

Capítulo 4 Ozono aplicado en Alimentos

Chapter 4 Ozone applied in Food

ARCILA-LOZANO, Cynthia Cristina*†, ORTIZ-RODRIGUEZ, Lilia y RUIZ-COLORADO, Nora Isela

Tecnologico Nacional de Mexico / Instituto Tecnológico Superior de Perote

ID 1^{er} Autor: *Cynthia Cristina, Arcila-Lozano* / **ORC ID:** 0000-0002-9979-2539, **CVU CONACYT ID:** 239113

ID 1^{er} Coautor: *Lilia, Ortiz-Rodríguez* / **ORC ID:** 0000-0002-5548-0078, **CVU CONACYT ID:** 291742

ID 2^{do} Coautor: *Nora, Ruiz-Colorado* / **ORC ID:** 0000-0001-8994-7943, **CVU CONACYT ID:** 204018

DOI: 10.35429/H.2022.1.36.44

C. Arcila, L. Ortiz y N. Ruiz

*cynthia.arcila@perote.tecnm.mx

L. Ortiz, F. Sandoval, G. Morales y C. Arcila (VV. AA.). Tecnologías Emergentes Aplicadas en Alimentos. Handbooks-TI-©ECORFAN-Mexico, 2022.

Abstract

Ozone is an allotropic form of oxygen; it is a molecule with oxidizing properties and therefore it has been used as a sanitizer agent. The use of ozone in the food industry to reduce and eliminate microorganisms has been tested in meat products, fish and shellfish, fruits and vegetables, grains, liquid foods and hydrocolloids; in all cases the elimination of the microorganisms has been observed, it has also been effective in eliminating odors without affecting organoleptic characteristics of foods, by the other hand an increase in shelf life and stability of products was recorded. In some studies, ozone has been shown to help control pests and insects, which restrict the use of chemical agents with a residual effect. The use of other disinfectant agents can present advantages over ozone, however, the effectiveness is related to the concentration used and the contact time, which can cause corrosion on the surface of equipment, in addition in some cases there is a residual effect. Ozone degrades rapidly and has no residual effect, which represent an advantage over the use of other substances.

Ozone, Food, Bactericide

Resumen

El ozono es una forma alotrópica de oxígeno; es una molécula con propiedades oxidantes por lo que ha sido utilizada como agente desinfectante. El uso del ozono para reducir y eliminar microorganismos en la industria alimentaria se ha probado en productos cárnicos, pescados y mariscos, frutas y verduras, cereales, alimentos líquidos e hidrocoloides; en todos los casos se observó la eliminación de los microorganismos, también ha sido efectivo en la eliminación de olores sin afectar las características organolépticas de los alimentos, registrando además un incremento en la vida útil y en la estabilidad de los productos. En algunos estudios se ha demostrado que el ozono ayuda al control de plagas e insectos, restringiendo así el uso de agentes químicos con efecto residual. El uso de otros agentes desinfectantes puede presentar ventajas sobre el ozono, sin embargo, la efectividad está relacionada con la concentración utilizada y el tiempo de contacto, lo que puede provocar corrosión en la superficie de los equipos, además en algunos casos existe un efecto residual. El ozono se degrada rápidamente y no tiene efecto residual, lo que representa una ventaja frente al uso de otras sustancias.

Ozono, Alimentos, Bactericida

4.1. Introducción

Según datos de la FAO, el número de personas afectadas por el hambre a nivel mundial ha ido aumentando lentamente desde 2014; es por ello que garantizar la producción y distribución de alimentos se convierte en un tema de suma importancia. A través del desarrollo y aplicación de nuevas tecnologías se puede garantizar la inocuidad de los alimentos sin detrimento de su calidad nutricional, entre ellas la aplicación de ozono.

El ozono es una forma alotrópica del oxígeno, es una molécula triatómica más reactiva que el oxígeno diatómico. Presenta propiedades oxidantes y por lo tanto ha sido empleado como agente desinfectante de agua. El uso de ozono en alimentos constituye una tecnología con gran potencial de aplicación ya que diversos estudios destacan el beneficio en la eliminación de agentes patógenos en productos alimenticios manteniendo características organolépticas de los mismos. Existen diversos métodos para producir ozono: por método de plasma o descarga corona, por radiación ultravioleta y por electrólisis.

El ozono en la industria alimentaria ha sido utilizado para reducir y/o eliminar microorganismos en productos cárnicos, pescados y mariscos, frutas y vegetales, granos, alimentos líquidos e hidrocoloides; en todos los casos se observó la eliminación de los microorganismos presentes, además ha sido efectivo en la eliminación de olores sin afectar las características de los productos y en algunos casos se registró un aumento en la estabilidad y prolongación de la vida de anaquel de los alimentos. En algunos estudios se ha demostrado que el ozono ayuda en el control de plagas e insectos, lo que contribuye a restringir el uso de agentes químicos con efecto residual. El uso de otros agentes desinfectantes puede presentar ventajas sobre el ozono en la facilidad de su aplicación y costos bajos, sin embargo, la eficacia está relacionada a la concentración empleada y el tiempo de contacto, lo que puede provocar corrosión en la superficie de equipos, además en algunos casos se presenta efecto residual.

El ozono se degrada rápidamente y no presenta efecto residual, lo que desde el punto de vista ambiental, constituye una ventaja sobre el uso de otras sustancias.

En el presente capítulo se describen las propiedades del ozono, su estructura molecular y su poder antioxidante; los métodos de generación de ozono mencionando las características generales de dichos métodos; la aplicación de ozono en la industria de alimentos, abordando estudios realizados en diferentes productos tales como frutas y verduras, granos, carnes y mariscos, alimentos líquidos, hidrocoloides en donde se describe el efecto obtenido por la aplicación del ozono en procesos de almacenamiento, limpieza y desinfección, empacado y conservación; se incluye también el uso de ozono en el tratamiento de agua así como sustituto de pesticidas en la producción y almacenamiento de alimentos; finalmente se presenta el impacto ambiental del uso de ozono comparado con otros agentes desinfectantes tradicionales.

4.2. Ozono y sus propiedades

El ozono es una forma alotrópica del oxígeno, caracterizada químicamente por la forma triatómica del oxígeno. El ozono es un cincuenta por ciento más denso que el oxígeno, es un gas incoloro con olor acre, con peso molecular de 48 μm . A diferencia del oxígeno que respiramos el ozono es inestable y es un fuerte oxidante y un potente agente desinfectante, aunque es de uso reciente en países como Estados Unidos, ha sido utilizado en varias ciudades europeas por largo tiempo; la radiación ultravioleta y los métodos de Descarga Corona (CD), han sido utilizados para la generación de ozono. Existen numerosas aplicaciones del uso del ozono en la industria alimenticia como, por ejemplo: desinfección de equipos, tratamiento de alimentos, reúso de agua, tratamiento de frutas y vegetales, así como también el mejoramiento de la vida de anaquel en los productos (Prabha, 2015; Chiattonne, 2021).

Existen numerosos estudios en el tratamiento de agua que indican que el ozono es el desinfectante más efectivo respecto a otras alternativas ya que posee un elevado poder oxidante y germicida, es inestable tanto en agua como en el aire y se descompone a oxígeno en un tiempo corto sin generar subproductos de reacción indeseables. Estos aspectos favorecen su empleo en las industrias alimentaria y farmacéutica (Bataller-Venta, *et al.*, 2010).

Esto lo convierte en una gran alternativa verde para varias aplicaciones en los procesos de alimentos, debido a los componentes residuales y la reacción con los productos, por ejemplo, en la reacción de ozono con productos tales como aldehídos, cetonas y ácidos carboxílicos no se han reportado consecuencias adversas a la salud, el ozono también es considerado como una alternativa para clorar, previniendo la formación de componentes halógenos orgánicos. Sin embargo, el uso del ozono en la industria alimentaria depende de las propiedades fisicoquímicas de los alimentos; está ganando impulso en el procesamiento de alimentos debido a su alto poder de desinfección y rápida degradación sin dejar residuos en los alimentos tratados. Estas propiedades intrínsecas permiten la ingesta de alimentos ozonizados sin riesgos para la salud (O'Donnell, 2012; Morais *et al.*, 2015).

El ozono fue descubierto en 1839 por Schönbein, quien observó que la electrólisis del agua era producida por un gas oloroso, el ozono fue usado comercialmente como un desinfectante para agua purificada en Francia cerca de los años 1900s, actualmente existen muchas plantas de tratamiento de agua purificada que utilizan el ozono. En el año 2001 fue reconocido por la FDA como un agente microbiano que puede ser utilizado para los alimentos (O'Donnell *et al.*, 2012). El ozono es formado fotoquímicamente en la atmósfera, el aire es una mezcla gaseosa compuesta por 78% de nitrógeno, 21% oxígeno y 1% de diferentes gases en donde encontramos al ozono, el cual para formarse necesita altos arcos de voltajes eléctricos. El ozono es una forma alotropa de oxígeno que oxida muchos compuestos orgánicos (Pandiselvam *et al.*, 2019).

La alta reactividad del ozono se debe a su estructura molecular, la cual contiene 3 átomos de oxígeno; en cada capa de valencia tiene un átomo de oxígeno, dos átomos de oxígeno se encuentran apareados ocupando el orbital 2p, esto significa que durante la formación los dos átomos de oxígeno son combinados con el oxígeno central reestructurado en el planos sp^2 formando un ángulo de $116^\circ 49'$. El ozono es un oxígeno triatómico formado por la adición de tres radicales libres de una molécula de oxígeno, el oxígeno es un gas azul en temperatura ordinaria cuando es formado por aire seco, pero incoloro cuando es generado con una alta pureza de oxígeno, cuando es generado para concentraciones normales de producción incluyendo el procesamiento de alimentos el color no es perceptible (O'Donnell *et al.*, 2012).

El ozono es un gas tóxico el cual depende de la cantidad y tiempo de concentración. Un corto periodo de exposición va en 0.1-1.0 ppm, algunos síntomas que se presentan al exponerse a esta concentración son dolores de cabeza, náuseas y ojos irritados. Una alta exposición de niveles en 1-100 ppm provoca síntomas más severos.

4.3. Generación de ozono

El ozono es un estado alotrópico del oxígeno (O₂), generado por el paso de la corriente eléctrica a través de un conductor, preferentemente metálico. Para emplearlo como agente oxidante se han desarrollado una gran variedad de equipos productores que combinan líquidos con la corriente de aire (20% de O₂ gaseoso) o de oxígeno ozonizado, esto provoca la oxidación de los materiales contenidos en los líquidos (Leiva Pérez, *et al.*, 2018).

Existen varias formas de producir ozono al igual que muchas aplicaciones tales como: en la industria de alimentos, en el tratamiento de agua, albercas, acuarios, tratamientos de aguas municipales y otras aplicaciones comerciales. En este caso nos centraremos en el uso en alimentos. Para producirlo comercialmente se utilizan tres procesos: descarga corona (CD), radiación UV y electrólisis (Prabha *et al.*, 2015).

4.3.1 Producción de ozono por Descarga Corona (CD) o Técnica de Plasma

El generador de ozono de descarga corona, funciona haciendo pasar el gas de alimentación, constituido por aire seco, oxígeno puro o mezclas de ellos, entre dos electrodos muy cercanos sometidos a una alta diferencia de potencial nominal (~10 kV). Cuando el gas es parcialmente ionizado se presenta una descarga que resulta en un característico brillo violeta (Prabha *et al.*, 2015).

Los generadores de CD están clasificados en tres tipos: baja frecuencia (50-10HZ), frecuencia media (100-1000HZ), y alta frecuencia (mayor a 1000HZ).

4.3.2 Producción de Ozono por medio de Radiación Ultravioleta

Este mecanismo de producción fotoquímica de ozono es similar al que ocurre en la estratósfera, la radiación UV de corta longitud de onda forma átomos de oxígeno por foto disociación de O₂ que reaccionan con otras moléculas de oxígeno para formar ozono. Por este mecanismo teóricamente se formaría un 2% de ozono, pero en la práctica este valor es del 0.5% debido a que las lámparas de mercurio de baja presión, además de la radiación de 185 nm que produce ozono, generan radiaciones de 254 que lo destruye. El ozono producido en los generadores UV es de baja concentración y esto constituye una limitación para aplicarlo en el tratamiento de agua, pero resulta efectivo en el tratamiento de aire (Prabha *et al.*, 2015).

4.3.3 Producción de ozono por electrólisis

La electrólisis del agua puede producir ozono, pero el rendimiento es bajo y el costo es mayor que el del proceso por descarga corona. Sin embargo, de forma comercial se utilizan pequeñas unidades electrolíticas en purificadores de agua y en las industrias farmacéutica y electrónica (Prabha *et al.*, 2015).

4.4 Ozono en la industria alimentaria

El ozono es un fuerte oxidante y potente agente desinfectante. Los desinfectantes deben garantizar la seguridad y la calidad en la industria de alimentos; sin embargo, algunos de estos agentes son ineficientes a altos valores de pH o contra algunos microorganismos formadores de esporas (Prabha *et al.*, 2015).

El agua empleada para la producción de alimentos es muy importante debido a que se considera uno de los puntos críticos de control al emplearse como ingrediente o en el enjuague final al higienizar el equipo. El desinfectante más extendido es el cloro, seguido de las cloraminas, el dióxido de cloro, el ozono y la luz UV. El cloro es barato y el control de los niveles libres residuales es sencillo. Para el saneamiento del equipo se utilizan hasta 200 mg/l, para evitar la corrosión, a menudo se utilizan concentraciones menores de 50–100 mg/l y un tiempo de contacto más prolongado (10–20 minutos).

Las cloraminas son más estables, pero menos bactericidas y mucho menos eficaces con respecto a los parásitos y virus, que el cloro. El dióxido de cloro es más microbicida que el cloro a pH alto, pero existe una preocupación con respecto a los productos residuales. En el caso del ozono y de la luz UV, no hay productos residuales que controlar. El ozono parece ser muy eficaz con respecto a los protozoarios. La eficiencia de la desinfección UV disminuye considerablemente si existe turbidez o materia orgánica dispersa y a menudo se han encontrado problemas debido a la falta de conservación de la lámpara (FAO, 2020).

El ozono tiene propiedades bactericidas, por esta razón es considerado como un reemplazo para el cloro en la sanitización de agua y también para desinfectar equipos en la industria alimentaria, el ozono puede descomponer rápidamente radicales libres los cuales atacan componentes orgánicos. Otro beneficio es que no deja componentes residuales y al mismo tiempo libera oxígeno, lo que lo convierte en un potente agente oxidante que inactiva los microorganismos en solución acuosa (O'Donnell *et al.*, 2012).

La aplicación de ozono es una tecnología comercial aceptada en la industria de los alimentos, usada en la irrigación y tratamiento de suelos, en cultivos para evitar el uso de químicos nocivos, en el control de olores, dentro de las plantas procesadoras en el tratamiento de agua y aire, en la desinfección, empacado, almacenamiento y tratamiento de residuos (Prabha *et al.*, 2015).

4.4.1 Uso de ozono en alimentos líquidos

Estudios microbianos han demostrado que al utilizar ozono en alimentos se reduce la cantidad de patógenos asociados a jugos de frutas y verduras. En algunos casos debido a la oxidación, el ozono en puede causar deterioro en los alimentos cuando es aplicado por largos periodos y grandes cantidades de ozono. Estudios revelaron que el tratamiento de ozono (7 g/h) en cidra de manzana no tiene cambios perjudiciales en la calidad de este (O'Donnell *et al.*, 2012).

4.4.2 Uso de ozono en alimentos en grano

Los cereales en grano son el componente principal de la dieta humana en todo el mundo. Entre los cereales, la producción de trigo es la tercera más alta a nivel mundial (Keskin y Ozkaya, 2015). El control de plagas como insectos, microorganismos, hongos y bacterias que se desarrolla en los graneros por el almacenamiento puede causar un daño considerable al igual que desarrollan una gran resistencia al uso de insecticidas.

O'Donnell *et al.*, (2012), mencionan que el ozono puede ser utilizado en la fumigación de granos de maíz como alternativa en lugar de la aplicación de químicos, pues se demostró un incremento de mortalidad en los insectos.

Solano, *et al.*, en 2017, mencionan que la generación de ozono puede hacerse de forma localizada por medio del método corona, constituyendo una ventaja al eliminar la manipulación directa y el almacenamiento de envases de insecticidas. Además no genera resistencia en los insectos ni afecta la calidad de los granos, permite eliminar fluoruros y degradar moléculas tóxicas.

Los granos durante su almacenamiento son muy susceptibles a una gran cantidad de insectos tales como *Tribolium*, *Sithophilus* y polillas, los cuales causan un daño considerable en los granos y han desarrollado una gran resistencia frente a los pesticidas químicos. El ozono puede resultar una interesante alternativa para la fumigación en comparación con el desarrollo de pesticidas químicos (O'Donnell *et al.*, 2012).

4.4.3 Uso de Ozono en Frutas y Vegetales

El ozono posee poder germicida en estado gaseoso y acuoso inactivando microorganismos al actuar sobre enzimas intercelulares, materiales nucleicos y componentes de envoltura de las células. En la industria de frutas y hortalizas se aplica como tratamiento poscosecha en la etapa de lavado y durante el almacenamiento. Las principales aplicaciones del ozono en las frutas y vegetales son inactivación de patógenos y destrucción de pesticidas y residuos químicos.

Puede emplearse ozono en el almacenamiento en frío en concentraciones muy bajas controlando crecimiento de bacterias y hongos en el aire y en las superficies de los vegetales, actúa también como agente deodorizante. A través de numerosos estudios se ha comprobado que el ozono retrasa en un 20 a 30% la maduración de los frutos debido a su acción sobre el metabolismo del etileno prolongando la vida útil de los productos, adicionado continuamente o intermitentemente en un almacén previene el deterioro de los vegetales según el tipo de microorganismos asociados. El poder oxidativo del ozono es 1.5 veces mayor que el cloro y es efectivo para un espectro más amplio de microorganismos en comparación con otros desinfectantes como dióxido de cloro e hipoclorito de calcio (Skog, 2001; O'Donnell *et al.*, 2012, Andrade-Cuvi *et al.*, 2018).

En 2010, Bataller-Venta *et al.*, estudiaron el tratamiento poscosecha de frutas y hortalizas con ozono y concluyeron que la aplicación bajo concentraciones relativamente bajas y tiempos de contacto cortos, permite la inactivación de microorganismos, también garantiza la calidad del producto incrementando su resistencia al deterioro. El efecto germicida del ozono se incrementa cuando aumenta la humedad relativa, el tiempo de contacto y la concentración del ozono. Además, el mecanismo de acción es en la superficie, la efectividad depende de la temperatura y el pH del medio, del tipo de producto, el grado de contaminación y tipo de microorganismo.

4.4.4 Uso de Ozono en hidrocoloides

Los hidrocoloides tales como la gelatina, almidón, pectina y varios tipos de goma se utilizan para en el sector de alimentos, la función principal de un hidrocoloide es espesar el producto y lograr una textura viscosa en presencia de agua, estas funciones están relacionadas con sus propiedades estructurales. Existen varios métodos para modificar la estructura de los hidrocoloides para mejorar sus propiedades, tal es el caso de químicos utilizados en los almidones y gelatinas, sin embargo, varios estudios han demostrado que el ozono puede ser utilizado para modificar o mejorar propiedades en varios hidrocoloides. Tal es el caso del almidón que es modificado para mejorar sus propiedades para cocinarlo ya que su viscosidad cambia si es calentado, cortado o congelado por periodos largos, existen varios tratamientos químicos para evitar cambio en sus propiedades. Varios estudios han empleado ozono en lugar de químicos y han logrado mejor efecto (O'Donnell *et al.*, 2012).

El proceso de ozonificación puede ser un método alternativo para romper enlaces cruzados del colágeno para incrementar la fuerza de su estructura sin la ayuda de enzimas o químicos. Otro ejemplo es la pectina extraída de la cáscara de cítricos o la pulpa de manzana, la pectina es utilizada en numerosos productos alimentarios tales como yogurt, gelatina goma de mascar. Para ser utilizada en alimentos, la pectina debe ser despolimerizada, para ello se utiliza la poligalacturonasa con la finalidad de modificar la viscosidad, en este caso el ozono realiza la misma función (O'Donnell *et al.*, 2012).

Se ha estudiado la aplicación de ozono en harinas de cereales, principalmente en harina de trigo; dichos estudios dan como resultado un producto final con mayores atributos de calidad, entre ellos la disminución de microorganismos después del tratamiento y durante el almacenamiento. En 2020, Arancibia Soria y Chuquilla Toaquiza, reportaron efectividad antimicrobiana del ozono durante los primeros días de evaluación (4 y 30 días de almacenamiento) contra microorganismos nativos en mezclas farináceas (*S. aureus*, mesófilos aerobios, termófilos y enterobacterias), a excepción de mohos y levaduras.

La aplicación de 200 ppm de ozono gaseoso presentó mejores resultados que 20 ppm en la reducción microbiana durante los días de almacenamiento en las mezclas farináceas del estudio. Sin embargo, se observó una afectación en las propiedades físico químicas como pH, acidez, color y humedad a concentraciones de 20 y 200 ppm de ozono gaseoso durante los días de almacenamiento.

4.4.5 Ozono en el procesamiento de carnes y mariscos

Los productos cárnicos contienen algunos patógenos como *E. coli*, *Salmonella* y *Listeria*; por lo cual la industria alimentaria ha adoptado nuevas estrategias para combatir estos patógenos. El ozono ofrece características únicas con respecto a las propiedades antimicrobianas, debido a que se descompone rápidamente en el aire por lo cual es una ventaja en la industria alimentaria.

Prabha *et al.*, en 2015, mencionan que se ha demostrado la efectividad del ozono en plantas procesadoras durante el empaquetado y sellado de los alimentos. Se menciona también el efecto contra la contaminación de superficies que se encuentran generalmente contaminadas. Sugieren que la combinación de tratamientos como el lavado con agua ozonizada con irradiación potencia la destrucción de patógenos transmitidos por alimentos.

Chacón Barrantes, D. (2019) evaluó la eliminación de *Listeria spp* con aplicación de ozono en pisos en una industria de embutidos, comparó la eficacia del amonio cuaternario contra ozono, encontrando que la aplicación del amonio no influye significativamente en la reducción del microorganismo; por otro lado si se apreciaron diferencias significativas en la eliminación de *Listeria spp.* con la aplicación de ozono durante 5 minutos alcanzando 16.5 ppm, por lo que concluye que el ozono es una alternativa eficaz de desinfección para la eliminación de *Listeria spp.* en pisos.

Por otro lado, los mariscos constituyen la principal fuente de proteína en algunos países como por ejemplo Japón, por lo cual existen varias técnicas tradicionales para la conservación de este tipo de alimentos tales como la salmuera y el proceso de secado. Sin embargo, los avances tecnológicos tales como el proceso de congelación y tratamiento con ozono ayudan a que estos alimentos tengan una mayor vida de anaquel y pueden ser exportados a otras regiones lejanas (O'Donnell *et al.*, 2012).

Tabla 4.1 Investigaciones del efecto antimicrobiano del ozono

Producto	Técnica	Resultado	Referencia
Jugo de Limón	Gas Ozono (0.3ppm por 4 semanas)	Reducción de la espora <i>P. italicum</i> .	Palou <i>et al.</i> , 2001
Durazno	Ozono atmosférico almacenado (0.3ppm por 4 semanas)	Inhibición del crecimiento de esporas.	Palou <i>et al.</i> , 2001
Fresa	Almacenado por 3 días a 2°C y 1.5 ppm de ozono	Crecimiento lento de micelio.	Nadas <i>et al.</i> , 2003
Manzana	Burbujeo de ozono, y agua por 3min	Decremento en el conteo de <i>E.coli</i> .	Achen <i>et al.</i> , 2001
Lechuga	Remojada en agua con ozono 5ppm	Reducción de bacterias aerobias.	Koseki <i>et al.</i> , 2001
Jugo de naranja	Ozono bombeado dentro del jugo	Reducción del ciclo de <i>E.coli</i> .	Angelino <i>et al.</i> , 2003
Queso	Ozono gaseoso en 3 diferentes niveles	Reducción de hongos en la superficie.	Serra <i>et al.</i> , 2003
Jugo de limón	Gas ozono (0.1-2g/m3) en 4.5°C-10°C	Decremento de <i>P. digitatum</i> .	Palou <i>et al.</i> , 2001
Cebada	Ozono Gaseoso	Reducción del crecimiento de esporas.	Allen <i>et al.</i> , 2003
Maíz	Ozono gaseoso	Reducción de crecimiento de hongos.	Kells <i>et al.</i> , 2001
Cebolla	Ozono gaseoso	Reducción de germinación de esporas.	Vijayanandraj <i>et al.</i> , 2006
Chicharos	3.85g/m3 de ozono gaseoso por 30 minutos	Reducción de hongos.	Ciccarese <i>et al.</i> , 2007
Tomate	Lavado con agua y ozono (3.8ppm por 10min)	Inactivación de espora <i>B. cinerea</i> .	Ogawa <i>et al.</i> , 1990
Mora	Almacenada por 12 días a 2°C en ozono	Supresión del desarrollo de hongos por 12 días.	Barth <i>et al.</i> , 1995

Fuente de consulta: Prabha *et al.*, 2015

4.4.6. Ozono para el tratamiento de agua

El agua es un factor muy importante durante el procesamiento de alimentos, la calidad del agua depende de muchos factores por ejemplo como ha sido tratada y como ha sido distribuida. Es un requisito que el agua no tenga contaminantes que puedan ser dañinos a la salud humana, de tal manera que las etapas por las que pase el agua deben garantizar que es segura y potable, para ser utilizada en la industria alimentaria (O'Donnell *et al.*, 2012).

El ozono tiene funciones principales para el tratamiento del agua como biocida y como oxidante de componentes contaminantes orgánicos e inorgánicos tales como el hierro, manganeso, pesticidas y componentes fenólicos, este tratamiento hace que el agua se purifique (O'Donnell *et al.*, 2012).

4.5 Eficacia del ozono como pesticida

La aplicación de insecticidas ha sido el método más usado para el control de plagas que afectan cereales y leguminosas; los insectos, hongos y roedores son los más comunes particularmente cuando el almacén no reúne las condiciones adecuadas. Sin embargo, estas sustancias resultan altamente tóxicas y ponen en riesgo la salud de los operadores agrícolas y de los consumidores; además existe un efecto negativo en los sistemas biológicos al generarse resistencia en los organismos. Para contrarrestar estos efectos, se han buscado alternativas como el uso del ozono, el cual no afecta la salud (Solano *et al.*, 2017).

La ozonificación en combinación con carbón activado a través del proceso de absorción se obtiene la remoción de pesticidas del 90%, los autores concluyen que la oxidación es el método más eficiente a comparación de otras técnicas para la degradación de pesticidas (O'Donnell *et al.*, 2012).

4.6 Ozono en la industria alimentaria: su impacto ambiental

El ozono es una alternativa ecológica para el procesamiento de alimentos, ya que se descompone rápidamente y no deja residuos tóxicos, tiene una vida media de 12 horas ya que puede transformarse o decaer en dos moléculas de oxígeno rápidamente sin dejar residuos (Shah *et al.*, 2011; Solano *et al.*, 2017). El ozono como alternativa para clorar y desinfectar está basada en la eficacia biocida, también tiene una ventaja ya que es amigable con el medio ambiente y reduce los costos ambientales de las empresas, también facilita el cumplimiento de las regulaciones del medio ambiente. Las técnicas ecológicas como el ozono (O₃) han ganado atención, debido a su importante actividad desinfectante y antimicrobiana (Pandiselvam, 2017).

El proyecto OZONECIP que fue fundado por un programa en los Estados Unidos que evaluó el uso del ozono como un poderoso desinfectante para maquinaria y superficies sanitarias, así como las ventajas ambientales, considerado la mejor tecnología disponible para limpieza y desinfección en la industria alimentaria (Pascual, 2007).

4.7 Conclusiones

La aplicación de ozono en procesos que se desarrollan dentro de la industria alimentaria constituye una alternativa para reducir o eliminar la presencia de microorganismos patógenos que ponen en riesgo la salud de los consumidores, de igual manera puede presentar efecto en microorganismos que desarrollan deterioro de las características sensoriales de los alimentos, lo cual ayuda a disminuir pérdidas por detrimento de la calidad de los productos. Por otro lado, la existencia en el mercado de equipos generadores de ozono convierte a esta tecnología en una opción cada vez más viable en la industria de los alimentos.

Finalmente, el ozono presenta algunas ventajas importantes sobre otros métodos de desinfección, ya que no solo es importante considerar la inactivación de microorganismos, la eliminación de olores y el aumento en la vida de anaquel, sino también el efecto residual que desde el punto de vista ambiental debe ser uno de los factores que las empresas hoy en día consideren en las tecnologías aplicadas en sus procesos.

4.8 Referencias

Andrade-Cuvi, M.J., Guijarro-Fuertes, M., Moreno-Guerrero, C., Jara-Gómez, S., Narváez-López, P., Concellón, A. (2018). Efecto del tratamiento con ozono gaseoso sobre la calidad fisicoquímica y capacidad antioxidante de naranjilla (*Solanum quitoense* Lam). *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 19(2). ISSN: 1665-0204. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81357541004>

Arancibia Soria, M. Y., Chuquilla Toaquiza, P.M., (2020). Efecto del ozono en la vida útil de pre mezclas farináceas, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología. Carrera de Ingeniería en Alimentos. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/30796>

- Bataller-Venta, M., Santa Cruz-Broche, S., García-Pérez, M.A. (2010). El ozono: una alternativa sustentable en el tratamiento poscosecha de frutas y hortalizas. *Revista CENIC. Ciencias Biológicas*, 41(3), pp 155-164. <https://www.redalyc.org/pdf/1812/181220593001>
- Chacón Barrantes, D. (2019). Evaluación de la aplicación de ozono en pisos para la eliminación de *Listeria SPP* en una industria de embutidos. Alajuela, Costa Rica. <http://repositorio.utn.ac.cr/handle/123456789/312>
- Chiattonne, P. V., Torres, L. M., & Zambiasi, R. C. (2008). Application of ozone in industry of food/Aplicacao do ozonio na industria de alimentos. *Alimentos e Nutricao* [Brazilian Journal of Food and Nutrition], 19(3), 341. <https://link.gale.com/apps/doc/A202074074/PPNU?u=uan&sid=bookmark-PPNU&xid=1fa081a6>
- FAO. (2020). Aseguramiento de la calidad de los productos pesqueros. <http://www.fao.org/3/t1768s/t1768s08.htm>
- Keskin, S., & Ozkaya, H. (2015). Effect of storage and insect infestation on the technological properties of wheat. *CyTA-Journal of Food*, 13(1), 134–139. <https://doi.org/10.1080/19476337.2014.919962>
- Leiva Pérez, A., Barre Zambrano, R. L., Alcívar Pinargote, S. S., Solórzano Solórzano, C., & Andrade Candell, J. A. (2018). Eliminación de materia orgánica en aguas residuales textiles mediante la aplicación de ozono. *Revista Iberoamericana Ambiente & Sustentabilidad*, 1(2), 76-87. Disponible en: <https://doi.org/10.46380/rias.v1i2.31>
- Morais, M. L., Alvinhao, J. E. O., Franco, D. V., Silva, E. D. B., & Pinto, N. A. V. D. (2015, September). Application of ozone aiming to keep the quality of strawberries using a low cost reactor/Aplicacao de ozonio visando manter a qualidade dos morangos com reator de baixo custo. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 37(3), 559+. <http://dx.doi.org/10.1590/0100-2945-181/14>
- O'Donnell, C., Tiwari, B.K., Cullen, P. J., Rice, R.G. (2012). *Ozone in food processing*. 1st ed., pp. 19, 20,21,81,82,103,104,123, 127. <https://ebookcentral.proquest.com/lib/anahuac-ebooks/detail.action?docID=865193>
- Pandiselvam R., Manikantan M.R, Divya V., Ashokkumar C., Kaavya R., Anjineyulu Kothakota, Ramesh S.V. (2019) Ozone: An Advanced Oxidation Technology for Starch Modification. *Ozone: Science & Engineering* 41:6, pages 491-507. <https://doi.org/10.1080/01919512.2019.1577128>
- Pascual, A., Llorca, I., & Canut, A. (2006). Use of ozone in food industries for reducing the environmental impact of cleaning and disinfection activities, *Trends in Food Science & Technology*, Volume 18, Supplement 1, pp. S29-S35. <https://doi.org/doi:10.1016/j.tifs.2006.10.006>
- Prabha, V., Barma, RD., Singh, R. & Madan, A. (2015) *Ozone Technology in Food Processing: A Review*. *Trends in Biosciences* 0974-8. 6, pp. 4031-4047. <https://www.researchgate.net/publication/305399037>
- Shah, N.N.A.K., Rahman, R.A., Chuan, L.T., & Hashim, D.M. (2011). Application of gaseous ozone to inactivate *Bacillus cereus* in processed rice. *Journal of Food Process Engineering*, 34(6), 2220–2232. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.2009.00566.x>
- Skog, and. (2001). Effect of ozone on qualities of fruits and vegetables in cold storage. *Canadian Journal of Plant Science*. 81. 773-778. 10.4141/P00-110. <https://doi.org/10.4141/P00-110>
- Solano, Y., Triana, J., Ávila, R., Hernández, D., Morales, J. (2017). Efecto del ozono sobre adultos del gorgojo del cigarrillo, *Lasioderma serricorne* (F.) (Coleoptera: Anobiidae). *Idesia (Arica)*, 35(2), 41-47. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292017005000007>