

© 2023 Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza.
Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).
TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas, 26: 1-17, 2023.
<https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2023.549>

Tendencias recientes en aplicaciones de agua electrolizada: áreas de estudio y perspectivas

¹Oscar Suárez-Zúñiga, ¹Guadalupe E. Contreras-Morales,
^{1,2}Diana V. Melo-Sabogal y ^{1*}Víctor Manuel Hernández-Pimentel

¹Universidad Tecnológica de Corregidora, División de Ingeniería en Biotecnología. Carretera Estatal 413, Sta. Bárbara Km. 11.2, Coroneo-Querétaro, Corregidora, 76900, Querétaro, México. ²Grupo de Bioingeniería Básica y Aplicada, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro-Campus Amazcala, El Marqués, 76260 Querétaro, México. E-mail: *victor.hernandez@utcorregidora.edu.mx

RESUMEN

El agua electrolizada (AE) es un agente antimicrobiano generado mediante electrólisis y es considerado de amplio espectro y en su composición química están presentes compuestos oxidantes. El AE es empleada en múltiples campos como la industria alimentaria, así como en hospitales y algunos laboratorios de análisis clínicos. El agua electrolizada neutra (AEN) presenta ventajas sobre el agua electrolizada alcalina y ácida, por su baja toxicidad, menor producción de residuos cancerígenos, no corroe las superficies metálicas, y su producción es *in situ* y de bajo costo. El objetivo de esta revisión fue analizar las áreas de aplicación del AE, así como detectar nuevas posibles áreas de estudio. Se utilizaron buscadores internacionales con un criterio de inclusión del año 2000 al 2022 y se encontraron un total de 768 artículos. En ellos se destaca su efecto antimicrobiano sobre las hortalizas/frutas, la carne y las superficies inertes con 37.8, 22.6 y 17.2 %, respectivamente. La aplicación del AEN en la carne de pescado es en la que más se ha estudiado, seguida por la lechuga, la manzana y la fresa. En contraste, es escasa la información en el área de la salud, así como en el ámbito sensorial de los alimentos y en la germinación de semillas.

Palabras clave: agua electrolizada, vegetales, productos cárnicos, desinfección de alimentos y desinfección de superficies.

Recent trends in electrolyzed water applications: Studied areas and perspectives

ABSTRACT

Electrolyzed water (EW) is an antimicrobial agent generated by electrolysis and considered to have a broad-spectrum and oxidizing compounds are present in its chemical composition. EW is used in multiple fields such as the food industry, as well as in hospitals and some clinical analysis laboratories. Neutral electrolyzed water (NEW) presents advantages over alkaline and acid electrolyzed water, due to its low toxicity, less production of carcinogenic residues, nor does it corrode metal surfaces, and its production is *in situ* and low cost. The objective of this review was to analyze the areas of application of EW, as well as to detect new possible areas of study. International search engines were used with an inclusion criterion from the year 2000 to 2022 and a total of 768 articles were found. In them, its antimicrobial effect on vegetables/fruits, meat and inert surfaces stands out with 37.8, 22.6 and 17.2 %, respectively. Fish meat is where its application has been most studied, followed by lettuce, apple and strawberry. In contrast, the area of health, as well as in the sensory field of food and in the germination of seeds, there are few studies.

Key words: Electrolyzed water, vegetables, meat products, food sanitizing and surfaces sanitizing.

INTRODUCCIÓN

El agua electrolizada (AE) es un agente antimicrobiano compuesto por sustancias oxidantes, existen tres principales tipos de AE, la ácida (AEA), la alcalina (AEAl) y la neutra (AEN), esta última es la más utilizada. En las últimas décadas, se ha estudiado en múltiples áreas, como la alimentaria, para reducir o eliminar a los microorganismos patógenos y deterioradores/alterantes (ambos presentes en los alimentos), así como en las superficies inertes como lo son el plástico, la madera o el acero con el fin de eliminar las biopelículas (Jiménez-Pichardo *et al.*, 2016). Entre estos materiales, el acero inoxidable es el que más se utiliza en diferentes industrias por su dureza, estado inerte, costo y durabilidad, sin embargo, al exponerse a sustancias con pH ácido (ácidos orgánicos empleados como desinfectantes) o alcalino (como el hipoclorito de sodio, NaClO) se corroe, por lo que al emplear el AEA y el AEAl la afectación se reduce notoriamente mientras que con el AEN no hay corrosión (Ayebah & Hung, 2005). El AEN en comparación con otros agentes como el NaClO, el peróxido de hidrógeno (H₂O₂) y los ácidos orgánicos, presenta un efecto antimicrobiano combinado por los múltiples mecanismos de acción de sus componentes químicos, asimismo no afecta las propiedades fisicoquímicas de los alimentos y genera una menor cantidad de residuos tóxicos como los trihalometanos en presencia de la materia orgánica (Hernández-Pimentel *et al.*, 2020). El objetivo de esta investigación fue realizar una revisión bibliográfica para identificar no solo las áreas de aplicación del AE, sino también las nuevas posibilidades de uso. Se utilizaron tres buscadores internacionales con diversas combinaciones de palabras clave

(Tabla I) y se obtuvo un total de 1,038 artículos referentes a la aplicación de AE, que se incluyeron en el análisis estadístico descriptivo, sin embargo, para la discusión se excluyeron aquellos con una antigüedad mayor al año 2010. Es un tema de interés, y aunque anualmente se publican datos de los cambios en el sistema de generación de AE con modificación especial en los electrodos, en la sal para la salmuera y en la duración de la electrólisis (Figura 1), este estudio se enfoca en su aplicación en diversas áreas.

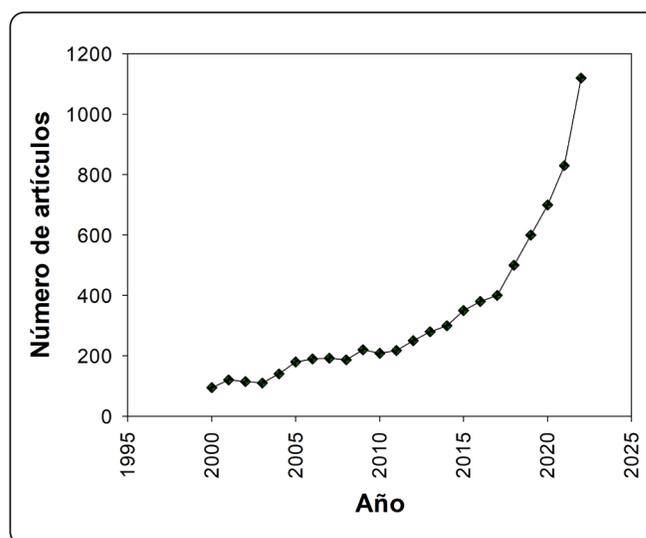


Figura 1. Cantidad de artículos publicados sobre AE en los últimos años.

Tabla I. Criterios de búsqueda de artículos de la aplicación del agua electrolizada.

Buscadores científicos internacionales	Sciadirect, SCOPUS y NCBI
Criterios de inclusión	Desde el año 2000 para el análisis estadístico descriptivo Desde el año 2010 para la discusión de la literatura más reciente
Combinaciones empleadas en la búsqueda	Electrolyzed water + application “ + disinfection; “ + chemical properties; “ + vegetables; “ + fresh produce; “ + fruits; “ + meat; “ + meat products; “ + pork; “ + beef; “ + chicken; “ + poultry; “ + surface; “ + stainless steel; “ + glass; “ + medical treatment

HISTORIA Y GENERACIÓN DEL AE

El AE se desarrolló en Japón en la década de 1930 y en el transcurso de los años se implementó para apoyar a los hospitales y laboratorios clínicos en el sector salud, a la industria alimentaria como un potente agente antimicrobiano efectivo tanto en las superficies de las tablas de corte de los alimentos, así como aplicado directamente en alimentos como el huevo, la carne, las frutas y los vegetales (Rahman, Khan & Oh, 2016).

La electrólisis del agua es una reacción de agua pura, electricidad (1.3 V) y calor (48 kJ/mol) lo que genera la descomposición de las moléculas de agua en iones hidronio (H^+) y grupos hidroxilo (OH^-). La corriente eléctrica se hace pasar a través de dos electrodos, ánodo (proceso de oxidación) y cátodo (proceso de reducción) que interactúan entre sí por una solución acuosa. No obstante, si al agua se le adiciona algún tipo de sal (un electrolito), la electrólisis se llevará a cabo con una menor inversión de energía. Este proceso se ha empleado industrialmente, para la generación de almacenadores de energía (pilas), generación del desinfectante hipoclorito de sodio ($NaClO$) y actualmente en la generación de hidrógeno como combustible (Kumar & Lim, 2022).

El AE se genera en una celda electrolítica, que contiene dos electrodos, donde circula una solución salina de cloruro de sodio ($NaCl$, 1 a 3 % p/v) con un voltaje de 9 a 10 V y una corriente de 8 a 10 A. En este proceso electrolítico, los iones cargados negativamente se desplazan hacia el ánodo, lo que produce una liberación de electrones que generan oxígeno (O_2), cloro gas (Cl_2), ion hipoclorito (ClO^-), ácido hipocloroso ($HOCl$) y ácido clorhídrico (HCl). Por otro lado, los iones positivos se desplazan al cátodo y producen hidrógeno gas (H_2) e hidróxido de sodio ($NaOH$). Debido a este proceso se generan distintos tipos de agua electrolizada como la ácida (AEA, $pH < 2.7$ y $ORP > 1,100$ mV) que se utiliza como desinfectante, el agua electrolizada alcalina (AEAL, $pH \geq 11$ y $ORP \leq 800$ mV) para la limpieza de materia orgánica en la industria alimentaria, y el agua electrolizada neutra (AEN, $6.5 \leq pH \leq 8$ y ORP de 750-1,000 mV), que se obtiene a partir de la exclusión de la membrana que separa los iones, y al mezclarse genera un equilibrio químico entre las especies. En cuanto a la composición química del AE, no ha sido posible determinarla mediante métodos analíticos, sin embargo, diversos autores señalan algunos equilibrios químicos que posiblemente se generan durante la electrólisis (Al-Haq, Sugiyama & Isobe, 2005). De los compuestos químicos reportados en el AE, el $HOCl$ y el ClO^- son los mayoritarios y se encuentran en equilibrio en función al pH, y a su constante de disociación ($K_a = 3 \times 10^{-8}$) cuando se tiene un pH de 7.5 (igual al valor de pK_a) ambos componentes se encuentran al 50 %. Por lo anterior, si se considera el mismo equilibrio, pero a un pH de 6.5, el compuesto dominante será el $HOCl$ en un 90 % mientras que solo habrá un 10 % del ClO^- .

Los costos iniciales de producción del AE son elevados por lo caro de los equipos que oscilan entre 700 a 8,000 USD siendo la principal desventaja de esta tecnología (Al-Haq *et al.*, 2005). Debido a sus propiedades fisicoquímicas, existe un mayor número de artículos sobre AEN (47.3 %) (Tabla II) en comparación con los otros tipos (AEA y AEAL, con 34.2 % y 18.5%, respectivamente) por no corroer las superficies metálicas, ni modificar las propiedades fisicoquímicas de los alimentos.

MECANISMO DE ACCIÓN DEL AE

Se han propuesto algunos modelos que explican su mecanismo de acción sobre las bacterias, sin embargo, aún no están completamente dilucidados pues los que se han propuesto, no parecen ser específicos para las bacterias gram positivas (coloración azul debido a que en su pared celular presenta una membrana lipídica, además de una capa gruesa de peptidoglucano) o gram negativas (coloración rosa debido a que en su pared celular presentan una bicapa lipídica con una delgada capa de peptidoglucano). También existen pocos estudios del efecto antifúngico del AEN sobre los hongos fitopatógenos (detallados en la sección de vegetales) donde se realizan conteos de esporas observadas antes y después de los tratamientos, así como la prueba de porcentaje de la germinación de esporas tratadas, sin embargo, no se encontraron modelos, propuestos, que describan un posible mecanismo de acción para su actividad fungicida. Por otro lado, se conoce que su poder antimicrobiano se basa en las propiedades germicidas de los compuestos de cloro activo (Cl_2 , ClO^- y $HOCl$). Fukuzaki (2006), planteó un modelo en el que propone el mecanismo de acción de $HOCl$ y ClO^- de acuerdo con su capacidad para penetrar la membrana celular microbiana. En el caso de ClO^- , principal compuesto químico en AEAL además del OH^- , presenta una limitada actividad germicida debido a que no puede traspasar la membrana plasmática del microorganismo por la existencia de la bicapa lipídica, sin embargo, ejerce una acción oxidante desde el exterior de la célula que desintegra a la membrana e inactiva las proteínas funcionales. En contraste, el $HOCl$ es el principal compuesto químico presente en el AEA y en el AEN, con la capacidad de penetrar en la bicapa lipídica de la membrana plasmática por difusión pasiva gracias a su neutralidad eléctrica, lo que causa daños extra e intracelulares e incrementa su actividad germicida.

Por otra parte, en Liu *et al.* (2017), los compuestos clorados en el AEN provocan daños en la membrana celular, al modificar su morfología lisa, brillante y consecutiva a rugosa, encogida y lisada, lo que aumenta su permeabilidad y permite el flujo de compuestos intracelulares como las proteínas, iones de K^+ y material genético; este daño a nivel de membrana fue comprobado por Hernández *et al.* (2020), en las células de *Salmonella* spp. al emplear yoduro de propidio como cromóforo para visualizar a las células que presentaron daño estructural en su membrana. En similitud, Zhang *et al.* (2022) observaron que el

Tabla II. Condiciones de aplicación del agua electrolizada.

Área de Aplicación		pH	ORP (mV)	Concentración (mg/L)	Tiempo	Modo	Referencias
Vegetales	Pera	8.5	1121	100	30 s	Inmersión	Graca <i>et al.</i> (2017)
	Brócoli	5.6	NR	50	3 h		Li <i>et al.</i> (2018)
	Alforfón (trigo sarraceno)	6.0	1127	10 - 28	2 h		Liang <i>et al.</i> (2019)
	Frijol Mungo	6.5	900	80	70 s		Rui <i>et al.</i> (2011)
	Lechuga	6.8	NR	43	5 min		Jung <i>et al.</i> (2017)
Cárnicos	Pollo (menudencias)	6.7	1030	360	8 h	Inmersión	Guerra <i>et al.</i> (2022)
	Pollo (entero)	6.5	1123	50	1.5 h		Hernández-Pimentel <i>et al.</i> (2020)
	Camarón	5.9	810	20	5 min		Yan <i>et al.</i> (2020)
	Huevo	7.1	907	60	30 s		Medina-Gudiño <i>et al.</i> (2020)
	Pescado	7.2	1008	50	20 min		McCarthy & Burkhardt, (2012)
Superficies inertes	Acero inoxidable	6.5-7.1	NR	100 y 300	10 y 30 min	Inmersión	Jiménez-Pichardo <i>et al.</i> (2016)
	Madera y Bambú (tablas de corte)	7.0	799	120	20 s	Lavados	Monnin & Pascall (2012)
	Acero inoxidable	6.8	NR	200	2 min	Aspersión	Veasey & Muriana (2016)
	Acero inoxidable, vidrio, polipropileno y caucho	7.0	NR	70	5 min	Lavados	Jeon <i>et al.</i> (2018)
Estudios clínicos	Norovirus murino (MNV-1), Hepatitis A (HAP)	6.4	1147	70-100	1 min	Inmersión	Fang <i>et al.</i> (2016)
	SARS CoV-2	5.8	NR	34	20 s	Mezcla	Matsuyama <i>et al.</i> (2010)
	<i>Salmonella</i> y <i>E. coli</i>	7.5-7.9	150	20	28 días	Inmersión	Saitoh <i>et al.</i> (2010)
	<i>E. faecalis</i>	7.5	NR	0.47-37.5	10-15 min	Mezcla	Cabello, Rosete & Manjarrez (2009)
	<i>S. mutans</i>	5.5-6.5	772	125	3 min	Inmersión	Hsieh <i>et al.</i> (2020)

NR: No reportado; ORP: Potencial de óxido-reducción

AEN no genera resistencia en las células de *B. cereus* al destruir a las bacterias tratadas y en lo que concierne a sus esporas no pudieron reestablecerlas con agentes como la lizozima, que se ha visto ayuda a recuperar a las estructuras dañadas, permitiendo su posterior adaptación y germinación. Cabe mencionar que, tampoco encontraron células con mutación genética. El daño que sufren las proteínas presentes en la membrana interna es irreversible, lo que causa un aumento en la permeabilidad de la misma y una liberación del ácido piridino-2,6-dicarboxílico

lo que dio pie a establecer que el mecanismo de acción es por destrucción de la membrana interna del centro de la spora y no por el daño en su material genético.

Por otro lado, cuando el AEN ingresa al citoplasma, el HOCl y demás compuestos oxidantes disminuyen la actividad de las enzimas vitales, inhiben la biosíntesis de los nucleótidos y de los aminoácidos, suprimen el metabolismo asociado con la glucólisis y la reposición del ATP, mejoran el metabolismo de los ácidos

grasos, disminuyen el ATP intracelular y el pH, la liberación de las especies reactivas de oxígeno para inducir a la necrosis y a la apoptosis celular (Ye, Wang & Chen, 2017). También, el HOCl puede provocar la muerte de las células bacterianas al oxidar grupos sulfhidrido de las enzimas encargadas de la oxidación de la glucosa, por la descarboxilación oxidativa de los aminoácidos a nitritos y aldehídos, la inhibición de la captación de oxígeno y la fosforilación oxidativa, además de interrumpir la síntesis de proteínas (Al-Haq *et al.*, 2005).

Una ventaja al utilizar el AEN como agente antimicrobiano, es que, al tener más de un compuesto químico en su composición, esto hace que se presenten diferentes mecanismos de acción, acordes a cada compuesto, lo que genera un efecto combinado sobre los microorganismos, lo que explica su alta efectividad antimicrobiana. Esto a su vez representa otra ventaja, ya que en ocasiones es necesario combinar diferentes métodos (físicos y químicos) para lograr una eficiente reducción microbiana.

REPORTES DEL EFECTO DEL AE EN LOS ESTUDIOS CLÍNICOS

El uso del AEN en los estudios clínicos se refieren a los cultivos celulares y a los virus entre otros, respecto a su capacidad antiviral son escasos y próximos a un 8.8 % mientras que para AEA y AEAl son aún más escasos. El consumo de AEN es seguro, incluso para el tratamiento de la diarrea crónica, la indigestión, la fermentación gastrointestinal anormal, como antiácido y para uso doméstico (Shirahata, Hamasaki & Teruya, 2012). De los artículos revisados, se hace referencia al virus de la Fiebre Aftosa causada por un virus de la familia Picornaviridae (Bui *et al.*, 2017), norovirus y hepatitis A (Fang, Cannon & Hung, 2016), virus de la influenza H5N1 o gripe aviaria y el más reciente sobre síndrome respiratorio agudo severo coronavirus 2 o SARS CoV-2 (Matsuyama *et al.*, 2020). Todos ellos concluyen que el AEN presenta un gran potencial antiviral, además Takeda *et al.* (2021), observaron que el AEN inactiva a la proteína S del virus causante del COVID-19, al reducir la carga viral muy similar a la que realiza el alcohol etílico (utilizaron una dosis infectiva de 3.5 log unidades virales/mL), sin embargo, también el tratamiento con AEN mostró una menor irritación.

En lo que se refiere a las bacterias, Saitoh, Harata, Mizuhashi, Nakajima & Miwa (2010), observaron que el AEN aplicada sobre *Salmonella* y *E. coli* no tuvo un efecto mutagénico ni genotóxico a 20 mg/L al evaluar la toxicidad subcrónica (todas las concentraciones de AEN, AEA, AEAl y NaClO que se presentan desde ahora en mg/L se refieren al cloro libre). En un experimento realizado con Hámster, no se presentaron aberraciones cromosomales en los fibroblastos pulmonares, ni síntomas clínicos, ni cambios en el peso corporal, ni en el consumo de alimentos, tampoco en los análisis urológicos ni en la química sanguínea, negativo en los estudios de necropsia y de histopatologías. En cuanto al trabajo de investigación de Suzuki *et al.* (2021) evaluaron la actividad antiviral del AEN

(concentración no reportada) sobre diversos virus como el del SARS-CoV-2, el de la influenza tipo A, el del herpes tipo 1, el calicivirus felino y en el Parvovirus con una reducción de (3 a 5 log) con tiempos de exposición de (30 s). Los mismos autores, realizaron otro experimento en ratones, a los que se les administró AEN en aire humidificado como tratamiento para las vías respiratorias y tampoco observaron un efecto adverso en el peso corporal, los pulmones y el comportamiento). Lo anterior implica que, si en los estudios con animales no se presentan efectos negativos en su salud, se reduce el riesgo de irritación, o reacción por el uso de este agente, se concluye que, para los humanos es una alternativa en el tratamiento de las heridas.

Con respecto a las levaduras, Mokudai, Kanno & Niwano (2015), descubrieron que el AEA en dosis subletales, presenta un efecto post-antifúngico sobre *Candida albicans*, esto se debe que al aplicar un tratamiento antimicrobiano algunas células son lisadas, y otras permanecen como células viables no cultivables, sin embargo, éstas últimas, pueden volver a ser cultivables después de un tiempo de restablecimiento mayor. No obstante Solomon *et al.* (2022), en un estudio con duración de 18 meses y en el que aplicaron AEN en dosis letales lograron reducir a las poblaciones de *Clostridioides difficile* y *Candida albicans* presentes en las camas hospitalarias, lo que hace posible su empleo para eliminar a los microorganismos considerados de contagio en los hospitales.

REPORTES DE LA APLICACIÓN DEL AE SOBRE LAS SUPERFICIES INERTES

El empleo del AE en las superficies inertes es para las industrias alimentaria y farmacéutica, una opción para su provecho, por ser ambas susceptibles a la contaminación de microorganismos y fuente de enfermedades, es por esto que en ambas se lleva a cabo un proceso de lavado y desinfección de las superficies, de acero inoxidable, que utilizan para trabajar. Durante el lavado de las superficies, primero se retiran los residuos grandes y visibles, seguido de la limpieza con jabón detergente, se frota toda la superficie para generar espuma, y se enjuaga para retirar el jabón. Por último, se desinfecta con algún agente químico, para eliminar a los microorganismos que no pudieron ser retirados y que permanecen en la superficie (De la Guardia, 2018).

Jiménez-Pichardo *et al.* (2016), evaluaron el uso del AEN en la limpieza y como desinfectante en las placas de acero inoxidable electropulidas y en las que una población de microorganismos de 8.7 log UFC/mL de una mezcla de cepas de *P. aeruginosa*, *E. faecalis* y *M. luteus* se redujeron a 3.9 log UFC/cm². Para el caso de las placas con superficies no modificadas, el mejor tratamiento fue el de 30 min de contacto a una concentración de 300 mg/L de AEN a 30 °C, con una disminución de células de 3.2 log UFC/cm². Stewart *et al.* (2014), en el estudio que hicieron en un hospital, vieron que el uso del AEN mermó de forma considerable a la población de bacterias mesófilas que estaban en las superficies próximas a los pacientes, y con una

limpieza al día fue considerado suficiente. En Monnin, Lee & Pascall (2012), el AEN con 120 mg/L, un tiempo de contacto de 20 s y a un pH de 7, la población de microorganismos bajó de 3.4 a 4 log UFC/cm² en tablas que se utilizan para cortar en la industria alimentaria, sin encontrar diferencia significativa entre los materiales analizados (madera y bambú) así como entre los microorganismos estudiados *E. coli* y *L. innocua*. Veasey & Muriana (2016), evaluaron la capacidad desinfectante del AEN (250 mg/L durante 2 min de tiempo de contacto) en superficies inertes de la industria cárnica, y encontraron que, cuando la superficie estaba limpia (libre de material orgánico visible) la disminución fue de 6 log UFC/cm², lo opuesto si la superficie estaba sucia, su potencial quedó sólo en 3.3 log UFC/cm². De manera similar, Jeon, Kwon & Yoon (2018), estudiaron el comportamiento de *L. innocua* en la formación de la biopelícula en las superficies mencionadas de la industria alimentaria y observaron que 70 mg/L de AEN durante 5 min eran suficientes para disminuir la probabilidad de contaminación de la carne de pato por la contaminación cruzada microbiana de la biopelícula. Zang, Bing, Li, & Shu (2019), describen que la combinación de AEN con otros métodos como la luz UV, son tratamientos prometedores para desinfectar equipos e instrumentos de uso común en la industria avícola.

De los 363 artículos revisados, 54 se refieren al AEN, en el equivalente de un 14.9%. De su aplicación en acero inoxidable se encontraron 25 (el mayor número) que equivale a un 46.3% (Figura 2). No obstante, en 10 artículos (un 18.5%) se refieren a las superficies plásticas en plantas de procesamiento de

alimentos, así como en las de las granjas de aves de corral. En algunos de ellos, además de confirmarse la capacidad antimicrobiana del AEN, se destacan otras ventajas como evitar la contaminación de las superficies recién lavadas por residuos químicos y la reducción de la corrosión en las superficies de acero (Deza, Araujo & Garrido, 2007; Waters, Tatum & Hung, 2014). Wang, Cai, Li, Xu, & Zhou (2018a), compararon la actividad antimicrobiana del AEN y la del hipoclorito de sodio (NaClO), agente antimicrobiano más parecido al AEN por su composición química, sin embargo en esta investigación, el NaClO resultó menos efectivo en la eliminación de las biopelículas formadas por diversos microorganismos, ya que sólo se logró reducir 3 log UFC/mL, con tratamientos de 10 min de tiempo de contacto al emplear una concentración de 200 mg/L; además enfatizan que el AEN presenta las propiedades de un agente desinfectante ideal, por su: 1) seguridad al usarlo con baja o nula toxicidad, alergenidad e inflamabilidad, 2) nulo impacto sobre las superficies a desinfectar por corrosión, color, y reactividad, y 3) amplio espectro para eliminar bacterias, hongos y virus.

Diversos autores puntualizan que los agentes desinfectantes normalmente dejan de ser efectivos al estar en presencia de la materia orgánica, al dejar residuos sólidos visibles por una mala limpieza o por la presencia de las biopelículas que representan un potencial peligro de contaminación en la industria alimentaria. Cuando las superficies están libres de materia orgánica, se han logrado reducciones de 5 log UFC/cm² (99.999%) después de 5 min de tratamiento en superficies como el acero, (Deza *et al.*, 2007; Al-Qadiri *et al.*, 2016). Además, al tener un pH de 6 a 7.5, no se presenta el mismo poder corrosivo de las sustancias ácidas o alcalinas como los ácidos orgánicos, o el NaClO de uso común para desinfectar. Cabe mencionar, que la generación *in situ* de despachadores automatizados representan otra ventaja, al evitar un percance durante su transporte y manipulación.

REPORTES DEL EFECTO DEL AEN EN LOS VEGETALES

Existen diversos artículos que mencionan la aplicación del AEN en algunos vegetales y frutas como la lechuga, el tomate, la alfalfa, el cilantro, la pera y la fresa (Koseki, Yoshida, Isobe & Itoh, 2001; Sharma & Demirci, 2003; Al-Haq *et al.*, 2005). Koseki *et al.* (2001), evaluaron la actividad antimicrobiana en las hojas de la lechuga por inmersión, y observaron una reducción de 2 log UFC/cm² tanto de las bacterias mesófilas aerobias como de las coliformes y los hongos.

Por ejemplo, en las frutas, Graca, Santo, Quintas, & Nunes (2017), comprobaron que el AEN (100 mg/L) reduce 1 log UFC/g en las poblaciones de *S. enterica*, *E. coli* y *L. monocytogenes* inoculadas en las peras, con una baja actividad bactericida, sin embargo, vieron que este tratamiento se optimiza cuando es utilizado en combinación con otros métodos físicos como la luz UV duplicando su actividad. Por otro lado, Khayankarn, Uthabuttra, Setha, & Whangchai (2013), establecieron que el

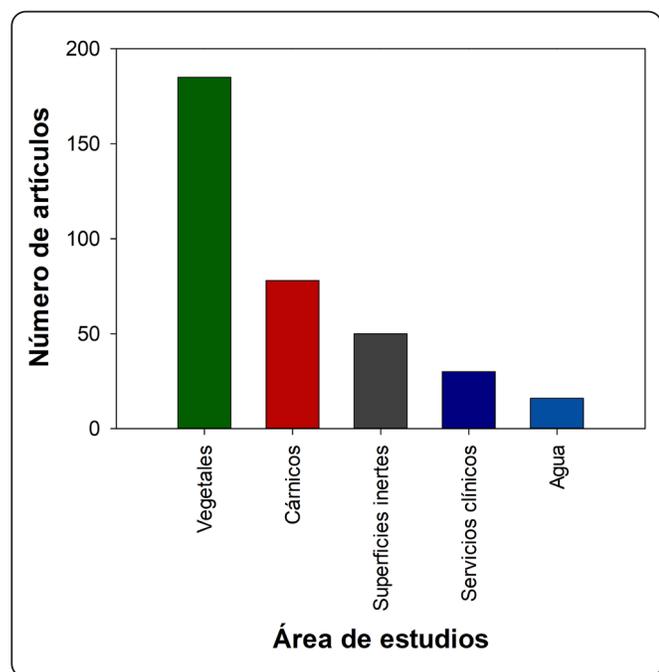


Figura 2. Frecuencia y clasificación de las áreas de estudio de la aplicación del AEN reportadas.

AEN de 100 a 300 mg/L elimina esporas de *Fusarium* sp., un microorganismo presente en el cultivo de la piña.

Guentzel, Liang, Callan, Emmons & Dunham (2008), observaron que en la lechuga y la espinaca el AEN utilizada para la eliminación de *E. coli*, *S. typhimurium*, *S. aureus*, *L. monocytogenes*, y *E. faecalis* a una concentración de 20 a 100 mg/L, durante 10 min, se logró una completa inactivación de 6.7 log UFC/mL. Además, Guentzel, Callan, Liang, Emmons, & Dunham (2011), aplicaron tratamientos antifúngicos con el AEN y a una concentración de 50 a 100 mg/L en las plantas de fresa de invernaderos contaminados con *Botrytis cinerea* y *Monilinia fructicola*, la intervención fue más eficaz con el primer hongo. Lee et al. (2014), inocularon las superficies de los tomates y las cebollas, con una mezcla de *E. coli* O157:H7, *S. typhimurium* y *L. monocytogenes*, a una población de 9 log UFC/mL. Se evaluaron el AEA (pH 2.06), el AEAl (pH 11.65) y el agua desionizada, y se observó que el AEA redujo al contaminante 5.85 UFC/mL con 3 min de tiempo de contacto. Abbasi & Lazrovits (2006), experimentaron con *X. campestris* pv. *Vesicatoria*, *S. scabies*, y *F. oxysporum* f.sp. *lycopersici*, y cada microorganismo con una población cercana a 8 log esporas/mL, disminuyeron del 50 al 100 % después de exponerlos al AEA durante 2 min de tiempo de contacto.

Diversos autores, al estudiar la capacidad del AEN para desinfectar las semillas de la alfalfa, el brócoli, el tomate, la lechuga y el arroz, encontraron que aumentaba el porcentaje de germinación y la calidad de las plantas en desarrollo (Abbasi & Lazarovitz, 2006; Kim, Feng, Kushad & Fan, 2006; Liu et al., 2013; Zhang et al., 2019; Guerra, Villalba, Contreras, Debasis & Sandoval, 2022). Los autores Yu & Liu (2019), concluyeron que al emplear el AEN en los pretratamientos, se incrementaba la actividad de la α -amilasa, de las proteasas, de las fitasas y las lipasas en el cereal triticale. Asimismo, Li et al. (2018), indicaron que al aplicar el AEN a 40 mg/L durante la germinación del brócoli, aumentaba ciertos componentes bioactivos como los glucosinolatos y el sulfurofano, y se inhibía el desarrollo de la planta. No obstante, Sanna, Gilardi, Gullino & Mezzalama (2022) al evaluar la actividad bactericida del AEN en *X. campestris*, así como el efecto que pudiera tener este agente antimicrobiano en la germinación de las plantas de la col, observaron una eliminación total microbiana y el mismo porcentaje de germinación con los tratamientos del AEN, el peróxido de hidrógeno y el ácido peracético. Hao, Wu, Li, Wang & Liu (2016), observaron que al pre tratar a las semillas de alforfón también conocido como trigo sarraceno por 12 h con 20 mg/L AEN, se acumuló el γ -ácido aminobutírico y la rutina, que son los metabolitos secundarios generados durante el proceso germinativo y desarrollo de las plántulas. Del mismo modo, Liang, Wang, Zhao, Han & Hao (2019) también experimentaron con alforfón y concluyen que al emplear 30 mg/L de AEN se eliminan los microorganismos *L. monocytogenes* y *E. coli* sin tener efectos adversos en los brotes de la planta, ya

que al emplear mayores concentraciones cercanas a 100 mg/L, el porcentaje de germinación y desarrollo de las plántulas se inhibe. Rui, Jianxiong & Haijie (2011), también aluden a que la actividad de la catalasa en la germinación del frijol mungo, se incrementó al tratar a esta leguminosa con el AEA y un pH de 4 a 6, por lo que sus brotes tuvieron un mayor desarrollo, a diferencia de un pH más bajo o más alto (2, 3, 8, 9, y 10) que incide en el tamaño de estos. No obstante, Zhang et al. (2019), vieron que el proceso germinativo del frijol mungo, no se alteró al aplicar el AEN a una concentración de 80 mg/L, con una alta capacidad bactericida sobre *E. coli* y *S. enteritidis* (3.32 y 4.2 log UFC/g). En otros estudios, el AEN a concentraciones de 5 a 30 mg/L con un pH cercano a la neutralidad es una opción en el pretratamiento de las semillas del rábano, el cilantro y el arroz, ya que es un adecuado desinfectante que promueve el crecimiento de sus germinados, sin embargo, si se aplica en una concentración de 50 mg/L y pH ácidos, se inhibe la germinación de estos vegetales (Zhang et al., 2011; Zhang, Cao, Hung & Li, 2016a; Zhang, Cao, Hung & Li, 2016b; Sheng et al., 2018; Zhang, Xia, Li & Hung, 2018; Zhang et al., 2019; Zhang et al., 2020). En Guerra et al. (2019), 60 mg/L de AEN fueron efectivos en la reducción de 6 log de esporas/mL de *F. oxysporum*, *F. verticillioides*, *A. flavus* y *A. parviticus* en semillas de tomate, sin intervenir en el proceso de la germinación ni en la composición química de las semillas.

Entre otras aplicaciones con el AEN, está desinfectar a los hongos conocidos como champiñones donde Ding, Rahman & Oh (2011), evaluaron la actividad bactericida del AEN con 5 mg/L, pH de 6.2 y ORP de 500-520 mV aplicada en los hongos tipo seta de ostra (*Pleuroteus ostreatus*) para conocer además de su poder antimicrobiano en la microflora natural en *E. coli* O157:H7, *L. monocytogenes*, *S. typhimurium*, y *B. cereus*, y con ellos comparar los efectos del uso de los siguientes compuestos: el AEA (pH de 2.54, ORP de 1,100 mV, y una concentración de 50 mg/L), el ozono (O₃) a 5 mg/L, el ácido cítrico al 1 %, y una solución de NaClO a 100 mg/L. Después de aplicar los tratamientos por inmersión durante 3 min, encontraron que el AEN tuvo un mayor efecto antimicrobiano en las poblaciones de bacterias, de levaduras/mohos, y de patógenos, ya que hubo una mayor eliminación en cada población microbiana respectivamente de (1.35, 1.08, y 2.16 log UFC/g).

Aday (2016), evaluó el efecto de un lavado por 3 min con AEN a diferentes concentraciones (5, 25, 50 y 100 mg/L) en combinación con otro método de conservación (empacado en atmósfera modificada pasiva) con 21 % O₂, 0.03 % CO₂, y 79 % N₂ y con ello, estudiar la calidad del hongo (champiñón blanco) (*Agaricus bisporus*) almacenado en frío a 4 °C por 12 días. Este autor, evaluó la concentración del gas dentro del empaque de cada grupo de champiñones tratados, el pH, el color, la fuga de electrolitos, la pérdida de peso y se analizó el perfil de la textura, la etapa de desarrollo, y la reflectancia FT-NIR. Los hongos que fueron tratados con el AEN a 25 y 50 mg/L su

conservación fue mayor durante el experimento con un menor consumo de O₂, cambio de pH, valor de fuga de electrolitos, mayor índice de blancura e índice de pardeamiento, además mantuvieron los parámetros de textura y perdieron menos peso en comparación con los demás tratamientos. A partir de estos resultados se sugiere que el uso combinado de AEN con atmósfera modificada, se utilice para prolongar la vida útil del hongo, sin embargo, se requieren más estudios respecto al impacto que puede tener a nivel bioquímico y enzimático.

Calvo, Redondo, Remón, Venturini & Arias (2019), determinaron que el AEN mostró una baja efectividad (cercana al 40 %) para degradar a los pesticidas: tebuconazol, cyprodinil e iprodiona en duraznos contaminados artificialmente, en comparación con otros tratamientos como la aplicación del dióxido de cloro (ClO₂) con una mayor degradación cercana al 60 %. No obstante, otros autores enuncian una mayor actividad para degradar pesticidas como el cyprodinil, la diazinona y el fosmet mediante el uso del AEN, en porcentajes de 50, 66 y 76 %, respectivamente (Qi, Huang & Hung, 2018).

En Jardon, Díaz, Marroquín, Villarreal & Méndez (2015), 60 mg/L de AEN durante 15 min no disminuye significativamente el contenido de las aflatoxinas en los granos de maíz, sin embargo, sí reduce su capacidad citotóxica y genotóxica. En estudio similar, Zhang *et al.* (2019), señalan que el uso del AEA a 60 mg/L, limita en un 60 % la presencia de la aflatoxina B1 en las nueces, sin modificar la composición química de la semilla.

Sheng *et al.* (2018), mencionan que el AEN redujo 1.2 log UFC/manzana a *L. monocytogenes* con 100 mg/L en 2 min. Además, se redujo en menor grado (0.5 log UFC/manzana) tanto de las bacterias mesófilas y de los hongos/levaduras, presentes de manera natural en los frutos. Sin embargo, Graca, Santo, Pires & Quintas (2020), al experimentar con el AEN observaron una mayor reducción (2 log UFC/g de manzana) a diferencia del NaClO que fue sólo de 1 log UFC/g. En otro estudio, al desinfectar manzanas contaminadas artificialmente con *Alicybacillus acidoterrestris*, el resultado fue mayor (5 log UFC/mL) con 200 mg/L de AEN y un tiempo de exposición de 5 min (Torlak, 2014). También, Tango *et al.* (2017) y Wang & Ryser (2014), observaron que las poblaciones de *E. coli*, *Salmonella* y *L. monocytogenes* inoculadas artificialmente en la manzana y el tomate disminuyeron de 2 a 4 log UFC/fruta, con la aplicación de AEN a 30 mg/L durante 1 a 3 min. De manera similar, ocurrió con *Fusarium oxysporum* en el tomate, se observó que, una concentración de 60 mg/L presentó una actividad germinicida en las esporas, y sin aparente daño por podredumbre (Vásquez, Villarreal & Rodríguez, 2016).

En cuanto a la industria vitivinícola, resulta de interés el control de *B. bruxellensis*, ya que es una levadura presente en los viñedos y es la responsable de la descomposición del vino durante

el almacenamiento en las cavas y al respecto se ha publicado que el AEN (400 mg/L) reduce su población 1.4 log UFC/mL con tiempo de exposición de 12 min (Cravero *et al.*, 2018).

En otros estudios con frutos de alto valor comercial como la mora azul, se mencionan los beneficios durante su almacenamiento por haber sido tratadas con 50 mg/L de AEN durante 5 min, como son: la inactivación de las enzimas reconocidas por degradar la pared celular (poligalacturonasa, celulasa y β -galactosidasa), y prevención de la degradación de algunos componentes como la pectina, la hemicelulosa, y la celulosa (Chen, Hung, Chen & Lin, 2017). Pangloli & Hung (2013), muestran una reducción de 4.4 log UFC/mL de *E. coli* con un tratamiento de AEN con 30 mg/L durante 5 min. Resultados similares por Hayta & Aday (2015), en el estudio realizado en las cerezas, al emplear 100 mg/L de AEN, el fruto aumentó su vida de anaquel y conservó sus propiedades fisicoquímicas, y resultó perjudicial al aumentar las concentraciones hasta 400 mg/L debido a que sí se alteraron sus propiedades como pH, color, sólidos totales, contenido de antocianinas y firmeza.

En Forghani & Oh (2013), a las hojas de la lechuga, la espinaca, la col y el ajonjolí, se les estudió la capacidad antimicrobiana al aplicar el AEN en bacterias mesófilas, hongos/levaduras, *E. coli* y *L. monocytogenes* y se vio una reducción de 2 log UFC/mL con 20 mg/L, por 3 min como tratamiento, sin embargo Jung, Jang, Guo, Gao & Matthews (2017), expresan que, para desinfectar las hojas de la lechuga con 50 mg/L, una sola inmersión fue suficiente para la eliminación total de *E. coli*, *S. enterica* y *L. monocytogenes*, cada microorganismo con una población cercana a 5 log UFC/mL. Lo contrario sucede con otros agentes a base de ácidos orgánicos (láctico y cítrico) que aún con dos o tres inmersiones, no se logra la eliminación total de los microorganismos contaminantes. En contraste, Ngnitcho, Khan, Tango, Hussain & Oh (2017) indicaron que, al aplicar el AEN sola o en combinación con otros tratamientos como los empaques bioactivos, y las atmósferas controladas, se logra reducir hasta 6 log UFC/mL a diversos microorganismos patógenos como *E. coli*, *Salmonella* spp., *L. monocytogenes*, y *S. aureus* inoculados artificialmente en las hojas de la lechuga. En Pang & Hung (2016), acorde a la variedad de la lechuga es como se da la acción desinfectante, ya que redujo 5 log UFC/mL de *E. coli* inoculada en la lechuga romana, y solo 2.5 log UFC/mL del mismo inóculo, en la lechuga iceberg. Es importante señalar que algunos microorganismos tienen la capacidad de generar una biopelícula sobre las hortalizas de hoja verde como la espinaca, la lechuga y el betabel, pero también son removidos con 80 mg/L de AEN durante 15 min sobre *B. cereus*, cuya población disminuyó hasta 3.4 log UFC/cm² (Hussain *et al.*, 2019).

La aplicación del AEN en brócoli, se ve en Martínez-Hernández *et al.* (2015), quienes citan el decrecimiento de la población de *E. coli* y *S. Enteritidis* de 2.2 y 2.7 log UFC/mL, respectivamente,

con AEN a 100 mg/L, mayor en comparación con el tratamiento de NaClO e igual concentración. En Navarro-Rico *et al.* (2014), el AEN a la misma concentración anterior, no altera la calidad fisicoquímica del brócoli, principalmente, conserva su contenido de fenoles totales y su capacidad antioxidante. De igual forma en Zhang *et al.* (2019), fue de 3 a 4 log UFC/mL la contracción de la microbiota natural (bacterias mesófilas y hongos/levaduras) presentes en el apio y el cilantro con un tratamiento de 30 mg/L de AEN, sin alteraciones sensoriales en los vegetales de estudio. El mismo efecto se tuvo en Koide, Shitanda, Note & Cao (2011), al estudiar la reacción del AEN que previamente se calentó a 45 °C y se administró sobre las zanahorias. En Luo, Kim, Wang & Oh (2016), la disminución de *B. cereus* en la papa fue de 2 log UFC/g con 30 mg/L y AEN con un ligero cambio de color del tubérculo.

En la revisión bibliográfica, son 363 artículos los que tratan sobre la aplicación del AEN, 124 se refieren a verduras y legumbres, 41.9% a granos, aunque es en este último donde más se aplica (Figura 2) y 62 en las frutas, lo que representa el 20.9% y tercer lugar de estudio. Si se unifica la literatura de

frutas y verduras el subtotal es de 186 artículos o sea un 51.2% del total analizado. En el caso de las verduras y legumbres, la lechuga es motivo de estudio en 26 lo que equivale a un 20.9% y un 7.1% del total de artículos, es probable que esta hortaliza al ser la tercera de mayor consumo mundial e ingerirse cruda y previamente desinfectada, explica el índice de artículos que la refieren, en comparación con las papas y los champiñones que para su consumo el grado de proceso es mayor.

En relación a los frutos, es el tomate el más representado en los artículos: 19 con el 30.6 % y el 5.2 % del total, seguido de la manzana con 13 (Figura 3) por lo que ocupan el 2° y 3er lugar, respectivamente, de consumo en el mundo, e igual que el plátano con la salvedad de que no hay referencias de aplicación del AEN a esta fruta, una circunstancia relacionada a que su vida de anaquel es muy corta, no es tan susceptible al ataque por hongos que lo dañen y, en su consumo se retira la cáscara lo que reduce el riesgo de que la pulpa esté contaminada. No obstante, sería interesante estudiar el efecto del AEN en las enzimas como la polifenoloxidasas presentes en su cáscara y causa de su oscurecimiento.

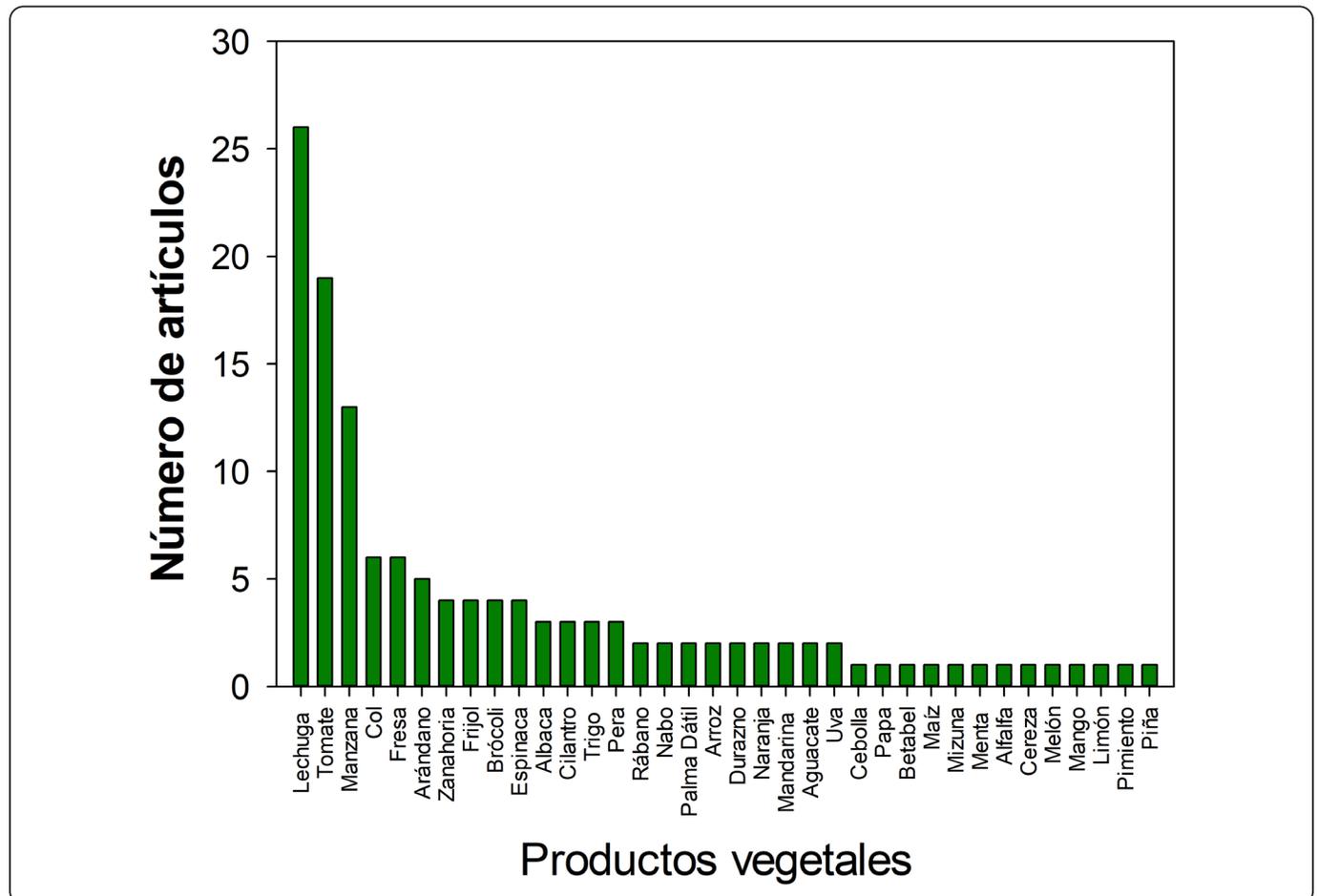


Figura 3. Frecuencia y clasificación de artículos que citan la aplicación del AEN por especie vegetal.

REPORTES DEL EFECTO DEL AEA EN LOS ALIMENTOS DE ORIGEN ANIMAL

Los artículos cuyo tema son los productos de origen animal, mencionan que los primeros estudios de AEA fueron con el AEA seguidos del AEAI y con el AEN. Park & Zeikus (2002), evaluaron la efectividad antimicrobiana del AEA con un pH 2.57 en *C. jejuni*, uno de los microorganismos más comunes que contaminan a los alimentos, y causante de las enfermedades estomacales en los humanos, se comprobó que en una población de 7.5 log UFC/mL inoculada sobre las alas de pollo la disminuyó 3 log UFC/g. En Fabrizio, Sharma, Demirci & Cutter (2002), la reducción de *L. monocytogenes*, *S. typhimurium* y *E. coli* en un rango de 1.71 a 1.81 log UFC/cm² se produjo tanto con el AEA a 50 mg/L, como con una solución de NaClO a 20 mg/L, con el ácido láctico al 2 % y con el agua destilada. Estos tratamientos se aplicaron sobre las canales de pollos tratados con aspersión durante 15 s, y se observó que, al aumentar el tiempo de contacto a 10 min, la reducción microbiana aumentó sólo 2 log UFC/mL. Rahman, Jin & Oh (2011), experimentaron con el AEN a 10 mg/L en una población de 4.6 log UFC de *L. monocytogenes* y *S. typhimurium* inoculadas sobre una pechuga de pollo con una reducción 2.3 log UFC/g. Guerra *et al.* (2022), aplicaron el AEN a 360 mg/L y decreció *E. coli* 1.96 log UFC/g en las menudencias de pollo, tejidos que normalmente tienen una alta contaminación por procesos de mal eviscerado. Cichoski *et al.* (2019), observaron que la combinación de AEN con el ultrasonido a 25 kHz, durante 25 min, en la pechuga de pollo se redujeron de 0.76, 0.81 y 0.98 log UFC/mL para bacterias psicrófilas, lácticas y mesófilas, respectivamente. También este tratamiento generó la menor cantidad de peróxido y grupo tiol, lo que implica una menor oxidación en las grasas y proteínas de este tipo de carne. Por otro lado, Rahman *et al.* (2012), compararon la acción del AEA y el AEN en la pechuga de pollo contaminada con *Salmonella* y *Listeria*, y encontraron igualdad estadística en la actividad antimicrobiana, sin embargo, las propiedades sensoriales y fisicoquímicas se modificaron en menor grado con el AEN. También Duan, Wang, Xue, Li & Xu (2017), indican que las canales de pollo al ser tratadas con el AEA y el AEN, disminuyeron sus valores de nitrógeno básico volátil total (NBVT) lo que implica una menor oxidación de proteína. En Hernández-Pimentel *et al.* (2020), indicaron que el AEN oxida en menor grado a las proteínas y grasas de la carne de pollo, en comparación con el ácido peracético, que da lugar a valores más bajos en la determinación del NBVT. En otro estudio, Rasschaert *et al.* (2013), explican que el AEN es igual de eficiente que el ácido láctico al tratar a las canales de pollo contaminadas artificialmente con *Campylobacter*, los conteos microbiológicos fueron a través de la microbiología tradicional y qPCR. Finalmente, en Wang *et al.* (2018), los 30 mg/L de AEN tuvieron la misma actividad antimicrobiana que 60 mg/L de AEA en las bacterias mesófilas aerobias y coliformes totales, y ambos tratamientos son más eficientes que 100 mg/L de NaClO.

Athayde *et al.* (2017), enuncian que la acción del AEA es más eficiente que la del AEN en las bacterias mesófilas aerobias y en las psicrófilas en la carne de cerdo, al reducir las hasta 3 log UFC/g, sin embargo, tanto el AEA como el AEN disminuyeron significativamente la oxidación de las grasas en comparación con el tratamiento control con agua.

Rahman, Wang & Oh (2013), compararon la actividad antimicrobiana del AEA en la carne de cerdo, y con el agua destilada, el ozono, el ácido láctico al 3 %, el lactato de calcio al 3 %, el NaClO a 100 mg/L y el AEA con 50 mg/L y el AEN (100 mg/L a un pH de 5.6) durante 5 min e inocularon 5 log UFC/g de *E. coli* O157:H7 y *L. monocytogenes* y el resultado fue que la mayor reducción de los microorganismos se tuvo con el AEN y el ácido láctico (3.2 log UFC/g). También se vio que la combinación de estos agentes mantuvo la calidad sensorial de la carne almacenada durante 6 días a 4 °C.

En Ratana & Jommark (2014), la actividad antimicrobiana del AEN (pH de 7.1 y ORP de 841 mV) en los camarones a los que se les inoculó *V. parahaemolyticus* y *V. vulnificus* (4.5 log UFC/g). El tratamiento que presentó mayor reducción del primer microorganismo (4.16 log UFC/g) fue de 50 mg/L durante 15 min, en contraste con *V. vulnificus*, que solo se redujo 1.3 log UFC/g. En Ovissipour, Shiroodi, Rasco, Tang & Sablani (2018), el efecto bactericida del AEN (pH de 6.8 y ORP de 786 mV) y el AEA (pH de 2.7 y ORP de 1150 mV) en los filetes de salmón en una población de 7 UFC/g de *L. monocytogenes*, el tratamiento más efectivo fue con 60 mg/L de AEN a 65 °C durante 10 min, con una reducción de 5.6 log UFC/g, y la evidencia de que no se alteró el color y la textura de la carne. En McCarthy & Burkhardt (2012), el AEN a 50 mg/L durante 20 min en las superficies inertes, así como en el pescado crudo, se vio que su potencial antimicrobiano estaba limitado en la superficie cárnica (reducción de 2 log UFC/cm²), lo contrario a la superficie inerte que mostró una gran efectividad de (7 log UFC/cm²). En Tantratian & Kaepfen (2020), 60 mg/L de AEN no afectaron de manera significativa a la población de los microorganismos en los ostiones, sólo se modificaron ligeramente sus propiedades fisicoquímicas al incrementar los valores del pH y el NBVT con repercusión en una ligera reducción en la fuerza de corte en la carne; del mismo modo Kasai, Kawana, Labaiden, Namba & Yoshimizu (2011), con el uso del microscopio electrónico de barrido vieron que, 0.5 mg/L de AEN alteraron la carne de los ostiones, muy diferente al utilizar una concentración menor de 0.2 mg/L y al no generar ningún daño aumenta su vida de anaquel. En Xuan *et al.* (2017), el retraso en el oscurecimiento de la carne del calamar y el mantener por más tiempo su frescura fue por ser almacenado en hielo elaborado a partir del AEN. Del mismo modo, Yan, Zhang, Yang & Zhao (2020), comprobaron que la vida de anaquel de los langostinos tratados con el AEN a 20 mg/L se incrementaba 3 días.

En consideración a otros productos de origen animal, se estudió el efecto del AEN en el cascarón de huevo. En Medina *et al.* (2020), la reducción de *Salmonella enterica* y *E. coli* fue de 5.5 y 3.3 log UFC/mL, respectivamente, después de tratar el cascarón de huevo durante 30 s con 60 mg/L de AEN. Sin embargo, lo interesante fue que no se afectó la cutícula del cascarón, que le brinda protección al producto y aumenta su vida de anaquel. Cuando la cutícula se ve afectada, la humedad del producto disminuye y fomenta la oxidación de sus componentes, además, se favorece la penetración de los microorganismos al interior del huevo (Zang *et al.*, 2019b). En Rivera-García *et al.* (2019), las reducciones fueron similares con *L. monocytogenes* y de igual forma, no hubo daño en la cutícula del cascarón, ni tampoco un cambio en su coloración. Bing, Zang, Li & Shu (2019), combinaron el AEN con 30 mg/L durante 3 min y luz UV (10.2±0.3 W/cm²), lo que originó una reducción máxima de 4.41 log UFC/g cuando el cascarón no tenía residuos orgánicos, sin embargo, al estudiar este tratamiento en presencia de heces de pollo la disminución máxima fue de 1 log UFC/g.

En la revisión de la literatura de los alimentos de origen animal la cifra fue de 78 artículos el equivalente a un 21.5 %, y ocupa el 2° lugar en el área aplicada (Figura 2). El tipo de carne con más presencia en estos artículos es la del pescado con 27 artículos (34.6 %), y a su vez representa un 7.4 % de lo consultado (Figura 4), lo anterior, es probable porque en los países asiáticos es en donde se desarrolló esta tecnología del AE y se consume más esta carne en comparación con los países del continente americano que es la de pollo. Por otro lado, el alto índice de mención del uso del AEN en los pescados y los mariscos, refleja la necesidad de reducir la carga microbiana en ellos, ya que por lo general se ingieren crudos, a diferencia de la carne roja y el pollo que se procesan térmicamente.

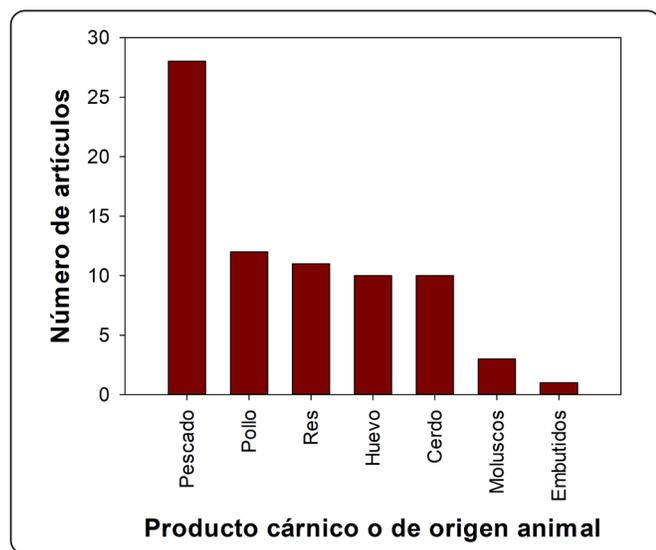


Figura 4. Frecuencia y clasificación de artículos que citan la aplicación del AEN por especie animal.

REPORTE DEL EFECTO DEL AE EN LAS PROPIEDADES SENSORIALES DE LOS ALIMENTOS

En relación a los estudios del efecto del AEN en las propiedades sensoriales de los alimentos existe una limitada cantidad de ellos. En la escasa información se establece que los tratamientos con AEN en concentraciones de 80 a 300 mg/L no afectan las propiedades sensoriales (color, aroma y textura) del mango ni del tomate (Deza, Araujo & Garrido, 2003; Lopes *et al.*, 2021). En Moghassem, Shekarforoush, Hosseinzadeh & Basiri (2020), la combinación del AEN a 200 mg/L en combinación con el ácido peracético permite mantener las condiciones organolépticas, por ejemplo, de la pechuga de pollo. En Ghorban, Ovissipour, Ross & Rasco (2016), aplicar el AEA en los filetes de salmón no modificó su textura y el efecto es similar al tratamiento con agua potable. En Mansur, Tango, Kim & Oh (2015) y Sheng *et al.* (2018), el AEN aplicada en la carne de cerdo y en la de res, alarga su vida de anaquel y reduce a la población de microorganismos patógenos en un rango de 2 a 3 log UFC/mL, además de permanecer inalterables sus propiedades fisicoquímicas hasta por 9 días. Igual en Thomas, Hung, Rigdon, Mckee & Stelzleni (2019), el AEN a 50 mg/L aplicados en la carne de lomo de res, no alteraron sus propiedades fisicoquímicas y la oxidación de las grasas fue similar al tratamiento con agua potable, y tampoco se modificaron de manera negativa sus propiedades sensoriales, como pérdida de peso por cocción, firmeza, intensidad de sabor, jugosidad, y presencia de olores indeseables.

ÁREAS DE OPORTUNIDAD EN LA INVESTIGACIÓN

Con respecto a los mecanismos de acción, la mayoría de los reportes se refieren al daño estructural, por ser visible al microscopio, así como también con el uso de tinciones, principalmente en las bacterias. Sin embargo, hace falta llevar a cabo un análisis a nivel molecular de los metabolitos para encontrar nuevos mecanismos de acción de los compuestos relacionados con el metabolismo bacteriano. A diferencia de los hongos filamentosos y de las levaduras, no se tiene información que los propongan.

Al evaluar el efecto del AEN en las propiedades fisicoquímicas y en las organolépticas, de lo hasta aquí expuesto, existe poca evidencia científica, sin embargo, la escasa literatura indica que no hay alteración en los alimentos evaluados. No existen tampoco de la aplicación del AEN en las especies que se consumen en fresco como los frutos rojos, y algunas de las verduras coloridas como el pimiento, y los tubérculos como la berenjena, el rábano y la cebolla morada, e incluso el champiñón blanco, lo que genera la oportunidad de nuevas investigaciones de aplicación del AEN. A pesar de que la mayoría de los trabajos de investigación de este tipo de agua van orientados a estudiar la capacidad antimicrobiana, van en aumento los que se enfocan en evaluar su efecto sobre las propiedades fisicoquímicas y las sensoriales. Además, existe un área de oportunidad importante por investigar a nivel bioquímico y enzimático en las semillas durante el proceso

de germinación, porque en la actualidad es mayor el interés en los vegetales postcosecha.

CONCLUSIONES

La aplicación del AE en la industria farmacéutica y en los servicios hospitalarios, permite generar nuevas investigaciones para evaluar su actividad antimicrobiana y con ello conocer de una manera más acertada los mecanismos de acción que han sido planteados en los virus que son de alta relevancia como el SARS-Cov-2, el ébola, la gripe aviar y la viruela. En el área de los alimentos se ha estudiado la actividad antimicrobiana del AEN como tratamiento en postcosecha y los vegetales más reportados fueron el tomate, la lechuga, la manzana y la fresa, a diferencia de los productos de origen animal entre los que se encuentran el pescado, los moluscos y los crustáceos. El uso del AEN presenta múltiples ventajas en comparación con otros agentes usados en diferentes industrias y son: menor corrosión en los equipos, menos irritación en su manipulación, no modifica las propiedades fisicoquímicas de los productos y presenta un efecto combinado contra los microorganismos patógenos y los alterantes.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaramos que no existe conflicto de intereses.

REFERENCIAS

- Abbasi, P. A. & Lazarovits, G. (2006). Effect of acidic electrolyzed water on the viability of bacterial and fungal plant pathogens and on bacterial spot disease of tomato. *Canadian Journal of Microbiology*, **52**, 915-923. <http://doi.org/10.1139/w06-048>.
- Aday, M. S. (2016). Application of electrolyzed water for improving postharvest quality of mushroom. *LWT - Food Science and Technology*, **68**, 44-51. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.12.014>
- Al-Haq, M. I., Sugiyama J. & Isobe, S. (2005). Applications of electrolyzed water in agriculture & food industries. *Food Science and Technology Research*, **11(2)**, 135-150. <https://doi.org/10.3136/fstr.11.135>
- Al-Qadiri, H. M., Ovissipour, M., Al-Alami, N., Govindan, B. N., Shiroodi, S. G. & Rasco, B. (2016). Efficacy of Neutral Electrolyzed Water, Quaternary Ammonium and Lactic Acid-Based Solutions in Controlling Microbial Contamination of Food Cutting Boards Using a Manual Spraying Technique. *Journal of Food Science*, **81(5)**, 1177-1183. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13275>
- Athayde, D. R., Flores, D. R. M., da Silva, J. S., Genro, A. L. G., Silva, M. S., Klein, B., Mello, R., Campagnol, P. C. B., Wagner, R., de Menezes, C. R., Barin, J. S. & Cichoski, A. J. (2017). Application of electrolyzed water for improving pork meat quality. *Food Research International*, **100**, 757-763. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.08.009>
- Ayebah, B. & Hung, Y. C. (2005). Electrolyzed water and its corrosiveness on various surface materials commonly found in food processing facilities. *Journal of Food Process Engineering*, **28(3)**, 247-264. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.2005.00424.x>
- Bing, S., Zang, Y. T., Li, Y. J. & Shu, D. Q. (2019). The synergistic effects of slightly acidic electrolyzed water and UV-C light on the inactivation of *Salmonella* enteritidis on contaminated eggshells. *Poultry Science*, **98(12)**, 6914-6920. <https://doi.org/10.3382/ps/pez454>
- Bui, J. K., Sobolewski, M. D., Keele, B. F., Spindler, J., Musick, A., Wiegand, A., Luke, B. T., Shao, W., Hughes, S. H., Coffin J. M., Kearney, M. F. & Mellors, J. W. (2017). Proviruses with identical sequences comprise a large fraction of the replication-competent HIV reservoir. *PLoS Pathogens*, **13(3)**, e1006283. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1006283>
- Cabello, G. C., Rosete, O. D. P. & Manjarrez, Z. M. E. (2009). Efecto de una solución electrolizada de superoxidación con pH neutro sobre la infección del virus de influenza A en células MDCK. *Revista del Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias*. **22(4)**, 280-287.
- Calvo, H., Redondo, D., Remón, S., Venturini, M. E. & Arias, E. (2019). Efficacy of electrolyzed water, chlorine dioxide and photocatalysis for disinfection and removal of pesticide residues from stone fruit. *Postharvest Biology and Technology*, **148**, 22-31. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.10.009>
- Chen, Y., Hung, Y. C., Chen, M. & Lin, H. (2017). Effects of acidic electrolyzed oxidizing water on retarding cell wall degradation and delaying softening of blueberries during postharvest storage. *LWT - Food Science and Technology*, **84**, 650-657. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.06.011>
- Cichoski, A. J., Flores, D. R. M., De Menezes, C. R., Jacob-Lopes, E., Zepka, L. Q., Wagner, R., Barin, J. S., de Moraes Flores, É. M., da Cruz Fernández, M. & Campagnol, P. C. B. (2019). Ultrasound and slightly acid electrolyzed water application: An efficient combination to reduce the bacterial counts of chicken breast during pre-chilling. *International Journal of Food Microbiology*, **301**, 27-33. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2019.05.004>
- Cravero, F., Englezos, V., Rantsiou, K., Torchio, F., Giacosa, S., Río Segade, S., Gerbi, V., Rolle, L. & Cocolin, L. (2018). Control of *Brettanomyces bruxellensis* on wine grapes by post-harvest treatments with electrolyzed water, ozonated water and gaseous ozone. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, **47**, 309-316. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.03.017>
- De la Guardia F. (2018). *Limpieza, desinfección y los siete pasos para saneamiento*. Webinar de la International Association for Food Protection. EUA.
- Deza, M., Araujo, M. & Garrido, M. (2003). Inactivation of *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella* enteritidis and *Listeria monocytogenes* on the surfaces of tomatoes by neutral electrolyzed water. *Letters in Applied Microbiology*, **37**, 482-487. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-65.1.100>

- Deza M. A., Araujo M. & Garrido M. J. (2007). Efficacy of Neutral Electrolyzed Water to Inactivate *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes*, *Pseudomonas aeruginosa*, and *Staphylococcus aureus* on Plastic and Wooden Kitchen Cutting Boards. *Journal of Food Protection*, **70**(1), 102–108. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-70.1.102>
- Ding, T., Rahman, S. M. E. & Oh, D. H. (2011). Inhibitory effects of low concentration electrolyzed water and other sanitizers against foodborne pathogens on oyster mushroom. *Food Control*, **22**(2), 318–322. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2010.07.030>
- Duan, D., Wang, H., Xue, S., Li, M. & Xu, X. (2017). Application of disinfectant sprays after chilling to reduce the initial microbial load and extend the shelf-life of chilled chicken carcasses. *Food Control*, **75**, 70–77. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.12.017>
- Fabrizio, K., Sharma, R., Demirci, A. & Cutter, C. (2002). Comparison of electrolyzed oxidizing water with various antimicrobial interventions to reduce *Salmonella* species on poultry. *Poultry Science*, **81**(10), 1598–1605. <http://doi.org/10.1093/ps/81.10.1598>
- Fang, J., Cannon, J. L. & Hung, Y. C. (2016). The efficacy of EO waters on inactivating norovirus and hepatitis A virus in the presence of organic matter. *Food Control*, **61**, 13–19. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.09.011>
- Forghani, F. & Oh, D. H. (2013). Hurdle enhancement of slightly acidic electrolyzed water antimicrobial efficacy on Chinese cabbage, lettuce, sesame leaf and spinach using ultrasonication and water wash. *Food Microbiology*, **36**(1), 40–45. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2013.04.002>
- Fukuzaki S. (2006). Mechanisms of actions of sodium hypochlorite in cleaning and disinfection processes. *Biocontrol Science*, **11**(4), 147–57. <http://doi.org/10.4265/bio.11.147>
- Ghorban, S., Ovissipour, M., Ross, C. F. & Rasco, B. A. (2016). Efficacy of electrolyzed oxidizing water as a pretreatment method for reducing *Listeria monocytogenes* contamination in cold-smoked Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Food Control*, **60**, 401–407. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.08.020>
- Graça, A., Santo, D., Pires-Cabral, P. & Quintas, C. (2020). The effect of UV-C and electrolyzed water on yeasts on fresh-cut apple at 4 °C. *Journal of Food Engineering*, **282**, 110034. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110034>
- Graça, A., Santo, D., Quintas, C. & Nunes, C. (2017). Growth of *Escherichia coli*, *Salmonella enterica* and *Listeria spp.*, and their inactivation using ultraviolet energy and electrolyzed water, on 'Rocha' fresh-cut pears. *Food Control*, **77**, 41–49. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.01.017>
- Guentzel, J. L., Callan, M. A., Liang, L. K., Emmons, S. A. & Dunham, V. L. (2011). Evaluation of electrolyzed oxidizing water for phytotoxic effects and pre-harvest management of gray mold disease on strawberry plants. *Crop Protection*, **30**(10), 1274–1279. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2011.05.021>
- Guentzel, J. L., Liang, L. K., Callan, M. A., Emmons, S. A. & Dunham, V. L. (2008). Reduction of bacteria on spinach, lettuce, and surfaces in food service areas using neutral electrolyzed oxidizing water. *Food Microbiology*, **25**(1), 36–41. <http://doi:10.1016/j.fm.2007.08.003>
- Guerra, F. N. R., Chávez, B. M., Treviño, E. R. S., García, M. J. F., Torres, C. J. A. Méndez, A. A. & Marroquín, C. A. G. (2019). Effects of Neutral Electrolyzed Water on tomato seeds artificially contaminated with *Fusarium* and *Aspergillus*. *Seed Science and Technology*, **47**(2), 211–227. <https://doi.org/10.15258/sst.2019.47.2.08>
- Guerra, S. B. E., Villalba, R. D., Contreras, S., Debasis, M. & Sandoval, A. (2022). Neutral electrolyzed water in chillers: A viable option in the microbiological disinfection of giblets chicken. *Energy Nexus*, **7**, 2772–4271 <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2022.100096>
- Hao, J., Wu, T., Li, H., Wang, W. & Liu, H. (2016). Dual effects of slightly acidic electrolyzed water (SAEW) treatment on the accumulation of γ -aminobutyric acid (GABA) and rutine in germinated buckwheat. *Food Chemistry*, **201**, 87–93. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.01.037>
- Hayta, E. & Aday, M. S. (2015). The effect of different electrolyzed water treatments on the quality and sensory attributes of sweet cherry during passive atmosphere packaging storage. *Postharvest Biology and Technology*, **102**, 32–41. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.02.009>
- Hernández-Pimentel, V. M., Regalado-González, C., Nava-Morales, G. M., Meas-Vong, Y., Castañeda-Serrano, M. P. & García-Almendárez, B. E. (2020). Effect of neutral electrolyzed water as antimicrobial intervention treatment of chicken meat and on trihalomethanes formation. *Journal of Applied Poultry Research*, **29**(3), 622–635. <https://doi.org/10.1016/j.japr.2020.04.001>
- Hsieh, Y.L., Yao, J.C., Hsieh, S.C., Teng, N.C., Chu, Y.T., Yu, W.X., Chen, C.H., Chang, L.Y., Huang, C.S., Lee, T.H., Kareiva, A. & Yang, J. C. (2020). The *in Vivo* Toxicity and Antimicrobial Properties for Electrolyzed Oxidizing (EO) Water-Based Mouthwashes. *Materials*, **13**, 4299. <https://doi.org/10.3390/ma13194299>
- Hussain, M. S., Kwon, M., Park, E., Seheli, K., Huque, R. & Oh, D.-H. (2019). Disinfection of *Bacillus cereus* biofilms on leafy green vegetables with slightly acidic electrolyzed water, ultrasound and mild heat. *LWT*, **116**, 108582. <http://doi:10.1016/j.lwt.2019.108582>
- Jardon-Xicotencatl, S., Díaz-Torres, R., Marroquín-Cardona, A., Villarreal-Barajas, T. & Méndez-Albores, A. (2015). Detoxification of aflatoxin-contaminated maize by neutral electrolyzed oxidizing water. *Toxins*, **7**(10), 4294–4314. <https://doi.org/10.3390/toxins7104294>
- Jeon, H. R., Kwon, M. J. & Yoon, K. S. (2018). Control of *Listeria innocua* biofilms on food contact surfaces with slightly acidic electrolyzed water and the risk of biofilm cells transfer to duck meat. *Journal of Food Protection*, **81**(4),

- 582–592. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-17-373>
- Jiménez-Pichardo, R., Regalado, C., Castaño-Tostado, E., Meas-Vong, Y., Santos-Cruz, J. & García-Almendárez, B. E. (2016). Evaluation of electrolyzed water as cleaning and disinfection agent on stainless steel as a model surface in the dairy industry. *Food Control*, **60**, 320–328. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.08.011>
- Jung, Y., Jang, H., Guo, M., Gao, J. & Matthews, K. R. (2017). Sanitizer efficacy in preventing cross-contamination of heads of lettuce during retail crisping. *Food Microbiology*, **64**, 179–185. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2017.01.005>
- Kasai, H., Kawana, K., Labaiden, M., Namba, K. & Yoshimizu, M. (2011). Elimination of *Escherichia coli* from oysters using electrolyzed seawater. *Aquaculture*, **319**, 315–318. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.07.025>
- Khayankarn, S., Uthabutra, J., Setha, S. & Whangchai, K. (2013). Using electrolyzed oxidizing water combined with an ultrasonic wave on the postharvest diseases control of pineapple fruit cv. “Phu Lae.” *Crop Protection*, **54**, 43–47. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2013.07.004>
- Kim, H. J., Feng, H., Kushad, M. & Fan, X. (2006). Effects of Ultrasound, Irradiation and Acidic Electrolyzed Water on Germination of Alfalfa and Broccoli Seeds and *Escherichia coli* O157:H7. *Journal of Food Science*, **71**(6), 168–173. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2006.00064.x>
- Koide, S., Shitanda, D., Note, M. & Cao, W. (2011). Effects of mildly heated, slightly acidic electrolyzed water on the disinfection and physicochemical properties of sliced carrot. *Food Control*, **22**(4), 452–456. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2010.09.025>
- Koseki, S., Yoshida, K., Isobe, S. & Itoh, K. (2001). Decontamination of lettuce using acidic electrolyzed water. *Journal of Food Protection*, **64**(5), 652–658. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-64.5.652>
- Kumar, S. S. & Lim, H. (2022). An Overview of water electrolysis technologies for green hydrogen production. *Energy reports*, **8**, 13793–13813. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.10.127>
- Lee, N. Y., Kim, N. H., Jang, I. S., Jang, S. H., Lee, S. H., Hwang, I. G. & Rhee, M. S. (2014). Decontamination efficacy of neutral electrolyzed water to eliminate indigenous flora on a large-scale of cabbage and carrot both in the laboratory and on a real processing line. *Food Research International*, **64**, 234–240. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.05.053>
- Li, L., Hao, J., Song, S., Nirasawa, S., Jiang, Z. & Liu, H. (2018). Effect of slightly acidic electrolyzed water on bioactive compounds and morphology of broccoli sprouts. *Food Research International*, **105**, 102–109. <http://doi:10.1016/j.foodres.2017.10.052>
- Liang, D., Wang, Q., Zhao, D., Han, X. & Hao, J. (2019). Systematic application of slightly acidic electrolyzed water (SAEW) for natural microbial reduction of buckwheat sprouts. *LWT - Food Science and Technology*, **108**, 14–20. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.03.021>
- Liu, R., He, X., Shi, J., Nirasawa, S., Tatsumi, E., Li, L. & Liu, H. (2013). Effect of electrolyzed water on decontamination, germination and γ -aminobutyric acid accumulation of brown rice. *Food control*, **33**, 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.02.008>
- Lopes, M. M. de A., Lucena, H. H. de, Silveira, M. R. S. da, Garruti, D. dos S., Machado, T. F., Aragão, F. A. S. & Silva, E. de O. (2021). The use of electrolyzed water as a disinfectant for fresh cut mango. *Scientia Horticulturae*, **287**, 110227. <http://doi:10.1016/j.scienta.2021.110227>
- Luo, K., Kim, S. Y., Wang, J. & Oh, D. H. (2016). A combined hurdle approach of slightly acidic electrolyzed water simultaneous with ultrasound to inactivate *Bacillus cereus* on potato. *LWT - Food Science and Technology*, **73**, 615–621. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.04.016>
- Mansur, A. R., Tango, C. N., Kim, G. H. & Oh, D. H. (2015). Combined effects of slightly acidic electrolyzed water and fumaric acid on the reduction of foodborne pathogens and shelf-life extension of fresh pork. *Food Control*, **47**, 277–284. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.07.019>
- Matsuyama, S., Nao, N., Shirato, K., Kawase, M., Saito, S., Takayama, I., Nagata, M., Sekizuka, T., Katoh, H., Kato, F., Kato, F., Sakata, M., Tahara, M., Kutsuna, S., Ohmagari, N., Kuroda, M., Suzuki, T., Kageyama, T. & Takeda, M. (2020). Enhanced isolation of SARS-CoV-2 by TMPRSS2-expressing cells. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **117**(13), 7001–7003. <https://doi.org/10.1073/pnas.2002589117>
- Martínez-Hernández, G. B., Navarro-Rico, J., Gómez, P. A., Otón, M., Artés, F. & Artés-Hernández, F. (2015). Combined sustainable sanitizing treatments to reduce *Escherichia coli* and *Salmonella* Enteritidis growth on fresh-cut kailan-hybrid broccoli. *Food Control*, **47**, 312–317. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.07.029>
- McCarthy, S. & Burkhardt, W. (2012). Efficacy of electrolyzed oxidizing water against *Listeria monocytogenes* and *Morganella morganii* on conveyor belt and raw fish surfaces. *Food Control*, **24**(1–2), 214–219. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2011.09.030>
- Medina-Gudiño, J., Rivera-García, A., Santos-Ferro, L., Ramírez-Orejuel, J. C., Agredano-Moreno, L. T., Jimenez-García, L. F., Paez-Esquiliano, D., Martínez-Vidal, S., Andrade-Esquível, E. & Cano-Buendía, J. A. (2020). Analysis of Neutral Electrolyzed Water anti-bacterial activity on contaminated eggshells with *Salmonella enterica* or *Escherichia coli*. *International Journal of Food Microbiology*, **320**, 108538. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108538>
- Moghassem, H., R., Shekarforoush, S. S., Hosseinzadeh, S. & Basiri, S. (2020). Evaluation of the effect of neutral electrolyzed water and peroxyacetic acid alone and in combination on microbiological, chemical, and sensory characteristics of poultry meat during refrigeration storage. *Food Science and Technology International*, **(6)**, 499–503. <http://doi:10.1177/1082013220968713>

- Mokudai, T., Kanno, T. & Niwano, Y. (2015). Postantifungal-like effect of sublethal treatment of *Candida albicans* with acid-electrolyzed water. *Archives of Oral Biology*, **60**(3), 479–487. <https://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2014.11.004>
- Monnin, A., Lee, J. & Pascall, M. A. (2012). Efficacy of neutral electrolyzed water for sanitization of cutting boards used in the preparation of foods. *Journal of Food Engineering*, **110**(4), 541–546. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.12.039>
- Navarro-Rico, J., Artés-Hernández, F., Gómez, P. A., Núñez-Sánchez, M. Á., Artés, F. & Martínez-Hernández, G. B. (2014). Neutral and acidic electrolyzed water kept microbial quality and health promoting compounds of fresh-cut broccoli throughout shelf life. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, **21**, 74–81. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2013.11.004>
- Ngnitcho, P. F. K., Khan, I., Tango, C. N., Hussain, M. S. & Oh, D. H. (2017). Inactivation of bacterial pathogens on lettuce, sprouts, and spinach using hurdle technology. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, **43**, 68–76. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.07.033>
- Ovissipour, M., Shiroodi, S. G., Rasco, B., Tang, J. & Sablani, S. S. (2018). Electrolyzed water and mild-thermal processing of Atlantic salmon (*Salmo salar*): Reduction of *Listeria monocytogenes* and changes in protein structure. *International Journal of Food Microbiology*, **276**, 10–19. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2018.04.005>
- Pang, Y. H. & Hung, Y. C. (2016). Efficacy of Slightly Acidic Electrolyzed Water and UV-Ozonated Water Combination for Inactivating *Escherichia coli* O157:H7 on Romaine and Iceberg Lettuce during Spray Washing Process. *Journal of Food Science*, **81**(7), M1743–M1748. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13364>
- Pangloli, P. & Hung, Y. C. (2013). Reducing microbiological safety risk on blueberries through innovative washing technologies. *Food Control*, **32**(2), 621–625. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.01.052>
- Park, D. & Zeikus, J. (2002). Impact of electrode composition on electricity generation in a single-compartment fuel cell using *Shewanella putrefaciens*. *Applied Microbiology and Biotechnology*, **59**(1), 58–61. <https://doi.org/10.1007/s00253-002-0972-1>
- Qi, H., Huang, Q. & Hung, Y. C. (2018). Effectiveness of electrolyzed oxidizing water treatment in removing pesticide residues and its effect on produce quality. *Food Chemistry*, **239**, 561–568. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.06.144>
- Rahman, S. M. E., Jin, Y. G. & Oh, D. H. (2011). Combination treatment of alkaline electrolyzed water and citric acid with mild heat to ensure microbial safety, shelf-life and sensory quality of shredded carrots. *Food Microbiology*, **28**(3), 484–491. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2010.10.006>
- Rahman, S., Khan, I. & Oh, D. H. (2016). Electrolyzed Water as a Novel Sanitizer in the Food Industry: Current Trends and Future Perspectives. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, **15**(3), 471–490. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12200>
- Rahman, S. M. E., Park, J., Song, K. Bin, Al-Harbi, N. A. & Oh, D. H. (2012). Effects of slightly acidic low concentration electrolyzed water on microbiological, physicochemical, and sensory quality of fresh chicken breast meat. *Journal of Food Science*, **77**(1), M35-M41. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2011.02454.x>
- Rahman, S. M. E., Wang, J. & Oh, D. H. (2013). Synergistic effect of low concentration electrolyzed water and calcium lactate to ensure microbial safety, shelf life and sensory quality of fresh pork. *Food Control*, **30**(1), 176–183. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.06.041>
- Rasschaert, G., Piessens, V., Scheldeman, P., Leleu, S., Stals, A., Herman, L., Heyndrickx, M. & Messens, W. (2013). Efficacy of electrolyzed oxidizing water and lactic acid on the reduction of *Campylobacter* on naturally contaminated broiler carcasses during processing. *Poultry Science*, **92**(4), 1077–1084. <https://doi.org/10.3382/ps.2012-02771>
- Ratana-Arporn, P. & Jommark, N. (2014). Efficacy of neutral electrolyzed water for reducing pathogenic bacteria contaminating shrimp. *Journal of Food Protection*, **77**(12), 2176–2180. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-14-161>
- Rivera-García, A., Santos-Ferro, L., Ramírez-Orejuel, J. C., Agredano-Moreno, L. T., Jiménez-García, L. F., Paez-Esquiliano, D., Andrade-Esquivel, E. & Cano-Buendía, J. A. (2019). The effect of neutral electrolyzed water as a disinfectant of eggshells artificially contaminated with *Listeria monocytogenes*. *Food Science and Nutrition*, **7**(7), 2252–2260. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1053>
- Rui, L., Jianxiang, H., Haijie, L. & Lite, L. (2011). Application of electrolyzed functional water on producing mung bean sprouts. *Food Control*, **22**(8), 1311–1315. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2011.02.005>
- Saitoh, Y., Harata, Y., Mizuhashi, F., Nakajima, M. & Miwa, N. (2010). Biological safety of neutral-pH hydrogen-enriched electrolyzed water upon mutagenicity, genotoxicity and subchronic oral toxicity. *Toxicology and Industrial Health*, **26**(4), 203–16. <http://doi.org/10.1177/0748233710362989>
- Sanna, M., Gilardi, G., Gullino, M. L. & Mezzalama, M. (2022). Evaluation of physical and chemical disinfection methods of *Brassica oleracea* seeds naturally contaminated with *Xanthomonas campestris* pv. *campestris*. *Journal of Plant Diseases and Protection*, **129**, 1145–1152. <https://doi.org/10.1007/s41348-022-00635-2>
- Sharma, R. R. & Demirci, A. (2003). Inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 on inoculated alfalfa seeds with pulsed ultraviolet light and response surface modeling. *Journal of Food Science*, **68**(4), 1448–1453. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2003.tb09665.x>
- Sheng, X., Shu, D., Tang, X. & Zang, Y. (2018). Effects of slightly acidic electrolyzed water on the microbial quality

- and shelf-life extension of beef during refrigeration. *Food Science and Nutrition*, **6(7)**, 1975–1981. <https://doi.org/10.1002/fsn3.779>
- Shirahata, S., Hamasaki, T. & Teruya, K. (2012). Advanced research on the health benefit of reduced water. *Trends in Food Science & Technology*, **23(2)**, 124–131. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2011.10.009>
- Solomon, S., Stachel, A., Kelly, A. R. N., Mraz, J., Aguilar, P. Gardner, J., Medefindt, J., Horrocks, A., Sterling, S., Aguero-Rosenfeld, M. & Phillips, M. (2022). The evaluation of electrolyzed water, sodium dichloroisocyanurate and peracetic acid with hydrogen peroxide for the disinfection of patient room surfaces. *American Journal of Infection Control*, **(22)**, 00507-7. <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2022.06.021>.
- Stewart, M., Bogusz, A., Hunter, J., Devanny, I., Yip, B., Reid, D., Robertson, C. & Dancer, S. J. (2014). Evaluating Use of Neutral Electrolyzed Water for Cleaning Near-Patient Surfaces. *Infection Control & Hospital Epidemiology*, **35(12)**, 1505–1510. <https://doi.org/10.1086/678595>
- Suzuki, Y., Hishiki, T., Emi, A., Sakaguchi, S., Itamura, R., Yamamoto, R. & Yamamoto, N. (2021). Strong alkaline electrolyzed water efficiently inactivates SARS-CoV-2, other viruses, and Gram-negative bacteria. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, **575**, 36–41. <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2021.08.048>
- Takeda, Y., Jamsransuren, D., Makita, Y., Kaneko, A., Matsuda, S., Ogawa, H. & Oh, H. (2021). Inactivation Activities of Ozonated Water, Slightly Acidic Electrolyzed Water and Ethanol against SARS-CoV-2. *Molecules*, **26(18)**, 5465. <https://doi.org/10.3390/molecules26185465>
- Tango, C. N., Khan, I., Ngnitcho Kounkeu, P. F., Momna, R., Hussain, M. S. & Oh, D. H. (2017). Slightly acidic electrolyzed water combined with chemical and physical treatments to decontaminate bacteria on fresh fruits. *Food Microbiology*, **67**, 97–105. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2017.06.007>
- Tantratian, S. & Kaepfen, K. (2020). Shelf-life of shucked oyster in epigallocatechin-3-gallate with slightly acidic electrolyzed water washing under refrigeration temperature. *LWT - Food Science and Technology*, **118**, 108733. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108733>
- Thomas, C. L., Hung, Y. C., Rigdon, M., Mckee, R. W. & Stelzleni, A. M. (2019). The effects of antimicrobials on quality and sensory characteristics of blade tenderized beef strip loins. *LWT - Food Science and Technology*, **110**, 126–131. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.04.086>
- Torlak, E. (2014). Inactivation of *Alicyclobacillus acidoterrestris* spores in aqueous suspension and on apples by neutral electrolyzed water. *International Journal of Food Microbiology*, **185**, 69–72. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2014.05.022>
- Vásquez-López, A., Villarreal-Barajas, T. & Rodríguez-Ortiz, G. (2016). Effectiveness of neutral electrolyzed water on incidence of fungal rot on tomato fruits (*Solanum lycopersicum* L.). *Journal of Food Protection*, **79(10)**, 1802–1806. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-15-494>
- Veasey, S. & Muriana, P. (2016). Evaluation of Electrolytically-Generated Hypochlorous Acid (‘Electrolyzed Water’) for Sanitation of Meat and Meat-Contact Surfaces. *Foods*, **5(4)**, 42. <https://doi.org/10.3390/foods5020042>
- Wang, H. & Ryser, E. T. (2014). Efficacy of various sanitizers against *Salmonella* during simulated commercial packing of tomatoes. *Journal of Food Protection*, **77(11)**, 1868–1875. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-14-213>
- Wang, H., Cai, L., Li, Y., Xu, X. & Zhou, G. (2018a). Biofilm formation by meat-borne *Pseudomonas fluorescens* on stainless steel and its resistance to disinfectants. *Food Control*, **91**, 397–403. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.04.035>
- Wang, H., Qi, J., Duan, D., Dong, Y., Xu, X. & Zhou, G. (2018b). Combination of a novel designed spray cabinet and electrolyzed water to reduce microorganisms on chicken carcasses. *Food Control*, **86**, 200–206. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.11.027>
- Waters, B. W., Tatum, J. M. & Hung, Y. C. (2014). Effect of chlorine-based sanitizers properties on corrosion of metals commonly found in food processing environment. *Journal of Food Engineering*, **121(1)**, 159–165. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.08.027>
- Xuan, X. T., Fan, Y. F., Ling, J. G., Hu, Y. Q., Liu, D. H., Chen, S. G., Ye, X. Q. & Ding, T. (2017). Preservation of squid by slightly acidic electrolyzed water ice. *Food Control*, **73**, 1483–1489. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.11.013>
- Yan, W., Zhang, Y., Yang, R. & Zhao, W. (2020). Combined effect of slightly acidic electrolyzed water and ascorbic acid to improve quality of whole chilled freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*). *Food Control*, **108**, 106820. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.106820>
- Ye, Z., Wang, S., Chen, T., Gao, W., Zhu, S., He, J. & Han, Z. (2017). Inactivation Mechanism of *Escherichia coli* Induced by Slightly Acidic Electrolyzed Water. *Scientific Reports*, **7**, 6279. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-06716-9>
- Yu, Z. L. & Liu, R. (2019). Effect of electrolyzed water on enzyme activities of triticale malt during germination. *Journal of Food Science and Technology*, **56(3)**, 1495–1501. <http://doi.org/10.1007/s13197-019-03637-5>
- Zang, Y. T., Bing, S., Li, Y. J. & Shu, D. Q. (2019a). Application of slightly acidic electrolyzed water and ultraviolet light for *Salmonella* enteritidis decontamination of cell suspensions and surfaces of artificially inoculated plastic poultry transport coops and other facility surfaces. *Poultry Science*, **98**, 6445–6451. <https://doi.org/10.3382/ps/pez520>
- Zang, Y. T., Bing, S., Li, Y. J., Shu, D. Q., Huang, A. M., Wu, H. X., Lan, L. T. & Wu, H. D. (2019b). Efficacy of slightly acidic electrolyzed water on the microbial safety and shelf life of shelled eggs. *Poultry Science*, **98(11)**, 5932–5939.

- <https://doi.org/10.3382/ps/pez373>
- Zhang, C., Cao, W., Hung, Y. C. & Li, B. (2016a). Application of electrolyzed oxidizing water in production of radish sprouts to reduce natural microbiota. *Food Control*, **67**, 177–182. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.02.045>
- Zhang, C., Cao, W., Hung, Y. C. & Li, B. (2016b). Disinfection effect of slightly acidic electrolyzed water on celery and cilantro. *Food Control*, **69**, 147–152. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.04.039>
- Zhang, C., Yang, G., Shen, P., Shi, Y., Yang, Y., Liu, Y., Xia, X. & Wang, S. (2022). Inactivation mechanism of slightly acidic electrolyzed water on *Bacillus cereus* spores. *Food Microbiology*, **103**, 103951. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2021.103951>
- Zhang, C., Lu, Z., Li, Y., Shang, Y., Zhang, G. & Cao, W. (2011). Reduction of *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella enteritidis* on mung bean seeds and sprouts by slightly acidic electrolyzed water. *Food Control*, **22** (5), 792–796. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2010.11.018>
- Zhang, C., Xia, X., Li, B. & Hung, Y. C. (2018). Disinfection efficacy of electrolyzed oxidizing water on brown rice soaking and germination. *Food Control*, **89**, 38–45. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.01.007>
- Zhang, Q., Xiong, K., Tatsumi, E., Li, L. & Liu, H. (2012). Elimination of aflatoxin B1 in peanuts by acidic electrolyzed oxidizing water. *Food Control*, **27**(1), 16–20. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.02.029>
- Zhang, C., Zhang, Y., Zhao, Z., Liu, W., Chen, Y., Yang, G., Xia, X. & Cao, Y. (2019). The application of slightly acidic electrolyzed water in pea sprout production to ensure food safety, biological and nutritional quality of the sprout. *Food Control*, **104**, 83–90. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.04.029>
- Zhang, C., Zhao, Z., Yang, G., Shi, Y., Zhang, Y., Shi, C. & Xia, X. (2020). Effect of slightly acidic electrolyzed water on natural *Enterobacteriaceae* reduction and seed germination in the production of alfalfa sprouts. *Food Microbiology*, **97**, 103494. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2020.103414>