

EMPLEO DE AGUA OZONIZADA EN EL BENEFICIO POSTCOSECHA DE LA FRUTABOMBA (*Carica papaya* L.)

José E. González Ramírez^{1*}, Erenis Castro Medina¹, Eliet Veliz Lorenzo², Rosa Elena González Vázquez¹ y Daniel Rodríguez Pérez¹.

¹ Instituto de Investigaciones de Viandas Tropicales (INIVIT). Apartado 6, Santo Domingo, CP: 53 000, Villa Clara, Cuba.

² Centro de Investigaciones de Ozono (CIO). Ave. 15 y calle 230, Siboney, Playa, C. Habana, Cuba.

Autor para la correspondencia: diagnostico@inivit.cu

RESUMEN

La papaya (*Carica papaya* L.) presenta varios problemas fitosanitarios, siendo los hongos un grupo muy importante. Muchos de ellos son causantes de enfermedades foliares y del fruto, que se manifiestan en la etapa de campo y se acentúan en el almacenamiento. Durante los tratamientos de beneficio poscosecha de las frutas se emplean fungicidas químicos que resultan contaminantes del medio por su alta residualidad, se acumulan en los suelos e incluso llegan hasta el manto freático. La agroindustria internacional dirige sus investigaciones al desarrollo de tecnologías y a la aplicación de desinfectantes efectivos para el lavado y la conservación de los productos hortícolas y frutícolas. El ozono, por su alto poder oxidante y descomposición espontánea a oxígeno, se ha convertido en un agente potencial para la seguridad microbiológica y la calidad de estos productos. El etileno juega un importante papel durante el proceso de maduración de las frutas. En el presente trabajo se demuestran los efectos del ozono disuelto en agua con los del fungicida comercial Azoxistrobina en la etapa de beneficio poscosecha de la papaya en el INIVIT, por lo que puede resultar una alternativa al uso del fungicida comercial. Se determina el efecto de retardo en la maduración técnica de los frutos debido a la acción del ozono sobre el etileno de la fruta.

Palabras clave: hongos, ozono, papaya, tecnología poscosecha.

USE OF OZONATED WATER IN THE POST-HARVEST BENEFIT OF PAPAYA (*Carica papaya* L.)

ABSTRACT

Papaya (*Carica papaya* L.) presents several phytosanitary problems, being the fungi a very important group. Many of them are responsible for foliar and fruit diseases, which are manifested in the field stage and are accentuated in storage. During post-harvest treatment of fruits, chemical fungicides are used that are contaminants of the medium due to their high residuality, they accumulate in the soil and even reach the water table. The international agroindustry directs its investigations to the development of technologies and the application of effective disinfectants, for the washing and the conservation of the horticultural products and fruit trees. Ozone, because of its high oxidizing power and spontaneous decomposition to oxygen, has become a potential agent for microbiological safety and the quality of these products. Ethylene plays an important role during the ripening process of fruits. In the present work, the effects of ozone dissolved in water with those of the commercial fungicide Azoxystrobin are demonstrated in the post-harvest stage of the papaya at INIVIT, which may be an

alternative to the commercial fungicide. The effect of delay in the technical maturation of fruits is determined due to the action of ozone on the ethylene of the fruit.

Keywords: fungi, ozone, papaya, post-harvest technology.

INTRODUCCIÓN

La papaya (*Carica papaya* L.) es una planta originaria de América Central, entre el sur de México y Nicaragua y se encuentra extendida en zonas tropicales y subtropicales del planeta (Storey, 1969). En el 2011 en el mundo se sembraron 438 588 hectáreas, con una producción de 11 223 031 toneladas. En Cuba se plantaron 7 920 ha de papaya con una producción de 135 700 toneladas (FAO, 2012).

De este cultivo también se produce látex que se extrae de los frutos verdes y del tallo, el cual contiene una enzima que favorece la digestión de las proteínas. Estas características han contribuido a incrementar su cultivo en varias regiones cubanas (MINAG, 2012).

La papaya presenta varios problemas fitosanitarios provocados principalmente por enfermedades virales, fúngicas y procariotas, que causan el bajo rendimiento y afectan la calidad de los frutos (Cabrera, 2014).

Las enfermedades virales tienen gran importancia en papaya. Numerosos autores coinciden al referir a este grupo como el causante de los mayores daños, que pueden llegar a ocasionar la pérdida total del cultivo (Noa *et al.*, 2008; Rodríguez y Sánchez, 2009; Hernández-Castro *et al.*, 2010; Cabrera, 2014; Ventura *et al.*, 2014).

Otro grupo importante de microorganismos patógenos que afectan este cultivo son los hongos. Muchos de ellos son causantes de enfermedades foliares y del fruto, que se manifiestan en la etapa de campo y se acentúan durante el almacenamiento. Dentro de ellos se pueden mencionar: *Colletotrichum gloesporioides* (Penz) Sacc., *Cercospora papayae* Hansf., *Rhizoctonia* sp., *Oidium caricae* F. Noack, *Cladosporium* sp., *Phomopsis caricae-papayae* Petrak. (Pérez y González, 2007).

Durante los tratamientos de beneficio poscosecha de las frutas se emplean fungicidas químicos que resultan contaminantes del medioambiente por su alta residualidad, se acumulan en los suelos e incluso llegan hasta el manto freático (Kyanko *et al.*, 2010).

La agroindustria internacional dirige sus investigaciones al desarrollo de tecnologías y a la aplicación de desinfectantes efectivos, para el lavado y la conservación de los productos hortícolas y frutícolas. El ozono, por su alto poder oxidante y descomposición espontánea a oxígeno, se ha convertido en un agente potencial para la seguridad microbiológica y la calidad de estos productos (Bataller *et al.*, 2010).

El ozono es una forma alotrópica del oxígeno, y se conoce sobre todo por el papel que desarrolla en el equilibrio ecológico de la tierra, ya que absorbe la mayor parte de las radiaciones ultravioletas provenientes del sol, impidiendo a estas alcanzar directamente la superficie terrestre (Nakonechny *et al.*, 2008).

Las aplicaciones industriales del ozono explotan las propiedades antisépticas que lo han hecho indispensable en la desinfección de las aguas, ya sea para la potabilización como para el tratamiento de las aguas residuales (Veliz *et al.*, 2010).

El etileno juega un importante papel durante el proceso de maduración de las frutas (Karaca, 2007). Se ha comprobado el efecto inhibitorio del ozono sobre la molécula de etileno (Suslow, 2014), la aplicación de atmosferas ozonizadas a las frutas en almacenamiento puede retardar el proceso fisiológico de maduración (Sopher, 2007), el

óxido de etileno producido bajo estas condiciones es un inhibidor del crecimiento de microorganismos (Bautista, 2012).

A partir de la última década del siglo XX se ha extendido el uso de ozono en cámaras frigoríficas para la conservación de frutas y numerosos tipos de alimentos. Las dosis de aplicación en cámaras de frío varían de 0,6 a 1,6 mg.m⁻³, según las condiciones de temperatura, humedad y del tipo de producto por conservar (Sopher, 2007). El objetivo de este trabajo es determinar el efecto de los tratamientos con ozono en disolución acuosa sobre la vida de anaquel de la frutabomba en condiciones del INIVIT.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en las instalaciones del Laboratorio de Fitopatología y en el Área de Beneficio y Conservación del Instituto de Investigaciones en Viandas Tropicales (INIVIT) en el municipio de Santo Domingo, en el período de enero 2014 hasta diciembre 2015.

Para todos los experimentos se utilizaron frutas de la variedad 'Maradol Roja' procedentes de campos de producción del Instituto, cosechadas con una o dos rayas, envueltas en papel periódico, colocadas en cajas plásticas verticalmente con el pedúnculo hacia abajo y transportadas según indicaciones del Instructivo Técnico de la Fruta Bomba (MINAG 2012).

Para la obtención de ozono se empleó un generador de ozono AQOZO AF-201, alimentando por un flujo de oxígeno industrial (99 %), el cual a partir de la calibración de los flujos de oxígeno inyectados permite la producción de cargas de ozono hasta 50g.h⁻¹. Para la determinación de la dosis de ozono disuelto en agua se utilizó un medidor de ozono disuelto en líquidos Dulcometer DC-1 de la firma ProMinent.

Determinación del método de aplicación del ozono en la poscosecha de la papaya

Con el objetivo de determinar la forma más eficiente de aplicación de ozono se aplicaron tratamientos de lavados con agua ozonizada y aplicación de atmósferas de ozono. En todos los tratamientos se utilizaron 25 frutas las que eran lavadas previamente con detergente industrial y enjuagadas con agua corriente. Todas las aplicaciones se realizaron con las frutas húmedas y posterior al tratamiento eran colocadas en el suelo, verticalmente con el pedúnculo hacia abajo a temperatura ambiente. A partir de efectuados los tratamientos se evaluó diariamente, durante 15 días, el porcentaje de superficie dañada en cada fruta, para esto se dividió en ocho partes cada una de ellas (cada parte representa el 12,5 % de la superficie total). Como criterio de selección se determinaron las medias del porcentaje de superficie dañada a los 15 días para cada tratamiento.

Los experimentos realizados fueron los siguientes:

Experimento 1. Aplicación de lavados con agua ozonizada

Se emplearon lavados con dosis iniciales de ozono disuelto en agua de 0,5 y 1 ppm, con tiempos de 15; 30 y 60 minutos. Como reactor se empleó una caja de Policloruro de vinilo (PVC) con un volumen de agua de 80 litros donde el ozono era diseminado en el fondo y la altura de la columna líquida de 0,5 m.

Experimento 2. Aplicación de atmósferas ozonizadas

Se emplearon flujos de ozono de 20 y 40 mg.L⁻¹, con tiempos de 30 y 60 minutos. Como reactor se empleó una caja de PVC con un volumen de agua de 100 dm³ herméticamente cerradas con entrada de ozono por el fondo y diseminado por un

entrepiso agujereado. Las frutas a tratar se colocaron en la cámara superior. El gas remanente se evacuó por un orificio en la tapa del reactor conectado a un catalizador destructor de ozono suministrado por el Centro de Investigaciones de Ozono (CIO), del Centro Nacional de Investigaciones Científicas (CNIC).

Experimento 3. Comparación de los métodos de aplicación

A partir de los resultados obtenidos se repitieron los mejores tratamientos en cada caso y se utilizó como control el lavado con el fungicida comercial Amistar® que es un producto sistémico, perteneciente al grupo químico de las Estrobilurinas (Ingrediente activo Azoxistrobin: Metil--(E)-2-2-6-(2-cianofenoxi)-(pirimidin-4-iloxi-fenil-3-metoxiacrilato).

Diseño de la instalación para el escalado de los tratamientos

Para la extensión de los resultados a condiciones de producción se diseñó una instalación a partir de la división del flujo de ozono de salida. Se utilizó una conexión en T y se colocaron dos reactores en paralelo. Para garantizar la homogeneidad de los lavados de las frutas, los dos flujos de ozono resultantes eran conducidos hasta el fondo de los reactores de tratamiento donde las mangueras eran perforadas para la producción de burbujas de gas. Las mangueras se fijaron al fondo del reactor. Para establecer la homogeneidad de la concentración de ozono disuelto en agua en cada reactor, las formas evaluadas de diseminación de ozono en el fondo fueron las siguientes:

- Una línea de difusión del gas para lo que se colocó una conexión en T en el centro del fondo del reactor y con dos mangueras selladas en sus extremos.
- Dos líneas de difusión, para lo cual la manguera conectada a uno de los extremos de la conexión T recorrió dos veces la longitud del fondo del reactor y cerraba en el otro extremo de la entrada.
- Cuatro líneas similares al anterior, pero recorriendo cuatro veces el fondo.

Se determinaron los tiempos para alcanzar concentraciones de ozono disuelto en agua de 1 ppm y la homogeneidad de estas concentraciones midiéndolas en cinco puntos sobre las diagonales de la superficie del agua. (Figura 1).

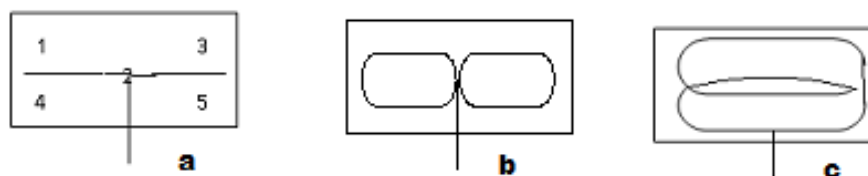


Figura 1. Esquema de las formas evaluadas de difusión de ozono en agua y puntos de medición de concentraciones. a) 1 línea b) 2 líneas c) 4 líneas.

Aplicación del ozono durante la poscosecha en condiciones de producción

En las instalaciones del Área de Beneficio y Conservación del INIVIT se evaluaron los tratamientos de beneficio a las frutas. Estos fueron los siguientes:

- Tratamiento 1 (T1). Lavado con agua.
- Tratamiento 2 (T2). Lavado con agua más detergente y lavado en reactor con concentración de ozono inicial de 1 ppm disuelto en agua durante 30 minutos.
- Tratamiento 3 (T3). Lavado con agua más detergente.

- Tratamiento 4 (T4). Lavado en reactor con concentración de ozono inicial de 1 ppm disuelto en agua durante 30 minutos.
- Tratamiento 5 (T5). Lavado con agua más detergente y lavado con fungicida comercial Amistar® concentración inicial 1 g.L⁻¹.

De cada tratamiento se realizaron cuatro repeticiones empleando 15 frutas en cada variante, después de tratadas las mismas eran colocadas en el suelo, verticalmente con el pedúnculo hacia abajo a temperatura ambiente, separados por grupos en los cuartos que se utilizan en el INIVIT para ese efecto. Se realizaron las mismas evaluaciones descritas en 3.1. Estas se realizaron hasta que toda la superficie del fruto estaba cubierta por el daño. Se estableció una curva de dinámica del avance de los daños para cada tratamiento.

Procesamiento estadístico de los resultados

El análisis estadístico de los datos de porcentaje de superficie afectada se realizó mediante un análisis de varianza de clasificación simple y la comparación múltiple de medias según el test de Tukey HSD (Lerch, 1977) con el empleo del paquete STATGRAFHICS Versión 5.1 sobre Windows XP. Para analizar estadísticamente los datos referidos a días se empleó el análisis de varianza por rangos Kruskal-Wallis, con posterior aplicación de Mann-Whitney para la comparación de las medias de rango.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Determinación del método de aplicación del ozono en la poscosecha de la papaya

Experimento 1. Aplicación de lavados con agua ozonizada

Los resultados de las comparaciones de las medias de los porcentajes de la superficie dañada después de las aplicaciones de los lavados con agua ozonizadas a los 15 días se reflejan en la Tabla 1.

Las concentraciones de ozono disuelto en agua en los reactores de tratamiento comenzaron a bajar a partir de la carga inicial hasta estabilizarse cerca de un 50 % de ese valor, mientras se mantenía el flujo constante de alimentación de ozono.

En los tratamientos con la dosis inferior los resultados fueron significativamente inferiores a los obtenidos cuando se aplicaron los tratamientos con agua ozonizada a partir de una carga inicial de 1 ppm del gas disuelto en agua, este resultado coincide con los de Bataller *et al.*, (2010) quienes señalaron la necesidad de establecer una concentración inicial para los lavados de tomates en un rango de 0,8-1 ppm y a partir de ese momento comenzar los tiempos de tratamiento.

Tabla 1. Superficie dañada a los 15 días de tratadas con agua ozonizada.

Tratamientos	Superficie dañada (%)	Media de rango
0,5 ppm 15 minutos	87,50	20,60 b
0,5 ppm 30 minutos	87,50	20,40 b
0,5 ppm 60 minutos	75,00	14,50 ab
1 ppm 15 minutos	50,00	10,50 ab
1 ppm 30 minutos	37,50	4,50 a
1 ppm 60 minutos	37,50	4,50 a
KW=		21,16**

Medias con letras diferentes en una misma columna difieren según prueba de Mann Whitney a $p < 0,05$.

En este estudio no se apreciaron diferencias en cuanto a los tratamientos de media hora y una hora, lo que indica la existencia de un tiempo de tratamiento óptimo a partir del cual no se incrementa la eficiencia de los lavados es un parámetro característico para cada uso en específico. Similares resultados reportaron Fernández *et al.*, (2010) para quienes en la descontaminación de microorganismos específicos existe un umbral de tiempo de tratamiento a partir del cual no se obtienen resultados superiores.

Edwards-Brandt *et al.*, (2009) también encontraron que en tratamientos de desinfección de agua existen tiempos específicos que logran la inactivación para cada grupo de microorganismos contaminantes. Mitsue (2008) propuso el empleo de lavados con dosis en el rango de 0,5 ppm durante no más de 15 minutos para hojas de lechuga con destino al consumo inmediato.

Experimento 2. Aplicación de atmósfera ozonizadas

En los experimentos analizados se garantizó la hermeticidad de los reactores sin que existieran escapes perceptibles del gas. Los resultados de las comparaciones de las medias de los porcentajes de la superficie dañada después de las aplicaciones de los tratamientos en atmósferas ozonizadas a los 15 días se reflejan en la Tabla 2.

Tabla 2. Superficie dañada a los 15 días de tratadas en atmósferas ozonizadas.

Tratamientos	Superficie dañada (%)	Media de rango
20 m g.L ⁻¹ 30 minutos	87,50 c	12,50 b
40 m g.L ⁻¹ 60 minutos	87,50 c	12,50 b
20 m g.L ⁻¹ 30 minutos	75,00 b	6,50 ab
40 m g.L ⁻¹ 60 minutos	50,00 a	2,50 a
KW=		12,74**

Medias con letras diferentes en una misma columna difieren según prueba de Mann Whitney a $p < 0,05$

Los tratamientos con 20 mg.L⁻¹ alcanzaron niveles de desinfección significativamente inferiores a cuando se emplea la dosis de 40 mg.L⁻¹. Los mejores resultados se obtuvieron con la aplicación de cargas de 40 mg.L⁻¹ durante 60 minutos. Esta dosis es considerada alta en tratamientos para la conservación de frutas y productos comestibles como ya fue señalado por Sopher (2007) al proponer la aplicación de atmósferas ozonizadas hasta 10 mg.L⁻¹, realizando inyecciones periódicas el gas a las cámaras de conservación y recomendando no usar concentraciones superiores a 50 mg.L⁻¹ en períodos continuados por sus posibles efectos perjudiciales sobre los productos en cuestión.

Experimento 3. Comparación de los métodos de aplicación

En la Tabla 3 aparecen los resultados alcanzados al comparar las mejores variantes de los experimentos anteriores con el lavado utilizando el fungicida comercial Amistar®.

Los mejores tratamientos resultaron ser los lavados con agua ozonizada, con una dosis inicial de ozono disuelto en agua de 1 ppm, sin diferencias con los resultados obtenidos cuando se empleó el fungicida comercial. La aplicación de atmósfera ozonizada no logra los niveles de desinfección de ninguno de los tratamientos anteriores. Numerosos autores expresan las ventajas del uso de los lavados con concentraciones determinadas en ozono disuelto. Mitsue (2008) señaló las ventajas del empleo de este

tipo de tratamiento en el caso de verduras y frutas frescas, pues logró mayor protección y evitó daños físicos al producto. Por otra parte, Sopher (2007), Karaca (2007) y Bataller *et al.*, (2010) coincidieron en las ventajas de los tratamientos de lavados con agua ozonizada.

Tabla 3. Comparación de la superficie dañada para lavados y atmósferas de ozono a los 15 días.

Tratamientos	Superficie dañada (%)	Media de rango
Amistar® 0,5 g.L ⁻¹ 30 minutos	37,50	4,50 a
1 ppm 30 minutos	37,50	4,50 a
40 m g.L ⁻¹ 60 minutos	75,00	10,50 b
KW=		7,38*

Medias con letras diferentes en una misma columna difieren según prueba de Mann Whitney a $p < 0,05$.

En la presente investigación se observó que los tratamientos en atmósferas ozonizadas resultaron menos eficientes. Esto se debió posiblemente a que no se utilizaron cámaras climatizadas, sino la temperatura ambiente. Naito (2009) señaló que, para aumentar la eficiencia de las aplicaciones de atmósferas ozonizadas, las mismas deben complementarse con temperaturas por debajo de 20°C preferentemente con alta humedad relativa. Sopher (2007) señaló la superioridad del uso de lavados con relación a atmósferas ozonizadas cuando se trata de frutas y vegetales para el consumo fresco. En este resultado no se observó ningún tipo de daño a los frutos lavados con agua ozonizada. En este sentido Karaca (2007), Edwards-Brandt (2009) y Bataller *et al.*, (2010) aseguran la inocuidad de los tratamientos con ozono disuelto en agua y la inexistencia de efectos indeseables en los parámetros de calidad de los productos tratados. Sin embargo, en las frutas que fueron expuestas a atmósferas de 40 mg.L⁻¹ de ozono durante 60 minutos se observó la aparición de manchas negras alargadas sobre sus superficies externas (Figura 2) y al practicarse cortes en esa zona la pulpa presentó una coloración diferente al naranja típico de la madurez.



Figura 2. Afectaciones observadas en frutas tratadas en atmósferas de ozono de 40 mg.L⁻¹.

Diseño de la instalación para el escalado de los tratamientos

En los tratamientos de ozonización resulta vital la arquitectura de la instalación para minimizar los costos y elevar la eficiencia de los mismos.

En el presente estudio se utilizaron mangueras de alimentación del gas de 5 mm de diámetro interior y su ensamblaje se realizó con conexiones en T. De este modo se logró la división del flujo del gas en dos ramas de igual caudal, asegurando la homogeneidad de los tratamientos en paralelo (Figura 3).

Con las perforaciones practicadas en las mangueras de alimentación se logró un burbujeo constante y periódico dentro del líquido, lo que garantizó alcanzar las concentraciones de ozono deseadas. Veliz (2010) señaló que, para lograr una adecuada transferencia del gas al líquido, se deben diseñar reactores en los que el ozono se disperse en forma de pequeñas burbujas en el líquido, lo que posibilita el intercambio y reacción entre ambas fases de forma eficiente. Este resultado también coincide con Nakonechny *et al.*, (2008) quienes señalaron que los reactores de burbujeo son los más recomendados para el tratamiento de ozonización con fines de desinfección.



Figura 3. Escalado de dos reactores en paralelo con el empleo de una conexión en T.

En este trabajo resultó vital la colocación de las mangueras de alimentación en el fondo de los reactores para garantizar la mayor altura de columna líquida de intercambio gas-líquido y mayor homogeneidad en la concentración de ozono disuelto y, por lo tanto, la mayor eficiencia de los tratamientos. Esto corroboró lo expresado por Veliz (2010) quien señaló que debe emplearse una columna de intercambio para cada volumen de agua empleado, que garantice la eficiencia de la transferencia del gas al líquido, y especificó que para volúmenes de agua inferiores a 100 litros basta con pequeñas columnas si se emplea flujos de gas por debajo de 5 L.min⁻¹.

Los resultados de los tiempos necesarios para alcanzar la dosis de trabajo en el centro del reactor, para los diferentes diseños de las mangueras en su fondo, se muestran en la Tabla 4.

Al hacer pasar todo el flujo de ozono por una sola línea al centro del fondo del reactor el burbujeo producido no se dispersa por todo el volumen de agua, esta es la razón que explica que se alcance en menor tiempo la concentración de trabajo.

Tabla 4. Tiempos necesarios para alcanzar la dosis de trabajo.

Tipo de diseño	Tiempo hasta un ppm (s)
1 línea de manguera de alimentación	90-100
2 líneas de manguera de alimentación	180-200
4 líneas de manguera de alimentación	300-330

En la Tabla 5 aparecen los resultados de las mediciones de dosis de ozono disuelto en las cuatro posiciones periféricas, al alcanzarse la concentración de trabajo en la posición central.

Tabla 5. Concentraciones de ozono determinadas en las posiciones periféricas.

Tipo de diseño	Concentraciones de ozono disuelto (ppm)			
	1	3	4	5
1 línea de manguera de alimentación	0,56	0,45	0,52	0,48
2 líneas de manguera de alimentación	0,75	0,70	0,75	0,68
4 líneas de manguera de alimentación	0,96	0,95	1,01	0,98

Ninguno de los dos diseños iniciales garantizó la homogeneidad en las concentraciones de ozono disuelto en agua, objetivo que se alcanza con el tercer diseño (Figura 4)



Figura 4. Burbujeo homogéneo en el tercer diseño de difusión de ozono en agua.

En esta investigación se puso de manifiesto que en todos los tratamientos de ozonización resulta imprescindible evitar las diferencias puntuales de concentración de ozono en el líquido. Con este resultado, se garantizó que sobre la totalidad de las frutas tratadas actuaron concentraciones de ozono reactivo en rangos similares, así como la eficiencia de los lavados empleados posteriormente. Este mismo objetivo había sido alcanzado por Veliz (2010) con el empleo de membranas difusoras que ocupen todo el fondo del reactor.

Numerosos autores resaltan la importancia de la homogeneidad de las concentraciones de ozono en agua. Veliz *et al.*, (2010), establece que la mantención de la concentración de ozono disuelto en agua resulta vital para el tratamiento de desinfección de hojas de lechuga. Similar significación se estableció por Bataller *et al.*, (2010) en la desinfección de tomate; Karaca (2007) en la desinfección de vegetales, manzanas y peras y Suslow (2014) para los tratamientos a vegetales de hoja.

El sistema de tratamiento diseñado en esta investigación resulta fácilmente adaptable a otras condiciones de trabajo. Puede aumentarse la cantidad de reactores conectados, multiplicando el diseño evaluado anteriormente por dos cada vez. Basta para ello, realizar conexiones en T seriadas empleando mangueras de igual longitud, logrando así, tratar dos; cuatro; ocho y dieciséis reactores de una vez. También pudieran adaptarse reactores de mayor volumen. En este caso habrá que evaluar la longitud y colocación de las mangueras difusoras necesarias. En ambos casos es necesario establecer el tiempo previo de difusión del gas para alcanzar la concentración de trabajo necesaria.

Aplicación del ozono durante la poscosecha en condiciones de producción

En la Figura 5 se observa el beneficio poscosecha de las frutas.



Figura 5. Tratamiento y almacenamiento de las frutas.

En la Tabla 6 aparecen las medias de los días a los cuales se observó el cambio de color en la fruta. Las que fueron lavadas con agua solamente resultaron las primeras en cambiar de color mientras que las lavadas con agua ozonizada fueron las últimas en las que se manifestó este proceso. En el resto de los tratamientos no se observaron diferencias significativas.

Tabla 6. Número de días al cambio de color.

Tiempo	Media	Media de rango
T1	2,57	93,04 c
T2	4,65	213,45 a
T3	3,50	152,28 b
T4	3,50	154,31 b
T5	3,87	139,42 b
KW =		71,31**

Medias con letras diferentes en una misma columna difieren según prueba de Mann Whitney a $p < 0,05$.

La diferencia del Tratamiento 2 indicó un retardo en el proceso de maduración de las frutas, resultados que coinciden con Karaca (2007) que encontró entre un 15 y 20 % de retardo en la maduración de manzanas y peras al ser lavadas con ozono. Este efecto puede deberse a la acción inhibitoria del ozono sobre el etileno. Numerosos autores han señalado marcados efectos en la molécula de etileno por la inhibición producida por

el ozono: Haapea *et al.*, (2012), Naito (2009), Sopher (2007), Thompson y Leong (2009) y Kerwin (2009).

Esta consecuencia no se observó en el Tratamiento 4, pues al omitirse el lavado inicial con agua y detergente, disminuyen drásticamente los efectos logrados en el Tratamiento 2 puesto que el ozono reaccionó con todas las materias que se encontraban sobre la superficie de los frutos por lo que disminuyó la cantidad reactiva de este gas que actúa directamente sobre estos. Bautista (2012), Muñoz (2008) y Bataller *et al.*, (2010) coincidieron en la importancia de los lavados previos a la aplicación de cualquier tipo de producto desinfectante.

La Tabla 7 muestra las comparaciones de las medias de los días en que apareció el primer daño. Los Tratamientos 1 y 2 marcaron los extremos diferenciados (negativo y positivo respectivamente) en cuanto a los resultados obtenidos. Los Tratamientos 3, 4 y 5 no presentaron diferencias estadísticas entre ellos.

Tabla 7. Número de días a la aparición del daño en los frutos

Tiempo	Media	Media de rango
T1	4,78	110,84 d
T2	7,53	224,54 a
T3	5,90	121,21 cd
T4	5,77	140,93 bc
T5	5,53	154,98 b
KW =		67,99**

Medias con letras diferentes en una misma columna difieren según prueba de Mann Whitney a $p < 0,05$.

En las Tablas 8 y 9 y la Figura 6 se analizó la dinámica de avance del porcentaje de la superficie del fruto dañada.

Tabla 8. Porcentaje de la superficie del fruto dañada a los 15 días.

Tiempo	Media	Media de rango
T1	99,17	232,60 c
T2	70,21	68,93 a
T3	93,54	195,84 b
T4	92,29	186,99 b
T5	70,83	68,14 a
KW =		207,66**

Medias con letras diferentes en una misma columna difieren según prueba de Mann Whitney a $p < 0,05$.

A partir de los 15 días no se observaron diferencias estadísticas entre los lavados con agua ozonizada y la aplicación de lavados con el fungicida comercial Amistar®, resultando significativamente superiores a los demás tratamientos realizados.

El tratamiento control utilizado resultó el menos eficaz para la conservación poscosecha de las frutas. Estos resultados coinciden con Brogden (2009), Bautista (2012), Karaca (2007), Palou (2007), Muñoz (2008), Bataller *et al.*, (2010) y Kyanko (2010) quienes demostraron la necesidad de la aplicación algún producto con efecto fungicida reconocido durante el beneficio de frutas y vegetales.

Tabla 9. Número de días hasta la afectación total del fruto

Tiempo	Media	Media de rango
T1	14,27	60,03 c
T2	20,23	235,26 a
T3	15,60	106,10 b
T4	15,87	115,82 b
T5	20,13	235,29 a
KW =		208,43**

Medias con letras diferentes en una misma columna difieren según prueba de Mann Whitney a $p < 0,05$.

El efecto de conservación a largo plazo entre los lavados con agua ozonizada y con el fungicida comercial Amistar® propone una alternativa al empleo de productos químicos importados en esta etapa del cultivo de la papaya.

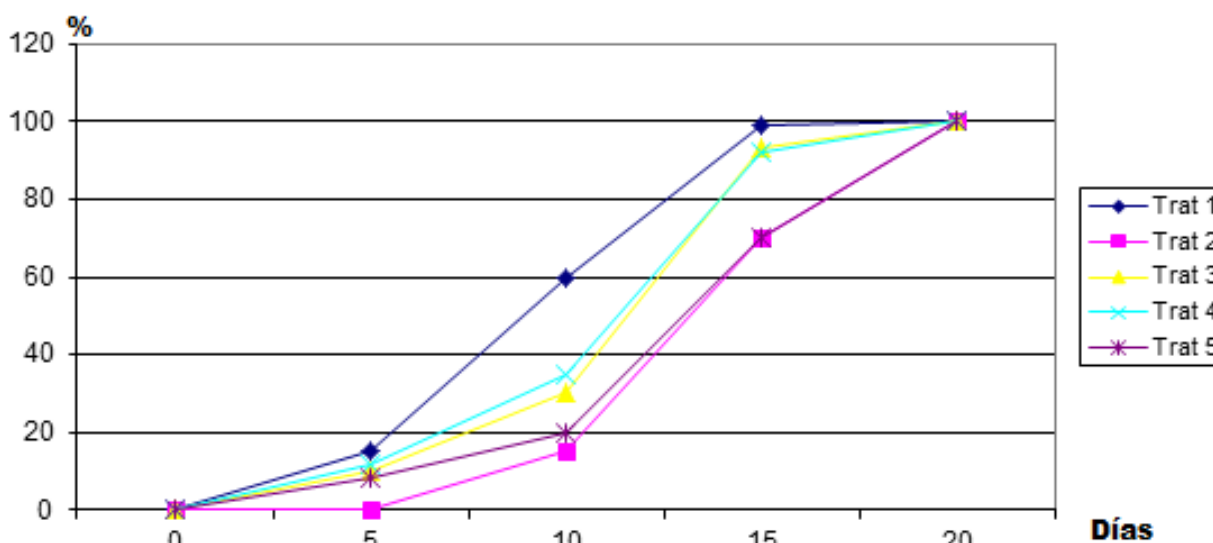


Figura 6. Dinámica del porcentaje de superficie dañada.

Aunque el resultado a largo plazo fue el mismo para ambos tratamientos, la Figura 9 mostró una dinámica diferente entre ellos. Las frutas del Tratamiento 2 se mantuvieron más días sin comenzar el proceso de maduración, posteriormente el avance de los daños fue más rápido, mientras que en el Tratamiento 5 los daños aparecieron primero, pero el efecto de residualidad del producto fungicida sobre la superficie de las frutas, provocó que el avance de los daños fuera más lento. La Tabla 7 y la Figura 6 muestran que el lavado con agua ozonizada, aplicado a frutas cosechadas en campo con una o dos rayas, propició un retardo de 36 a 48 horas para que las frutas comenzaran a madurar. Este efecto puede ser muy útil para los productores y comercializadores de papaya. Los resultados obtenidos permiten establecer un protocolo para la aplicación del ozono en el beneficio poscosecha de la papaya. El mismo consiste en:

Metodología para la ozonización de frutas frescas.

1. Cosechar las frutas en campo con una o dos rayas de madurez.
2. Transportarlas envueltas en papel y colocadas verticalmente con el pedúnculo hacia abajo en cajas plásticas.
3. Lavado con agua más detergente.
4. Lavados en agua con una concentración inicial de 1 ppm de ozono disuelto durante 30 minutos.
5. Almacenar a temperatura ambiente y colocada verticalmente con el pedúnculo hacia abajo, en lugar seco y aireado.

BIBLIOGRAFÍA

- BATALLER, M.; S. SANTA CRUZ; I. FERNÁNDEZ; M. GARCÍA; E. VELIZ; Y. RAMOS and S. MENÉNDEZ. 2010. Ozone application for post-harvest disinfection of tomatoes. *Ozone: Science & Engineering*, 32(5):361–371.
- BAUTISTA BAÑOS, S. 2012. El Control Biológico en la Reducción de Enfermedades Poscosecha en Productos Hortofrutícolas: Uso de Microorganismos Antagónicos, *Revista Iberoamericana de Tecnología Poscosecha*, 8(1):1-6.
- BROGDEN, K.A. 2009. Antimicrobial Peptides: Pore formers or metabolic inhibitors in bacteria? *Nature Reviews Microbiology*, 3, 238-250.
- CABRERA, D. 2014. Caracterización biológica y molecular del Virus de la mancha anular de la papaya, epifitiología y manejo de la enfermedad en *Carica papaya* L. var. 'Maradol Roja' en Cuba. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Cuba, 85 p.
- EDWARDS-BRANDT, J; H. SHORNEY-DARBY; J. NEEMANN; J. HESBY and C. TONA. 2009. Use of Ozone for Disinfection and Taste and Odor Control at Proposed Membrane Facility. *Ozone: Science and Engineering*, 29(3):281-86.
- FAO. 2012. FAOSTAT. FAO Statistics Division. <http://faostat.fao.org/site/526/default.aspx>. Consultado en abril 2012.
- FERNÁNDEZ, L.A.; C. HERNÁNDEZ; M. BATALLER; E. VELIZ; A. LÓPEZ; O. LEDEA y S. PADRÓN. 2010. Cyclophosphamide degradation by advanced oxidation processes. *Water and Environmental Journal*, 24(3) 174-180.
- HAAPEA P.; S. Korhonen; T. TUNKANEN. 2012. Treatment of industrial landfill leachates by chemical and biological methods: ozonation, ozonation + hydrogen peroxide, hydrogen peroxide and biological post-treatment for ozonated water. *Ozone: Science and Engineering*, 24(5):369-378.
- HERNÁNDEZ-CASTRO, E.; J.A. VILLANUEVA-JIMÉNEZ; y C. NAVA-DÍAZ. 2010. Barreras de maíz en una estrategia de manejo integral para controlar epidemias del Virus mancha anular del papayo (PRSV-P). *Agrociencia*, 44(3): 339-349.
- KARACA, H. and Y.S. VELIOGLU. 2007. Ozone applications in fruit and vegetable processing. *Food Reviews International*, 23:91-106.
- KERWIN, L. 2009. Operating Experience with Drinking Water Ozonation in North America. 19th Ozone World Congress. August 31–September 3, Tokyo, Japan.
- KYANKO, M.; M. RUSSO y G. POSE. 2010. Efectividad del ácido peracético sobre la reducción de la carga de Esporas de Mohos causantes de Pudrición Poscosecha de Frutas y Hortalizas. *Información Tecnológica*, 21(4):125-130.
- MINAG 2012. Instructivo técnico del cultivo de la fruta bomba. La Habana, Cuba. pp.1-3.

- MUÑOZ, A. 2008. Caracterización de distintos péptidos antimicrobianos con actividad frente a hongos fitopatógenos de interés agroalimentario, Tesis de Doctorado, Valencia, Universidad Politécnica de Valencia y Grupo de Poscosecha, Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos.
- NAITO, S. 2009. Ozone Inactivation of Food spoilage acid-producing bacteria. Proceeding of the 19th Ozone World Congress & Exhibition. IOA. August 31–September 3, 2009. Tokyo. Japan.
- NAITO S. and H. TAKAHARA. 2007. Recent developments in food and agricultural uses of ozone as antimicrobial agent. Proceeding of the 18th Ozone World Congress. August 27-29. Los Angeles, USA.
- NAKONECHNY, M.; K. IKEKATA and M. GAMAL EL-DIN. 2008. Kinetics of strone ozone/hydrogen peroxide advanced oxidation treatment. *Ozone: Science and Engineering*, 30(4): 249-255.
- PALOU, L. 2011. Evaluación de Alternativas para el Tratamiento Antifúngico en Poscosecha de Cítricos, *Horticultura: Revista de frutas, hortalizas, flores, plantas ornamentales y de viveros*, ISSN 1132-2950, (en línea), N° 200, 82-93, 2007. http://www.horticom.com/revistasonline/revistas/rh200/082_093.pdf. Consultado el 6 de abril, 2012.
- PÉREZ, L.F; y G. GONZÁLEZ. 2007. Enfermedades del papayo: Descripción, epidemiología y manejo. Ed. Científico-Técnica, La Habana, Cuba, p. 52.
- RODRÍGUEZ, A.A. y P. SÁNCHEZ. 2009. Especies de frutales cultivadas en Cuba en la agricultura urbana y suburbana. 4ta ed., INIFAT, La Habana, Cuba, 150 pp.
- SOPHER, C.D. 2007. Overview of Gaseous and Aqueous Ozone Uses in the Agri-Food Industry. Ozone V Conference, 2007; Fresno, CA, USA.
- STOREY, W.B. 1969. Papaya. En: Ferwerda FP, Wit F (Eds) Outline of perennial crop breeding in the tropics. Wageningen, The Netherlands, pp. 389-408.
- SUSLOW, T.V. 2014. Ozone application for postharvest disinfection of edible horticultural crops. ANS Publication. (8133):1-8.
- THOMPSON, C. and L. LEONG. 2009. 30 Years of Experience Using ozone in the United States Disinfecting Wastewater. Current Practice and Future Trends in Disinfection: Water, Wastewater, Stormwater, Water Reuse, and Biosolids. WEF Specialty Conference Series. Pittsburgh, PA, February.
- VELIZ, E.; M. BATALLER y L.A. FERNÁNDEZ. 2010. Wastewater treatment for reuse in agricultural irrigation. Handbook of Environmental Management. World Scientific Publishing Co. Singapore.
- VENTURA, J.A.; H. COSTA DA SILVA y J. TATAGIBA. 2014. Papaya diseases and integrated control. En: Naqvi, SAMH (ed.), Diseases of Fruits and Vegetables, Vol. II, pp. 201-268. Kluwer Academic Publishers, the Netherlands.