

Universidad de Costa Rica
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química



Evaluación de la efectividad de distintos desinfectantes oxidantes en el lavado industrial de melón mediante el control del Potencial de Oxidación Reducción en la pila.

Proyecto de graduación sometido a la consideración de la Escuela de Ingeniería Química como requisito final para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería Química

Álvaro E. González Sánchez

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio
San José, Costa Rica
2018

Proyecto de graduación sometido a consideración de la Escuela de Ingeniería Química como requisito final para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Química

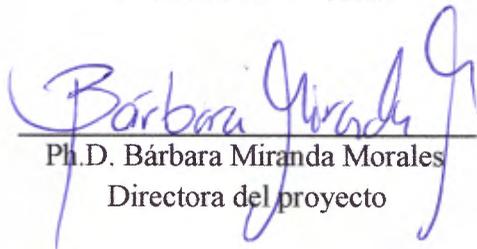
Sustentante:

Álvaro E. González Sánchez

Aprobado por:

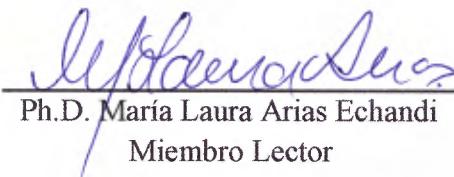


Ph.D. Esteban Durán Herrera
Presidente del Tribunal



Ph.D. Bárbara Miranda Morales
Directora del proyecto

Licda. Jenny Calderón Castro
Miembro Lector



Ph.D. María Laura Arias Echandi
Miembro Lector



Lic. Esteban Gamboa Gamboa
Miembro Invitado

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio
San José, Costa Rica
2018

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer, en primer lugar, a mi madre, M^o Estela Sánchez Jenkins por ser el principal pilar para alcanzar mis metas, por estar siempre a mi lado dándome su amor, ayuda, consejo, respaldo, guía y apoyo incondicional. Gracias, mamá.

En segundo lugar, a los distinguidos profesores: Ph.D. Bárbara Miranda, Ph.D. María Laura Arias, M.Sc. Giselle Lutz y Licda. Jenny Calderón por haberme ayudado y guiado en este proceso, por transmitirme sus conocimientos y su disposición para con el proyecto durante el desarrollo del mismo.

En tercer lugar, a mis amigos y compañeros de carrera por ser parte de este fundamental momento de mi vida, en especial, a los que concluyeron conmigo esta etapa.

Muchas Gracias

RESUMEN

El presente proyecto se desarrolló en una empresa ubicada en Guanacaste, la cual se dedica al cultivo y exportación de melón de distintas variedades. Estos melones se exportan como fruta entera y con cáscara; por lo que deben pasar por una desinfección post-cosecha establecida con el propósito de cumplir normas internacionales. La desinfección actual se lleva a cabo con hipoclorito de calcio como fuente de cloro. Este compuesto ha presentado algunos inconvenientes para la empresa: la dificultad y su largo tiempo de disolución, y sus precipitaciones por disolución incorrecta o incompleta. Por lo tanto, se planteó como objetivo principal, en unión a la empresa, desarrollar una investigación sobre desinfectantes que puedan representar una alternativa efectiva, con la propiedad o capacidad oxidante necesaria para ser controlado por el mismo sistema automático que regula su dosificación mediante la medición del Potencial de Oxidación, para que un eventual cambio de desinfectante no implique una modificación de la estructura actual en la que se lleva a cabo el proceso.

Por consiguiente, en este proyecto se realizó un análisis básico de las características y condiciones actuales de la desinfección en la empresa, y se llevó a cabo una investigación para determinar posibles sustitutos del hipoclorito de calcio que puedan presentar una mejoría sobre este. El sustituto debió demostrar una superioridad en todos o algunos de los siguientes aspectos a analizar: manejo del producto en campo, toxicidad, tiempos de disolución en caso de ser sólido, efecto sobre la cáscara después de la desinfección y, por último, economía o ahorro en costo.

Luego de una discriminación de opciones con los criterios anteriores, se trabajó con una serie de desinfectantes clorados y no clorados, a concentraciones recomendadas por la literatura para procesos de esta naturaleza. La comprobación de la reducción de los microorganismos se llevó a cabo mediante pruebas de Recuento Total Aerobio que se realizaron en la Escuela de Microbiología de la Universidad de Costa Rica. Todos los desinfectantes probados resultaron efectivos en la reducción de carga microbiana superior al 99 % que se esperaba, por lo que la definición del sustituto quedó a consideración de la empresa por temas económicos, se hacen las recomendaciones correspondientes a los resultados de la experimentación del proyecto.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	ii
RESUMEN	iii
ÍNDICE GENERAL	iv
ÍNDICE DE CUADROS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
CAPÍTULO 1 Introducción	1
CAPÍTULO 2 Marco teórico	4
2.1 Melón	5
2.2 Microbiología relacionada a la comercialización de productos frescos.....	9
2.3 Desinfección.....	11
2.4 Aguas de lavado y desinfección.....	12
2.5 Desinfección por oxidación-reducción	14
2.6 Fuentes de cloro	18
2.7 Otros desinfectantes oxidantes.....	18
CAPÍTULO 3 Metodología	21
3.1 Equipo	21
3.2 Metodología	21
CAPÍTULO 4 Discusión.....	29
4.1 Hipoclorito de calcio	29
4.2 Hipoclorito de sodio.....	31
4.3 Peróxido de hidrógeno	32
4.4 Ácido peracético.....	34
4.5 Resultados de las pruebas microbiológicas.....	36
CAPÍTULO 5 Costos implicados y manejo del desinfectante	39
5.1 Disolventes involucrados	39
5.2 Costo aproximado del desinfectante por consumo diario en desinfección	39
5.3 Comparación general de costos.....	43
5.4 Manejo del producto	43

CAPÍTULO 6 Análisis visual de la oxidación de la fruta procesada	44
6.1 Prueba.....	44
6.2 Metodología	44
6.3 Resultados	44
CAPÍTULO 7 Conclusiones y recomendaciones	50
7.1 Conclusiones	50
7.2 Recomendaciones.....	51
BIBLIOGRAFÍA	52
ANEXOS.....	54

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 2.1. Supervivencia de patógenos en simulaciones de laboratorio y estudios con hidrofriadores (Newman, 2004).....	17
Cuadro 3.1. Equipo utilizado en el proyecto.	21
Cuadro 3.2. Desinfectantes considerados preliminarmente.....	22
Cuadro 3.3. Análisis comparativo de los desinfectantes considerados.	23
Cuadro 3.4. Valores de clasificación establecidos para matriz de selección.	24
Cuadro 3.5. Matriz de selección normalizada.....	25
Cuadro 3.6. Desinfectantes definidos.	25
Cuadro 3.7. Valores de ORP para cada desinfectante.	27
Cuadro 4.1. Datos con hipoclorito de calcio a 75 ppm.....	30
Cuadro 4.2. Datos con hipoclorito de calcio a 150 ppm.....	30
Cuadro 4.3. Datos con hipoclorito de sodio a 75 ppm.....	32
Cuadro 4.4. Datos con hipoclorito de sodio a 150 ppm.....	32
Cuadro 4.5. Datos con peróxido de hidrógeno a 25 000 ppm.	33
Cuadro 4.6. Datos con peróxido de hidrógeno a 50 000 ppm.	33
Cuadro 4.7. Datos con ácido peracético a 40 ppm.....	34
Cuadro 4.8. Datos con ácido peracético a 80 ppm.....	35
Cuadro 4.9. Resultados de pruebas de recuento total en melones sin desinfectar.	36
Cuadro 4.10. Resultados de pruebas de recuento total en melones procesados.	38
Cuadro 5.1. Precios unitarios de los reactivos involucrados en la parte experimental.	39
Cuadro 5.2. Comparación de moles y potenciales relativos con respecto al hipoclorito de calcio.	40
Cuadro 5.3. Cuadro comparativo de costos comparados al hipoclorito de calcio.	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Hacienda productora de melón.....	1
Figura 1.2. Pila de desinfección recibiendo melones.....	2
Figura 1.3. Pila completa de desinfección.	2
Figura 1.4. Banda de clasificación del melón.....	3
Figura 2.1. Melón reticulado. Recuperado de http://www.semillascuartagamaltda.cl/sem_am_melon_oro.php	6
Figura 2.2. Imagen de <i>Salmonella spp.</i> Recuperado de https://www.industriaavicola.net/enfermedades-y-sanidad/metodos-de-prevencion-y-control-de-la-salmonellosis/	8
Figura 2.3. Imagen de <i>Listeria monocytogenes</i> . Recuperado de https://www.biocote.com/blog/understanding-the-threat-of-listeria-monocytogenes/	8
Figura 2.4. Vista ampliada de la cáscara del melón Cantaloupe.	8
Figura 2.5. Melón en contacto con el suelo. Recuperado de https://www.lahuertadeivan.com/el-cultivo-del-melon/	10
Figura 3.1. Elementos para construir la pileta de desinfección a escala.....	26
Figura 3.2. Controlador de pH/ORP.	26
Figura 4.1. Relación entre ppm de hipoclorito de sodio y el potencial de oxidación reducción (ORP). Todas las sustancias probadas ajustadas a pH 7 (Trevor V. Suslow, 2004).....	29
Figura 4.2. Cantidades relativas de HOCl y OCl ⁻ a diferentes pH (Barrenechea Martel & de Vargas, 2004).....	31
Figura 4.3. Silletas para cultivo	37
Figura 6.1. Fotografías diarias de los melones sin procesar.	45
Figura 6.2. Fotografías diarias de los melones procesados con hipoclorito de sodio 75 ppm. .	45
Figura 6.3. Fotografías diarias de los melones procesados con hipoclorito de sodio 150 ppm.	46
Figura 6.4. Fotografías diarias de los melones procesados con hipoclorito de calcio 75 ppm.	46
Figura 6.5. Fotografías diarias de los melones procesados con hipoclorito de calcio 150 ppm.	47
Figura 6.6. Fotografías diarias de los melones procesados con peróxido de hidrógeno a 2,5 %.	47
Figura 6.7. Fotografías diarias de los melones procesados con peróxido de hidrógeno a 5,0 %.	48
Figura 6.8. Fotografías diarias de los melones procesados con ácido peracético a 40 ppm.	48

Figura 6.9. Fotografías diarias de los melones procesados con ácido peracético a 80 ppm. 49

CAPÍTULO 1

Introducción

La empresa involucrada en este proyecto es líder en la producción y exportación de melón de los tipos Cantaloupes, Charantais, Galia y Rocío Amarillo Miel; además, sus productos son exportados a Canadá, Estados Unidos y varios países en Europa.

Con una capacidad de 550 toneladas métricas/día, cada año procesa, aproximadamente, un volumen de 40 000 toneladas métricas. Posee una hacienda para el cultivo de la fruta y su procesamiento, como se muestra en la Figura 1.1.



Figura 1.1. Hacienda productora de melón.

Su modelo de negocio se basa en:

- Melones de Calidad Premium
- Desarrollo Social
- Responsabilidad medio ambiental.

Los experimentos y resultados de este proyecto deben ir acorde con dicho modelo. La desinfección se lleva a cabo en una pila de 35 000 L, donde, como se puede ver en la Figura 1.2, se reciben los melones de las carretas que los transportan hasta la planta tras la cosecha.



Figura 1.2. Pila de desinfección recibiendo melones.

La pila cuenta con un sistema de recirculación de agua y una estructura de tuberías con aspersores en la parte superior, los cuales cumplen con la labor de agitar y desplazar los melones a lo largo de la pila, tal como se puede apreciar en la Figura 1.3.



Figura 1.3. Pila completa de desinfección.

La fruta se remoja el tiempo de desinfección necesario, dicho proceso se lleva a cabo con el claro objetivo de reducir los microorganismos que puedan estar presentes en la cáscara del melón y los patógenos asociados a esta fruta, como *E. coli* y que representan un riesgo para el consumidor, a valores mínimos establecidos.

Luego, la fruta es dirigida hacia la banda que la extrae y la transporta hacia su clasificación y, por último, hacia el resto del proceso; como se muestra en la Figura 1.4.



Figura 1.4. Banda de clasificación del melón.

Por lo general, en los tratamientos post-cosecha de frutas, vegetales y hortalizas, esta desinfección se realiza con productos que sean fuentes de cloro. En el presente caso, proceso de desinfección como tal se lleva a cabo manteniendo disponible en la pila una concentración de cloro total de 150 ppm definida por la FDA, Oyarzun (2012), esto se hace por medio del uso de hipoclorito de calcio como fuente de cloro. La dosificación y control de los niveles de cloro se realiza mediante un sistema automatizado que controla el *ORP* o “Potencial de Oxidación Reducción”, y que ejecuta micro dosificaciones de cloro cuando es requerido para reponer una reducción en el potencial. Sin embargo, el hipoclorito de calcio como desinfectante ha presentado algunas dificultades para la compañía, como su preparación, debido a que este producto es un sólido y tiene una baja solubilidad en agua; también, porque se presenta un exceso de vapores de cloro que afectan a sus colaboradores.

Dados los problemas mencionados, el objetivo principal del presente proyecto es desarrollar un proceso de experimentación con desinfectantes opcionales, y determinar las concentraciones y valores de *ORP* a los que se debe trabajar en la pila para reducir los microorganismos que serán medidos y comparados con un blanco. Esto implica una investigación interdisciplinaria, ya que se aplican conceptos de Química Pura, Microbiología e Ingeniería Química; ramas de la ciencia que un Ingeniero Químico, con su formación, puede correlacionar y aprovechar para desarrollar un proyecto que genera información útil para la industria de exportación de frutas.

CAPÍTULO 2

Marco Teórico

A pesar de la importancia que las frutas y vegetales tienen para la salud y el bienestar humano, el *U.S. Department of Health and Human Services* (Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE.UU.), publicó, en 1998, el artículo “Guía para reducir al mínimo el riesgo microbiano en los alimentos” en el que se expresa cómo en los últimos años se había detectado un mayor número de enfermedades transmitidas por dichos alimentos hacia los humanos. El autor explica que es por este motivo que, en enero de 1997, Clinton, el entonces presidente, anunció una Iniciativa de Seguridad Alimentaria (Food Safety Initiative) para mejorar la seguridad del abastecimiento de alimentos en EE.UU. A esto se sumaron los Departamentos de Salud y Servicios Sociales (DHHS), Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) y la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de ese país, con un informe en el que expresaban su inquietud ante dicha situación (U.S. Department of Health and Human Services, 1998).

El 2 de octubre del mismo año, Clinton anunció un plan titulado “Iniciativa para asegurar la Seguridad de las Frutas y Vegetales Nacionales e Importadas” (Initiative to Ensure the Safety of Imported and Domestic Fruits and Vegetables), el cual tenía el propósito de generar una mayor garantía para que las frutas y vegetales consumidas en el país, ya sean producidas en los Estados Unidos o importadas por ellos, cumplieran con las más altas normas de calidad y seguridad alimentaria. Como consecuencia, la Secretaria de Salud y Servicios Sociales, el Secretario de Agricultura y con la comunidad agrícola internacional expidieron direcciones sobre lo que constituyen Buenas Prácticas Agrícolas (Good Agricultural Practices, o GAPs), y Buenas Prácticas Manufactureras (Good Manufacturing Practices o GMPs) en el caso de estos alimentos. Como resultado, la FDA y la USDA procedieron a definir direcciones para la industria por medio de la Guía para Reducir al Mínimo el Riesgo Microbiano en los Alimentos en el Caso de Frutas y Vegetales (U.S. Department of Health and Human Services, 1998).

La importancia e influencia de la dieta sobre la salud es bien conocida y así lo reconoció el Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE.UU. Varias enfermedades crónicas, como la enfermedad coronaria, ciertos tipos de cáncer ligados a excesos o desequilibrios dietéticos, habían venido siendo tema de gran preocupación para el país en 1998. Como resultado, organismos gubernamentales federales y prestigiosas asociaciones nacionales estadounidenses de profesionales de la salud, publicaron una serie de recomendaciones dietéticas. En primer lugar, una menor ingesta de colesterol y de grasas, especialmente, las saturadas; luego, el mantenimiento de un nivel de masa corporal adecuada; en tercer lugar, un consumo de cinco o más porciones diarias de frutas y vegetales; y, por último, una ingesta de seis o más porciones diarias de alimentos basados en cereales (U.S. Department of Health and Human Services, 1998).

Según la publicación “Guía para reducir al mínimo el riesgo microbiano en los alimentos” (U.S. Department of Health and Human Services, 1998), el reconocimiento de la importancia del consumo habitual de frutas y vegetales, y el incremento en la disponibilidad de frutas y vegetales frescos provenientes del mercado internacional, contribuyó a un consumo considerablemente mayor de frutas y vegetales frescos en los Estados Unidos en los últimos veinte años, desde 1978. A su vez, publicó el Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE.UU., que ya para 1998 se presentaban pequeños brotes de enfermedades transmitidas por comidas que tuvieran frutas y/o vegetales frescos. Según el artículo, se hicieron publicaciones de algunos de los casos más comunes, por ejemplo: la presencia de *E. coli* 0157:H7 en una mezcla de lechuga denominada Mesclun y la existencia de *Cicloespora* en frambuesas importadas. Esta situación, en su momento, colocó en entredicho la seguridad de las frutas y vegetales que no estuvieran sometidas a procesamientos para reducir o eliminar microorganismos patógenos (U.S. Department of Health and Human Services, 1998).

2.1 Melón

En el año 2013, La *Fresh Produce Association of the Americas* (Asociación de Productos Frescos de las Américas) realizó una publicación sobre lineamientos para la inocuidad de los productos frescos, en la cual, asimismo, se comentó extensamente que los melones reticulados, como el que se muestra en la Figura 2.1, también conocidos como almizcleños, se consumen

mucho y de diferentes maneras. Algunas de estas formas son: comer solo la fruta como tal; combinada con otros alimentos, como en ensaladas y platillos; y como decoración de alimentos. Igualmente, el comunicado aseguró que en algunos países los melones forman parte regular de la dieta.



Figura 2.1. Melón reticulado. Recuperado de http://www.semillascuartagamaltda.cl/sem_am_melon_oro.php

De la misma manera, la Asociación reconoce que la popularidad de los melones se ha mantenido alta debido a que se encuentran fácilmente en muchos países durante todo el año e, igualmente, porque ha habido un enfoque en la comercialización no sólo de melones enteros, sino también del producto pre-cortado y colocado en paquetes listos para consumir o en barras de ensaladas. Incluso, se expone que, para satisfacer los gustos del consumidor y la demanda de melones, se han desarrollado nuevas variedades híbridas. Estos poseen una densidad de nutrientes mejorada, un mayor contenido de azúcar y otros rasgos de consumo; además, permiten ampliar la producción de melón a nuevas zonas geográficas y climáticas (Fresh Produce Association of the Americas, 2013).

Según los lineamientos de la Asociación de Productos Frescos de las Américas, al igual que todas las frutas y verduras frescas que se consumen crudas, la integridad de los melones y sus subproductos depende de la identificación, manejo y reducción del potencial de riesgos de contaminación biológica, química y física. En consecuencia, es fundamental contar con programas de inocuidad alimentaria durante toda la cadena alimentaria de producción primaria: empaquetado, procesamiento, venta, etc. Brotes internacionales relacionados con melones, reconocidos en 2013 por esta publicación, plantearon preocupaciones en cuanto a la seguridad de dicho producto. Se expuso que un gran porcentaje de brotes asociados con el consumo de melón fueron causados por *Salmonella spp.* y, posteriormente, por *Listeria monocytogenes* (Fresh Produce Association of the Americas, 2013).

En su artículo, esta institución identifica una serie de factores de riesgo principales que contribuyen a los brotes de enfermedades transmitidas por los melones, los cuales son: la calidad del agua y su uso (tanto en pre y post-cosecha), la humedad residual de la superficie y la higienización del equipo y de las plantas de empaque. A medida que los melones reticulados enteros y pre-cortados se movilizan a través de la cadena alimentaria, existe, también, el potencial para el crecimiento de patógenos. Según la Asociación de Productos Frescos de las Américas, los factores que contribuyen a la supervivencia y al crecimiento de patógenos en melones son: el pH, la temperatura, la presencia de inhibidores (las bacterias antagonistas y/o los hongos) y la disponibilidad de humedad y de nutrientes (Fresh Produce Association of the Americas, 2013).

Además, según el artículo “Lineamientos Nacionales de la Inocuidad Alimentaria”, las características morfológicas de los melones *Cantaloupe*, como la característica corteza “reticulada”, provocan que sean particularmente susceptibles a la adhesión de bacterias y, a su vez, que proporcionen un buen medio para el crecimiento de distintas bacterias, incluyendo las que promueven la descomposición, así como los agentes patógenos que causan enfermedades en los seres humanos. También, como los melones son un alimento de baja acidez, su pulpa ofrece un medio natural de cultivo para las bacterias naturales. Asimismo, los melones frescos normalmente se consumen en su estado natural o sin ningún tratamiento posterior que pueda eliminar o inactivar agentes patógenos, como los mostrados en la Figura 2.2 y Figura 2.3 correspondientes a *Salmonella spp.* y *Listeria monocytogenes*, respectivamente; por lo que es

necesario que todas las partes en la cadena alimentaria estén siempre conscientes de la necesidad de reducir los riesgos (Fresh Produce Association of the Americas, 2013).

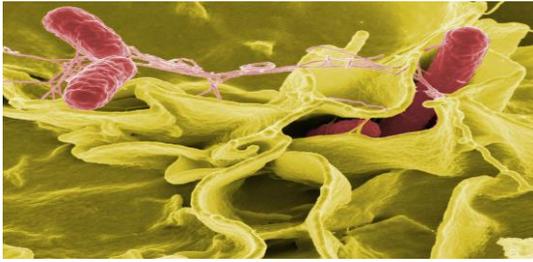


Figura 2.2. Imagen de *Salmonella spp.* Recuperado de <https://www.industriaavicola.net/enfermedades-y-sanidad/metodos-de-prevencion-y-control-de-la-salmonellosis/>

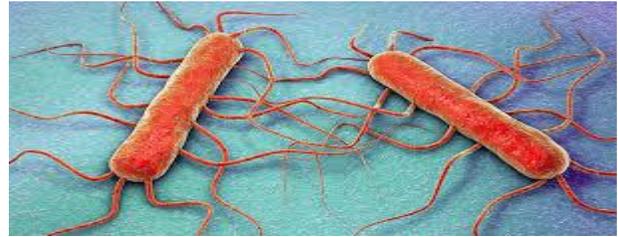


Figura 2.3. Imagen de *Listeria monocytogenes.* Recuperado de <https://www.biocote.com/blog/understanding-the-threat-of-listeria-monocytogenes/>

El riesgo lo reconoció, también, en 2005, la *Produce Marketing Association and United Fresh Fruit and Vegetable Association* con una publicación en la que describió que la cosecha de melón *Cantaloupe* se basa, generalmente, en la etapa de madurez del mismo, comprobada, además, por la separación entre la vid y el melón. Dicho paso se llama deslizamiento y la mayoría de los melones se cosechan entre 3/4 y el deslizamiento completo. Las cicatrices que quedan y las que se puedan hacer en el melón proporcionan una vía potencial para el ingreso de patógenos a lo interno de los melones. De acuerdo con el artículo, durante el tiempo que dichos frutos maduran y crecen, son más propensos a permitir la supervivencia y multiplicación de patógenos sobre su superficie, como la mostrada en la Figura 2.4, y que son perjudiciales para los humanos (Produce Marketing Association and United Fresh Fruit and Vegetable Association, 2005).

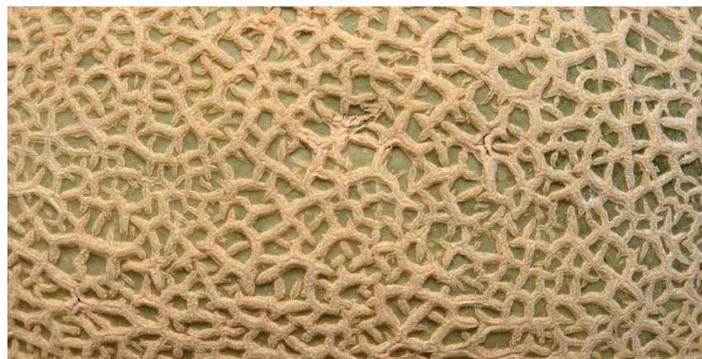


Figura 2.4. Vista ampliada de la cáscara del melón Cantaloupe.

2.2 Microbiología relacionada a la comercialización de productos frescos

En el 2001, La *American Public Health Association* (Asociación de Salud Pública Americana) expuso una serie de datos sobre la necesidad de disminuir los riesgos que provocan las frutas y verduras frescas, debido a que en los años anteriores varios brotes de enfermedades humanas asociados con estos, ya habían demostrado que pueden constituir un riesgo importante en la transmisión de enfermedades, por lo que es menester que tengan un tratado previo para minimizar el contagio de enfermedades transmitidas por los microbios en dichos alimentos (American Public Health Association, 2001).

Esta Asociación aseguró que potencialmente casi todos los tipos de patógenos pueden estar presentes en los productos frescos, pero las bacterias altamente virulentas Gram-negativas, como *E. coli O157:H7*, son las de mayor preocupación. De manera similar, varios parásitos considerados problemáticos únicamente en los países en desarrollo habían causado enfermedades en los EE.UU (American Public Health Association, 2001).

Por ejemplo, las infecciones por *Cyclospora cayetanensis* habían sido relacionadas con las frambuesas y lechuga para ensaladas. Asimismo, en el artículo “*Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods*” se expuso que los virus transmitidos por alimentos son cada vez más asociados con productos frescos (American Public Health Association, 2001).

El hecho de que las verduras están a menudo en contacto con el suelo, como muestra la Figura 2.5; significa que, comúnmente, albergan esporas de *Clostridium botulinum*. Según expuso la Asociación de Salud Pública Americana, inesperados brotes de botulismo se habían producido para el año 2001 en vegetales que habían sido procesados de una manera no tradicional. Se creía que un brote de botulismo como resultado del consumo de ensalada de papa había sido causado por la formación de toxinas en las papas al horno envueltas en papel aluminio que se mantuvieron a temperatura ambiente. Además, el artículo advirtió que la *C. botulinum* puede crecer y producir toxinas en productos que se almacenan en aceite, por ejemplo, el ajo (American Public Health Association, 2001).



Figura 2.5. Melón en contacto con el suelo. Recuperado de <https://www.lahuertadeivan.com/el-cultivo-del-melon/>

La Asociación de Salud Pública Americana explicó que los microorganismos patógenos tienen acceso a los productos frescos de diferentes maneras: contaminación antes de la cosecha, a través del agua de riego contaminada o por la exposición a las aguas de inundación, uso de estiércol crudo como fertilizante, contacto con animales salvajes o domésticos, incluso, por el contacto con los trabajadores. Además, advirtió que después de la cosecha los patógenos pueden ser transmitidos al alimento a través de equipos de procesamiento o equipo de transporte sucio, por la mala calidad de lavado, el agua de refrigeración, los trabajadores y los insectos (American Public Health Association, 2001).

El Laboratorio de Especialidades Inmunológicas S.A (LEI), publicó, en el 2016, que la eliminación adecuada de los microorganismos constituye una fase importante en la higiene de las plantas procesadoras de alimentos, cosméticos y productos farmacéuticos, ya que estos productos pueden convertirse en un vehículo de patógenos que afectan al consumidor. Por lo tanto, los procesos de esterilización y desinfección juegan un papel muy importante en estas industrias (Laboratorio de Especialidades Inmunológicas S.A., 2016). Además, el LEI explicó que la diferencia entre estos dos procesos radica en que la esterilización es un término absoluto, es decir, implica la muerte o eliminación total de cualquier microorganismo; mientras que la desinfección involucra, por lo general, la destrucción de microorganismos, pero no de esporas. Asegura que “un desinfectante no necesariamente mata a todos los microorganismos presentes en la zona en la que es aplicado, pero sí disminuye la población a niveles que permitan tener buenas condiciones para evitar la contaminación de los productos”. A su vez, respaldó el hecho de que, generalmente, se utilizan sustancias químicas en forma líquida y/o gaseosa (Laboratorio de Especialidades Inmunológicas S.A., 2016).

También, propuso que para discernir la actividad antimicrobiana de un desinfectante se debe determinar el porcentaje de reducción de un número concertado de microorganismos (cuenta inicial) cuando se ponen en contacto con el desinfectante (durante 30 segundos o el tiempo especificado por el fabricante), bajo condiciones de prueba específicas. De esta manera, posteriormente, se podrá establecer el número de microorganismos sobrevivientes (cuenta final). La prueba tiene una duración de 5 a 7 días. Para que una sustancia se considere un buen desinfectante, el porcentaje de reducción del número inicial de microorganismos obtenido debe ser del 99,999 % a los 30 segundos de contacto con el desinfectante (Laboratorio de Especialidades Inmunológicas S.A., 2016).

2.3 Desinfección

En términos prácticos, desinfectar significa eliminar los microorganismos existentes, capaces de producir enfermedades. En el proceso se usa un agente físico o químico para destruir los microorganismos patógenos que pueden transmitir enfermedades utilizando el agua como vehículo pasivo (Comite Estatal de Sanidad Vegetal de Baja California, 2014).

¿Cuál es la importancia de llevar a cabo un proceso de desinfección efectivo?

- Minimizar la redistribución de patógenos en el agua
- Es un punto de control crítico
- Reduce la carga microbiológica
- Reduce la formación de subproductos de desinfección que pueden resultar tóxicos.

El manual técnico de desinfección post-cosecha del Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Baja California advierte que la desinfección de los productos y frutas no garantiza la eliminación de los microorganismos. En un producto ya contaminado es prácticamente imposible reducir a la mínima expresión, es decir, a cero, la carga microbiológica contenida en la superficie. Como resultado, el objetivo principal de la desinfección es el evitar la introducción de más patógenos y, de manera secundaria, ayudar a reducir su carga contenida (Comite Estatal de Sanidad Vegetal de Baja California, 2014).

Además, la desinfección como tal, es un proceso selectivo: no destruye todos los organismos presentes en un sistema o producto y no siempre elimina todos los organismos patógenos, en el

caso de desinfección de aguas, por ejemplo, requiere procesos previos que los eliminen mediante la coagulación, sedimentación y filtración (Barrenechea Martel & de Vargas, 2004).

2.4 Aguas de lavado y desinfección

En 1998, por medio de la publicación “Guía para reducir al mínimo el riesgo microbiano en los alimentos”, el Departamento de Salud y Servicios Humanos de los Estados Unidos describe que entre las actividades posteriores a la cosecha se encuentran el enjuagado, enfriamiento, lavado, encerado y transporte. Aclara que el uso de agua de insuficiente calidad puede constituir una fuente directa de contaminación y diseminación de ésta en el campo, en las instalaciones y durante el transporte; asimismo, determina si los microorganismos sobreviven en dichos alimentos, aumentando la posibilidad de que provoquen enfermedades (U.S. Department of Health and Human Services, 1998). De igual forma, expuso una lista de microorganismos que el agua puede transmitir, por ejemplo: las variedades patógenas de *Escherichia coli*, especies de *Salmonella ssp.*, *Vibrio cholerae*, especies de *Shigella ssp.*, así como *Cryptosporidium parvum*, *Giardia lamblia*, *Cyclospora cayetanensis*, *Toxoplasma gondii* y los virus de Norwalk y de la Hepatitis A. Aseveró que incluso pequeñas cantidades de estos microorganismos en los alimentos pueden causar enfermedades.

En el artículo “Postharvest Chlorination”, proveniente de la Universidad de California en 1997, se describió desinfección como el tratamiento del agua de proceso para inactivar o destruir bacterias patógenas, hongos, virus, quistes y otros microorganismos. Además, se expuso que el objetivo de dicho proceso es evitar la transferencia de organismos presentes en el agua de proceso a los productos, y de un elemento de producto a otro durante el manejo post-cosecha. De esta forma, hay una mayor probabilidad de que sea microbiológicamente seguro para el consumo humano. Actualmente, se sabe, que la desinfección puede emplear productos químicos, como cloro, yodo, ozono, o peróxido; o puede utilizar los procesos físicos, como la microfiltración o la iluminación ultravioleta. También, es reconocido que la desinfección debe ser parte de un programa general de saneamiento y la gestión de la seguridad (University of California, 1997).

Según el artículo “Postharvest Chlorination”, la cloración del agua de proceso es uno de los elementos principales de un programa de saneamiento post-cosecha correctamente

administrado. Conjuntamente a un programa general de gestión de la seguridad, asegura que, por lo habitual, la cloración es eficaz, relativamente barata y puede ser implementada en las operaciones de cualquier tamaño. No obstante, recuerda que la cloración por sí sola, no es un programa de saneamiento; es, en realidad, una manera de reducir al mínimo la transmisión de patógenos de los desechos o productos infestados a las superficies no infestadas. Esto se lleva a cabo en cosechas, procesos de cortes y en heridas de la superficie de plantas naturales (University of California, 1997).

Según el Departamento de Salud y Servicios Humanos de los Estados Unidos, la calidad del agua y la forma y el momento en que se usa, así como las características de la cosecha, afectan la posibilidad de contaminación de las frutas y vegetales. Asevera que, en general, se puede argumentar que la calidad del agua en contacto directo con la parte comestible de las frutas y vegetales debe ser superior a la del agua que tiene contacto mínimo con dichas áreas. También existen otros factores: el estado del cultivo y el tipo de cultivo, el tiempo que transcurre entre el contacto y la cosecha, y la forma en que se manipulan las frutas y vegetales una vez recolectadas. Estos factores determinan la posibilidad de contaminación a causa de microorganismos patógenos transmitidos por el agua y el riesgo de que éstos causen enfermedades a través de los alimentos (University of California, 1997).

El artículo “Postharvest Chlorination”, describe que corren mayor riesgo de contaminación las frutas y vegetales con superficies amplias, como los vegetales con hojas, y aquellas que, debido a sus características, como superficies rugosas, facilitan la adhesión de organismos patógenos. Si el contacto con el microorganismo tiene lugar cerca de la cosecha o durante la manipulación de los alimentos posterior a la misma, el riesgo se incrementa. Igualmente, comenta que algunos sectores de la industria de frutas y vegetales usan agua con desinfectantes para asegurar la calidad del agua y reducir al mínimo la posibilidad de contaminación de superficie. Este artículo asegura que el contacto entre el agua y las frutas y vegetales durante el manejo de las cestas después de la cosecha es, por lo regular, extenso y que, si bien el agua en sí misma es un medio útil para reducir la posibilidad de contaminación, también puede causarla de forma directa o indirecta. Además, agregó que el reciclado del agua que se utiliza en el procesamiento de frutas y vegetales puede dar lugar a acumulación

microbiana, aparte de los microbios patógenos procedentes de los cultivos, por lo que los operadores deben establecer prácticas para asegurar que la calidad del agua vaya en consonancia con el uso que se planea hacer de ella, tanto al comienzo como al final del procesamiento que sigue a la cosecha (University of California, 1997).

En el 2013, en su publicación “Lineamientos Nacionales de Inocuidad Alimentaria”, la Asociación de Productos Frescos de las Américas expresó que las empresas deben contar con un suministro de agua que cumpla con los estándares microbianos del agua potable, con una provisión adecuada para su almacenamiento, distribución y control de temperatura, de forma que se asegure la integridad e idoneidad de los melones. Asegura que los sistemas de transporte de agua que no cumplan con los estándares mencionados deben estar claramente identificados, separados y tener instalados dispositivos adecuados para evitar el reflujó (Fresh Produce Association of the Americas, 2013).

Además, se indicó que, a menudo, el agua se usa en tanques de lavado o inmersión para transportar melones desde los contenedores del campo hasta las instalaciones de empaque. Por lo tanto, la contaminación cruzada y la fijación de patógenos a la corteza externa durante el contacto con el agua es una preocupación de seguridad alimenticia. También, si la temperatura del agua en un tanque de descarga o en un canal está fría y la temperatura interna de los melones es alta por el calor del campo, el diferencial negativo de temperatura del agua puede promover la infiltración del agua y de patógenos microbianos en el tejido y en la porción comestible de fruta, ya que ingresan por debajo de la corteza, por aberturas naturales, y heridas de abrasión por la cosecha. Finalmente, reiteró el hecho de que se debe poner especial atención en las actividades que mantienen la calidad del agua y minimizan el potencial de infiltración (Fresh Produce Association of the Americas, 2013).

2.5 Desinfección por oxidación-reducción

En el 2004, Newman publicó el artículo “Disinfecting Irrigation Water for Disease Management” como consecuencia de una conferencia dada en el mismo año en California: Conferencia de Ornamentalistas sobre pesticidas. Este reconoció que las reacciones de oxidación-reducción se refirieron originalmente sólo a las reacciones que involucran la reacción

del oxígeno con otro elemento o compuesto, y que la reducción se utiliza para indicar la eliminación de oxígeno de un compuesto. A su vez, indicó que estas reacciones tienen, en la actualidad, una definición mucho más amplia y se aplican a un gran número de reacciones que no implican oxígeno. Newman (2004) definió oxidación como un aumento en el número de oxidación positivo con la correspondiente pérdida de electrones y reducción como una disminución en el número de oxidación positivo de un ion con una ganancia correspondiente de electrones (Newman, 2004).

Además, Newman habló sobre los compuestos oxidantes comunes que incluyen cloro, bromo, ozono, hipoclorito de calcio y de sodio, peróxido de hidrógeno, etc., y sobre como los usos industriales más comunes de oxidación-reducción incluyen: desinfección del agua, control de olores, destrucción de cianuro, la reducción de cromo y grabado en metal. Aseguró que el ozono tiene 1,5 veces más potencial de oxidación que el cloro y que cuando estos productos químicos están presentes en solución, si se añade un oxidante aumenta el valor potencial de oxidación-reducción (ORP) y con la adición de un reductor se reduce el ORP. El potencial de reducción de oxidación se mide en mV o milivoltios. De esta manera, se describe que el valor ORP de una solución depende de la concentración y la actividad del oxidante presente (Newman, 2004).

Newman (2004) citó los productos químicos que son oxidantes fuertes, como el cloro, el bromo y ozono. Aseguró que son excelentes agentes desinfectantes, pues la acción higienizante es causada por una alteración de la estructura química de organismos no deseados. En otras palabras, los compuestos oxidantes "queman" los agentes patógenos, así como cualquier otro material orgánico en el agua, dejando unos pocos productos químicos inofensivos como subproductos. Continuó diciendo que durante el proceso de oxidación los compuestos oxidantes se reducen y su actividad se pierde y, por lo tanto, es importante mantener una concentración suficientemente alta del oxidante en el agua para mantener la higiene. Mencionó, además, que para el año 2004 el cloro ya era el agente más común de desinfección de agua y sus características de oxidación pueden describir mejor la química de oxidación-reducción. Aseguró que, la actividad del cloro ha sido típicamente reportada como cloro residual libre o cloro total. Existe cloro en el agua como HOCl (ácido hipocloroso) o OCl⁻ (ion hipoclorito); al primero se

le describe como oxidante de acción rápida fuerte, mientras que el segundo es mucho más débil. A medida que el pH de la solución aumenta, el HOCl se convierte en su forma iónica OCl^- , por lo que medir el cloro total de una solución no indica la fuerza oxidante de la solución. A fin de mantener el cloro libre en su forma más activa, el pH de la solución debe mantenerse entre 7,4 a 7,6 (Newman, 2004).

Datos de la Organización Mundial de la Salud han indicado que un valor medido ORP de 650 mV en aguas de lavado o consumo puede matar las bacterias *E. coli* casi instantáneamente sin importar el nivel de cloro libre a un pH de 7,6 (0,3 ppm) o pH 7,8 (0,4 ppm). Sin embargo, el cloro libre y ORP no son una relación lineal. Es decir, un aumento de 10 veces en cloro libre no produce un aumento correspondiente de 10 veces en milivoltios. El agua de riego en el extremo de la manguera de un invernadero de Colorado mediante la inyección de cloro, por lo general, tiene un ORP de 825 mV a 1,4 ppm de cloro libre y 2,25 ppm cloro total (Newman, 2004).

Hay pocos datos disponibles sobre la relación de la ORP y su eficacia en patógenos de las plantas; sin embargo, hay considerable información de la industria de transformación de productos en la eficacia de ORP en los patógenos humanos. Además, Newman (2004) respalda que la medición de la ORP es una medida muy directa del poder de desinfección del agua de riego y que por esto ha habido varias mejoras en el diseño de la sonda; asimismo, menciona que dispositivos de grabación de bajo costo están disponibles. Al igual que con el pH y la conductividad eléctrica, también hay dispositivos de mano baratos disponibles para medir ORP. Según el autor, la ventaja más importante del uso de ORP para el seguimiento de las propiedades desinfectantes de agua de riego es que la rápida evaluación se puede determinar en tiempo real (Newman, 2004).

La medición del sensor de ORP no se ve afectada por variaciones en el pH y mide la actividad del desinfectante específico que se utiliza sin interactuar con los componentes del agua. Newman (2004) asegura que la efectividad del cloro es fuertemente dependiente del pH, el ozono es moderadamente sensible a pH y el dióxido de cloro es el menos sensible. Según la publicación “Disinfecting Irrigation Water for Disease Management”, los datos de muchas

fuentes establecen que un valor medido en el agua correspondiente a 650 mV de ORP es el umbral mínimo para la actividad anti-bacteriana típica y dicho establecimiento para la calidad del agua potable municipal ha estado en vigor en Europa desde mediados de 1980 (Newman, 2004).

Otro autor que respaldó el uso de ORP para la desinfección es Trevor V. Suslow, quien, en el 2004, en su artículo “Introduction to ORP as the Standard of Postharvest Water Disinfection Monitorig”, habló sobre desinfección postcosecha con ORP y sobre como una de las ventajas en el uso de ORP es que el monitoreo del sistema de agua proporciona al operador, además de una evaluación rápida, un solo valor del potencial de desinfección del agua en un sistema post-cosecha. La investigación demostró que un valor de ORP de 650 a 700 mV resulta en la eliminación de bacterias de pudriciones y bacterias tales como *E. coli* y *Salmonella* en pocos segundos. Las levaduras causantes de pudriciones y el tipo más sensible de hongos que forma esporas también son eliminados a este nivel después de un tiempo de contacto de pocos minutos (Trevor V. Suslow, 2004).

En el Cuadro 2.1 se muestra el tiempo en segundos que sobreviven algunos patógenos cuando se aplica un potencial determinado con un oxidante.

Cuadro 2.1. Sobrevivencia de patógenos en simulaciones de laboratorio y estudios con hidrofriadores (Newman, 2004).

Patógeno	Sobrevivencia a ORP (mV)		
	< 485	550 < x < 620	> 665
<i>E. coli O157:H7</i>	> 300 s	< 60 s	< 10 s
<i>Salmonella ssp.</i>	> 300 s	> 300 s	< 20 s
<i>L. Monocytogenes</i>	> 300 s	> 300 s	< 20 s
Coliformes termotolerantes	> 48 h	> 48 h	< 30 s

2.6 Fuentes de cloro

En 2004, como se citó con anterioridad, Newman publicó que el cloro es, probablemente, el desinfectante más común utilizado en el tratamiento del agua en todo el mundo. Describe que en los sistemas municipales de agua potable se añade un ligero exceso para prevenir el crecimiento de bacterias en el sistema de distribución. Asimismo, expone datos como el nivel de cloro residual típico de 0,5 a 1 ppm y comenta que para esa época el cloro era relativamente barato, ya que es un co-producto de cloro puro y sosa cáustica (NaOH). También, escribe sobre el hipoclorito de calcio: una forma seca de cloro que cuando se disuelve en agua se transforma en un desinfectante eficaz que elimina bacterias, algas, limo, hongos y otros microorganismos. Asevera que el hipoclorito de calcio tiene muchas ventajas sobre el gas de cloro y el hipoclorito de sodio, debido a que es mucho más seguro de manejar en comparación con los otros dos; es más fácil de almacenar, a diferencia del hipoclorito de sodio que requieren tanques a granel; y, además, el hipoclorito de calcio no es tan corrosivo y es menos duro en el equipo (Newman, 2004).

A su vez, Newman (2004) expuso que el dióxido de cloro es 25 veces más efectivo que el gas de cloro como desinfectante y que es, también, de color verde amarillento. A continuación, describe que el dióxido de cloro es inestable como tal, pero es estable y soluble en agua. Su inestabilidad hace necesario que sea producido y utilizado en el mismo lugar, por lo que requiere equipo especial. Sin embargo, el dióxido de cloro es un biocida extremadamente eficaz, es agente desinfectante y oxidante, incluso en la presencia de altas condiciones de cargas orgánicas comunes al agua de riego de efecto invernadero recirculado. En comparación con el ácido hipocloroso, es efectivo sobre una gama más amplia de pH con la máxima eficacia a pH de 8,5 (Newman, 2004).

2.7 Otros desinfectantes oxidantes

En el artículo “Disinfecting Irrigation Water for Disease Management” de Newman, publicado en el año 2004, otro de los temas a los que hace referencia es al ozono como desinfectante, el cual se produce naturalmente durante las tormentas con relámpagos. Describe que también se detecta cerca de las máquinas de copia en las oficinas y los soldadores están expuestos al ozono producido por soldadoras de arco. El autor, de la misma forma, habla sobre

el hecho de que en muchos centros urbanos tienen concentraciones de ozono en el ámbito de 0,5 a 1,0 ppm proveniente del escape de los automóviles y las industrias, que reacciona con la luz solar. Menciona que este compuesto es una forma de oxígeno normalmente generado por un sistema de descarga de corona mediante el paso seco de gas que contiene oxígeno a través de un campo eléctrico. En el proceso, la corriente eléctrica divide las moléculas de oxígeno, los átomos de oxígeno resultantes buscan la estabilidad y se unen a otras moléculas de oxígeno, lo que deriva en la formación de ozono. En industria, el ozono se inyecta en el agua de riego, lugar donde inactiva los microorganismos mediante la interrupción de las membranas celulares a través de la oxidación (Newman, 2004).

Comenta, Newman (2004) además, que el ozono se fabrica utilizando unidades de descarga de plasma de la corona. Una tasa de inyección típica de agua de riego de efecto invernadero sería medida como: 1 oz O_3 / 1 000 galones de agua. Describe que, para obtener resultados óptimos, el pH del agua se debe mantener en un valor de 4 con un tiempo de contacto de una hora. Por lo tanto, el ozono se inyecta, típicamente, en un sistema de almacenamiento de agua y debe ser confinado para evitar la liberación del gas. Asimismo, expresa que, en el agua limpia, el ozono disuelto se puede medir con la reducción, sin embargo, con el fuerte poder oxidante del ozono, agua con turbidez moderada puede dar lugar a valores de ORP muy por debajo de los niveles esperados. Completa el autor aseverando que el ozono es ampliamente utilizado para el tratamiento de agua de lavado en las industrias de procesamiento de alimentos.

En el mismo artículo, Newman declara que una de las principales ventajas de la utilización de un sistema de desinfección con ozono es que no hay productos químicos corrosivos adicionales; sin embargo, no hay desinfectante residual como con los sistemas de radiación UV de onda corta. Además, el ozono puede reaccionar con algunos fertilizantes oxidantes de hierro, manganeso y sulfuros. Un beneficio adicional es que el ozono flocula los sólidos y oxida los residuos de pesticidas. Otra opción que da es el peróxido de hidrógeno (H_2O_2), el cual es un oxidante fuerte pero no muy estable. Está formado por agua (H_2O) con una molécula de oxígeno extra y es un compuesto natural que se encuentra en pequeñas cantidades en la lluvia y la nieve. También, describe cómo se forma cuando la lluvia se combina con el ozono (O_3) en la atmósfera: el ozono pierde una molécula de oxígeno y la cede al agua y forma el peróxido de hidrógeno; no obstante, se descompone, fácilmente, en agua y una única molécula de oxígeno.

Igualmente, articula que el peróxido de hidrógeno es un simple pero eficaz desinfectante debido a su capacidad para liberar una única molécula de oxígeno, lo que lo hace muy reactivo. Describe al compuesto como un desinfectante en el agua, pero se utiliza, principalmente, como desinfectante tópico. El peróxido de hidrógeno de calidad alimentaria (35 %) se utiliza en un envase estéril para la industria alimentaria y, según Newman, su uso está aumentando como alternativa ambientalmente racional sobre desinfectantes clorados. El peróxido de hidrógeno está disponible en varias concentraciones; en las farmacias es de 3 %, pero el industrial y de calidad alimentaria es, por lo común, de 35 %. El peróxido de hidrógeno se ha sugerido a una velocidad de prueba de 1 000 ppm a 3 000 ppm, tomando en cuenta que su eficacia se limita con altos niveles de materia orgánica. Muchas de las recomendaciones para los niveles de peróxido de hidrógeno sugieren un ORP de 750 mV, según el artículo “Disinfecting Irrigation Water for Disease Management” (Newman, 2004).

Estudios como los publicados por Hellstrom en el 2006, y confirmados en el 2009 por Allende, Gil, López-Gálvez, & Selma en su revista “Revista Horticultura, Extra Poscosecha”, aluden que el ácido peroxiacético, también conocido como ácido peracético, es de gran interés debido a su eficacia reduciendo la carga microbiana y a la inocuidad de sus productos de reacción tras la descomposición espontánea: ácido acético, agua y oxígeno. Los autores citados describen que el ácido peroxiacético es menos efectivo que el hipoclorito sódico en la reducción de patógenos en el agua de red; pero no se observaron diferencias entre ambos cuando se comparó su eficacia en agua de proceso en presencia de materia orgánica.

Según los límites establecidos por la FDA, la concentración máxima permitida de ácido peracético para el lavado de frutas y hortalizas es 80 ppm, aunque algunos estudios indican, según Allende, Gil, López-Gálvez, & Selma, que esta concentración es insuficiente para garantizar la inocuidad de estos productos. Otra ventaja que presenta el ácido peracético, según el artículo citado, es su baja reacción con la materia orgánica presente en el agua de proceso, al contrario que el hipoclorito sódico (Allende, Gil, López-Gálvez, & Selma, 2009).

CAPÍTULO 3

Metodología

3.1 Equipo

La empresa Quimusa aportó los equipos utilizados para llevar a cabo la parte experimental: simulación de las condiciones de desinfección y el procesamiento de los melones. Estos fueron: controlador y sensor de ORP, controlador y sensor de pH, bombas dosificadoras y pileta para simular condiciones, los cuales se muestran en el Cuadro 3.1.

Cuadro 3.1. Equipo utilizado en el proyecto.

Equipo	Fabricante	Característica o tipo
Controlador de ORP y pH	Hanna instruments	Serie pH 500 / mV 600
Sensor de ORP	Sensorex	Electrodo de platino
Sensor de pH	Sensorex	Electrodo de platino
Bombas dosificadoras	Uni-Dose	Serie U031 - flujo máx.: 24 gal/día
Pileta de simulación	-	Volumen 100 L

3.2 Metodología

Los melones Cantaloupe utilizados en este proyecto son del tipo reticulados y fueron adquiridos en la empresa guanacasteca que se dedica al cultivo y exportación de esta fruta.

Se especificaron como variables a estudiar el tipo de desinfectante y las concentraciones a trabajar, y la variable respuesta es la efectividad de desinfección. Se definen como variables fijas, basadas en valores de referencia obtenidos de la literatura, las condiciones de lavado que se aplicaron con los desinfectantes: tiempo de retención de los melones, pH a trabajar, características y parámetros del controlador automático, volumen de la pileta a escala.

En cuanto a los desinfectantes, se consideró, inicialmente, una lista de posibles sustitutos entre clorados y no clorados que se detallan en el Cuadro 3.2. Esta lista está basada en productos químicos que, en su mayoría, han significado una opción para desinfección tradicional, y más recientemente se incluye el caso del limoneno. Los desinfectantes más usados son: cloro gas (Cl_2), hipoclorito de sodio (NaOCl , 12.5 % de cloro disponible), hipoclorito de calcio (Ca(OCl)_2 , 70 % de cloro disponible), cloraminas, dióxido de cloro (ClO_2) y ozono (O_3) (Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración de Aguas, 2009).

Cuadro 3.2. Desinfectantes considerados preliminarmente.

Clorados	No clorados
Hipoclorito de calcio (usado actualmente)	Peróxido de hidrógeno
Hipoclorito de sodio	Ácido peracético
Ácido tricloroisocianúrico	Limoneno
Dióxido de cloro	Permanganato de potasio

Las condiciones que la empresa requiere para poder considerar el sustituto son las siguientes:

- No debe variarse de manera considerable la estructura de la zona de desinfección para implementar el eventual sustituto.
- Debe significar una mejora en la disolución del producto en agua, dado que el hipoclorito de calcio tiene una solubilidad parcial.
- No puede significar un incremento significativo en los costos comparados a los que se tienen con el desinfectante actual.
- Debe ser un desinfectante cuya toxicidad no implique limitaciones, prohibiciones o incremento de los riegos en el manejo por parte de los encargados.

En el Cuadro 3.3 se tabulan los datos para realizar un análisis comparativo de la toxicidad, la solubilidad y del modo de aplicación de cada desinfectante de la lista preliminar mostrada en el Cuadro 3.2, con datos obtenidos de la ficha técnica de cada producto; de modo que sea el

primer filtro para definir los desinfectantes a utilizar en la parte experimental de este proyecto. Estos mismos deben significar una opción real y a largo plazo como sustituto del hipoclorito de calcio que se utiliza actualmente. A su vez, dicho filtro servirá para descartar la o las opciones que por alguna de las limitantes anteriores no es factible para el estudio. Un segundo filtro con la tercera limitante de la lista, es decir, el tema de costos, será analizado más adelante en este capítulo.

Cuadro 3.3. Análisis comparativo de los desinfectantes considerados.

Desinfectantes	Clasificación de riesgos	Solub. H₂O	Forma de aplicación
Hipoclorito de calcio	Salud: 1	217 g / L	<u>Sólido</u> : disolver-aspersión
Hipoclorito de sodio	Salud: 1	Miscible	<u>Líquido</u> : diluir-aspersión
Ácido tricloroisocianúrico	Salud: 3	12 g / L	<u>Sólido</u> : disolver-aspersión
Dióxido de cloro	Salud: 2	8 g / L	<u>Gaseoso</u> : burbujear
Peróxido de hidrógeno	Salud: 2	Miscible	<u>Líquido</u> : diluir-aspersión
Ácido peracético	Salud: 3	Miscible	<u>Líquido</u> : diluir-aspersión
Limoneno	Salud: 3	Insoluble	<u>Líquido</u> : diluir-aspersión
Permanganato de potasio	Salud: 4	70.4 g / L	<u>Líquido</u> : diluir-aspersión

Con el fin de seleccionar los desinfectantes para la parte experimental del proyecto y descartar los que incumplen las condiciones citadas, se elaboró una matriz de selección que permite comparar, cuantitativamente, las distintas características o propiedades de las sustancias enlistadas en el Cuadro 3.3. A cada uno de estos parámetros se le asignó una escala de valores numéricos de acuerdo con su importancia.

La toxicidad se consideró en términos de clasificación de riesgo para la salud establecida en las MSDS (Material Safety Data Sheet) de cada sustancia química. Como el desinfectante que la empresa utiliza actualmente (hipoclorito de calcio) presenta clasificación de riesgo para la salud: 1; y el máximo valor de lista del Cuadro 3.3 es “salud: 4”; se elige precisamente una escala de 1 a 4, donde 1 en la escala representa 1 en clasificación salud y 4 es a 4 consecuentemente. Sobre la solubilidad en agua, se establece una escala de 1 a 5. En dicha escala

1 equivale a “miscible”, 2 equivale a una solubilidad mayor a 200 g / L, 3 equivale a una solubilidad entre 50 y 200 g / L, 4 significa solubilidad menor a 50 g /L y 5 equivale a “no soluble”. La variación en la estructura de la zona de desinfección que requeriría la implementación de un nuevo desinfectante se clasificó con una escala de 1 a 3, donde 1 significa que no es necesario un cambio de estructura, 2 significa un cambio pequeño y 3 significa un cambio de estructura mayor o rediseño.

En el cuadro 3.4 se presentan los valores correspondientes a la clasificación de cada desinfectante con respecto a cada característica o condición.

Cuadro 3.4. Valores de clasificación establecidos para matriz de selección.

Desinfectante	Toxicidad (1-4)	Solubilidad en agua (1-5)	Cambia estructura (1-3)
Hipoclorito de calcio	1	2	1
Hipoclorito de sodio	1	1	1
Ácido tricloroisocianúrico	3	4	2
Dióxido de cloro	2	4	3
Peróxido de hidrógeno	2	1	1
Ácido peracético	3	1	1
Limoneno	3	5	3
Permanganato de potasio	4	3	1

Además, se normaliza cada caso dividiendo el valor asignado entre el valor máximo en cada categoría y multiplicando por un factor relacionado a la prioridad de cada condición. Para el caso de “cambio de estructura” su factor es un 50 %, para “solubilidad en agua” su factor es 30 % y para “toxicidad” su factor en 20 %. De esta manera, el puntaje máximo total que un desinfectante puede obtener es 1; y el puntaje mínimo posible sería 0,251. Se definió que la o las sustancias más adecuadas para realizar la parte experimental y ser consideradas para el proceso real, sea al menos el 50 % de las opciones investigadas, es decir, los cuatro desinfectantes cuya suma del puntaje total tenga los valores más bajos, y dando prioridad a la condición de no cambiar la estructura, seguido de mejora en solubilidad, y finalmente, cambio en toxicidad.

Cuadro 3.5. Matriz de selección normalizada.

Desinfectante	Toxicidad	Solubilidad en agua	Cambia estructura	Total
Hipoclorito de calcio	1/4*0,2	2/5*0,3	1/3*0,5	0,34
Hipoclorito de sodio	1/4*0,2	1/5*0,3	1/3*0,5	0,28
Ácido tricloroisocianúrico	3/4*0,2	4/5*0,3	2/3*0,5	0,72
Dióxido de cloro	2/4*0,2	4/5*0,3	3/3*0,5	0,84
Peróxido de hidrógeno	2/4*0,2	1/5*0,3	1/3*0,5	0,33
Ácido peracético	3/4*0,2	1/5*0,3	1/3*0,5	0,38
Limoneno	3/4*0,2	5/5*0,3	3/3*0,5	0,95
Permanganato de potasio	4/4*0,2	3/5*0,3	1/3*0,5	0,55

A partir del Cuadro 3.5 se determinó que los desinfectantes que debían descartarse de la lista definitiva con la que se realizaría la experimentación eran: ácido tricloroisocianúrico, dióxido de cloro, limoneno y permanganato de potasio; debido a que con el uso de estos se presentarían disminución en la solubilidad en agua y/o requerimientos de cambios en la estructura de la zona de desinfección, e incrementos en toxicidad con respecto al desinfectante actual. Por lo tanto, como muestra el Cuadro 3.6, los desinfectantes elegidos y definidos para realizar la parte experimental de este proyecto, son los siguientes:

Cuadro 3.6. Desinfectantes definidos.

Clorados	No clorados
Hipoclorito de calcio	Peróxido de hidrógeno
Hipoclorito de sodio	Ácido peracético

En San José, Costa Rica, se construyó una pileta de lavado, con los elementos mostrados en la Figura 3.1. Con recirculación y control automático de la dosificación del desinfectante oxidante, con una capacidad de 100 L, con la que se simularon, de la manera más fiable posible, las condiciones de lavado reales que se tienen en Guanacaste.

Pileta 100 L**Controlador ORP/pH****Estructura de soporte,
tuberías y electrodos****Figura 3.1.** Elementos para construir la pileta de desinfección a escala.

Se transportaron los melones necesarios para realizar las pruebas experimentales, desde la empresa que los cosecha hasta San José, y se adquirieron los productos desinfectantes definidos. Se utilizó un controlador automático de ORP y pH de la marca Hanna Instruments, modelo HI 504, como el mostrado en la Figura 3.2.

El HI 504 es un controlador de pH/ORP de tipo PID, PI, proporcional u on/off con uno o dos puntos de ajuste, con una precisión a 20 °C de ± 0.02 pH; ± 2 mV; ± 0.5 °C (-9.9 a 130.0°C); ± 1 °C (-30 a -10 °C).

**Figura 3.2.** Controlador de pH/ORP.

A este dispositivo se le definió un set-point o valor de trabajo a mantener, basado en los valores de ORP recomendados en la literatura para el caso específico de cada desinfectante y valores de alarma en mínimo y máximo también asociados a los recomendados y descritos en el Capítulo 4; mismos que se muestran en el Cuadro 3.6. Para el caso del peróxido de hidrógeno y ácido peracético no se contaba con valores ORP de referencia por lo que se trabajó con la concentración recomendada y se determinó el valor de ORP asociado.

Cuadro 3.7. Valores de ORP para cada desinfectante.

Desinfectante	Set-point (mV)	Alarma de baja (mV)	Alarma de alta (mV)
Hipoclorito de calcio	860	830	890
Hipoclorito de sodio	860	830	890
Peróxido de hidrógeno	260	230	290
Ácido peracético	290	260	320

Se definió como estrategia experimental para probar la efectividad de los desinfectantes, delimitada por la cantidad de pruebas microbiológicas disponibles, dos concentraciones de los desinfectantes a trabajar y cuatro melones desinfectados por concentración. Esto durante un tiempo de retención de dos minutos para cada melón, tiempo aproximado al que son sometidos los melones a gran escala. Según Allende, Gil, López-Gálvez, & Selma (2009) el “tiempo de lavado parece que no tiene un gran efecto en la reducción microbiana ya que cuando se incrementa de 1 a 2 min, la eficacia del tratamiento no incrementa”.

El grado de agitación, al ser una variable difícil de medir en el proceso, debido a que la agitación principal la generan los mismos melones al ir cayendo a la pileta, en el experimento a escala se realizó una agitación manual para simular el remojo de cada melón, sin embargo, esta es una variable de la que se tiene poco control incluso en el proceso real, por lo que se asume que el remojo de los melones es similar en el proceso real y el realizado a escala.

Se tomaron medidas de ORP, pH, conductividad y temperatura al inicio y final de cada experimento. Las concentraciones se establecieron de la siguiente manera: el valor superior se definió según la literatura o indicaciones de FDA, como se verá en el capítulo 3, para cada

desinfectante; y el valor inferior se definió como la mitad del valor superior, considerando varios aspectos. Esto con el propósito de, en primer lugar, que un operario pueda detectar y corregir cualquiera de las siguientes situaciones: falla en la medición que provoque una reducción de concentración efectiva por un periodo corto; en la agitación, causando que se reduzca el contacto efectivo del desinfectante con la fruta; en la medición de pH, provocando una elevación del valor del mismo y una evaporación excesiva **de cloro**; o cualquier otra situación que pueda reducir la concentración a la que la fruta está siendo expuesta o la efectividad de ese contacto. En segundo lugar, con el propósito de confirmar con este valor inferior si la efectividad de la desinfección se mantiene.

Se realizaron pruebas de lavado de melones con los desinfectantes oxidantes para comprobar su efectividad en la eliminación de los microorganismos bajo las condiciones definidas. Para esto, se introdujo cada melón desinfectado en una bolsa con un disolvente definido (tiosulfito), para enjuagar con este su superficie y así, luego, ser enviado a un análisis posterior. Allí se hace un análisis comparativo entre las muestras de melones desinfectados y los melones sin desinfectar, por medio de un recuento total, para verificar la disminución de los microorganismos en la cáscara de la fruta y comparar ambas muestras. De esta manera, se puede comprobar la efectividad de cada uno de los desinfectantes. Dichas pruebas se llevaron a cabo en la escuela de Microbiología de la Universidad de Costa Rica.

CAPÍTULO 4

Discusión

Se presentan, a continuación, los datos generados durante el experimento de desinfección de melones con cada uno de los desinfectantes definidos en el Cuadro 2.4 bajo las condiciones dadas en la metodología.

4.1 Hipoclorito de calcio

El hipoclorito de calcio es el desinfectante que se utiliza actualmente en el proceso, el cual aumenta su valor de potencial de oxidación con respecto al incremento de su concentración como se muestra en la Figura 4.1. Igualmente se probó su efectividad bajo las condiciones propuestas para que la empresa implicada tenga respaldo con estudios formales que comprueben su efectividad, en caso de que la conclusión después de este proyecto sea la de no sustituir este compuesto. También, se mantiene el control del potencial en la pila con valor mínimo de ORP como set-point, de 850 mV, que se asocia de manera aproximada a las 150 ppm. Concentración a la que se recomienda mantener aguas de desinfección de frutas. Oyarzun (2012) asegura que “aunque se han reportado que bajas concentraciones de ácido hipocloroso (< 40 ppm) eliminan a la mayoría de los patógenos en un minuto, concentraciones más altas (100 a 150 ppm) son comúnmente usadas para compensar las pérdidas de cloro en el tanque”.

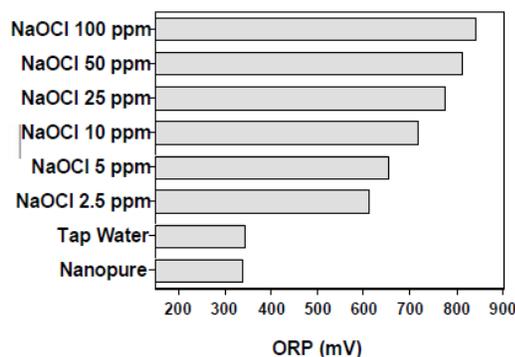


Figura 4.1. Relación entre ppm de hipoclorito de sodio y el potencial de oxidación reducción (ORP). Todas las sustancias probadas ajustadas a pH 7 (Trevar V. Suslow, 2004).

Los cuadros 4.1 y 4.2 muestran los datos generados durante la simulación con hipoclorito de calcio a 75 ppm y a 150 ppm, respectivamente.

Cuadro 4.1. Datos con hipoclorito de calcio a 75 ppm.

Medición	Unidad	Datos iniciales	Datos Finales
pH	-	6,98	7,01
ORP	mV	850	848
Conductividad	μ S	340	350
Temperatura	$^{\circ}$ C	23,8	23,8

Según los datos mostrados en el Cuadro 4.1, el pH se mantuvo cercano a 7, como es recomendado para favorecer el equilibrio de la reacción del cloro hacia el HOCl⁻ y, con esto, la efectividad del desinfectante a base de cloro. Esto se logró regulando ligeramente con ácido cítrico para mantener un valor estable. El valor de ORP se mantuvo cercano a 850 mV para una concentración de 75 ppm, lo cual muestra que el valor que debería utilizarse a gran escala como referencia asociada a la concentración en la pila debe ser mayor, como se verá en el Cuadro 4.2 correspondiente a las 150 ppm de hipoclorito de calcio, el cual es el valor de concentración recomendado para desinfección de melón. La conductividad asociada al “ensuciamiento” que se va presentando en la pila varía muy poco su valor, solamente 10 unidades y la temperatura no presentó cambio.

Cuadro 4.2. Datos con hipoclorito de calcio a 150 ppm.

Medición	Unidad	Datos iniciales	Datos Finales
pH	-	7,04	7,05
ORP	mV	872	863
Conductividad	μ S	440	440
Temperatura	$^{\circ}$ C	23,3	23,6

En el Cuadro 4.2 se muestra que, nuevamente, el pH se mantuvo cercano a 7. El valor de ORP superó los 870 mV para la concentración de 150 ppm, lo que refleja que el valor que

debería utilizarse en el proceso para control indirecto de la concentración en la pila debe ser mayor a los 850 mV que se han programado en el controlador. La conductividad asociada y la temperatura no tuvieron mayor cambio.

Este comportamiento del pH con respecto al valor ORP es el esperado, pues como se puede ver en la Figura 4.2, un pH menor a 7.5 favorece el equilibrio del cloro en disolución hacia el lado del ácido hipocloroso el cual es el más efectivo en desinfección.

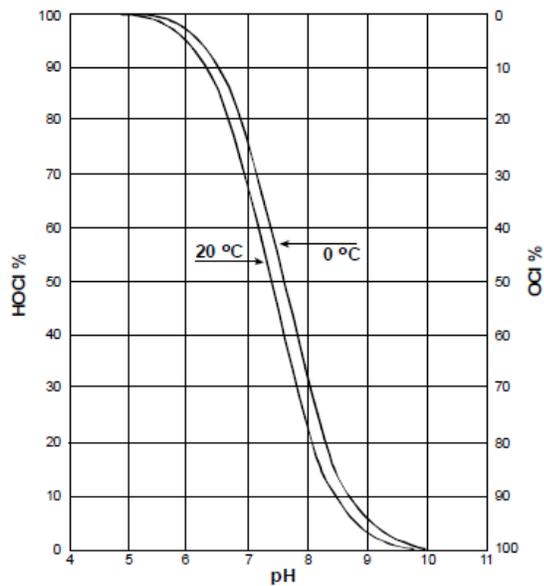


Figura 4.2. Cantidades relativas de HOCl y OCl⁻ a diferentes pH (Barrenechea Martel & de Vargas, 2004).

4.2 Hipoclorito de sodio

El hipoclorito de sodio se trabajó en dos concentraciones: 75 ppm y 150 ppm; igual que los valores utilizados con el hipoclorito de calcio debido a su similitud química.

En el Cuadro 4.3 se muestran los datos que se generaron durante la simulación con hipoclorito de sodio a 75 ppm y en el Cuadro 4.4 los resultados de este desinfectante a 150 ppm.

Cuadro 4.3. Datos con hipoclorito de sodio a 75 ppm.

Medición	Unidad	Datos iniciales	Datos Finales
pH	-	7,04	7,09
ORP	mV	820	830
Conductividad	μ S	510	510
Temperatura	$^{\circ}$ C	23,9	23,8

A partir de los datos del Cuadro 4.3 se comprueba que el pH se mantuvo cercano a 7, al igual que el caso del hipoclorito de calcio; esto se logró regulando con ácido cítrico. El valor de ORP leído y asociado a 75 ppm fue de 820 mV, el cual se encuentra por debajo del set-point definido de 860. Es decir, que con una concentración de 75 ppm no se alcanza el valor de ORP recomendado. La conductividad y la temperatura no tuvieron mayor cambio por el corto tiempo de procesamiento a escala.

Cuadro 4.4. Datos con hipoclorito de sodio a 150 ppm.

Medición	Unidad	Datos iniciales	Datos Finales
pH	-	7,05	7,04
ORP	mV	855	840
Conductividad	μ S	750	750
Temperatura	$^{\circ}$ C	23,8	23,9

En el Cuadro 4.4, se muestra que el pH se mantuvo cercano a 7 al igual que en los casos anteriores. El valor de ORP medido a 150 ppm fue cercano a los 850 mV. No se alcanza el set-point definido en el sistema, pero se llega a un valor muy cercano que puede seguir ajustándose con la constante lectura del electrodo y dosificación del controlador, se comprueba más adelante si este valor de ORP resulta efectivo en la desinfección. La conductividad y la temperatura no tuvieron mayor cambio.

4.3 Peróxido de hidrógeno

Se definieron las concentraciones de 50 000 ppm y 25 000 ppm, porque Ramón-Ávalos *et al.* (2016: 146-150) indican que “Ukuko (2004) demostró que el tratamiento de melones

contaminados artificialmente, con solución de peróxido de hidrógeno de 50 000 ppm durante 2 minutos causaba reducción exponencial de 3 ordenes en la carga de *Salmonella ssp*". El uso de dicho compuesto con concentración de 10 000 ppm redujo la población de *E. coli* en la superficie de manzanas igual o, incluso, mejor aún que 200 ppm de hipoclorito, llegando a la reducción de hasta tres órdenes (Ramon-Avalos, Rosas-Acevedo, & Vargas-Roman, 2016).

Los datos generados con peróxido de hidrógeno a 25 000 ppm y 50 000 ppm se encuentran en los Cuadros 4.5 y 4.6, respectivamente.

Cuadro 4.5. Datos con peróxido de hidrógeno a 25 000 ppm.

Medición	Unidad	Datos iniciales	Datos Finales
pH	-	6,50	6,52
ORP	mV	265	266
Conductividad	μS	230	240
Temperatura	°C	24,4	24,6

En el Cuadro 4.5 se puede analizar que el peróxido de hidrógeno al 2,5 %, produce un pH ligeramente ácido. La conductividad y la temperatura no varían significativamente por el corto tiempo de proceso y los pocos melones procesados. El ORP se mantuvo entre 260 y 270 mV.

Cuadro 4.6. Datos con peróxido de hidrógeno a 50 000 ppm.

Medición	Unidad	Datos iniciales	Datos Finales
pH	-	6,20	6,22
ORP	mV	284	289
Conductividad	μS	230	230
Temperatura	°C	24,4	24,6

En el caso del peróxido de hidrógeno al 5 %, los valores de ORP se mantuvieron por debajo de los 300 mV, y la acidez de la solución se incrementó con el aumento en la concentración.

Por lo tanto, se determina que el intervalo de trabajo del ORP en el caso de peróxido de hidrógeno es mucho más bajo que en el caso de los desinfectantes clorados, con valores por debajo de los 300 mV. Y no se alcanza valores de 750 mV como indicaba Newman (2004) para la aplicación en aguas de riego con peróxido de hidrógeno al 35 %.

4.4 Ácido peracético

Se utilizó a concentraciones de 40 ppm y 80 ppm debido a que la concentración de 80 ppm ha mostrado ser la concentración recomendada en desinfección. Pues en el artículo “Postharvest Chlorination” se recomienda que, para el tratamiento de superficies de frutas y vegetales, las formulaciones actuales combinan peróxido de hidrógeno al 11 % y ácido peroxiacético al 15 %. La tasa de contacto superficial sobre el producto es de 80 ppm” (University of California, 1997).

Además, 80 ppm es el valor que, según los límites establecidos por la FDA, es la concentración máxima permitida de ácido peracético para el lavado de frutas y hortalizas según la Guía de Buenas Prácticas de Producción de Productos de IV Gama (Allende, Gil, López-Gálvez, & Selma, 2009).

Los datos generados durante el proceso con ambas concentraciones de ácido peracético se muestran en los Cuadros 4.7 y 4.8.

Cuadro 4.7. Datos con ácido peracético a 40 ppm.

Medición	Unidad	Datos iniciales	Datos Finales
pH	-	5,90	5,91
ORP	mV	291	296
Conductividad	μS	150	160
Temperatura	°C	25,2	25,3

En el Cuadro 4.7 se muestran los datos medidos durante la experimentación con ácido peracético a una concentración de 40 ppm. En el mismo se observa como el valor de pH se mantuvo ligeramente por debajo de 6, es decir, se comprueba el pH ácido que genera el ácido

peracético, el valor de ORP estuvo por encima de los 290 mV, y hubo poca variación en conductividad y temperatura. Se comprueba entonces que, los valores de ORP a manejar cuando se desinfecta con ácido peracético a baja concentración estarán cercanos a los 300 mV.

Cuadro 4.8. Datos con ácido peracético a 80 ppm.

Medición	Unidad	Datos iniciales	Datos Finales
pH	-	5,47	5,49
ORP	mV	316	318
Conductividad	μS	200	210
Temperatura	°C	23,3	23,6

En el Cuadro 4.8 se presentan los valores medidos con ácido peracético a una concentración de 80 ppm. Nuevamente el valor de pH se mantuvo por debajo de 6, y como era de esperar, más ácido con el aumento de la concentración de 40 ppm a 80 ppm con este desinfectante. El valor de ORP superó los 315 mV, y se registra poca variación en conductividad y temperatura.

El valor de ORP observado en las mediciones con ácido peracético se considera adecuado dado que en el uso de un método automático para controlar el crecimiento de microbios en una corriente acuosa utilizada para transportar o procesar productos que comprende tratar dicha corriente acuosa con una cantidad efectiva y antimicrobiana de un ácido percarboxílico, es controlado y mantenido un potencial de reducción de oxidación (ORP) de aproximadamente 280 mV a 460 mV con respecto a un electrodo de referencia Ag/AgCl o, preferiblemente, entre 310 mV y 440 mV (Oficina Española de Patentes y Marcas, 2002).

En resumen, los valores promedio de ORP observados durante el procedimiento con cada desinfectante asociados a la concentración superior son: hipoclorito de calcio 150 ppm / 867,5 mV, hipoclorito de sodio 150 ppm / 847,5 mV, ácido peracético 80 ppm / 317 mV y peróxido de hidrógeno 5 % / 286,5 mV

4.5 Resultados de las pruebas microbiológicas

A continuación, se presentan los resultados de las pruebas microbiológicas aplicadas a los melones procesados en la parte experimental, así como los no procesados que se tomaron como muestras “blanco” para la comparación y comprobación final de la efectividad de los desinfectantes elegidos como posibles sustitutos en el proceso de la empresa involucrada.

En el Cuadro 4.9 se presentan los resultados de las pruebas de recuento total aerobio mesófilo aplicadas a los melones sin procesar, estos melones fueron cultivados, transportados y seleccionados para esta prueba; y representan una muestra de la contaminación que trae por lo general la fruta antes del proceso en las pilas de desinfección.

Cuadro 4.9. Resultados de pruebas de recuento total en melones sin desinfectar.

Descripción de la muestra	Recuento total aerobio mesófilo (UFC/g)
Melón 1: blanco	8,8 x10 ⁴
Melón 2: blanco	7,0 x10 ⁴
Melón 3: blanco	5,8 x10 ⁴
Melón 4: blanco	9,6 x10 ⁴

Millán Trujillo (2001: 173-179) señala que “es importante destacar que los recuentos microbiológicos en frutas pueden ubicarse en concentraciones alrededor de 10⁷ UFC/g, si no se aplican adecuadas prácticas de manejo post-cosecha”. En el Cuadro 4.9 se puede observar que la contaminación que presentan los melones post-cosecha que se utilizaron en el proyecto es relativamente baja en comparación al orden de 10⁷ UFC/g mencionada por Trujillo (2001). Esto debido a los cuidados en el cultivo que tiene la compañía involucrada, por ejemplo, el uso de plataformas plásticas (ver Figura 4.3) que se colocan debajo de la fruta para evitar el contacto de ésta con el suelo directamente durante su proceso de crecimiento.

La diferencia de los valores de contaminación entre estos cuatro melones es baja, pero puede atribuirse a la “protección” que puedan tener unos melones sobre otros en la plantación por su ubicación (cerca de orillas o centrados en el cultivo) y a la manipulación que los mismos reciben.

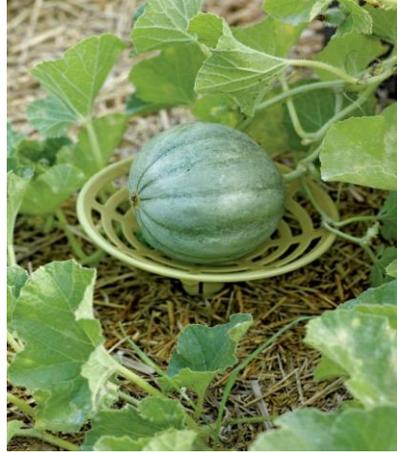


Figura 4.3. Silletas para cultivo

Así mismo, se observa en el Cuadro 4.10 los resultados de las pruebas microbiológicas tipo *Recuento Total Aerobio Mesófilo*, aplicadas a los 36 melones procesados mediante la simulación de desinfección con los cuatro desinfectantes definidos, las dos concentraciones trabajadas por desinfectante y los cuatro melones por cada concentración.

Como se observa en el Cuadro 4.10, en todos los casos fueron efectivas las pruebas de desinfección y la reducción de la carga microbiológica medida a través de recuento total aerobio mesófilo. El resultado de eliminación, indicado por el Laboratorio de Especialidades Inmunológicas (Laboratorio de Especialidades Inmunológicas S.A (LEI), 2016), fue, aproximadamente 99,999 %. Y dado que un resultado “< 10” en las mediciones de Recuento total aerobio mesófilo, del Laboratorio de Microbiología de Alimentos de la Universidad de Costa Rica, expresado en UFC/g, es equivalente a decir que se eliminó el 99,999 % del contenido microbiológico, debido a la resolución de su equipo, de esta manera se comprueba la efectividad de los cuatro desinfectantes elegidos, hipoclorito de calcio, hipoclorito de sodio, peróxido de hidrógeno y ácido peracético, bajo las dos concentraciones propuestas con cada uno y bajo las condiciones simuladas, incluso cuando se utilizan las concentraciones a la mitad de su valor recomendado, que se planteó con la intención de prevenir las eventuales bajas de concentración que puedan darse en el sistema real durante el procesamiento de las frutas por el consumo mismo del desinfectante. Los datos originales entregados por el Laboratorio de Microbiología de Alimentos se pueden ver en el anexo 1.

Cuadro 4.10. Resultados de pruebas de recuento total en melones procesados.

Descripción de la muestra	Recuento total aerobio mesófilo (UFC/g)
Melón 5: 75 ppm Hipoclorito de sodio	< 10
Melón 6: 75 ppm Hipoclorito de sodio	< 10
Melón 7: 75 ppm Hipoclorito de sodio	< 10
Melón 8: 75 ppm Hipoclorito de sodio	< 10
Melón 9: 150 ppm Hipoclorito de sodio	< 10
Melón 10: 150 ppm Hipoclorito de sodio	< 10
Melón 11: 150 ppm Hipoclorito de sodio	< 10
Melón 12: 150 ppm Hipoclorito de sodio	< 10
Melón 13: 75 ppm Hipoclorito de calcio	< 10
Melón 14: 75 ppm Hipoclorito de calcio	< 10
Melón 15: 75 ppm Hipoclorito de calcio	< 10
Melón 16: 75 ppm Hipoclorito de calcio	< 10
Melón 17: 150 ppm Hipoclorito de calcio	< 10
Melón 18: 150 ppm Hipoclorito de calcio	< 10
Melón 19: 150 ppm Hipoclorito de calcio	< 10
Melón 20: 150 ppm Hipoclorito de calcio	< 10
Melón 21: 2,5 % Peróxido de hidrógeno	< 10
Melón 22: 2,5 % Peróxido de hidrógeno	< 10
Melón 23: 2,5 % Peróxido de hidrógeno	< 10
Melón 24: 2,5 % Peróxido de hidrógeno	< 10
Melón 25: 5 % Peróxido de hidrógeno	< 10
Melón 26: 5 % Peróxido de hidrógeno	< 10
Melón 27: 5 % Peróxido de hidrógeno	< 10
Melón 28: 5 % Peróxido de hidrógeno	< 10
Melón 29: 40 ppm Ácido peracético	< 10
Melón 30: 40 ppm Ácido peracético	< 10
Melón 31: 40 ppm Ácido peracético	< 10
Melón 32: 40 ppm Ácido peracético	< 10
Melón 33: 80 ppm Ácido peracético	< 10
Melón 34: 80 ppm Ácido peracético	< 10
Melón 35: 80 ppm Ácido peracético	< 10
Melón 36: 80 ppm Ácido peracético	< 10

CAPÍTULO 5

Costos implicados y manejo del desinfectante

5.1 Disolventes involucrados

Como se menciona en el Capítulo 4, los disolventes utilizados en la parte experimental fueron: hipoclorito de sodio, hipoclorito de calcio, ácido peracético y peróxido de hidrógeno. En este capítulo, con los compuestos mencionados se realizaron cálculos de los costos aproximados a gran escala en el proceso de desinfección de melón, que tendría cada uno de estos, utilizando como base la concentración máxima propuesta para cada desinfectante que se tendría que mantener en la pila. A continuación, se muestra en el Cuadro 5.1 el precio aproximado de los desinfectantes involucrados.

Cuadro 5.1. Precios unitarios de los reactivos involucrados en la parte experimental.

Descripción	Precio (colones)*
Hipoclorito de sodio al 12 % m/m	567 / L
Hipoclorito de calcio granular al 68 % m/m	3 000 / kg
Ácido peracético 16,7 % m/m	2 669 / L
Peróxido de hidrógeno 50 % m/m	1 415 / L

*Proveedor Quimusa, precio actualizado al 30/06/2018.

5.2 Costo aproximado del desinfectante por consumo diario en desinfección

El costo por consumo diario en el proceso de desinfección se aproximó mediante la comparación equimolar con el gasto que se tiene actualmente de hipoclorito de calcio al 68 %. Y por equiparación de las opciones de desinfectantes planteados, en cuanto a su capacidad de oxidación.

Si se efectúa una comparación proporcional basada en la similitud del potencial de oxidación y la equivalencia molar de los compuestos con respecto al hipoclorito de calcio, se puede realizar una aproximación del consumo que se tendría con cada uno de los posibles sustitutos. En el Cuadro 5.2 se comparan dichos potenciales y las equivalencias molares.

Cuadro 5.2. Comparación de moles y potenciales relativos con respecto al hipoclorito de calcio.

Compuesto	Fórmula	Potencial de oxidación (E _v)	Moles disponibles del oxidante	Concentración	Densidad (g/mL)
Hipoclorito de calcio	Ca(OCl) ₂	1,36	2	68 % m/m granular	-
Hipoclorito de sodio	NaOCl	1,36	1	12 % m/m	1,21
Ácido peracético	H ₃ C-COOOH	1,81	1	16,7 % m/m	1,02
Peróxido de hidrógeno	H ₂ O ₂	1,80	1	50 % m/m	1,20

5.2.1 Hipoclorito de calcio

El uso promedio diario de hipoclorito de calcio es de 20 kg. Por lo tanto, el costo promedio que tiene la empresa producto del consumo diario de desinfectante, según el dato brindado por ellos y con el precio del hipoclorito de calcio del Cuadro 4.1, es aproximadamente:

$$\text{Costo diario de Ca(OCl)}_2 = \text{consumo diario en kg} \times \text{precio por kg}$$

$$\text{Costo diario de Ca(OCl)}_2 = 20 \text{ kg} \times 3.000 \frac{\text{¢}}{\text{kg}} = \text{¢ } 60.000 / \text{día}$$

Además, los 20 kg en términos de moles son:

$$20 \text{ kg prod. comercial} \times \frac{68 \text{ kg Ca(OCl)}_2}{100 \text{ kg prod.comercial}} \times \frac{1 \text{ kmol}}{143 \text{ kg Ca(OCl)}_2} = 0,0951 \text{ kmol Ca(OCl)}_2$$

Tomando en cuenta los moles de oxidante en el producto:

$$0,0951 \text{ kmol } Ca(OCl)_2 \times \frac{2 \text{ kmol } Cl \text{ oxidante}}{1 \text{ kmol } Ca(OCl)_2} = \mathbf{0,1902 \text{ kmol } Cl \text{ oxidante}}$$

5.2.2 Hipoclorito de sodio

En el caso del hipoclorito de sodio al 12 % m/m, se debe usar también una concentración máxima de 150 ppm en la pila, por lo que utilizando el precio correspondiente en el Cuadro 4.1, se puede aproximar su costo diario de la siguiente manera:

$$20 \text{ kg } Ca(OCl)_2 \times \frac{2 \times 74,4 \text{ kg } NaOCl}{143 \text{ kg } Ca(OCl)_2} \times \frac{68 \% Ca(OCl)_2}{12 \% NaOCl} \times \frac{1 \text{ L}}{1,21 \text{ kg } NaOCl} \times 567 \frac{\$}{\text{L}}$$

$$= \mathbf{\$ 55\,722/\text{día}}$$

Se usarían 98,3 L/día de NaOCl al 12 % por día.

5.2.3 Ácido peracético

Partiendo de ácido peracético al 16,7 % m/m y tomando las 80 ppm de concentración requerida en la pila, su costo aproximado se calcula de la siguiente manera:

Los miligramos de ácido peracético en la pila para alcanzar 80 ppm son:

$$80 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ ácido per.} \times 35\,000 \text{ L} = 2\,800\,000 \text{ mg ácido per.}$$

Los moles de oxidante presente son:

$$2\,800 \text{ g ácido per.} \times 0,167 (\%) \times \frac{1 \text{ mol}}{76 \text{ g ácido per.}} = \mathbf{6,15 \text{ mol de oxidante en ácido per.}}$$

Y la relación molar comparando con hipoclorito de calcio es: $\frac{190,2 \text{ mol } Ca(OCl)_2}{6,15 \text{ mol ácido per.}}$

Por lo tanto, su costo será:

$$\begin{aligned}
& 2\,800 \text{ g ácido per.} \times \frac{100 \text{ g prod. comercial}}{16,7 \text{ g ácido per.}} \times \frac{1 \text{ mL}}{1,02 \text{ g ácido per.}} \times \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ mL}} \\
& \times \frac{1,36 \text{ Ev Ca(OCl)}_2}{1,81 \text{ Ev ácido per.}} \times \frac{190,2 \text{ mol oxidante Ca(OCl)}_2}{6,15 \text{ mol oxidante ácido per.}} \times 2\,669 \frac{\text{¢}}{\text{L}} \\
& = \text{¢ } \mathbf{1\,018\,999 / día}
\end{aligned}$$

Se usarían 382 L/día de ácido peracético al 16,7 % m/m con un costo de más de un millón de colones al día.

5.2.4 Peróxido de hidrógeno

El peróxido de hidrógeno se tiene disponible al 50 % m/m, considerando las 50 000 ppm de concentración requerida en la pila, su costo aproximado será:

Los miligramos de peróxido de hidrógeno en la pila para alcanzar 50 000 ppm son:

$$50\,000 \frac{\text{mg H}_2\text{O}_2}{\text{L}} \times 35\,000 \text{ L} = 1\,750\,000\,000 \text{ mg H}_2\text{O}_2$$

Los moles de oxidante presente son:

$$\begin{aligned}
& 1\,750\,000 \text{ g H}_2\text{O}_2 \times \frac{50 \text{ g H}_2\text{O}_2}{100 \text{ g prod. comercial}} \times \frac{1 \text{ mol}}{34 \text{ g H}_2\text{O}_2} \\
& = \mathbf{25\,735,3 \text{ mol de oxidante en H}_2\text{O}_2}
\end{aligned}$$

Y la relación molar comparando con hipoclorito de calcio es: $\frac{190,2 \text{ mol Ca(OCl)}_2}{25\,735,3 \text{ mol H}_2\text{O}_2}$

Por lo tanto, su costo será:

$$\begin{aligned}
& 1\,750\,000 \text{ g H}_2\text{O}_2 \times \frac{100 \text{ g prod. comercial}}{50 \text{ g H}_2\text{O}_2} \times \frac{1 \text{ mL}}{1,2 \text{ g H}_2\text{O}_2} \times \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ mL}} \\
& \times \frac{1,36 \text{ Ev Ca(OCl)}_2}{1,80 \text{ Ev H}_2\text{O}_2} \times \frac{190,2 \text{ mol oxidante Ca(OCl)}_2}{25\,735,3 \text{ mol oxidante H}_2\text{O}_2} \times 1\,415 \frac{\text{¢}}{\text{L}} \\
& = \text{¢ } \mathbf{23\,046 / día}
\end{aligned}$$

Se usarían 16,3 L/día de H₂O₂ al 50 % con un costo de veintitrés mil colones al día.

5.3 Comparación general de costos

El Cuadro 5.3 muestra a continuación una sumatoria de los costos por desinfección de cada desinfectante probado, calculados en las secciones anteriores de este capítulo.

Cuadro 5.3. Cuadro comparativo de costos comparados al hipoclorito de calcio.

Desinfectante	Costo por desinfección diaria (₡)	Comparación del costo diario con respecto al hipoclorito de calcio
Hipoclorito de calcio	60 000	-
Hipoclorito de sodio	55 722	Reducción de 7 %
Peróxido de hidrógeno	23 046	Reducción del 62 %
Ácido peracético	1 018 999	Incremento del 1600 %

En el Cuadro 5.3 se puede observar que dos posibles sustitutos, como lo son hipoclorito de sodio y peróxido de hidrógeno, significarían una reducción de costos con respecto al desinfectante actual, de 7 % y 62 % respectivamente. El caso de ácido peracético se incrementaría los costos excesivamente trabajando a la concentración indicada de 80 ppm.

5.4 Manejo del producto

Como se estableció en el Capítulo 3, dos de las condiciones que un sustituto del hipoclorito de calcio debe cumplir son, que no deba variarse significativamente la estructura de la zona de desinfección para su implementación, y que presente una mayor facilidad de manejo del producto con respecto al desinfectante actual. En el caso de los tres sustitutos probados, ninguno requiere una variación de la estructura y además ofrecen una mayor facilidad de manejo debido a que son desinfectantes líquidos, que se pueden aplicar con el mismo sistema de bombeo y aspersión y que no requieren una disolución previa, como en el caso del desinfectante actual.

CAPÍTULO 6

Análisis visual de la oxidación de la fruta procesada

En este capítulo se hace un análisis del efecto que puedan tener los diferentes desinfectantes sobre la cáscara de la fruta por acción de oxidación, mediante un seguimiento fotográfico tanto de melones procesados, como los melones sin procesar.

6.1 Prueba

Cada veinticuatro horas, durante un periodo de tres días, se tomaron fotografías de los melones procesados en la parte experimental después de la desinfección y de los melones blanco o testigo, es decir, los melones sin desinfectar, con el objetivo de analizar de manera visual si alguno o algunos de los desinfectantes a las concentraciones definidas producían un deterioro en la cáscara de la fruta, principalmente, en forma de oxidación o quemaduras, que fuera notorio en comparación con los melones sin desinfectar a las mismas condiciones ambientales

6.2 Metodología

Las fotografías mencionadas se realizaron a la misma hora cada día bajo condiciones similares de luz y con las frutas en la misma posición, procurando que fueran comparables entre sí. Se inició a la hora cero, que equivale al momento inmediato posterior a la desinfección y se tomaron fotografías cada 24 horas por 3 días más.

Se comparó melones sin procesar contra melones desinfectados en condiciones ambientales.

6.3 Resultados

En esta sección se muestran las fotografías del seguimiento que se le dio a los melones procesados con los cuatro disolventes en las dos concentraciones definidas para cada desinfectante, y los no procesados. Se presentan los resultados desde la Figura 6.1 hasta las Figura 6.9, mediante fotos en miniatura.



Figura 6.1. Fotografías diarias de los melones sin procesar.



Figura 6.2. Fotografías diarias de los melones procesados con hipoclorito de sodio 75 ppm.



Figura 6.3. Fotografías diarias de los melones procesados con hipoclorito de sodio 150 ppm.

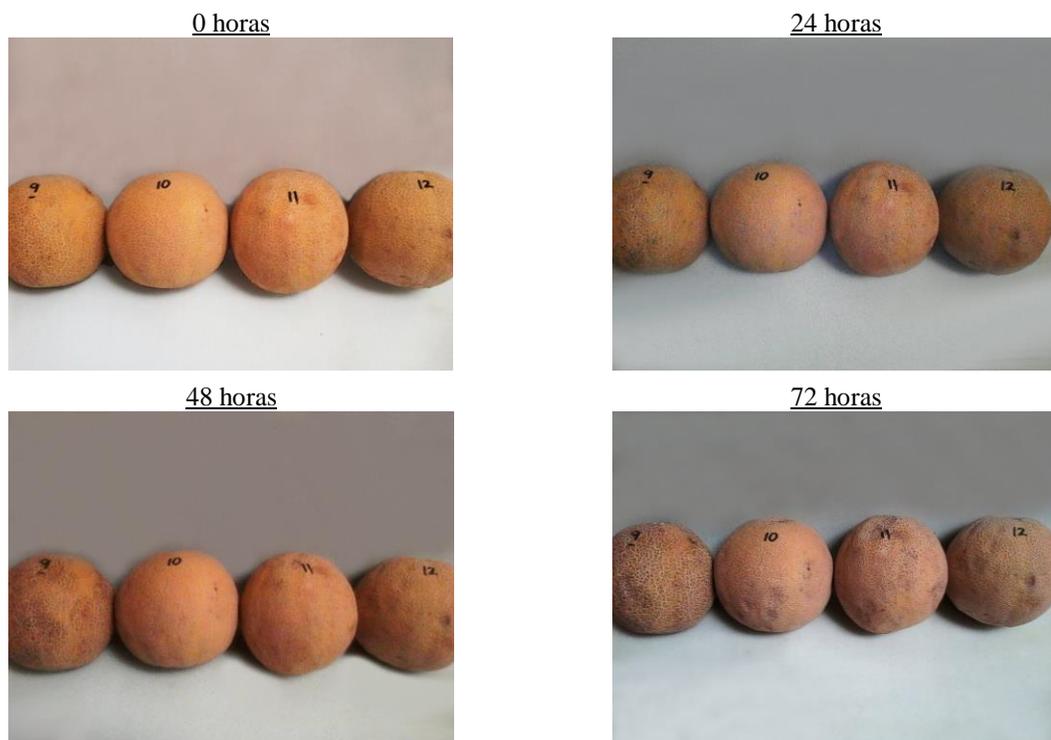


Figura 6.4. Fotografías diarias de los melones procesados con hipoclorito de calcio 75 ppm.

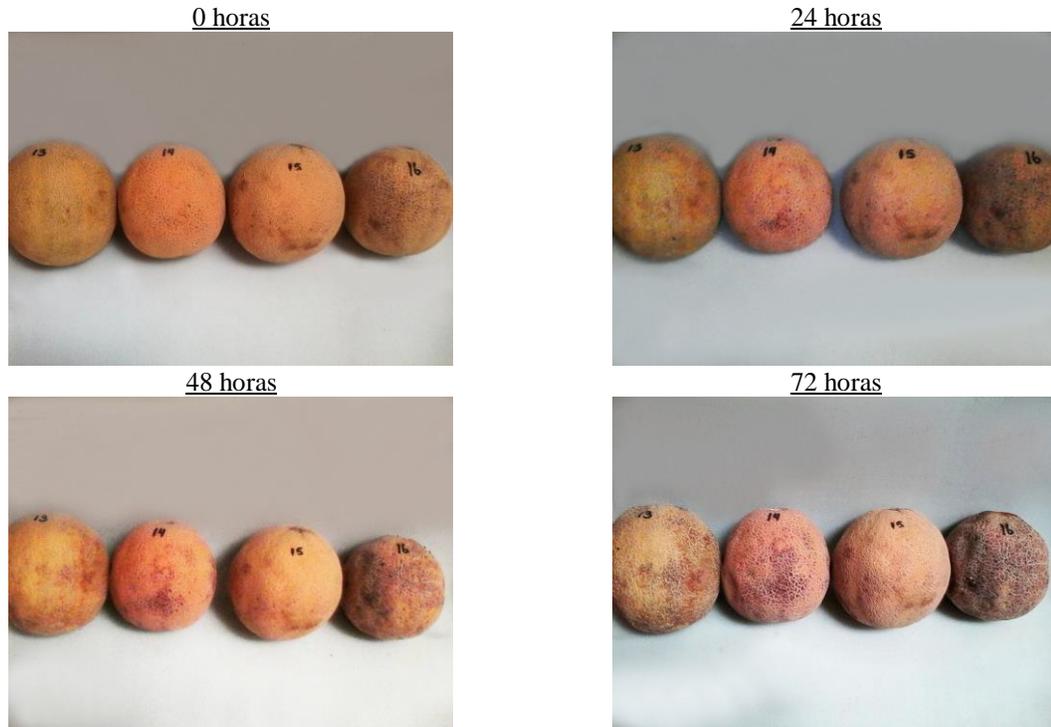


Figura 6.5. Fotografías diarias de los melones procesados con hipoclorito de calcio 150 ppm.



Figura 6.6. Fotografías diarias de los melones procesados con peróxido de hidrógeno a 2,5 %.

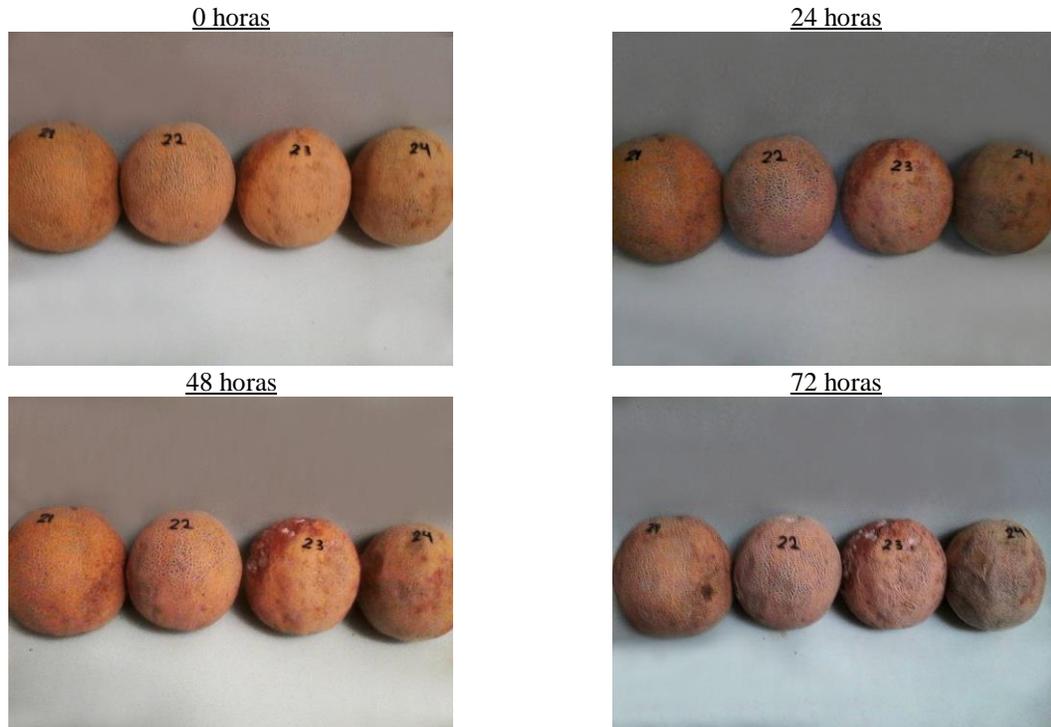


Figura 6.7. Fotografías diarias de los melones procesados con peróxido de hidrógeno a 5,0 %.

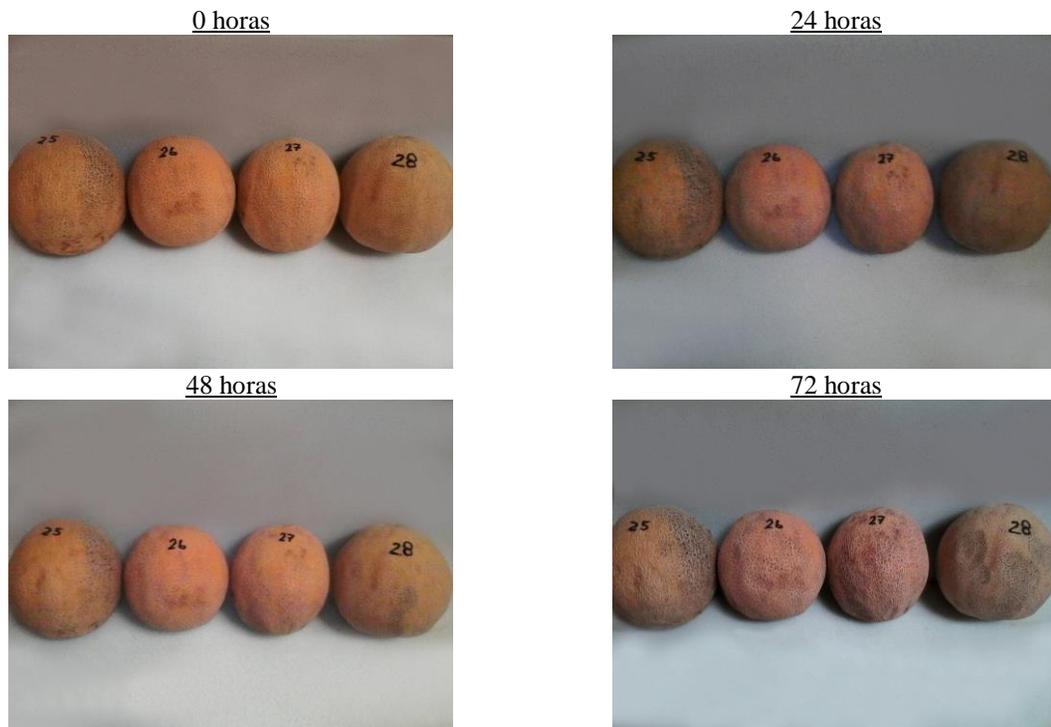


Figura 6.8. Fotografías diarias de los melones procesados con ácido peracético a 40 ppm.

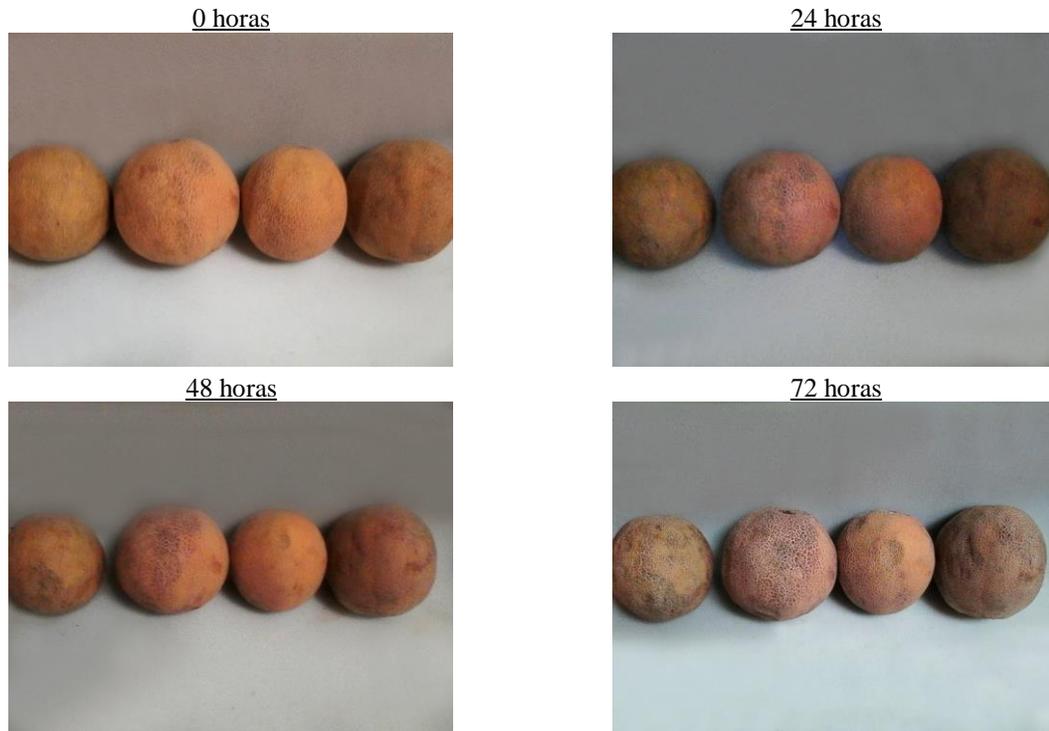


Figura 6.9. Fotografías diarias de los melones procesados con ácido peracético a 80 ppm.

Como se puede observar en la serie de fotografías de melones procesados desde la Figura 6.2 hasta la Figura 6.9; comparadas con las fotografías de los melones sin procesar en la Figura 6.1, la oxidación que muestra la cáscara con el paso del tiempo, es debido al deterioro natural de la fruta en su proceso de maduración y descomposición.

En ambos casos, tanto fruta desinfectada como fruta sin desinfectar, se aprecia en las imágenes consecutivas que las manchas de oxidación van incrementándose en zonas donde la cáscara ya presentaba defectos naturales, pero no se presenta una oxidación homogénea ni manchas a que puedan asociarse a efectos del desinfectante.

CAPÍTULO 7

Conclusiones y recomendaciones

7.1 Conclusiones

- Los cuatro desinfectantes probados en los melones resultaron ser efectivos en la reducción de un 99,999 % de la carga microbiológica exigida por FDA para que su exportación sea apta, tanto en su concentración superior como en la mitad de su valor
- El deterioro de la cáscara de la fruta debido al proceso de desinfección no es evidente en ninguno de los casos, sino que es reflejo de su proceso natural en condiciones ambientales y a causa de insectos
- Los costos aproximados calculados mediante comparación con los costos actuales por hipoclorito de calcio demostraron que el hipoclorito de sodio significaría una disminución de costos del 7 %; el ácido peracético significaría un aumento de costos de 1698 % y el peróxido de hidrógeno produciría una disminución de costos de 62 %
- Los tres sustitutos para el hipoclorito de calcio propuestos en el proyecto presentan la ventaja de una solubilidad mayor en agua y, además, en todos los casos el estado de los posibles sustitutos es líquido, por lo que no requieren el paso previo de disolución que sí requiere el hipoclorito de calcio
- El hipoclorito de sodio mantiene condiciones de toxicidad iguales o similares a las que se tienen actualmente en el proceso de desinfección y tiene la ventaja de su presentación en estado líquido

7.2 Recomendaciones

- Realizar corridas experimentales con el sustituto que sea considerado, de manera que se genere más información, incluso gráfica, sobre los valores de ORP asociados a las concentraciones de trabajo mínimas para tener un efectivo control de la concentración indirectamente por el potencial de oxidación
- Determinar el deterioro u oxidación provocado en la fruta por el desinfectante bajo las condiciones en las que se exportan los melones
- Eliminar las zonas de baja recirculación en la pila en las que los melones puedan quedarse más tiempo del adecuado, mediante la ayuda de un operario o adición de nuevos aspersores en esos puntos específicos
- Mantener la calibración, limpieza y/o sustitución de los electrodos que miden el ORP y el pH con la frecuencia recomendada por el fabricante para garantizar la confiabilidad de los controles indirectos de concentración en la pila
- Medir la concentración del desinfectante en ppm en la pila varias veces durante la jornada para verificar que se mantenga los valores adecuados y como complemento de la medición de OPR o respaldo de esta
- Enviar muestras de melones desinfectados a pruebas microbiológicas cada temporada para reconfirmar la efectividad del desinfectante y del proceso y como respaldo para la empresa en caso de auditorías o reclamos de clientes, etc.
- Corroborar los costos aproximados de este documento con corridas en planta del sustituto elegido

BIBLIOGRAFÍA

- Allende, A., Gil, M. I., López-Gálvez, F., & Selma, M. V. (13 de 05 de 2009). ¿Hay alternativas al cloro como higienizante para productos de IV Gama? *Revista Horticultura, Extra Poscosecha*.
- American Public Health Association. (2001). *Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods* (Fourth ed.). (F. P. Downes, Ed.) Washington, DC.: American Public Health Association.
- Barrenechea Martel, A., & de Vargas, L. (2004). *Tratamiento de agua para consumo humano*. Lima: Organizacion Panamericana de la Salud.
- Buchanan, J. R. (2016). *Peroxyacetic acid as an alternative disinfectant for onsite and decentralized wastewater systems* (1 ed.). Tennessee, USA. Recuperado el 2 de Octubre de 2017
- Comite Estatal de Sanidad Vegetal de Baja California. (2014). *Manual técnico de desinfección poscosecha*. (U. I. Bardullas, Ed.) Baja California, California, Estados Unidos de America.
- Fresh Produce Association of the Americas. (2013). *Lineamientos Nacionales de Inocuidad Alimentaria*.
- Gil, M. I., Allende, A., Lopez-Galvez, F., & Selma, M. V. (2009). ¿Hay alternativas al cloro como higienizante para productos de IV Gama? *Revista horticultura*, 1-11.
- Laboratotio de Especialidades Inmunológicas S.A (LEI). (15 de Enero de 2016). www.lei.com.mx. Recuperado el 22 de Junio de 2016, de <http://www.lei.com.mx/nuestros-servicios/microbiologia>
- Millán Trujillo, F. R., López Plá, S., Roa Tavera, V., Soledad Tapia, M., & Cava, R. (Junio de 2001). Estudio de la estabilidad microbiológica del melón (Cucumis melo L) mínimamente procesado por impregnación al vacío. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición (ALAN)*, 51(2), 173-179. Recuperado el 27 de Julio de 2017, de http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222001000200009&lng=es&nrm=iso

- Newman, S. E. (2004). Disinfecting Irrigation Water for Disease Management. *20th Annual Conference on Pest Management on Ornamentals Society of American Florists*, (pág. 4;5;6;7;8;9). San José, California. Recuperado el 23 de Enero de 2016
- Oficina Espanola de Patentes y Marcas. (2002). *Procedimiento automatico para la inhibicion de crecimiento microbiano en corrientes acuosas*. Patente de invencion con examen previo, Madrid.
- Oyarzun, J. I. (2012). Aplicacion de la medicion de potencial de oxidacion reducion en desinfeccion de frutas y hortalizas. *hannacolombia.com/blog*, 1-5. Recuperado el 14 de Diciembre de 2016, de <http://www.hannacolombia.com/blog/itemlist/category/4-articulos>
- Produce Marketing Association and United Fresh Fruit and Vegetable Association. (7 de Noviembre de 2005). Commodity Specific Food Safety Guidelines for the Melon Supply Chain. Recuperado el 15 de Abril de 2016
- Ramon-Avalos, S., Rosas-Acevedo, J., & Vargas-Roman, W. (2016). Eficiencia desinfectante del peroxido de hidrogeno al 3 y 4 % en el lavado de lechuga romana (*Lactuca Sativa* L.). *Investigacion y Desarrollo en Ciencia y Tecnologia de Alimentos*, 1(1), 146-150. Recuperado el 27 de 7 de 2017
- Red Iberoamericana de Potabilizacion y Depuracion de Aguas. (2009). *Agua potable para comunidades rurales, reuso y tratamientos avanzados de aguas residuales domésticas*.
- Trevor V. Suslow, P. (2004). Introduction to ORP as the Standard of Postharvest Water Disinfection Monitoring. *Vegetable Research and Information Center*, 2.
- U.S. Department of Health and Human Services. (1998). Guía para Reducir al Mínimo el Riesgo Microbiano en los Alimentos, para Frutas y Hortalizas Frescas. *Directivas para la Industria*, 11.
- University of California. (1997). Postharvest Chlorination. *Division of Agriculture and Natural Resources*(8003). Recuperado el 15 de 04 de 2016, de <http://danrcs.ucdavis.edu>.
- Yurkanis Bruice, P. (2008). *Química orgánica*. (L. Cruz Castillo, Ed.) México: Pearson Educación.

ANEXOS

Anexo 1
Resultados de las pruebas microbiológicas parte experimental

	UNIVERSIDAD DE COSTA RICA FACULTAD DE MICROBIOLOGIA LABORATORIO DE MICROBIOLOGIA DE ALIMENTOS INFORME DE ENSAYO	 <small>Laboratorio de Microbiología de Alimentos</small> <small>Facultad de Microbiología Universidad de Costa Rica</small>
LAMA-INF-036-16		

Solicitante: Alvaro González Sánchez

Dirección: Guanacaste

Número de muestras: 36

**Fecha de muestreo
suministrada por el cliente:** no indica

**Fecha de ingreso
de la muestra:** 23 de mayo, 2016

**Fecha de emisión
del informe:** 26 de mayo, 2016

RESULTADOS

Descripción de la Muestra	Recuento total aerobio mesófilo (UFC/g)
Melón 1. blanco	8,8x10 ⁴
Melón 2. blanco	7,0x10 ⁴
Melón 3. blanco	5,8x10 ⁴
Melón 4. blanco	9,6x10 ⁴
Melón 5 75 ppm hipoclorito de sodio	<10
Melón 6 75 ppm hipoclorito de sodio	<10
Melón 7 75 ppm hipoclorito de sodio	<10
Melón 8 75 ppm hipoclorito de sodio	<10
Melón 9 150 ppm hipoclorito de sodio	<10
Melón 10 150 ppm hipoclorito de sodio	<10
Melón 11 150 ppm hipoclorito de sodio	<10
Melón 12 150 ppm hipoclorito de sodio	<10
Melón 13 75 ppm hipoclorito de calcio	<10
Melón 14 75 ppm hipoclorito de calcio	<10
Melón 15 75 ppm hipoclorito de calcio	<10
Melón 16 75 ppm hipoclorito de calcio	<10

	UNIVERSIDAD DE COSTA RICA FACULTAD DE MICROBIOLOGIA LABORATORIO DE MICROBIOLOGIA DE ALIMENTOS INFORME DE ENSAYO	
LAMA-INF-036-16		

Melón 17	150 ppm hipoclorito de calcio	<10
Melón 18	150 ppm hipoclorito de calcio	<10
Melón 19	150 ppm hipoclorito de calcio	<10
Melón 20	150 ppm hipoclorito de calcio	<10
Melón 21	Peróxido de hidrógeno 2,5%	<10
Melón 22	Peróxido de hidrógeno 2,5%	<10
Melón 23	Peróxido de hidrógeno 2,5%	<10
Melón 24	Peróxido de hidrógeno 2,5%	<10
Melón 25	Peróxido de hidrógeno 5%	<10
Melón 26	Peróxido de hidrógeno 5 %	<10
Melón 27	Peróxido de hidrógeno 5%	<10
Melón 28	Peróxido de hidrógeno 5%	<10
Melón 29	Acido peracético 40ppm	<10
Melón 30	Acido peracético 40 ppm	<10
Melón 31	Acido peracético 40ppm	<10
Melón 32	Acido peracético 40ppm	<10
Melón 33	Acido peracético 80ppm	<10
Melón 34	Acido peracético 80 ppm	<10
Melón 35	Acido peracético 80ppm	<10
Melón 36	Acido peracético 80ppm	<10

Metodología: Pouch. 2003. Compendium of methods for the examination of food. APHA

Muestras traídas por el interesado

	UNIVERSIDAD DE COSTA RICA FACULTAD DE MICROBIOLOGIA LABORATORIO DE MICROBIOLOGIA DE ALIMENTOS INFORME DE ENSAYO	 Laboratorio de Microbiología de Alimentos Facultad de Microbiología Universidad de Costa Rica
LAMA-INF-036-16		

Notas:

- El laboratorio no se hace responsable de la representatividad de las muestras traídas por el cliente.
- Informe de ensayo nulo sin el sello del LAMA y sin la firma correspondiente.
- El informe de ensayo no puede reproducirse parcial ni totalmente sin la autorización del Laboratorio de Microbiología de Alimentos.
- Los resultados de este informe son exclusivos para la muestra(s) analizada(s) que corresponde(n) al presente documento.

Laboratorio de
Microbiología de Alimentos



Facultad de Microbiología
Universidad de Costa Rica



Dra. María Laura Arias E. MQC 747
Laboratorio de Microbiología de Alimentos.
Universidad de Costa Rica