

13

Fecha de presentación: febrero, 2022

Fecha de aceptación: mayo, 2022

Fecha de publicación: junio, 2022

EL OZONO

Y SU EMPLEO EN LA INDUSTRIA PARA EL PROCESAMIENTO Y CONSERVACIÓN DE ALIMENTOS

THE USE OF OZONE IN THE FOOD PROCESSING AND PRESERVATION INDUSTRY

Raúl González Salas¹

E-mail: ua.raulgonzalez@uniandes.edu.ec

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1623-3709>

Mildre Mercedes Vidal del Río²

E-mail: ua.mildrevidal@uniandes.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3496-5057>

Aldemar Alejandro Monsalve Guamán³

Email: ma.aldemaramg22@uniandes.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7106-0746>

¹ Universidad Regional Autónoma de los Andes. Ecuador.

Cita sugerida (APA, séptima edición)

González Salas, R. Vidal del Río, M.M., & Monsalve Guamán, A.A., (2022). El ozono y su empleo en la industria para el procesamiento y conservación de alimentos. *Revista Universidad y Sociedad*, 14(S3), 127-135.

RESUMEN

Dentro de las alternativa conservante atractiva que la industria alimentaria se encuentra el ozono debido a sus propiedades como la rápida descomposición y su escaso efecto residual durante la conservación de los alimentos. Los investigaciones fundamentalmente se han centrado en la aplicación de ozono para inactivar microorganismos en productos frescos, como frutas, verduras, carne, aves, pescado y huevos, y productos secos, como cereales, legumbres y especias. El presente trabajo tiene el propósito de reflexionar sobre el uso del ozono en el procesamiento y conservación de alimentos como una alternativa ecológica. Se realizó una revisión sistemática cualitativa, documental y no experimental, mediante una búsqueda de artículos en bases de datos fundamentalmente: Scopus, Imbiomed, EBSCO y FAOSTAT. Los resultados arrojaron que el ozono constituye un oxidante fuerte con inhibición del crecimiento, esporulación y en la germinación de microorganismos con múltiples aplicaciones en la industria para la conservación y el procesamiento de alimentos.

Palabras clave: Ozono, seguridad alimentaria, conservación de alimentos

ABSTRACT

Ozone is one of the attractive preservative alternatives for the food industry due to its properties, such as rapid decomposition and low residual effect during food preservation. Research has mainly focused on applying ozone to inactivate microorganisms in fresh products, such as fruits, vegetables, meat, poultry, fish and eggs, and dry products, such as cereals, legumes and spices. This paper aims to reflect on the use of ozone in food processing and preservation as an environmentally friendly alternative. A qualitative, documentary and non-experimental systematic review was carried out by searching articles in databases mainly: Scopus, Imbiomed, EBSCO and FAOSTAT. The results showed that ozone is a strong oxidant with inhibition of growth, sporulation and germination of microorganisms with multiple applications in the food preservation and processing industry.

Key words: Ozone, food safety, food preservation.

INTRODUCCIÓN

El ozono es un oxidante fuerte que tiene diversas aplicaciones en la industria alimenticia, el cual puede ser utilizado de forma gaseosa y también acuosa para la descontaminación de alimentos, a saber, frutas, verduras, especias, hierbas, bebidas, carne y pescado (Pandiselvam et al., 2019a). El tratamiento con ozono mejora tanto la seguridad microbiológica como la vida útil cualitativa de los productos alimenticios. Además, la aplicación del ozono se extiende a la gestión de plagas de almacenamiento y degradación de micotoxinas (Afsah-Hejri et al., 2020).

La ventaja de usar ozono es que se descompone fácilmente en oxígeno con residuos mínimos en el producto y elimina la necesidad de extraer el gas del producto. Dado que el ozono tiene propiedades no acumulativas es una técnica ecológica basada en la tecnología verde más prometedora que podría mejorar la seguridad y la calidad de los alimentos. Además, ha sido catalogado como "Generalmente Reconocido como Seguro" (GRAS) para la desinfección de gran diversidad de alimentos. En cuanto al poder oxidante, se ha informado que el ozono es un agente oxidante 1,5 veces más potente en comparación con el cloro y 3000 veces de ácido hipocloroso, otro aspecto de su composición química es que se descompone naturalmente a oxígeno por efecto del calor, de los choques electrostáticos y la luz, esta es una de las ventajas para su uso en la conservación de productos alimenticios con bajo nivel de residuos (Obadi et al., 2018).

Los procesos biológicos no siempre producen resultados satisfactorios, se puede mencionar que desde el siglo XIX el ozono ha sido revisado por su seguridad frente a los productos alimenticios y desde entonces ha sido declarado como aditivo para alimentos. En 1990 el ozono fue declarado seguro para su uso en Japón, Francia y Australia, y tiempos más tarde en 2003, el ozono había recibido la aprobación formal de la FDA de EE. UU. para ser utilizado como aditivo alimentario. Los gases de ozono se caracterizan por un olor distintivo, tiene un olor acre cuando la concentración es alta, pero es ya detectable por humanos en concentraciones tan bajas como 0.01 $\mu\text{L/L}$. El ozono puede ser producido por contacto de fósforo, descarga silenciosa, reacciones fotoquímicas y reacciones electroquímicas, procediendo principalmente por la reacción del átomo de oxígeno con la molécula de oxígeno. Hay reacciones secundarias a la generación de ozono, sin embargo, que son responsables del agotamiento del ozono, incluida la descomposición térmica y las reacciones de enfriamiento de las especies reactivas. La solubilidad del ozono en el agua es mucho mayor que la del oxígeno, lo que sugiere que se puede aplicar de

forma fiable en el tratamiento del agua y de las aguas residuales (Kelkar & Shirke, 2021).

Extender la vida útil de los productos alimenticios es una de las principales preocupaciones de los productores, y la industria alimentaria requiere alternativas más ecológicas a las tecnologías actuales. La conservación de alimentos a base de ozono puede adaptarse a este nicho al considerarse una alternativa atractiva que la industria alimentaria necesita debido a sus propiedades como la rápida descomposición y el escaso efecto de permanencia en los alimentos durante su conservación. El ozono es la molécula más fuerte disponible para la desinfección del agua y solo es superada por el flúor elemental en poder oxidante, propiedad que permite su utilización en la industria alimentaria en diversas aplicaciones, como la descontaminación del agua y las superficies de los equipos. Varios investigadores se han centrado en la aplicación de ozono para inactivar microorganismos en productos frescos, como frutas, verduras, carne, aves, pescado y huevos, y productos secos, como cereales, legumbres y especias (Pandiselvam et al., 2019b). El propósito de esta investigación es reflexionar sobre el uso del ozono en el procesamiento y conservación de alimentos como alternativa ecológica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó una revisión bibliográfica exhaustiva de tipo descriptiva, mediante la búsqueda de artículos científicos, libros, y datos de organismos oficiales mediante el uso de herramientas digitales como bibliotecas virtuales y buscadores académicos en temas pertinentes a la seguridad alimentaria y procesamiento de alimentos con utilización del ozono.

En este trabajo se incluyen las propiedades del ozono y sus aplicaciones en la industria alimentaria, debido al potencial de los tratamientos a base de ozono para obtener productos seguros con una vida útil prolongada, varios investigadores se han centrado en este tema. En esta revisión se presenta una compilación de esos trabajos, con énfasis en el impacto del ozono en la inactivación de micotoxinas, propiedades fisicoquímicas, su generación, eliminación de los patógenos transmitidos por los alimentos, y los aspectos de cambios en la calidad posterior al tratamiento de las carnes, frutas y verduras procesadas.

La estrategia de búsqueda se centró en la recolección de 93 publicaciones entre revisiones bibliográficas, libros y artículos observacionales de los cuales se aceptaron 20 artículos que cumplieron los criterios de inclusión consistentes en artículos originales revisados por pares relacionados con la ozonización de alimentos y subproductos

de origen animal, revisiones sistemáticas y metaanálisis, y artículos publicados en inglés que incluyeran principalmente la base de datos de Scopus. Se descartaron 73 artículos que no clasificaron para los criterios de búsqueda relativos a cartas al editor, artículos en base de datos regionales, documentos no revisados por pares y que no abordaran los aspectos relacionados a propiedades y usos de carácter industrial del ozono en la industria alimentaria.

Para complementar esta estrategia se utilizaron los siguientes descriptores: "Ozone", "food safety" "food industry", "food preservation", considerándose las investigaciones comprendidas desde enero del año 2018 a febrero del 2022. A su vez se indagó en bases de datos de la OMS y especializadas como FAOSTAT, The Global Food Safety Initiative (GFSI), la biblioteca de la Food Safety Preventive Controls Alliance (FSPCA) y la Quality Certification Services (QCS) – Ecuador, que certifica productos orgánicos bajo la Normativa Orgánica Ecuatoriana y normas internacionales.

Resultados y discusión

PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS Y FUNCIONALES DEL OZONO

La experiencia en el tratamiento y conservación de vegetales utilizando el ozono ha permitido conocer diferentes propiedades de la fécula de papa modificada por oxidación con ozono como parte de las diferentes posibilidades de aplicación industrial. Los resultados más prometedores se observaron en cuanto a las propiedades de pasta y la textura de gel de las muestras de almidón ozonizadas durante 15 y 30 min. Estas muestras presentaron una mayor viscosidad aparente y una mayor fuerza de gel cuando se gelatinizaron a 65 y 70 °C, en comparación con la muestra nativa. Además, las muestras de 15 y 30 minutos retuvieron más agua a temperaturas suaves (~60 °C) que las otras muestras. Estos resultados podrían estar relacionados con la estructura menos compacta de los almidones oxidados después del procesamiento con ozono debido a la escisión de sus enlaces glucosídicos y la presencia de grupos electronegativos, características que no solo facilitan la absorción de agua y la gelatinización de las muestras a temperaturas suaves, sino que también favorecen la disgregación granular a temperaturas más altas (superiores a 85 °C). Estas experiencias amplían la comprensión del proceso de modificación por ozono, así como también sugieren posibilidades de aplicaciones industriales utilizando almidón de patata ozonizado (Sivaranjani et al., 2021).

La ozonización es una tecnología de procesamiento de alimentos no térmica ecológica y rentable que se utiliza

en lugar del tratamiento térmico, denominado a su vez como tecnología verde, ya que causa efectos menos adversos sobre el medio ambiente. Se aplica ampliamente para la descontaminación microbiana y por efectos de micotoxinas, degradación en los cereales y mejora la tasa de germinación de las semillas. Se han descrito muchos procesos en los cuales interviene el ozono con efectividad comprobada en el procesamiento de cereales para la descontaminación microbiana, la degradación de micotoxinas, el control de insectos, la modificación del almidón, los cambios en la calidad funcional y la capacidad de germinación (Niveditha et al., 2021).

Según (Pandiselvam et al., 2019b) La tendencia en las investigaciones de las propiedades y funcionalidad del ozono han estado dirigidas a identificar los factores que influyen en el proceso de tratamiento con ozono, como la concentración, la temperatura, el pH del medio, el contenido de humedad y el grosor del lecho del grano. El principio de oxidación involucrado en el tratamiento con ozono asegura que el producto final sea microbiológicamente seguro y no perecedero. El tratamiento de semillas con ozono también mejora la capacidad de germinación. Por lo tanto, el ozono demuestra ser una tecnología prometedora para mantener la calidad de los cereales y los productos a base de cereales.

APLICACIÓN DE OZONO PARA LA DEGRADACIÓN DE MICOTOXINAS EN LOS ALIMENTOS

Según (Conte et al., 2020) las micotoxinas son compuestos químicos sintetizados como metabolitos secundarios por algunos hongos filamentosos, identificándose como las de mayor relevancia agrícola las aflatoxinas de *Aspergillus* spp., la ocratoxina A (OTA) de *Aspergillus* spp., *Penicillium* spp., fumonisinas, tricotecenos tipo A (toxina HT-2 (HT-2) y toxina T-2 (T-2)) y tricotecenos tipo B de *Fusarium* spp., y patulina de *P. expansum*. Cepas que pueden variar en estructura y causar toxicidad en varias especies animales. De los aproximadamente 400 compuestos identificados como micotoxinas, 30 se consideran una amenaza para la salud humana y animal, observándose que el ozono gaseoso podía degradar las aflatoxinas en muchas porciones de alimentos y piensos y en varias condiciones de operación, siempre que se tengan en cuenta algunos aspectos que pueden influir en los resultados tales como usar la mayor concentración de ozono, el tratamiento muy prolongado, las temperatura elevada, nivel inicial y tipo de contaminación). En particular, se ha informado que el ozono es efectivo en la degradación de aflatoxina B1 (AFB 1) y aflatoxina G1 (AFG 1), ya que hay un doble enlace C8-C9 que forma el éter vinílico en el anillo de furano terminal en sus estructuras (Figura 1), que no está presente en aflatoxina B2 (AFB 2)

y aflatoxina G2 (AFG 2). La degradación de estas aflatoxinas requiere una exposición más prolongada al ozono hasta que el tratamiento abre el anillo de lactona.

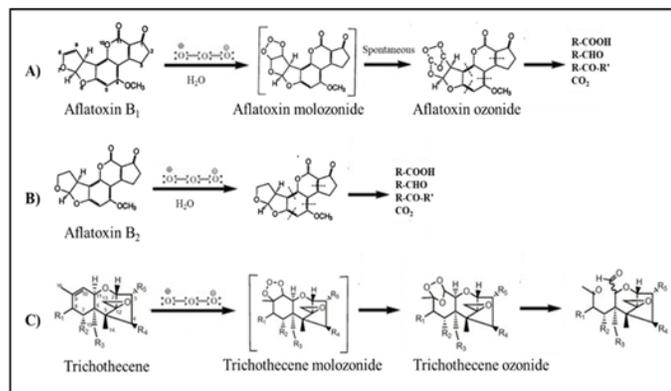


Figura 1. Mecanismo propuesto para la adición de ozono a la aflatoxina B1 (A) y B2 (B) y tricoteceno (C). Fuente: Confección propia, 2022.

En estudios referidos por (Porto et al., 2019) se observaron trastornos metabólicos y celulares que conducen a diversas alteraciones de la salud, tales como reducción de la ingesta de alimentos, absorción de nutrientes y peso corporal, inmunosupresión, síndromes reproductivos, agrandamiento del hígado y daños renales, hemorragia subcutánea y entérica y lesiones miocárdicas, depresión e incluso la muerte. en aves por aflatoxinas y OTA, en cerdos (la especie más sensible a las micotoxinas) por aflatoxina B1 (AFB 1).

Las micotoxinas como las aflatoxinas (AF), la ocratoxina A (OTA), las fumonisinas (FMN), el deoxinivalenol (DON), la zearalenona (ZEN) y la patulina son estables en las prácticas habituales de procesamiento de alimentos. El ozono es un oxidante fuerte y generalmente se considera un agente antimicrobiano seguro en las industrias alimentarias. El ozono interrumpe los procesos bioquímicos en las células fúngicas mediante la oxidación de grupos de enzimas sulfhidrilo y aminoácidos o ataca los ácidos grasos poliinsaturados de la pared celular. *Fusarium* es el hongo micotoxigénico más sensible a la ozonización seguido de *Aspergillus* y *Penicillium* (Afsah-Hejri et al., 2020).

En particular, el ozono actúa contra los lípidos insaturados en las membranas de las células microbianas provocando una fuga de su contenido y, finalmente, la lisis microbiana (Conte et al., 2020), esta acción se debe a una oxidación generalizada de las proteínas celulares internas (Figura 2), lo que reduce su crecimiento y provoca una muerte celular rápida.

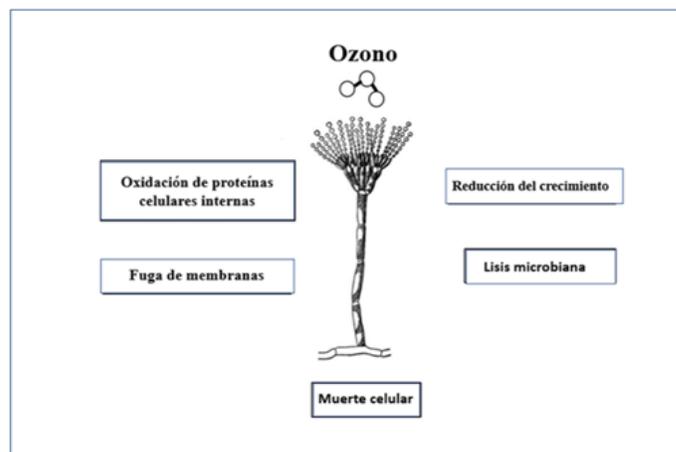


Figura 2. Efectos de la ozonización en las células fúngicas que resultan en su inactivación. Fuente: Confección propia, 2022.

Los estudios han demostrado la inactivación completa de *Fusarium* y *Aspergillus* por el ozono gaseoso, después de aplicar la fumigación, por efecto directo en la reducción de la germinación de esporas y la producción de toxinas. Tanto de forma natural como artificial, las muestras contaminadas con micotoxinas han mostrado una reducción significativa de micotoxinas después de la ozonización. Aunque el mecanismo de detoxificación no está muy claro para algunas micotoxinas, se cree que el ozono reacciona con los grupos funcionales en las moléculas de micotoxinas, cambia sus estructuras moleculares y forma productos con menor peso molecular, menos dobles enlaces y menos toxicidad. No obstante, en determinadas ocasiones se han observado algunos cambios fisicoquímicos menores en algunos alimentos tratados con ozono, estos cambios pueden o no afectar el uso del producto ozonizado dependiendo de la aplicación posterior del mismo (Porto et al., 2019).

La eficacia del proceso de ozonización depende del tiempo de exposición, la concentración de ozono, la temperatura, el contenido de humedad del producto y la humedad relativa. También es importante analizar sus propiedades fisicoquímicas entre las que resalta la corrosividad, existen límites estrictos para la exposición a este gas que tiene una penetración limitada y se descompone rápidamente. Sin embargo, el tratamiento con ozono se puede utilizar como una tecnología ecológica y segura para la conservación de alimentos y el control de contaminantes (Zhu, 2018).

Según expresan (Conte et al., 2020), no hay duda de que la ozonización es una tecnología fácil y eficaz para descontaminar las micotoxinas. La aplicación de ozono gaseoso fue reportada como más útil y la mayoría de los

experimentos revisados (79%) documentaron la mayor efectividad y las ventajas prácticas de una aplicación de este elemento químico en soluciones acuosas. Este método es un tipo de aplicación más útil y se ha utilizado con éxito para reducir la acumulación de micotoxinas en muchos tipos de productos alimenticios/piensos, por ejemplo, en cereales, frutos secos y aves. El 21% restante fueron estudios experimentales enfocados a demostrar la idoneidad del agua ozonizada para la inactivación de micotoxinas en materias primas que requieren un paso de desinfección acuosa y a su vez deben lavarse (Čolović et al., 2019).

Debido a sus altos impactos toxicológicos en la salud animal y humana, las micotoxinas han recibido una importante consideración por parte de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y la OMS, lo que ha llevado a la definición de umbrales y límites legislativos estrictos en muchas áreas del mundo. De manera diferente, en varios países africanos, el consumo de alimentos contaminados con micotoxinas sigue siendo un riesgo significativo, especialmente para los niños, las personas inmunodeprimidas y las poblaciones rurales. Sin embargo, numerosos países en desarrollo se han dado cuenta de que controlar y reducir la contaminación de micotoxinas en los alimentos disminuirá la presión sobre los sistemas de atención de la salud y mejorará la ventaja competitiva en las exportaciones. Las agencias reguladoras han establecido límites para mantener bajo control los niveles de micotoxinas en la alimentación animal. Los límites van desde menos de uno hasta miles de $\mu\text{g kg}^{-1}$, dependiendo de la micotoxina, el producto alimenticio/pienso y el país considerado (Conte et al., 2020).

POTENCIAL DE SANITIZACIÓN DEL OZONO Y SU PAPEL EN LA GESTIÓN DE LA CALIDAD POSCOSECHA DE FRUTAS Y HORTALIZAS

El consumo mundial de frutas y verduras ha experimentado un aumento en las últimas décadas para satisfacer la creciente demanda de los consumidores, no obstante, a los beneficios que estos reportan a la salud que ha llevado a un incremento en la frecuencia de enfermedades transmitidas por los alimentos asociadas con los productos frescos. Para un control eficaz de la contaminación de los alimentos, los métodos de desinfección convencionales han estado bajo escrutinio recientemente debido a la producción de subproductos indeseables y dañinos. Como tal, las industrias de productos frescos y de IV gama están buscando alternativas potenciales que puedan eliminar eficazmente los microorganismos patógenos y causantes del deterioro y, al mismo tiempo, dejar residuos mínimos o nulos en el producto (Aslam et al., 2020).

El ozono puede aplicarse directamente a alimentos/piensos en su forma gaseosa o disuelto en soluciones acuosas y aplicado como agua ozonizada. En forma gaseosa, la vida media es de unas pocas horas en presencia de alimento/pienso. Cuando se burbujea en agua, el ozono se disuelve, formando parcialmente radicales hidroxilos que pueden oxidar los microorganismos o contaminantes de manera más eficiente que el propio ozono molecular (Conte et al., 2020). Sin embargo, su solubilidad en agua depende de varios factores como la presión parcial, la temperatura y el pH del agua, así como de su pureza, ya que la presencia de minerales y materia orgánica puede “consumir” gran parte de esta sustancia.

Según (Santos et al., 2018). El agua ozonizada es especialmente adecuada para materias primas como maíz, granos de trigo y harina que requieren un paso de desinfección acuosa, así como para frutas y verduras que deben lavarse, pero la forma gaseosa del ozono se considera la más útil aplicación en la descontaminación de micotoxinas. Ambos métodos se han utilizado con éxito para reducir las enfermedades poscosecha, la viabilidad de los hongos tóxicos y la acumulación de micotoxinas en los alimentos y piensos.

Los estudios más recientes en la tecnología del ozono junto con su estatus regulatorio reconocido mundialmente han facilitado su integración en la línea de procesamiento de alimentos. Sin embargo, la falta de optimización de los parámetros del proceso y la variabilidad de las condiciones de trabajo ha llevado a los investigadores a llegar a menudo a resultados contradictorios. Se han identificado diversos parámetros que afectan a la capacidad de desinfección del ozono en el procesamiento y tratamiento de líquidos, los cuales se dividen en parámetros extrínsecos e intrínsecos que afectan la eficacia del ozono, los cuales incluyen la tasa de flujo, la concentración, temperatura, pH y presencia de contenidos sólidos (materia orgánica) (Ali et al., 2018).

APLICACIONES DEL OZONO EN LA INDUSTRIA LÁCTEA Y CÁRNICA

La eliminación de los patógenos transmitidos por los alimentos es de suma importancia en las industrias alimentarias para garantizar la seguridad alimentaria de los consumidores, si se tiene en cuenta que la mayoría de las técnicas de descontaminación son de naturaleza térmica e implican el uso de calor que puede dañar el sabor natural y la funcionalidad de los alimentos. Las tecnologías de oxidación no térmica, como el plasma frío y el ozono, pueden descontaminar eficazmente la *E. coli* en los alimentos tales como leche y productos cárnicos, y al mismo tiempo, minimizar las pérdidas de calidad y

nutrientes. Los principios de oxidación involucrados en la ciencia del plasma y la tecnología del ozono podrían tener el potencial de reemplazar las técnicas de descontaminación convencionales en las industrias alimentarias con el objetivo de mejorar la efectividad y contribuir a la solución de problemas de salud (Niveditha et al., 2021).

El control de la contaminación por bacterias de descomposición, como *Pseudomonas spp.*, así como por bacterias patógenas, como *Listeria monocytogenes*, *Salmonella spp.*, etc., representa un gran desafío para la industria láctea. Si las condiciones ambientales son adecuadas, estas bacterias patógenas y de deterioro pueden formar biopelículas rápidamente y persistir en las plantas de procesamiento de lácteos. De hecho, los microorganismos en un estado de biopelícula pueden sobrevivir en condiciones ambientales adversas. En este contexto, la presencia de biopelículas que incluyen bacterias patógenas y de deterioro constituye una fuente de contaminación repetida de los alimentos con los consiguientes problemas relacionados con la vida útil y la seguridad de los productos lácteos. Las biopelículas microbianas se pueden encontrar dondequiera que haya humedad y suficientes nutrientes disponibles, es por esta razón que las plantas de procesamiento de alimentos, especialmente las plantas lácteas, se convierten en un entorno ideal para la formación de biopelículas por parte de varios microorganismos (Panebianco et al., 2022).

La aplicación de ozono en las plantas de procesamiento de carnes y en la industria avícola se enfoca en la disminución de la contaminación microbiana y potenciar el cuidado del medio ambiente. El ozono gaseoso es el tratamiento que con mayor frecuencia se utiliza para tratar huevos y procesar las carnes de aves de corral, mientras que las canales enteras se tratan principalmente con ozono en solución acuosa, con efectos prominentes en la calidad de los alimentos (Vaselin & Bozakova, 2021).

Se ha demostrado el efecto de diferentes dosis de ozono (2, 5 y 10 mg/L) sobre la prolongación de la vida útil de muslos de pollo enfriados, empacados en bolsas de poliamida/polietileno y mantenidos a 4 ± 1 °C, por un período de 12 días. Los parámetros que se monitorizaron fueron microbiológicos (número total de bacterias activas, *Pseudomonas spp.*, bacterias lácticas, cepas de levaduras, mohos y *Enterobacteriaceae*), fisicoquímicos (pH y color) y sensoriales (olor, aspecto, textura y sabor). Los resultados mostraron que el nivel de pH disminuye durante el almacenamiento, pero no depende del tipo de empaque ni del nivel de ozonización (Cano et al., 2019).

Las ventajas del uso de ozono en las plantas de procesamiento de lácteos incluyen el bajo impacto ambiental,

que comprende la ausencia de residuos nocivos en los productos alimenticios o en las superficies de contacto. Sin embargo, se necesitan más estudios para evaluar su acción en la prevención o eliminación de biopelículas microbianas tanto en condiciones ambientales experimentales como realistas. Finalmente, dado que la aplicación de ozono tiene varias limitaciones (toxicidad, efecto potencial sobre materiales y alimentos con alto contenido de grasa), se deben aplicar restricciones y protocolos de aplicación detallados en relación con las necesidades y características específicas de los entornos de procesamiento de lácteos (Panebianco et al., 2022).

CONTROL DE VIRUS EN ALIMENTOS Y AGUAS RESIDUALES MEDIANTE OZONIZACIÓN

Un estudio desarrollado por (Brié et al., 2018) determinó la efectividad del ozono gaseoso para la sanitización de dos norovirus sustitutos (MNV-1 y TV) de medios líquidos y alimentos frescos populares donde la contaminación viral es común: lechuga y fresas. Los alimentos se trataron con ozono gaseoso al 6 % p/p de ozono en oxígeno durante 0, 10, 20, 30 y 40 min, y los virus supervivientes se cuantificaron mediante un ensayo de placas virales. Los resultados mostraron que el ozono gaseoso inactivó el norovirus tanto en medios líquidos como en productos frescos de manera dependiente de la dosis. Estos resultados son prometedores porque el tratamiento con ozono redujo significativamente dos importantes sustitutos de norovirus tanto en matrices líquidas como alimentarias. Los virus son generalmente más resistentes a los tratamientos de saneamiento que las bacterias, por lo que el ozono gaseoso es un medio eficaz para mejorar la seguridad de los productos frescos.

Los productos frescos son una de las principales preocupaciones por la transmisión de virus entéricos transmitidos por los alimentos, ya que normalmente se consumen sin tratamientos térmicos y con un procesamiento mínimo para garantizar la seguridad. Los desinfectantes de uso común no son efectivos para eliminar los virus transmitidos por los alimentos de los productos frescos. Por lo tanto, se han dirigido investigaciones al uso de ozono gaseoso para la inactivación viral. El ozono tiene un gran potencial para mejorar la inocuidad de los alimentos debido a cuatro beneficios: es un desinfectante potente, es efectivo contra una amplia gama de microorganismos, está permitido para uso alimentario según lo regulado por la FDA de EE. UU. y varias otras naciones, y se descompone espontáneamente al oxígeno sin dejar residuos (Brié et al., 2018).

Según (Kadoya et al., 2021) desde hace unas décadas se trabaja por la recuperación y reutilización de aguas

residuales utilizando el ozono, sobre todo en regiones con escasez de agua, el problema radica en que cuando se tratan de forma insuficiente queda un remanente de microorganismos en las aguas una vez finalizado el tratamiento, motivo de gran preocupación. La planificación de la seguridad del saneamiento adopta el enfoque de análisis de peligros y puntos críticos de control (HACCP) para gestionar los riesgos para la salud humana tras la exposición a aguas residuales recuperadas. HACCP requiere un valor de referencia predeterminado (límite crítico: CL) en los puntos críticos de control (PCC), en los que se monitorean y registran parámetros específicos en tiempo real.

Un reactor de desinfección de una planta de tratamiento de aguas residuales (EDAR) se considera un PCC, y uno de los parámetros del PCC es la intensidad de desinfección, por ejemplo, concentración inicial de desinfectante y tiempo de contacto, que es proporcional al valor de reducción logarítmica (LRV) de los patógenos transmitidos por el agua. Sin embargo, los LRV alcanzables no siempre son estables porque la intensidad de la desinfección se ve afectada por los parámetros de calidad del agua, que varían entre las plantas de tratamiento de aguas residuales. Se han establecido modelos para proyectar LRV de virus usando ozono, en los que la calidad del agua y los parámetros operativos se utilicen como variables explicativas, obteniéndose que la determinación automática de relevancia con los términos de interacción muestra como resultado un mejor rendimiento de predicción para los LRV de norovirus y rotavirus. Estas investigaciones son de gran ayuda para la evaluación de riesgos y posibilidad de determinar el límite crítico apropiado para proteger la salud humana en la recuperación y reutilización de aguas residuales (Kadoya et al., 2021).

DISCUSIÓN

El problema de la contaminación de los alimentos requiere un control continuo de los alimentos en cada paso del proceso de producción. La alta calidad y la seguridad de los productos son factores igualmente importantes en la industria alimentaria. Pueden lograrse con varias metodologías, más o menos tecnológicamente avanzadas. En este trabajo revisamos el papel, la contribución, la importancia y el impacto del ozono como agente descontaminante utilizado para controlar y eliminar la presencia de microorganismos en los productos alimenticios, así como para extender su vida útil y eliminar olores indeseables. (Macazana, 2013) Varios investigadores se han centrado en las propiedades y aplicaciones del ozono, demostrando que la tecnología de tratamiento con ozono se puede aplicar a todo tipo de alimentos, desde frutas, verduras, especias, carnes y productos del mar hasta bebidas

(Sivaranjani et al., 2021) Porto et al., (2019). Una compilación de esos trabajos, presentada en esta reseña, puede ser una herramienta útil para establecer las condiciones apropiadas de tratamiento con ozono y los factores que afectan la calidad y seguridad mejoradas de los productos alimenticios. También se presenta una evaluación crítica de las ventajas y desventajas del ozono en el contexto de su aplicación en la industria alimentaria (Zhu, 2018).

Las ventajas de usar ozono en las plantas de procesamiento de lácteos incluyen el bajo impacto ambiental, que comprende la ausencia de residuos nocivos en los productos alimenticios o en las superficies de contacto. Sin embargo, se necesitan más estudios para evaluar su acción en la prevención o eliminación del biofilm microbiano tanto en condiciones ambientales experimentales como realistas. Finalmente, dado que la aplicación del ozono tiene varias limitaciones (toxicidad, efecto potencial sobre materiales y alimentos ricos en grasas),

Deben aplicarse restricciones y protocolos de aplicación detallados en relación con las necesidades específicas, necesidades y características de los entornos de procesamiento de lácteos (Niveditha et al, 2021).

El ozono es adecuado para lavar y desinfectar alimentos sólidos con superficies intactas y lisas (p. ej., frutas y verduras) y productos frescos desinfectados con ozono se han introducido recientemente en el mercado estadounidense. Actualmente se investiga el uso de ozono para desinfectar equipos, materiales de empaque y el entorno de procesamiento. Los esfuerzos para descontaminar los brotes de soja y eliminar la biopelícula con ozono no han tenido éxito. La eficacia antimicrobiana se puede mejorar considerablemente cuando la ozonización se combina con otros tratamientos químicos (p. ej., peróxido de hidrógeno) o físicos (p. ej., radiación ultravioleta). También se necesita la acción mecánica como medio para desalojar los microorganismos de la superficie de los alimentos y exponerlos a la acción del desinfectante. La industria alimentaria también está interesada en utilizar el ozono para descontaminar el agua de procesamiento y disminuir su demanda química y biológica de oxígeno (Niveditha et al, 2021).

El ozono es uno de los desinfectantes más potentes, adecuado para casi todos los tipos de patógenos transmitidos por el agua, utilizado a su vez para el control del sabor y el olor, así como para la oxidación química de contaminantes en el agua potable, siendo a su vez efectivo contra virus resistentes al cloro como el adenovirus (AdV). Estos hallazgos sugieren que se puede utilizar el ozono para una amplia gama de tipos virales y lograr su inactivación. Sin embargo, la aplicación de ozono en la

práctica está restringida por su inestabilidad y solubilidad limitada en agua, es por esta razón que para solucionar las fases de inestabilidad se requiere de la síntesis in situ del ozono (Chen et al., 2021).

CONCLUSIÓN

El ozono es un oxidante fuerte y tiene diferentes aplicaciones alimentarias para garantizar la seguridad alimentaria. La aplicación de ozono ha dado resultados prometedores para problemas importantes en la industria alimentaria, en particular para inhibir el crecimiento, la esporulación y la germinación de hongos, ofreciendo una pérdida insignificante de nutrientes o cualidades sensoriales en los alimentos/piensos. Sin embargo, su actividad antimicrobiana depende mucho de la especie vegetal/hongo, la etapa de crecimiento, la concentración y el tiempo de exposición.

Los productos de degradación a instancias de aplicar el ozono no han sido exactamente determinados, y este parece ser el obstáculo más crucial en este tema. Se deben realizar pruebas toxicológicas in vivo e in vitro para detectar los efectos de los productos de degradación en la salud humana y animal. A través de nuevas técnicas emergentes (especies reactivas de oxígeno/nitrógeno), así como mejoras e innovaciones en los sistemas de generación y aplicación del ozono.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Afsah-Hejri, L., Hajeb, P., Ehsani, R.J., (2020). Application of ozone for degradation of mycotoxins in food: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19 (4) pp. 1777-1808.
- Aslam, R., Alam, M.S., & Saeed, P. (2020). Sanitization Potential of Ozone and Its Role in Postharvest Quality Management of Fruits and Vegetables. *Food Eng Rev* (12), 48–67.
- Brié, A., Boudaud, N., Mssihid, A., Loutreul, J., Bertrand, I., & Gantzer, C., (2018). Inactivation of murine norovirus and hepatitis A virus on fresh raspberries by gaseous ozone treatment, *Food Microbiology*, (70), 1-6.
- Cano, C., Meneses, Y., & Chaves, B., (2019). Ozone-Based Interventions To Improve the Microbiological Safety and Quality of Poultry Carcasses and Parts: A Review. *J. Food Prot*, 82, (6), 940-947.
- Chen, L., Deng, Y., Dong, S., Wang, H., Li, P., Zhang, H., & Chu, W., (2021). The occurrence and control of waterborne viruses in drinking water treatment: A review. *Chemosphere*, (281) 130728.
- olovi, R., Puva, N., Cheli, F., Avantaggiato, G., Greco, D., Đuragi, O., Kos, J., & Pinotti, L., (2019). Decontamination of Mycotoxin-Contaminated Feedstuffs and Compound Feed. *Toxins*, 11(11):617.
- Conte, G., Fontanelli, M., Galli, F., Cotrozzi, L., Pagni, L., & Pellegrini, E., (2020). Mycotoxins in Feed and Food and the Role of Ozone in Their Detoxification and Degradation: An Update. *Toxins*; 12(8):486.
- Kadoya, S., Nishimura, O., Hiroyuki, K., & Daisuke, S., (2021). Predictive water virology using regularized regression analyses for projecting virus inactivation efficiency in ozone disinfection, *Water Research X*, 11(100093).
- Kelkar, A., & Shirke, H., (2021). IRJET- Development of a microcontroller based automated ozone gas management system for environment control in perishable food storage spaces. *irjet*, 8 (11). file:///C:/Users/HP%202021/Downloads/IRJET_DEVELOPMENT_OF_A_MICROCONTROLLER_B.pdf
- Niveditha, A., Pandiselvam, R., Prasath, V., Sushil, K., Khalid, G., & Kothakota, A., (2021). Application of cold plasma and ozone technology for decontamination of *Escherichia coli* in foods- a review. *Food Control*, 130 (108338).
- Macazana, D.M., (2013a). Formación continua: ¿hacia dónde vamos? *Investigación Educativa*, 17(2), 85-96. <https://repositorio.minedu.gob.pe/handle/20.500.12799/2943>
- Obadi, M., Zhu, K.X., Peng, W., Sulieyman, A.A., Mahdi, A.A., Mohammed, K., & Zhou, H.M., (2018). Shelf life characteristics of bread produced from ozonated wheat flour. *Journal of Texture Studies*, 49 (5) pp. 492-502.
- Pandiselvam, R., Subhashini, S., Banuu, E.P., Kothakota, A., Ramesh, S.V., & Shahir, S., (2019b). Ozone based food preservation: a promising green technology for enhanced food safety. Volume 41(1), 17-34.
- Pandiselvam, R., Thirupathi, V., Mohan, S., Vennila, P., Uma, D., Shahir, S., & Anandakumar, S., (2019a). Gaseous ozone: A potent pest management strategy to control *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Bruchidae) infesting green gran. *Journal of Applied Entomology*, 143 (4), 451-459.
- Panebianco, F., Rubiola, S., & Di Ciccio, P., (2022). The Use of Ozone as an Eco-Friendly Strategy against Microbial Biofilm in Dairy Manufacturing Plants: A Review. *Microorganisms*, 10 (1), 162.

- Porto, Y.D., Trombete, F.M., Freitas, O., de Castro, I.M., Direito, G.M., & Ascheri, J.R., (2019). Gaseous Ozonation to Reduce Aflatoxins Levels and Microbial Contamination in Corn Grits. *Microorganisms*, 7(8):220.
- Santos, A.P., Vela, R., Santos, S., Costa, N., Canniatti, S., Calori, M., & Augusto, P., (2018). Ozone treatment to reduce deoxynivalenol (DON) and zearalenone (ZEN) contamination in wheat bran and its impact on nutritional quality. *Food Additives & Contaminants*, 35(6), 1189-1199.
- Sivaranjani, S., Prasath, V., Pandiselvam, R., Kothakota, A., & Khaneghah, A.M., (2021). Recent advances in applications of ozone in the cereal industry, *LWT*, 146 (111412).
- Zhu, F. (2018). Effect of ozone treatment on the quality of grain products. *Food chemistry*, (264), 358-366.