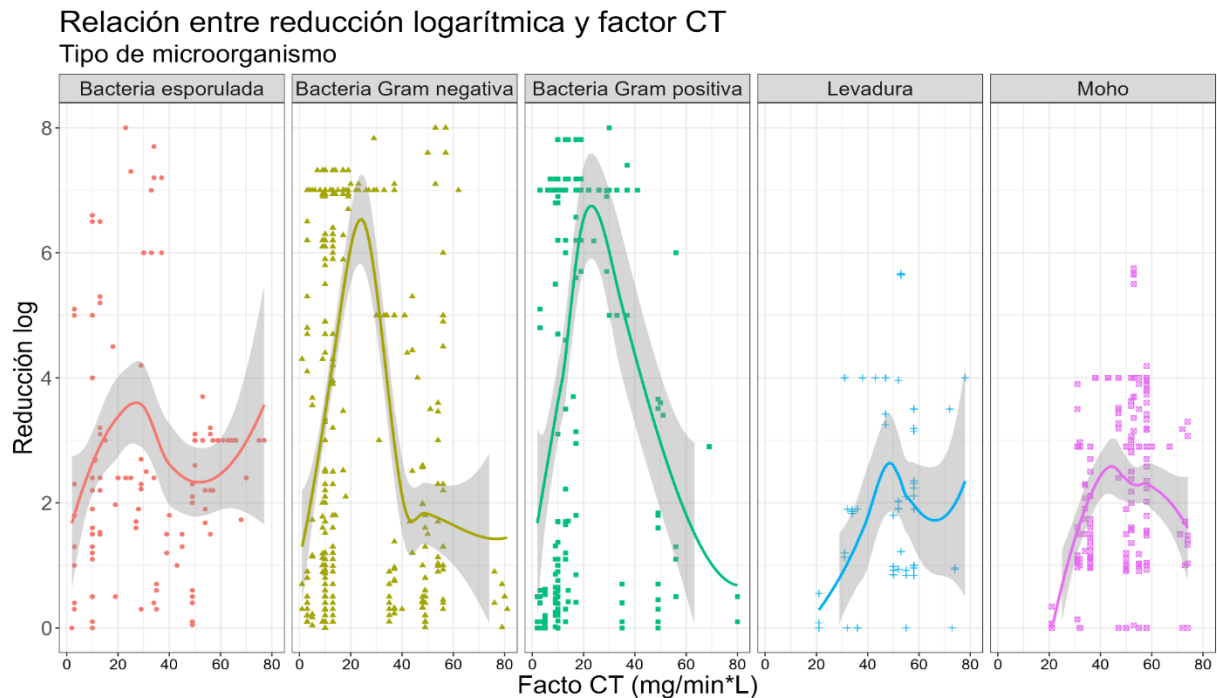
Las bacterias esporuladas en los estudios son *C. perfringens*, *B. cereus* y *B. anthracis* y esporas *B. anthracis*, estas son evaluadas en siete artículos que incluyeron grupos de desinfectantes como alcoholes, halógenos, ácidos, Quats y oxidantes, los tiempos de contacto para estas bacterias variaron entre 0.5, 5, 10 y 30 min. *B. cereus* se encontró en la mayoría de estudios de bacterias esporuladas, se reportan reducciones desde 0.1 a 8 log, y la mayor reducción se obtuvo solo usando ácido peracético 80 ppm durante 30 min (CT= 2.400 mg \times min/L), en suspensión y sin material de interferencia, además, cuando usaron tiempo de contacto inferiores a 5 min la reducción de esta, en todos los desinfectantes no supera 2.2 log. Se evidencia que se necesitan concentraciones de hasta 10.000 ppm y 5 min (CT=50.000 mg \times min/L) para reducir hasta 6 log. Se observa la misma tendencia con *B. anthracis* que para reducir al menos 5.7 log, usando concentraciones de 100 ppm por 10 min (CT=1.000 mg \times min/L). A concentraciones inferiores a 50 ppm la reducción log es 0 (Yim et al., 2021). Las esporas de *B. anthracis* fueron menos susceptibles a los desinfectantes ya

que para reducir al menos 5 log usaron hipoclorito de calcio a 3.000 ppm por 10 min (CT= 30.000 mg×min/L), en concentraciones inferiores (10, 100, 1.000) para hipoclorito de sodio e hipoclorito de calcio redujo más de 2.1 log (Yim et al., 2021).

Los mohos y las levaduras fueron evaluados en dos artículos, los mohos y las levaduras en comparación con las bacterias tienen características estructurales que les permite adaptarse a condiciones ambientales más extremas, entre ellos la composición de la pared; diferentes cepas de hongos de importancia en deterioro de productos de la industria panadera fueron evaluados, entre ellos *Aspergillus*, *Penicillium*, *Cladosporium* y levaduras como *C. albicans* y *H. burtonii* los desinfectantes probados fueron Quats, biguanidas, ácido peracético y hipoclorito de sodio en concentraciones que oscilan desde 100- 50000 ppm en 15 minutos de exposición, Bernardi et al. (2018) (2019) reportaron que el ácido peracético a concentraciones mayores a 15000 con CT entre (225000 y 450000 mg×min/L) para reducir más de hasta 5 log en superficies de acero y con sustancia de interferencia redujo 4 log, Mientras que para el hipoclorito de sodio se requirieron concentraciones de 1000,5000, 1000 ppm con CT entre (15000-150000 mg×min/L) para reducir más de 3 log, no encontraron diferencias cuando se usaban sustancias de interferencia, los Quats y las biguanidas, fueron ineficientes en los CT evaluados obteniendo reducciones < 3 log.

En este contexto, se evidenció que los microorganismos varían su respuesta a los desinfectantes en función de su composición y estructura celular. Esta tendencia se observa en la **Gráfica 5**, donde las esporas bacterianas presentan la mayor resistencia a los desinfectantes, seguidas de los hongos y levaduras, posteriormente bacterias gramnegativas y bacterias grampositivas. Esto concuerda con lo reportado por Jalal et al. (2023), quienes señalaron que las bacterias gramnegativas fueron más resistentes a los siete desinfectantes usados en comparación con las bacterias grampositivas. Así mismo, Díaz-Enriquez et al. (2017) reportaron que los hongos obtuvieron menores reducciones en comparación con las bacterias estudiadas bajo las mismas condiciones. Si bien los proveedores de desinfectantes establecen concentraciones y tiempos de contacto, es importante conocer cuáles son los microorganismos más comunes en el entorno de procesamiento. Los estudios incluidos en esta revisión sistemática reflejan que la eficacia del desinfectante se ve afectada por varios factores, por lo cual pesar de que los fabricantes de los desinfectantes hacen pruebas para verificar la eficacia en condiciones experimentalmente controladas, se evidencia que bajo condiciones que pueden simular condiciones reales de aplicación, hay una alta variabilidad. Dado lo anterior, establecer un adecuado

programa de vigilancia de la acción de estos compuestos para cada industria de alimentos, con relación a las dosis, tiempos de aplicación y condiciones reales de aplicación puede brindar a los usuarios y a los fabricantes información importante.



GRÁFICA 5. Reducciones logarítmicas informadas para factores de concentración-tiempo de exposición (“CT”), para diferentes tipos de microorganismos.

Conclusiones

Esta revisión sistemática resalta que la variabilidad de la eficacia reportada en los estudios de evaluación de desinfectantes usados en la industria de alimentos puede verse altamente influenciada por las condiciones experimentales de cada estudio. Por lo que se recomienda aumentar la reproducibilidad y robustez de los métodos para verificar que la eficacia se alcanza in situ. Una vez el método esté en control, se recomienda realizar pruebas que permitan simular los ambientes específicos de cada industria con el fin de facilitar la implementación de medidas de control efectivas y coherentes con las realidades del entorno. Por ejemplo, es importante adecuar las temperaturas de evaluación a las condiciones reales de crecimiento de microorganismos (industria cárnica vs. industria panadera), utilizar microorganismos aislados persistentemente en los alimentos o ambientes de procesamiento, y ajustar las concentraciones y tiempos de exposición a las

condiciones y superficies de aplicación. Además, se destaca que en muchos reportes, las condiciones de evaluación y los datos de pruebas previas, como la neutralización, no se muestran de manera exhaustiva o no se muestran en absoluto, lo que puede limitar la comparación con otros estudios, como en el caso de estudios de fuentes secundarias.

Agradecimientos

En primer lugar, nos gustaría expresar nuestro más sincero agradecimiento a nuestra asesora Laura Castrillón, por su apoyo, paciencia y dedicación a lo largo de este trabajo de grado. Sus conocimientos y experiencia fueron fundamentales para la realización de esta tesis. También queremos agradecer al profesor David Borrego de la Escuela de Microbiología por su apoyo en el análisis gráfico de la información.

Referencias

1. Statista. (s. f.). Food - Worldwide | Statista market forecast. Recuperado 1 de julio de 2024, de <https://www.statista.com/outlook/cmo/food/worldwide>
2. Arispe, I., & Tapia, M. S. (2018). Inocuidad y calidad: requisitos indispensables para la protección de la salud de los consumidores. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-03542007000100008
3. Kailasa, S. K., Mehta, V. N., & Wu, H. (2017). Recent advances in the direct and nanomaterials-based matrix-assisted laser desorption/ionization mass spectrometric approaches for rapid characterization and identification of foodborne pathogens. In Elsevier eBooks (pp. 449–485). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-804303-5.00013-4>
4. Rocha, A. N. F., Coelho, V. a. T., Reis, L. H. G., Cardoso, P. A., & Lacerda, L. G. (2020). Recall of food contaminated by bacteria and fungi. <https://revista.unipacto.com.br/index.php/rsv/article/view/80>
5. Boletín epidemiológico. (2024, January 14). Retrieved June 4, 2024, from <https://www.ins.gov.co/buscar-eventos/Paginas/Vista-Boletin-Epidemiologico.aspx>
6. Lorenzo, J. M., Munekata, P. E., Dominguez, R., Pateiro, M., Saraiva, J. A., & Franco, D. (2018). Main groups of microorganisms of relevance for food safety and stability. In Elsevier eBooks (pp. 53–107). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-811031-7.00003-0>

7. Cortés-Higareda, M., Bautista-Baños, S., Ventura-Aguilar, R. I., Landa-Salgado, P., & Hernández-López, M. (2021). Bacterias patógenas de los alimentos agrícolas frescos y mínimamente procesados. Estado actual en el control del género salmonella. <https://www.redalyc.org/journal/813/81367929003/html/>
8. Recalls of Foods due to Microbiological - ProQuest. (n.d.). <https://www.proquest.com/docview/1365661291?sourcetype=Scholarly%20Journals>
9. Bejarano-Roncancio, J. J., Díaz-Moreno, A. C., & Egoavil-Cardozo, M. J. (2016). Recall en la industria alimentaria: una estrategia sanitaria por implementar en Colombia. *Revista De La Facultad De Medicina*, 64(4), 727. <https://doi.org/10.15446/revfacmed.v64n4.52915>
10. Inocuidad de alimentos. (2024, 7 junio). OPS/OMS | Organización Panamericana de la Salud. <https://www.paho.org/es/temas/inocuidad-alimentos>
11. Aryal, M., & Muriana, P. M. (2019). Efficacy of Commercial Sanitizers Used in Food Processing Facilities for Inactivation of *Listeria monocytogenes*, *E. Coli* O157:H7, and *Salmonella* Biofilms. *Foods*, 8(12), 639. <https://doi.org/10.3390/foods8120639>
12. McSharry, S., Koolman, L., Whyte, P., & Bolton, D. (2021). Investigation of the Effectiveness of Disinfectants Used in Meat-Processing Facilities to Control *Clostridium sporogenes* and *Clostridioides difficile* Spores. *Foods*, 10(6), 1436. <https://doi.org/10.3390/foods10061436>
13. EN 13697. (2024, January 18). Swiss Anti-Bacterial & Anti-Viral Testing Laboratory, ISO Certified | MIS. <https://microbe-investigations.com/en-13697/>
14. Pachiappan, G. D., Samsudin, N. I. P., & Hasan, H. (2021). The effects of different disinfectants and application conditions on microbial contaminants at dairy processing line. *Journal Of Food Processing And Preservation*, 46(1). <https://doi.org/10.1111/jfpp.16172>
15. Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., . . . Alonso-Fernández, S. (2021). Declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas. *Revista Española De Cardiología/Revista Española De Cardiología*, 74(9), 790–799. <https://doi.org/10.1016/j.recesp.2021.06.016>
16. Reducción de 7 niveles de Log10 y validación del filtro conforme a la Norma ASTM F838-15a.(2019.)

- <https://www.aqua-free.com/es/revista/reduccion-de-7-niveles-de-log10-y-validacion-del-filtro-conforme-a-la-norma-astm-f838-15a>
17. (8) Valoración de desinfectantes. Método de dilución- neutralización | Request PDF. (2021, January 1). ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/268183508_Valoracion_de_desinfectantes_Metodo_de_dilucion-neutralizacion
 18. NTP sobre riesgos biológicos - Salud Laboral y Discapacidad. (2019, April 15). Salud Laboral Y Discapacidad. <https://saludlaboralydiscapacidad.org/disciplinas-preventivas/higiene-industrial/riesgo-biologico/ntp-sobre-riesgos-biologicos/>
 19. UNE-EN 1276:2020 Antisépticos y desinfectantes químicos. Ensayo. (2020). <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0064393>
 20. SIST EN 1040:2006 - Chemical disinfectants and antiseptics - Quantitative suspension test for the evaluation of basic bactericidal activity of chemical disinfectants and antiseptics - Test method and requirements (phase 1). (2024, May 29). iTeh Standards. <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/7c51a42d-ed64-47b6-b908-0b8adf236337/sist-en-1040-2006>
 21. INSTITUTO VALENCIANO DE MICROBIOLOGIA [IVAMI]. (n.d.). AOAC 960.09. Actividad germicida y detergente de los desinfectantes limpiadores. - IVAMI. Retrieved June 8, 2024, from <https://www.ivami.com/es/actividades-biocidas-con-desinfectantes-160-pruebas-acreditadas/710-aoac-960-actividad-germicida-y-detergente-de-los-desinfectantes-limpiadores-metodo-aoac-960-09-b-germicidal-and-detergent-sanitation-action-of-disinfectants>
 22. Decreto 3075 de 2015 - Gestor Normativo. (n.d.). Función Pública. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=3337>
 23. A review of efficacy testing of disinfectants. (2020, March 4). <https://www.ecolab.com/>. Retrieved March 4, 2024, from <https://www.ecolab.com/articles/2020/03/a-review-of-efficacy-testing-of-disinfectants>
 24. El Organismo Mundial de Normas Alimentarias cumple medio siglo. (2015, 2 julio). [Comunicado de prensa]. Recuperado 4 de mayo de 2024, de <https://www.who.int/es/news/item/02-07-2013-world-s-food-standard-body-praised-as-safety-net-for-consumers>

25. Innotec. (2021, January 26). Análisis de superficies - Innotec Laboratorios. 【 InnotecLaboratorios.<https://www.innotec-laboratorios.es/analisis-de-superficies-su-importancia-en-la-industria-alimentaria/>】
26. Bejarano-Roncancio, J. J., Díaz-Moreno, A. C., & Egoavil-Cardozo, M. J. (2016). Recall en la industria alimentaria: una estrategia sanitaria por implementar en Colombia. Revista De La Facultad De Medicina, 64(4), 727. <https://doi.org/10.15446/revfacmed.v64n4.52915>
27. Urrútia, G., & Bonfill, X. (2010). Declaración PRISMA: una propuesta para mejorar la publicación de revisiones sistemáticas y metaanálisis. Medicina Clínica, 135(11), 507-511. <https://doi.org/10.1016/j.medcli.2010.01.015>
28. ANDI - Noticias. (2019, 4 marzo). Andi- MÁS PAÍS. Recuperado 3 de marzo de 2024, de <https://www.andi.com.co/Home/Noticia/8371-asi-va-la-industria-de-alimentos-en-colo>
29. Inocuidad de alimentos. (2024, 7 junio). OPS/OMS | Organización Panamericana de la Salud. <https://www.paho.org/es/temas/inocuidad-alimentos>
30. AOAC 961.02. (2023, June 30). Swiss Anti-Bacterial & Anti-Viral Testing Laboratory, ISO Certified | MIS. <https://microbe-investigations.com/aoac-961-02/>
31. Stearns, R., Freshour, A., & Shen, C. (2022). Literature review for applying peroxyacetic acid and/or hydrogen peroxide to control foodborne pathogens on food products. Journal of Agriculture and Food Research, 10, 100442. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100442>
32. Normas europeas para antisépticos y desinfectantes químicos. (n.d.). <https://higieneambiental.com/productos-biocidas-y-equipos/normas-europeas-para-antisepticos-y-desinfectantes-quimicos>
33. Bernardi, A. O., Stefanello, A., Garcia, M. V., Parussolo, G., Stefanello, R. F., Moro, C. B., & Copetti, M. V. (2018). Efficacy of commercial sanitizers against fungi of concern in the food industry. Lebensmittel-Wissenschaft + Technologie/Food Science & Technology, 97, 25-30. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.06.037>
34. Bernardi, A. O., Stefanello, A., Lemos, J. G., Garcia, M. V., & Copetti, M. V. (2019). Antifungal activity of commercial sanitizers against strains of *Penicillium roqueforti*, *Penicillium paneum*, *Hyphopichia burtonii*, and *Aspergillus pseudoglaucus*: Bakery spoilage fungi. Food Microbiology, 83, 59-63. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2019.04.005>
35. Didouh, N., Bendimered, N., Postellec, F., Deperieux, E., Leguerinel, I., & BoudjemâA, B. M. (2022). Effect of Hydrophobic or Hydrophilic Characteristics of *B. cereus* Spores on

- Their Resistance to Detergents. *Journal Of Food Protection*, 85(4), 706-711. <https://doi.org/10.4315/jfp-21-286>
36. Falcó, I., Verdeguer, M., Aznar, R., Sánchez, G., & Randazzo, W. (2019). Sanitizing food contact surfaces by the use of essential oils. *Innovative Food Science And Emerging Technologies/Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 51, 220-228. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.02.013>
37. Fernandes, S., Gomes, I. B., & Simões, M. (2020). Antimicrobial activity of glycolic acid and glyoxal against *Bacillus cereus* and *Pseudomonas fluorescens*. *Food Research International*, 136, 109346. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109346>
38. Iñiguez-Moreno, M., Avila-Novoa, M. G., & Gutiérrez-Lomelí, M. (2018a). Resistance of pathogenic and spoilage microorganisms to disinfectants in the presence of organic matter and their residual effect on stainless steel and polypropylene. *Journal Of Global Antimicrobial Resistance*, 14, 197-201. <https://doi.org/10.1016/j.jgar.2018.04.010>
39. Iñiguez-Moreno, M., Avila-Novoa, M. G., Iñiguez-Moreno, E., Guerrero-Medina, P. J., & Gutiérrez-Lomelí, M. (2017a). Antimicrobial activity of disinfectants commonly used in the food industry in Mexico. *Journal Of Global Antimicrobial Resistance*, 10, 143-147. <https://doi.org/10.1016/j.jgar.2017.05.013>
40. Kim, J., Zhang, B., & Park, J. (2023). Comparison of sanitization efficacy of sodium hypochlorite and peroxyacetic acid used as disinfectants in poultry food processing plants. *Food Control*, 152, 109865. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2023.109865>
41. Magalhães, R., Ferreira, V., Brandão, T., Palencia, R. C., Almeida, G., & Teixeira, P. (2016). Persistent and non-persistent strains of *Listeria monocytogenes*: A focus on growth kinetics under different temperature, salt, and pH conditions and their sensitivity to sanitizers. *Food Microbiology*, 57, 103-108. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2016.02.005>
42. Park, K. M., Yoon, S., Choi, T., Kim, H. J., Park, K. J., & Koo, M. (2020). The Bactericidal Effect of a Combination of Food-Grade Compounds and their Application as Alternative Antibacterial Agents for Food Contact Surfaces. *Foods*, 9(1), 59. <https://doi.org/10.3390/foods9010059>
43. Seo, Y., Lee, G., Song, S., Kim, K., & Cho, M. (2021). Combinatorial treatment using citric acid, malic acid, and phytic acid for synergistical inactivation of foodborne pathogenic

- bacteria. Korean Journal Of Chemical Engineering, 38(4), 826-832. <https://doi.org/10.1007/s11814-021-0751-2>
44. Sudhaus, N., Nagengast, H., Pina-Pérez, M. C., Martínez, A., & Klein, G. (2014). Effectiveness of a peracetic acid-based disinfectant against spores of *Bacillus cereus* under different environmental conditions. Food Control, 39, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.09.063>
45. Udompittikul, P., Alnoman, M., Paredes-Sabja, D., & Sarker, M. R. (2013). Inactivation strategy for *Clostridium perfringens* spores adhered to food contact surfaces. Food Microbiology, 34(2), 328-336. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2013.01.003>
46. Yim, J., Song, K., Kim, H., Bae, D., Chon, J., & Seo, K. (2021). Effectiveness of calcium hypochlorite, quaternary ammonium compounds, and sodium hypochlorite in eliminating vegetative cells and spores of *Bacillus anthracis* surrogate. Journal Of Veterinary Science, 22(1). <https://doi.org/10.4142/jvs.2021.22.e11>
47. Pacheappan, G. D., Samsudin, N. I. P., & Hasan, H. (2021). The effects of different disinfectants and application conditions on microbial contaminants at dairy processing line. Journal of Food Processing and Preservation, 46(1). <https://doi.org/10.1111/jfpp.16172>
48. López, J. E. (2022, July 18). 5 tipos de desinfectantes más utilizados en la industria de alimentos y bebidas. THE FOOD TECH - Medio De Noticias Líder En La Industria De Alimentos Y Bebidas. <https://thefoodtech.com/columnistas/5-tipos-de-desinfectantes-mas-utilizados-en-la-industria-de-alimentos-y-bebidas/>
49. Disinfection and sterilization guideline. (2023, December 7). Infection Control. <https://www.cdc.gov/infection-control/hcp/disinfection-and-sterilization/index.html>
50. 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>
51. Diomedi, A., Chacón, E., Delpiano, L., Hervé, B., Jemenao, M. I., Medel, M., Quintanilla, M., Riedel, G., Tinoco, J., & Cifuentes, M. (2017). Antisépticos y desinfectantes: apuntando al uso racional. Recomendaciones del Comité Consultivo de Infecciones Asociadas a la Atención de Salud, Sociedad Chilena de Infectología. Revista Chilena De Infectología, 34(2), 156-174. <https://doi.org/10.4067/s0716-10182017000200010>
52. Situ Biosciences. (2021, January 22). ASTM E1153: Efficacy of Sanitizers recommended for inanimate, hard, non-porous, Non-Food contact surfaces - Situ Biosciences.

<https://www.situbiosciences.com/product/astm-e1153-efficacy-of-sanitizers-recommended-for-inanimate-hard-non-porous-non-food-contact-surfaces/>

53. FAO/WHO Codex Alimentarius. (2023). Guidelines for the Control of Shiga Toxin-Producing Escherichia coli (STEC) in Beef, Unpasteurized Milk and Milk Products, Leafy Greens, and Sprouts. Retrieved from https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/es/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FMeetings%252FCX-712-50%252FWD%252Ffh50_05s.pdf
54. Rozman, U., Duh, D., Cimerman, M., & Turk, S. Š. (2022). Hygiene of Medical Devices and Minimum Inhibitory Concentrations for Alcohol-Based and QAC Disinfectants among Isolates from Physical Therapy Departments. *International Journal of Environmental Research and Public Health/International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(22), 14690. <https://doi.org/10.3390/ijerph192214690>
55. Beck, A., Kretzschmar, U., & Schmid, O. (s. f.). *Organic Eprints - Organic Food Processing - Principles, Concepts and Recommendations for the Future. Results of a European research project on the quality of low input foods.* <https://orgprints.org/8914/>
56. Aguas, E. M., Jiménez, I. N., Iguaran, E. M., & Morales, K. P. (2017). Importancia en Salud Pública y modelamiento de Staphylococcus Aureus en alimentos. *Revista Mente Joven*, 6, 36–53. https://doi.org/10.18041/2323-0312/mente_joven.0.2017.3668
57. Byun, K., Han, S. H., Yoon, J., Park, S. H., & Ha, S. (2021). Efficacy of chlorine-based disinfectants (sodium hypochlorite and chlorine dioxide) on Salmonella Enteritidis planktonic cells, biofilms on food contact surfaces and chicken skin. *Food Control*, 123, 107838. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107838>
58. Rozman, U., Pušnik, M., Kmetec, S., Duh, D., & Turk, S. Š. (2021). Reduced Susceptibility and Increased Resistance of Bacteria against Disinfectants: A Systematic Review. *Microorganisms*, 9(12), 2550. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9122550>
59. De La C Torres López, M., Álvarez, M. D., & Morales, A. A. (2017, May 4). La clorhexidina, bases estructurales y aplicaciones en; la estomatología. Torres López | *Gaceta Médica Espirituana*. <https://revgmespirituana.sld.cu/index.php/gme/article/view/849/0>
60. McDonnell, G., & Russell, A. D. (2019). Antiseptics and Disinfectants: Activity, action, and resistance. *Clinical Microbiology Reviews*, 12(1), 147–179. <https://doi.org/10.1128/cmr.12.1.147>

61. Bai, Y., Ding, X., Zhao, Q., Sun, H., Li, T., Li, Z., Wang, H., Zhang, L., Zhang, C., & Xu, S. (2022). Development of an organic acid compound disinfectant to control food-borne pathogens and its application in chicken slaughterhouses. *Poultry Science*, 101(6), 101842. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.101842>
62. Alberto, R. R. J. (2016). Desinfección de agua residual con ácido peracético. <https://repositorio.escuelaing.edu.co/handle/001/381>
63. Jalal, N. A., Al-Ayyani, R. A., Al-Said, H. M., Ashgar, S. S., Faidah, H., Johargy, A. K., Momenah, A. M., Barhameen, A. A., Hariri, S. H., Bantun, F., Qashqari, F. S., Khidir, E. B., & Althagafi, M. H. (2023). Comparative Assessment of Antimicrobial Efficacy of Seven Surface Disinfectants against Eight Bacterial Strains in Saudi Arabia: An In Vitro Study. *Microbiology Research*, 14(3), 819–830. <https://doi.org/10.3390/microbiolres14030058>
64. Díaz-Enriquez, E., Mayo-Abad, O., Miró-Frutos, I., Pérez-Gutiérrez, Y., & Tsoraeva, A. (n.d.). Determinación de la eficacia de los desinfectantes empleados en las áreas asépticas de un centro productor de biofarmacéuticos. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1025-028X2017000200002
65. Gallandat, K., Kolus, R. C., Julian, T. R., & Lantagne, D. S. (2021). A systematic review of chlorine-based surface disinfection efficacy to inform recommendations for low-resource outbreak settings. *American Journal of Infection Control*, 49(1), 90–103. <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2020.05.014>