



## Efectividad del cloro y ácido peracético en la desinfección de repollo (*Brassica oleracea*) y plátano verde (*Musa AAB*) mínimamente procesado\*

### Effectiveness of chlorine and peracetic acid in the disinfection of minimally processed cabbage (*Brassica oleracea*) and green plantain (*Musa AAB*)

Esteban Fatjó-Barboza<sup>1</sup>, Gabriela Davidovich-Young<sup>1</sup>, Eric Wong-González<sup>1</sup>

\* Recepción: 22 de mayo, 2024. Aceptación: 16 de julio, 2024. Este trabajo fue parte del proyecto de investigación 735-B0-089 inscrito en la Vicerrectoría de Investigación y constituyó el trabajo final de graduación del primer autor.

<sup>1</sup> Universidad de Costa Rica, Escuela de Tecnología de Alimentos, Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos. San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica. [efatjo@yahoo.com](mailto:efatjo@yahoo.com) (<https://orcid.org/0009-0005-5271-0041>); [gabriela.davidovich@ucr.ac.cr](mailto:gabriela.davidovich@ucr.ac.cr) (autor para la correspondencia, <https://orcid.org/0000-0001-6221-4141>); [eric.wong@ucr.ac.cr](mailto:eric.wong@ucr.ac.cr) (<https://orcid.org/0000-0001-9054-130X>).

## Resumen

**Introducción.** El consumo de vegetales mínimamente procesados puede representar problemas para la salud, por lo que entender la efectividad de su desinfección es imperante. **Objetivo.** Evaluar el efecto del pelado, troceado y rallado sobre la efectividad del hipoclorito de sodio o cloro (HCIO) y el ácido peracético (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>O<sub>3</sub>) en la desinfección de repollo (*Brassica oleracea*) y plátano verde (*Musa AAB*). **Materiales y métodos.** La investigación se realizó en el Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Costa Rica, 2012. Se desinfectó por inmersión repollo y plátano verde (sin pelar, pelado, cortado o rallado), en soluciones de cloro (200 mg l<sup>-1</sup>) y ácido peracético (80 mg l<sup>-1</sup>), para evaluar la concentración de desinfectante en el tiempo, la reducción de *Escherichia coli* en la presentación rallada y sus características sensoriales. **Resultados.** Ambos desinfectantes fueron estables en el tiempo, excepto al desinfectar los vegetales rallados, donde la concentración disminuyó más rápido para el cloro y el plátano verde. En repollo rallado ocurrió una mayor reducción de *E. coli* cuando se utilizó ácido peracético (6,767 ± 0,007 log<sub>10</sub> UCF/g) en comparación con cloro (4 ± 1 log<sub>10</sub> UCF/g) aunque iguales al control con agua (4 ± 1 log<sub>10</sub> UCF/g). En plátano rallado, las reducciones con cloro (6 ± 1 log<sub>10</sub> UCF/g) y ácido peracético (5,7 ± 0,7 log<sub>10</sub> UCF/g) fueron distintas de la del agua (3,17 ± 0,06 log<sub>10</sub> UCF/g), pero no hubo diferencias significativas entre ellas. Se detectaron diferencias sensoriales para el repollo rallado desinfectado con cloro o ácido peracético, sin embargo, debe estudiarse la aceptación del producto por parte del consumidor. **Conclusiones.** El nivel de subdivisión del vegetal afectó la efectividad del cloro y el ácido peracético cuando se desinfectó repollo y plátano verde. El ácido peracético proveyó mayores reducciones de *E. coli* que el cloro en el caso del repollo rallado y reducciones equivalentes en plátano verde rallado.

**Palabras clave:** *Escherichia coli*, análisis organoléptico, procesamiento de alimentos, hortalizas.

## Abstract

**Introduction.** The consumption of minimally processed vegetables may pose health risks, making it imperative to understand the effectiveness of their disinfection. **Objective.** To evaluate the effect of peeling, cutting, and



shredding on the effectiveness of sodium hypochlorite or chlorine (HClO) and peracetic acid (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>O<sub>3</sub>) in disinfecting cabbage (*Brassica oleracea*) and green plantain (*Musa AAB*). **Materials and methods.** The research was conducted at Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Costa Rica, in 2012. Cabbage and green plantain (unpeeled, peeled, cut, or shredded) were disinfected by immersion in chlorine solutions (200 mg l<sup>-1</sup>) and peracetic acid (80 mg l<sup>-1</sup>) to evaluate disinfectant concentration over time, the reduction of *Escherichia coli* in shredded samples, and their sensory characteristics. **Results.** Both disinfectants were stable in time except when the shredded vegetables were treated with the concentration decreasing faster for chlorine and shredded green plantain. In shredded cabbage, a greater reduction of *E. coli* (6,767 log<sub>10</sub> UCF/g) was observed when peracetic acid was used compared to chlorine (4 log<sub>10</sub> UCF/g), although both equal to the control (4 log<sub>10</sub> UCF/g). In shredded plantain, reductions with chlorine (6 ± 1 log<sub>10</sub> UCF/g) and peracetic acid (5,7 ± 0,7 log<sub>10</sub> UCF/g) were different from those with water (3,17 ± 0,06 log<sub>10</sub> UCF/g), but there were no significant differences between the two disinfectants. Sensory differences were detected for shredded cabbage disinfected with chlorine or peracetic acid, however, consumer acceptance must be assessed. **Conclusions.** The level of vegetable subdivision affected the effectiveness of chlorine and peracetic acid when disinfecting cabbage and green plantain. Peracetic acid provides greater reductions of *E. coli* than chlorine in the case of shredded cabbage and equivalent reductions in shredded green plantain.

**Keywords:** *Escherichia coli*, food processing, organoleptic analysis, vegetables.

## Introducción

El acelerado crecimiento en el mercado de vegetales mínimamente procesados, responde a cambios en patrones de consumo por la búsqueda del consumidor de productos alimenticios con mejor valor nutricional y compuestos saludables (Dávila-Aviña et al., 2020; do Prado Vilarin et al., 2020; Ferreira Gomes et al., 2023). Estos vegetales pueden representar problemas para la salud desde el punto de vista microbiológico, si durante su preparación no se siguen las buenas prácticas de manufactura, ya que sus características de composición y humedad permiten el crecimiento microbiano (Alegbeleye et al., 2022; Mostafidi et al., 2020; Qadri et al., 2015).

Se han reportado brotes por hepatitis A, cepas de *Escherichia coli* patógenas, *Cyclospora* sp., *Salmonella* sp., y *Listeria monocytogenes*, en productos de alta importancia comercial como: espinaca, cebolla, lechuga, tomate, pepino, chile dulce, repollo y germinados (Carstens et al., 2019; Murray et al., 2017). Además, existe un reto con el procesamiento de estos productos, pues algunas operaciones resultan en condiciones que dificultan asegurar su inocuidad. Por ejemplo, el pelado, cortado y rallado de vegetales induce la liberación del contenido celular del vegetal, lo que promueve el crecimiento y sobrevivencia de los microorganismos presentes (Ali et al., 2018; De Corato, 2019; Silveira Alexandre et al., 2022).

La superficie dañada por la acción mecánica permite que las células microbianas invadan el resto del tejido vegetal y se multipliquen en este (Ali et al., 2018; De Corato, 2019; Silveira Alexandre et al., 2022). Lo anterior, ha motivado la aplicación de procesos de desinfección que permitan el control microbiológico (Chinchkar et al., 2022). Primero, los vegetales mínimamente procesados son lavados para eliminar la suciedad que viene de la cosecha y luego se colocan en soluciones acuosas que contienen algún agente antimicrobiano con el objetivo de garantizar su inocuidad (Chinchkar et al., 2022; Cruz Mendoza et al., 2022; Silveira Alexandre et al., 2022).

El cloro es uno de los agentes más utilizados en la actualidad para desinfectar productos hortícolas. Tiene un efecto limitado, sobre todo cuando hay materia orgánica presente, como es el caso de los vegetales que han sido sometidos a operaciones con acción mecánica como el pelado, el troceado o el rallado (Ferreira Gomes et al., 2023; Pinela & Ferreira, 2017; Silveira Alexandre et al., 2022; Yoon & Lee, 2018). El cloro puede utilizarse en concentraciones entre 50 y 200 mg l<sup>-1</sup> (Deng et al., 2020; Pablos et al., 2018) y reduce de 1 a 2 log<sub>10</sub> UFC/g los microorganismos meta (Cruz Mendoza et al., 2022; Meireles et al., 2016).

El ácido peracético también es utilizado en la industria alimentaria (Kramer & Doran, 2018; Zoellner et al., 2018), está aprobado por la Administración de Alimentos y Medicamentos de Estados Unidos (FDA, por sus siglas en inglés), y es más estable que el cloro ante la materia orgánica (Petri et al., 2021; Zoellner et al., 2018). La concentración recomendada es de 80 mg l<sup>-1</sup> o menos por un tiempo de contacto de 1 min, aunque en distintas investigaciones se usan tiempos mayores (Banach, 2015; Lee et al., 2014; Petri et al., 2021). Bajo condiciones recomendadas se logran reducciones de 1 a 2 log<sub>10</sub> UFC/g (Krasaekoopt & Bhandari, 2018; Lee et al., 2014; Petri et al., 2021).

Cuando el tejido vegetal entra en contacto con la solución, el compuesto activo reaccionará primero con la materia orgánica (tejido vegetal, fluidos celulares, partículas de suciedad acompañante que permanecen tras el lavado) y se producirán compuestos que no tienen un efecto bactericida, lo que limita el poder desinfectante de la solución. También, ocurrirán cambios importantes en la concentración disponible del desinfectante, en función del tipo de vegetal y su procesamiento (Petri et al., 2021; Tudela et al., 2019; Weng et al., 2016). Esto demuestra la importancia de estudiar el efecto del procesamiento (grado de subdivisión) sobre la efectividad de un proceso de desinfección, para vegetales de distinta naturaleza (Tudela et al., 2019), como el repollo y el plátano verde.

Para conocer la efectividad de un proceso de desinfección, se deben considerar aspectos microbiológicos, químicos y sensoriales. Para el primero es imprescindible comprobar la magnitud de las reducciones microbianas resultantes. Para ello, se puede utilizar un microorganismo indicador (como *E. coli*) y medir su reducción en las condiciones de estudio (Jnani & Ray, 2022; Zoellner et al., 2018). La FDA recomienda obtener reducciones de 5 log<sub>10</sub> UFC/g (Venkitanarayanan et al., 2002), mientras que otros autores consideran necesaria una reducción de 3 log<sub>10</sub> UFC/g (Chang, 2015).

En este tipo de investigaciones es necesario estudiar el comportamiento de la concentración de desinfectante en solución ante distintos vegetales y su forma de presentación, así como el efecto de los antimicrobianos sobre su calidad sensorial. Tanto el cloro como el ácido peracético tienen comportamientos distintos ante la presencia de materia orgánica (Tudela et al., 2019; Weng et al., 2016), al igual que en el olor y sabor que pueden impartir al vegetal (Yang et al., 2020; Zoellner et al., 2018). De acuerdo con lo anterior, se planteó el objetivo de evaluar el efecto del pelado, troceado y rallado sobre la efectividad del cloro y el ácido peracético en la desinfección de repollo y plátano verde.

## Materiales y métodos

### Localización

Todos los experimentos de esta investigación se realizaron en los laboratorios de Microbiología, Química de Alimentos y Análisis Sensorial, ubicados en la Escuela de Tecnología de Alimentos y el Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos (CITA). Estas unidades pertenecen a la Universidad de Costa Rica, Sede Rodrigo Facio, San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica. Los ensayos se realizaron durante el año 2012.

### Vegetales, preparación y desinfección

Los productos, repollo (*Brassica oleracea*) y plátano verde (*Musa AAB*), fueron adquiridos en un supermercado local. Se procuró que las muestras tuvieran el mismo grado de desarrollo fisiológico, tamaño y peso (1,5 kg los repollos y entre 370 y 420 g cada plátano verde). Para cada una de las tres repeticiones se adquirió el vegetal de un mismo lote. Se consideraron cuatro tipos de presentación de los vegetales para colocar en las soluciones de desinfección, para repollo: (1) sin vegetal, (2) hoja, (3) troceado 2 x 2 cm y (4) rallado; para plátano verde: (1) sin

vegetal, (2) sin pelar, (3) pelado y (4) rallado. De acuerdo con lo anterior, el repollo en hoja se refiere a producto al cual se le retiraron las dos primeras capas de hojas externas y el resto se separaron de la base del tallo; para el repollo troceado se siguió el mismo procedimiento anterior, luego con un cuchillo de acero inoxidable se cortaron trozos de 2 X 2 cm; para el rallado del repollo se retiraron también las dos primeras capas de hojas externas, se cortó en cuartos y cada segmento se ralló de forma manual con un rallador de apertura de 0,8 cm. El plátano verde sin pelar se refiere al producto con su cáscara; el plátano verde pelado se obtuvo al eliminar la cáscara, para lo cual se cortaron los extremos y se hizo una incisión sobre la superficie de la cáscara con un cuchillo de acero inoxidable, esta se retiró de forma manual sin dañar el vegetal; para obtener la presentación rallada se peló el producto como se describió y se ralló con un rallador manual de apertura de 0,8 cm.

Se utilizó hipoclorito de sodio comercial al 3,5 % y se prepararon las disoluciones con una concentración inicial de 200 mg l<sup>-1</sup> y un pH entre 6,5 y 7,5. También se utilizó Tsunami 100® (15 % de ácido peracético) y se prepararon disoluciones desinfectantes con una concentración inicial de 80 mg l<sup>-1</sup>. La desinfección consistió en colocar el vegetal, en su presentación correspondiente y su posterior inmersión en la solución desinfectante, a temperatura ambiente, en una proporción 1:15 (masa:volumen;vegetal:solución) por el tiempo correspondiente para cada ensayo (20 min en total para la medición de la concentración de desinfectante en el tiempo y 15 min para la reducción de *E. coli*). Se utilizó agua potable, a temperatura ambiente y se controló el pH (6,5-7,5) para la preparación de la disolución de cloro. Se midió la concentración del compuesto activo en cada disolución desinfectante cada 5 min. Para el cloro se utilizó un clorímetro (Chlorosense®, Palintest, Inglaterra); la medición de la concentración de ácido peracético se realizó por titulación con un kit comercial (LaMotte Company, Chestertown, MD, Estados Unidos).

### **Inoculación y medición de reducción de *E. coli***

Se utilizó la cepa no toxigénica de *E. coli* ATCC 25922. La bacteria se mantuvo conservada en congelación en caldo infusión cerebro corazón con 10 % de glicerol, la cual se activó en caldo nutritivo incubado entre 24 y 48 h. La cepa se rayó en agar estándar y se incubó por 16 h, para preparar una suspensión de células por comparación con estándar de McFarland #1,0 equivalente a 1 X 10<sup>8</sup> UFC/ml.

Se realizó el recuento de *E. coli* por medio de la metodología descrita por Petran et al. (2015), con la modificación de usar agar MacConkey para una mejor observación de las colonias típicas de *E. coli* en este agar selectivo y diferencial. Se realizaron por duplicado diluciones decimales seriadas en agua peptonada estéril de 10<sup>-1</sup> hasta 10<sup>-8</sup> que se distribuyeron en placas de Petri, se colocó el agar por la técnica de vaciado y se incubaron a 35 °C por 48 h. El recuento de la suspensión preparada se reportó en UFC/ml.

Se utilizó repollo y plátano verde rallados de acuerdo con la descripción de los vegetales y del rallado que se indicó en el apartado anterior. Muestras de 25 g de repollo o plátano verde rallados se inocularon con 1,5 ml de la suspensión de células recién preparada. El recuento inicial se calculó a partir del volumen de inoculación y la masa de muestra, el resultado se expresó en log<sub>10</sub> UFC/g. Una vez aplicado el tratamiento de desinfección correspondiente (agua, cloro o ácido peracético), se determinó el recuento final de la muestra de forma análoga a lo descrito para la suspensión de células y se expresó como log<sub>10</sub> UFC/g. La reducción de *E. coli* (log<sub>10</sub> UFC/g) obtenida se obtuvo al restar el recuento inicial en la muestra del recuento final obtenido.

### **Pruebas sensoriales**

Se realizó una prueba triangular de diferencia, en la cual se utilizó un panel de diecinueve jueces entrenados (Pedrero & Pangborn, 1989; Stone et al., 2020). Esta prueba consistió en que a cada juez se le presentaron dos sets de muestras por vegetal, en el que dos muestras eran iguales y una distinta. Las muestras, de 10 g colocadas en

recipientes plásticos, fueron repollo rallado desinfectado con cloro o inmerso en agua (no se desinfectó con ácido peracético debido a que se observaron cambios visuales evidentes en pruebas preliminares que impiden realizar esta prueba sensorial) o plátano verde en trozos de 1 cm<sup>3</sup>, desinfectado con cloro o ácido peracético o inmerso en agua y después cocido por 35 min en olla de presión. El juez tuvo que indicar cuál muestra era la distinta. Los sets fueron aleatorizados y balanceados. Los resultados se reportaron en número de aciertos en relación con el número de aciertos requeridos para obtener una diferencia significativa (Pedrero & Pangborn, 1989; Stone et al., 2020).

Para la prueba de intensidad se utilizó un panel de veinte jueces entrenados para determinar intensidad entre el sabor y el olor característico a repollo, en muestras de repollo ralladas y desinfectadas (con ácido peracético o con agua), presentadas al panel como lo descrito en la prueba triangular y en no menos de 15 min tras la desinfección. Durante la evaluación se le solicitó al juez determinar la intensidad del sabor y olor característico de las muestras presentadas, por medio de una escala de intensidad lineal de 10 cm no estructurada (Stone et al., 2020). Además, se le preguntó a cada juez si consumiría el repollo evaluado.

### Diseños y análisis estadísticos

Para determinar el efecto del tipo de presentación del repollo o plátano verde sobre la concentración de cloro o ácido peracético en una solución desinfectante en el tiempo, se utilizó un diseño irrestricto al azar con un arreglo factorial 2 x 4 x 5 con tres factores: desinfectante (cloro o ácido peracético), tipo de presentación (para repollo: (1) sin vegetal, (2) hoja, (3) troceado 2 x 2 cm y (4) rallado; para plátano verde: (1) sin vegetal, (2) sin pelar, (3) pelado y (4) rallado) y tiempo (0, 5, 10, 15 y 20 min). Para todos los experimentos se trabajó con tres repeticiones independientes, a partir de un solo lote de vegetal. La variable respuesta fue la concentración de compuesto activo de cada desinfectante, cloro o ácido peracético presente en solución, una vez transcurrido el tiempo estipulado para la desinfección.

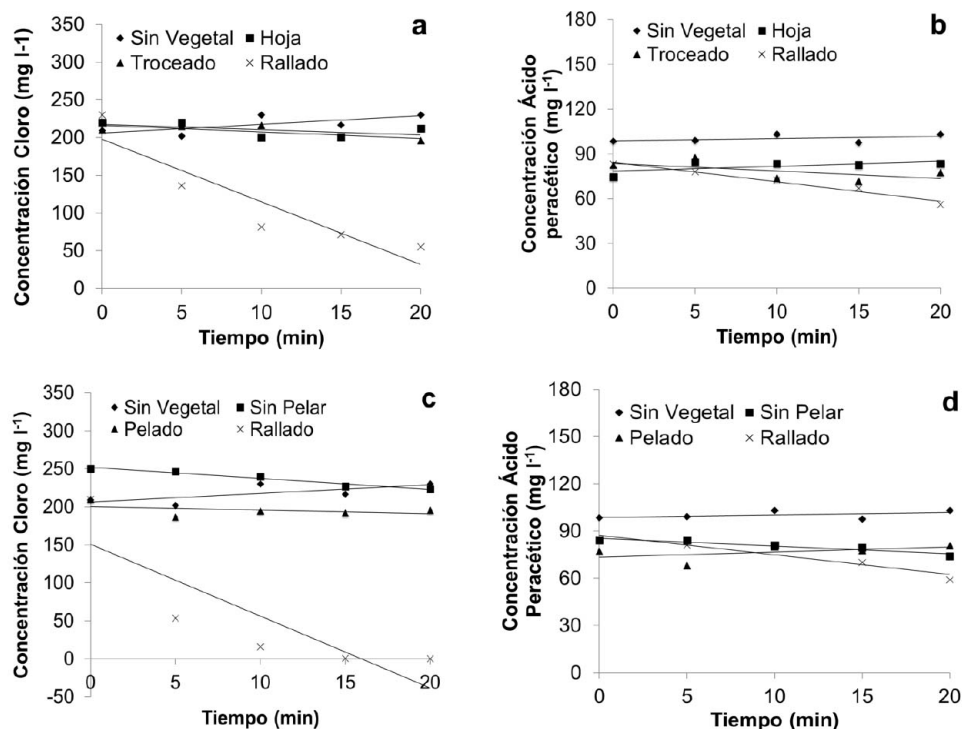
Con los datos generados, para evaluar otras posibles diferencias en el comportamiento de la concentración de compuesto activo de los desinfectantes entre ambos vegetales rallados, se planteó también un diseño irrestricto al azar con un arreglo factorial 2 x 2 x 5 con tres factores: (1) desinfectante (cloro o ácido peracético), (2) tipo de vegetal (repollo rallado o plátano verde rallado) y (3) tiempo de desinfección (0, 5, 10, 15 y 20 min). Este diseño y el anterior se analizaron mediante un análisis de variancia para mediciones repetidas, para determinar la significancia de los efectos simples de los factores y sus interacciones. Para estos diseños y los subsiguientes se trabajó con un 5 % de significancia ( $\alpha=0,05$ ) y se utilizó el paquete estadístico JMP 4.0.

Para determinar el efecto del tipo de vegetal y del tipo de desinfectante sobre la reducción de *E. coli*, se utilizó un diseño irrestricto al azar con un arreglo factorial 2 x 3 con dos factores: (1) tipo de vegetal (repollo rallado o plátano verde rallado) y (2) tipo de desinfectante (agua, cloro o ácido peracético). Los datos se sometieron a un análisis de variancia para determinar la significancia de los efectos simples de los factores y sus interacciones. Cuando se encontró significancia del factor desinfectante en los diseños anteriores, la comparación de medias se realizó con contrastes ortogonales (agua contra tratamientos de desinfección y cloro contra ácido peracético).

Las pruebas triangulares de diferencia descritas, se aplicaron bajo un diseño irrestricto al azar. Se utilizó el análisis de la distribución binomial asociada a la prueba triangular para determinar si existía diferencia significativa entre las muestras para dos repeticiones de cada evaluación (Pedrero & Pangborn, 1989). Al existir medidas repetidas, el procesamiento de los datos se realizó de acuerdo con lo descrito por Schlich et al. (2000). En el caso de las pruebas de intensidad de sabor u olor, se utilizó un diseño irrestricto al azar en el que se empleó una prueba de *t Student* para comparar los promedios de intensidad de cada característica y analizar las posibles diferencias.

## Resultados

Para el repollo se determinó que la presentación del vegetal tuvo un efecto en la reducción de cloro en la solución desinfectante ( $p < 0,001$ ) (Figura 1a). Para preparaciones con poca subdivisión como la hoja o el troceado de repollo, la concentración se mantuvo alrededor de 200 mg l<sup>-1</sup> durante los 20 min de estudio (comportamiento mostrado por el control sin vegetal), mientras que para el repollo rallado esta disminuyó a valores cercanos a los 50 mg l<sup>-1</sup>. El mismo comportamiento mostró el repollo en ácido peracético (Figura 1b), donde se observó una disminución mayor en la concentración del ácido ( $p < 0,0001$ ) en repollo rallado, mientras que, para las otras presentaciones, incluida el control sin vegetal, la concentración se mantuvo constante (80 mg l<sup>-1</sup>).



**Figura 1.** Comportamiento de la concentración de cloro o ácido peracético en el tiempo según vegetal y su presentación [sin vegetal, hoja, troceado y rallado para repollo (*Brassica oleracea*); sin vegetal, sin pelar, pelado y rallado para plátano verde (*Musa AAB*)], (a) repollo desinfectado con cloro, (b) repollo desinfectado con ácido peracético, (c) plátano verde desinfectado con cloro y (d) plátano verde desinfectado con ácido peracético. San José, Costa Rica, 2012.

**Figure 1.** Behavior of chlorine or peracetic acid concentration over time based on the type of vegetable and its form [no vegetable, leaf, cut, and shredded for cabbage (*Brassica oleracea*); no vegetable, unpeeled, peeled and shredded for green plantain (*Musa AAB*)], (a) cabbage disinfected with chlorine, (b) cabbage disinfected with peracetic acid, (c) green plantain disinfected with chlorine, and (d) green plantain disinfected with peracetic acid. San José, Costa Rica, 2012.

Un comportamiento similar de la concentración de ambos desinfectantes se obtuvo con el plátano verde (Figuras 1c y 1d). Para ambos desinfectantes el plátano rallado causó la mayor reducción en su concentración durante 20 min ( $p < 0,0001$ ), mientras que las otras presentaciones (sin vegetal, sin pelar y pelado) se mantuvieron constantes en un



valor de 200 mg l<sup>-1</sup> para el cloro y 80 mg l<sup>-1</sup> para el ácido peracético. Además, se determinó que la disminución del cloro cuando se desinfectó plátano verde rallado, fue más acelerada que cuando se utilizó repollo rallado (p<0,0001) (Figuras 1a y 1c). Por último, para ambos vegetales rallados, la concentración de cloro disminuyó más rápido y a valores más bajos en comparación con el ácido peracético (p<0,0001) (Figuras 1a, 1b, 1c y 1d).

En cuanto a reducción de *E. coli*, como se puede observar en el Cuadro 1, para repollo rallado se encontró una mayor reducción cuando se utilizó ácido peracético (6,767 ± 0,007 log<sub>10</sub> UFC/g) en comparación con la encontrada para el cloro (4 ± 1 log<sub>10</sub> UFC/g) (p=0,0008), sin embargo, ninguna de las dos fue distinta a la reducción encontrada con el control de agua (4 ± 1 log<sub>10</sub> UFC/g) (p= 0,4908). En plátano rallado el resultado fue diferente. Las reducciones con cloro (6 ± 1 log<sub>10</sub> UFC/g) y ácido peracético (5,7 ± 0,7 log<sub>10</sub> UFC/g) fueron distintas de forma significativa de la reducción con agua (3,17 ± 0,06 log<sub>10</sub> UFC/g) (p<0,0001), pero no hubo diferencia entre ellos (p=0,2832).

**Cuadro 1.** Reducción logarítmica de *E. coli* (log<sub>10</sub> UFC/g) según desinfectante (cloro, ácido peracético o control con agua) para repollo (*Brassica oleracea*) o plátano verde (*Musa AAB*) rallados. San José, Costa Rica, 2012.

**Table 1.** Logarithmic reduction of *E. coli* (log<sub>10</sub> UFC/g) according to disinfectant (chlorine, peracetic acid, or water control) for shredded cabbage (*Brassica oleracea*) or green plantain (*Musa AAB*). San José, Costa Rica, 2012.

Vegetal	Desinfectante	Reducción logarítmica (log <sub>10</sub> UFC/g) <sup>1</sup>
Repollo rallado	Cloro	4 ± 1
	Ácido peracético	6,767 ± 0,007
	Agua	5 ± 1
Plátano verde rallado	Cloro	6 ± 1
	Ácido peracético	5,7 ± 0,7
	Agua	3,17 ± 0,06

<sup>1</sup>Promedios con intervalo de confianza al 95 %, (n= 3). / <sup>1</sup>Averages with 95 % confidence interval, (n=3).

En cuanto al análisis sensorial, los jueces entrenados encontraron diferencias sensoriales entre las muestras de repollo tratadas con agua y las tratadas con cloro (p<0,05) (Cuadro 2). No se encontraron diferencias (p>0,05) entre muestras de plátano verde cocido desinfectadas con cloro o ácido peracético, al compararlas con muestras inmersas en agua. La desinfección de repollo rallado con ácido peracético produjo cambios evidentes en el color (oscurecimiento) y textura en el producto, por lo que no se aplicaron las pruebas de diferencia a dicha muestra. Las pruebas de intensidad en el olor y el sabor del repollo rallado (Cuadro 3), demostraron que la intensidad del olor a repollo disminuye al usar ácido peracético (p=0,0008), lo cual también sucede con la intensidad del sabor (p=0,0001).

**Cuadro 2.** Número de aciertos del total de jueces de un panel entrenado que realizaron la prueba triangular de diferencia, según vegetal analizado y desinfectante utilizado. San José, Costa Rica, 2012.

**Table 2.** Number of correct responses by a trained panel of judges who performed the triangle difference test, according to the analyzed vegetable and disinfectant used. San José, Costa Rica, 2012.

Vegetal	Desinfectante	Número de aciertos/Total	Número mínimo de aciertos para encontrar diferencia
Repollo rallado	Cloro	25/44	21
Plátano verde cocido	Cloro	18/42	20
	Ácido peracético	13/38	19

**Cuadro 3.** Intensidad de olor y sabor característico a repollo para el vegetal desinfectado con ácido peracético o agua (control) según la prueba realizada por jueces entrenados. San José, Costa Rica, 2012.

**Table 3.** Intensity of characteristic cabbage odor and flavor for the vegetable disinfected with peracetic acid or water (control) according to the test conducted by trained judges. San José, Costa Rica, 2012.

Característica	Tratamiento	Intensidad promedio <sup>1,2</sup>
Olor	Ácido peracético	4 ± 1 <sup>a</sup>
	Agua (control)	7 ± 1 <sup>b</sup>
Sabor	Ácido peracético	3,5 ± 0,9 <sup>a</sup>
	Agua (control)	7 ± 1 <sup>b</sup>

<sup>1</sup>Promedios con intervalo de confianza al 95 %, (n = 19). / <sup>1</sup>Averages with 95 % confidence interval, (n=19)

<sup>2</sup>Para una misma característica, promedios con letras distintas, son significativamente distintos (p<0,05). / <sup>2</sup>For the same characteristic, averages with different letter are significantly different (p<0.05).

## Discusión

Los resultados obtenidos en cuanto a la estabilidad del cloro y el ácido peracético en solución frente a la materia orgánica pueden explicarse en términos de las operaciones de corte y rallado que se aplicaron. Estas corresponden al fenómeno físico de cizallamiento, que consiste en el deslizamiento de dos partes contiguas de un cuerpo en una dirección paralela al plano de contacto, bajo la influencia tangencial a la sección en la cual actúa (Dar et al., 2022). El corte provoca salida de líquido celular, que se concentra en la superficie del vegetal, y esta solución hipertónica favorece la pérdida de agua desde el interior de la célula (Silveira Alexandre et al., 2022).

En el repollo troceado el área dañada por cizallamiento se redujo al perímetro de los trozos, mientras que el área afectada durante el rallado fue mayor, pues la fuerza se extiende a toda la superficie del producto, y generó mayor salida del líquido intracelular. Cuando se aumenta la superficie del vegetal (rallado), se expone una mayor cantidad de tejido vegetal (materia orgánica) y aumenta la tasa de disminución de la concentración de cloro en la solución. El rallado aumenta la cantidad de materia orgánica y hace que el hipoclorito de sodio no esté disponible para la desinfección (Silveira Alexandre et al., 2022; Tapia et al., 2015).

La disminución en la capacidad desinfectante, entre más subdividido se encuentre el alimento, se relaciona con lo observado para ambos vegetales en ácido peracético. Además, esto se ha reportado en otros vegetales como lechuga, donde desinfectar con cloro o ácido peracético el alimento entero (antes de cortar) logró una reducción del recuento de *E. coli* O157:H7 de 0,79 a 0,80 log<sub>10</sub> UFC/g mayor que la lograda cuando se desinfectó la lechuga ya troceada (Palma-Salgado et al., 2014). También esto fue descrito por Tudela et al. (2019) al analizar la demanda química de oxígeno en aguas de lavado con desinfectantes y comparar alimentos enteros, troceados y rallados.

En el caso del plátano verde, su alto contenido de carbohidratos (Oyeyinka & Afolayan, 2019) en comparación con el repollo, el cual es un vegetal cuya composición mayoritaria es agua (Moreb et al., 2020), favoreció la inactivación del hipoclorito de sodio. Es probable que el cloro reaccione con el almidón y disminuya su concentración, lo que lo hace menos disponible para la desinfección. Este resultado es similar al encontrado por Davidovich-Young et al. (2023), quienes reportaron mayores disminuciones de cloro en solución en el tiempo al desinfectar papa (vegetal rico en almidón) en comparación con la lechuga (agua como compuesto principal) y Abnavi et al. (2019) quienes demostraron que la concentración de cloro disminuyó en mayor medida para zanahoria que para repollo durante la desinfección.

La composición de los vegetales y su relación con la desinfección con cloro u otros químicos han sido poco investigadas. Un estudio que utilizó dióxido de cloro señaló menores reducciones microbianas en presencia de



lípidos o proteínas, pero no al agregar almidón soluble o NaCl (Vandenkinderen et al., 2009). En esta investigación sucedió lo contrario, así como en otro estudio publicado que indica que la oxidación del cloro en presencia de carbohidratos (celulosa, fructosa, glucosa) pareció ser mínima (Jo et al., 2018). Además, en este caso se demostró la mayor estabilidad del ácido peracético, en comparación con el cloro, ante la materia orgánica (Petri et al., 2021; Zoellner et al., 2018), al inactivarse por completo el cloro con plátano verde rallado, pero no así el ácido peracético.

Todo lo discutido evidencia la necesidad de controlar la concentración de desinfectantes en soluciones que se utilizan para reducir la carga microbiana en matrices alimentarias. Se debe mantener la concentración de cloro libre requerida en un sistema que reduce las cargas microbianas y evita la contaminación cruzada para impedir problemas de inocuidad (Abnavi et al., 2019). Estos autores pudieron predecir la concentración de cloro libre en la desinfección de lechuga cortada, zanahoria en diferentes presentaciones y repollo, para lo cual tomaron en cuenta los exudados del tejido vegetal. Así, demostraron que la concentración de desinfectante no es finita y que este debe reponerse conforme se agrega más tejido vegetal (Abnavi et al., 2019).

Al analizar el comportamiento de la concentración del compuesto activo de los desinfectantes en el tiempo, se esperaba que la reducción de *E. coli* en repollo y plátano verde rallados fuera mayor para el ácido peracético que para el cloro, en vista de que el primero es más estable ante la materia orgánica (Lippman et al., 2020; van Haute et al., 2015). Esto se comprobó para el repollo rallado, pero no para el plátano verde. Otros autores reportaron reducciones de *E. coli* O:157:H7 y de microbiota normal que no difieren entre sí, al desinfectar lechuga troceada y zanahoria, tanto pelada como rallada, con cloro y ácido peracético (Petri et al., 2015; Petri et al., 2021).

Un estudio que evaluó la desinfección de repollo rallado con cloro (200 mg l<sup>-1</sup>) y ácido peracético (100 mg l<sup>-1</sup>) para estimar reducciones de los patógenos *E. coli* O157:H7, *S. Typhimurium*, *Staphylococcus aureus* y *L. monocytogenes*, no encontró diferencias en los resultados obtenidos para ambos desinfectantes en todos los casos (Lee et al., 2014), lo cual concuerda con lo obtenido en esta investigación para el caso del plátano verde y difiere de lo obtenido para el repollo, donde la reducción fue mayor con ácido peracético que con cloro. Se esperaba que las reducciones con los desinfectantes fueran mayores en comparación con el control de inmersión en agua (Behrsing et al., 2000). Esto sucedió solo en el caso del repollo rallado y no así en el plátano verde.

Es necesario validar las operaciones de desinfección para cada alimento y agente desinfectante, como en este caso, para el repollo y el plátano verde en sus diferentes presentaciones, así como para el cloro y el ácido peracético. La eficacia del desinfectante depende de muchos parámetros, como el tipo de desinfectante, la dosis, la concentración residual, el tiempo de contacto, la temperatura, el pH, la proporción de producto y solución desinfectante, y la cantidad de materia orgánica en el espacio de desinfección. También se debe ahondar en otros factores que inciden en las reducciones observadas como método de inoculación empleado y adherencia del inóculo a los tejidos (Banach et al., 2015).

Algunos otros factores más complejos también pueden explicar que las hipótesis no se cumplan como se esperaba. Por ejemplo, otros autores explicaron que en comparación con el repollo, el plátano verde exhibe características elásticas al ser sometido a una deformación por compresión o corte, lo que reduce el daño mecánico (Castro Montero & de Hombre Morgado, 2007), sería útil que estudios posteriores al respecto logran explicar cómo ese comportamiento ante deformaciones y cortes afecta lo observado en cuanto a la conservación de los agentes desinfectantes y la reducción microbiana. Ya otros autores han explicado que las reducciones microbiológicas obtenidas después de la desinfección dependen del tipo de alimento e incluso del grado de maduración y calidad del fruto o vegetal (Cai et al., 2018).

Las reducciones de *E. coli* obtenidas para el repollo y plátano verde rallados desinfectados con cloro (entre 4 y 6 log<sub>10</sub> UFC/g) fueron mayores que las reportadas por otros autores (Behrsing et al., 2000; Inatsu et al., 2017; Petri et al., 2015). En un estudio se observaron reducciones de 1,5 a 3 log<sub>10</sub> UFC/g de *E. coli* O157:H7 en lechuga y zanahoria desinfectadas por combinación de métodos, incluidos el cloro y ácido peracético (Petri et al. 2015). En otro estudio se combinó el cloro con ácidos orgánicos para ver reducciones de *E. coli* O157:H7, *L. monocytogenes*

y bacterias de deterioro en germinados y repollo rallado donde se encontraron reducciones de alrededor  $3 \log_{10}$  UFC/g (Inatsu et al., 2017).

En hojas de espinaca la combinación del cloro con ácidos orgánicos permitió reducciones de *E. coli* O157:H7 y *L. monocytogenes* de 3,0 y 1,4  $\log_{10}$  UFC/g, respectivamente (Chhetri et al., 2019). En una investigación se comparó el uso de ácido peracético (100 mg l<sup>-1</sup>), cloro (100 mg l<sup>-1</sup>), ácido láctico 2 % y un control con agua, y el ácido peracético logró la mayor reducción de *E. coli* O157:H7 (limón, tomate y arándano enteros a 5,7, 5,5 y 6,7  $\log_{10}$  UFC/g, respectivamente) y *S. Typhimurium* (limón, tomate y arándano enteros a 5,4, 6,8, y 5,9  $\log_{10}$  UFC/g, respectivamente) (Singh et al., 2018). Estos valores son similares a los encontrados en el presente estudio para repollo y plátano verde rallados.

Si se estableciera una reducción meta de 5 log UFC/g para el repollo y plátano verde desinfectados con cloro y ácido peracético en esta investigación, como propone la FDA (Venkitanarayanan et al., 2002), solo podría garantizarse el cumplimiento para el plátano verde rallado. Si la meta fuera de 3 log UFC/g (Chang, 2015), esta se podría garantizar en ambos vegetales. Sería útil confirmar si las reducciones en las presentaciones menos subdivididas alcanzarían mayores valores, con base en los resultados discutidos en cuanto a la estabilidad del compuesto activo en el tiempo en la solución desinfectante.

Un estudio que contradice lo encontrado en la presente investigación al estudiar los aspectos sensoriales relacionados con el repollo y su desinfección con ácido peracético, indica que este desinfectante puede utilizarse en vegetales sin detrimento de su calidad sensorial (Aguayo et al., 2017). Otros autores señalaron deterioro en color y textura de zanahoria, lechuga, tomate y cebolla, al utilizar ácido peracético (Pérez-Martínez et al., 2021). Se encontró que un panel sensorial logró detectar el uso de ácido peracético 80 mg l<sup>-1</sup> en lechuga troceada (Rodgers et al., 2004), mientras que en otro estudio se evaluó la desinfección con ácido peracético (2000 mg l<sup>-1</sup>; 1 min), pero no se encontraron diferencias entre las muestras contra un control (López et al., 2001).

El hecho de que jueces entrenados hayan detectado diferencia en repollo rallado desinfectado con cloro (que se consume crudo) y no así en el plátano verde desinfectado con cloro o ácido peracético (que se consume cocido), puede deberse al efecto del tratamiento de cocción sobre los agentes desinfectantes. Sin embargo, no se encontraron estudios que relacionen el efecto de la cocción de un vegetal con su contenido de cloro residual. Además, autores como Zhang (2013) han demostrado que el cloro total y el cloro residual disminuyen en el tiempo conforme la temperatura del agua aumenta hasta su ebullición, hasta que no es detectable.

En otros casos, también se han encontrado diferencias sensoriales similares a las encontradas en esta investigación. Por ejemplo, un estudio de desinfección de lechuga con 100 mg l<sup>-1</sup> de cloro, indicó que luego del tratamiento la lechuga tenía un olor a limpio o más fresco (Delaquis et al., 2004). Otra investigación evaluó diferencias sensoriales en zanahoria, repollo y lechuga al ser tratadas con protocolos varios de desinfección y encontraron que el cloro ofrece el peor resultado de aceptación por parte del consumidor (Sáez-Tonacca et al., 2019). Más allá de detectar una diferencia es importante evaluar el efecto que tiene esta en la aceptación del consumidor.

Cuando las diferencias son muy perceptibles las pruebas de diferencia para atributos sensoriales no se aplican (Pedrero & Pangborn, 1998; Stone et al., 2020). Esto sucedió con el repollo desinfectado con ácido peracético, cuyas cualidades se afectaron en gran medida y fueron visibles. Las pruebas de intensidad de sabor u olor característico a repollo revelaron cambios con respecto a muestras de repollo tratadas solo con agua, sin embargo, los jueces entrenados indicaron que usarían el producto, por ejemplo, en una ensalada. Esto vuelve a indicar lo importante que es entender la aceptación de los productos por parte del consumidor cuando ocurren cambios sensoriales detectables.

## Conclusiones

El nivel de subdivisión del vegetal afectó la efectividad del cloro y el ácido peracético cuando se desinfectó repollo y plátano verde. El ácido peracético proporcionó mejores reducciones de *E. coli* que el cloro en el caso del repollo rallado y reducciones equivalentes en plátano verde rallado.

## Agradecimientos

Los autores agradecen el financiamiento otorgado por la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica, al proyecto inscrito 735-B0-089 “Efecto del pelado y el troceado sobre la eficacia del cloro como desinfectante en vegetales”. Se agradece la guía académica de Sandra Calderón Villaplana y Marcy González, investigadoras del Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos, como miembros del Comité Asesor de tesis del estudiante.

## Conflicto de intereses

Los autores declaran que no hay conflicto de interés.

## Referencias

- Abnavi, M. D., Alradaan, A., Munther, D., Kothapalli, C. R., & Srinivasan, P. (2019). Modeling of free chlorine consumption and *Escherichia coli* O157:H7 cross-contamination during fresh-cut produce wash cycles. *Journal of Food Science*, *84*(10), 2736–2744. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14774>
- Aguayo, E., Gómez, P., Artés-Hernández, F., & Artés, F. (2017). Tratamientos químicos desinfectantes de hortalizas de IV gama: ozono, agua electrolizada y ácido peracético. *Agrociencia Uruguay*, *21*(1), 7–14. <https://agrocienciauruguay.uy/index.php/agrociencia/article/view/171/150>
- Alegbeleye, O., Odeyemi, O. A., Strateva, M., & Stratev, D. (2022). Microbial spoilage of vegetables, fruits, and cereals. *Applied Food Research*, *2*(1), Article 100122. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100122>
- Ali, A., Yeoh, W. K., Forney, C., & Siddiqui, M. W. (2018). Advances in postharvest technologies to extend the storage life of minimally processed fruits and vegetables. *Critical reviews in food science and nutrition*, *58*(15), 2632–2649. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1339180>
- Banach, J. L., Sampers, I., Van Haute, S., & Van der Fels-Klerx, H. J. (2015). Effect of disinfectants on preventing the cross-contamination of pathogens in fresh produce washing water. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *12*(8), 8658–8677. <https://doi.org/10.3390/ijerph120808658>
- Behrsing, J., Winkler, S., Franz, P., & Premier, R. (2000). Efficacy of chlorine for inactivation of *Escherichia coli* on vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, *19*(2), 187–192. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(00\)00092-2](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(00)00092-2)
- Cai, S., Worobo, R. W., & Snyder, A. B. (2018). Outgraded produce variably retains surface inoculated *Escherichia coli* through washing. *International Journal of Food Microbiology*, *269*, 27–35. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2018.01.012>

- Carstens, C. K., Salazar, J. K., & Darkoh, C. (2019). Multistate outbreaks of foodborne illness in the United States associated with fresh produce from 2010 to 2017. *Frontiers in Microbiology*, *10*, Article 2667. <https://doi.org/10.3389/FMICB.2019.02667>
- Castro Montero, E., & de Hombre Morgado, R. A. (2007). *Parámetros mecánicos y textura de los alimentos*. Universidad de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/121381>
- Chang, J. W. (2015). *Food safety research for fresh produce* [Master of Science thesis, Purdue University]. Purdue Open Access Thesis. [https://docs.lib.purdue.edu/open\\_access\\_theses/1098](https://docs.lib.purdue.edu/open_access_theses/1098)
- Chhetri, V. S., Janes, M. E., King, J. M., Doerrler, W., & Adhirikari, A. (2019). Effect of residual chlorine and organic acids on survival and attachment of *Escherichia coli* O157:H7 and *Listeria monocytogenes* on spinach leaves during storage. *LWT*, *105*, 298–305. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.02.019>
- Chinchkar, A. V., Singh, A., Singh, S. V., Acharya, A. M., & Kamble, M. G. (2022). Potential sanitizers and disinfectants for fresh fruits and vegetables: A comprehensive review. *Journal of Food Processing and Preservation*, *46*(10), Article e16495. <https://doi.org/10.1111/jfpp.16495>
- Cruz Mendoza, I., Ortiz Luna, E., Dreher Pozo, M., Villavicencio Vásquez, M., Coello Montoya, D., Chuchuca Moran, G., Galarza Romero, L., Yépez, X., Salazar, R., Romero-Peña, M., & Coronel León, J. (2022). Conventional and non-conventional disinfection methods to prevent microbial contamination in minimally processed fruits and vegetables. *LWT*, *165*, Article 113714. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113714>
- Dar, A. H., Kumar, N., Shah, S., Shams, R., & Aga, M. B. (2022). Processing of fruits and vegetables. In H. K. Sharma, & N. Kumar (Eds.), *Agro-processing and food engineering* (pp. 535–579). Springer, Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-16-7289-7\\_13](https://doi.org/10.1007/978-981-16-7289-7_13)
- Davidovich-Young, G., Wong-González, E., De la Asunción-Romero, R., & Bustamante-Mora, M. (2023). Effect of peeling, cutting, or shredding of lettuce, carrot, or potato on the efficacy of chlorine disinfection. *Food Science and Technology International*, Online first. <https://doi.org/10.1177/10820132231213671>
- Dávila-Aviña, J. E., Ríos-López, A., Aguayo-Acosta, A., & Solís-Soto, L. Y. (2020). 10-Probiotics in fresh-cut produce. In M. Wasim Siddiqui (Ed.), *Fresh-cut fruits and vegetables* (pp. 205–223). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816184-5.00010-0>
- De Corato, U. (2019). The market of the minimally processed fresh produce needs of safer strategies for improving shelf life and quality: a critical overview of the traditional technologies. *Open Access Journal of Agricultural Research*, *4*(1), Article 000216. <http://doi.org/10.23880/oajar-16000216>
- Delaquis, P. J., Fukumoto, L. R., Toivonen, P. M. A., & Cliff, M. A. (2004). Implications of wash water chlorination and temperature for the microbiological and sensory properties of fresh-cut iceberg lettuce. *Postharvest Biology and Technology*, *31*(1), 81–91. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(03\)00134-0](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(03)00134-0)
- Deng, L. -Z., Mujumdar, A. S., Pan, Z., Vidyarthi, S. K., Xu, J., Zielinska, M., & Xiao, H. -W. (2020). Emerging chemical and physical disinfection technologies of fruits and vegetables: a comprehensive review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *60*(15), 2481–2508. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1649633>
- do Prado Vilarin, S., Rocha Teixeira, T. M., Gonçalves Lima, C. M., Pamplona Pagnossa, J., Mendonça de Figueiredo, R., Cardoso Medeiros, U. B., & Ferreira Santana, R. (2020). Effect of sanitization on minimally processed cabbage (*Brassica oleracea* L.). *Research, Society and Development*, *9*(6), Article e59963467. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i6.3467>

- Ferreira Gomes, B. A., Silveira Alexandre, A. C., Vieira De Andrade, G. A., Pereira Zanzini, A., Araújo de Barros, H. E., dos Santos Ferraz e Silva, L. M., Aparecida Costa, P., & de Barros Vilas Boas, E. V. (2023). Recent advances in processing and preservation of minimally processed fruits and vegetables: a review – part 2: physical methods and global market outlook. *Food Chemistry Advances*, 2, Article 100304. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100304>
- Inatsu, Y., Weerakkody, K., Bari, M. L., Hosotani, Y., Nakamura, N., & Kawasaki, S. (2017). The efficacy of combined (NaClO and organic acids) washing treatments in controlling *Escherichia coli* O157:H7, *Listeria monocytogenes* and spoilage bacteria on shredded cabbage and bean sprout. *LWT- Food and Science Technology*, 85(Part A), 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.06.042>
- Jnani, D., & Ray, S. D. (2022). *Escherichia coli*. In P. Wexler (Ed.), *Encyclopedia of toxicology* (4<sup>th</sup> ed., Vol. 4, pp. 351–367). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824315-2.00190-1>
- Jo, H. -Y., Tango, C. N., & Oh, D. -H. (2018). Influence of different organic materials on chlorine concentration and sanitization of slightly acidic electrolyzed water. *LWT*, 92, 187–194. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.02.028>
- Kramer, G. R., & Doran, M. (2018). Disinfectants and sanitizers are essential to produce safety. *Food Safety Magazine*. <https://www.food-safety.com/articles/5975-disinfectants-and-sanitizers-are-essential-to-produce-safety>
- Krasaekoopt, W., & Bhandari, B. (2018). Fresh-cut vegetables. In M. Siddiq & M.A. Uebersax (Eds.), *Handbook of vegetables and vegetable processing* (2<sup>nd</sup> ed., Chapter 12, pp. 287–316). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119098935.ch12>
- Lee, H. -H., Hong, S. -I., & Kim, D. (2014). Microbial reduction efficacy of various disinfection treatments on fresh-cut cabbage. *Food Science and Nutrition*, 2(5), 585–590. <https://doi.org/10.1002/fsn3.138>
- Lippman, B., Yao, S., Huang, R., & Chen, H. (2020). Evaluation of the combined treatment of ultraviolet light and peracetic acid as an alternative to chlorine washing for lettuce decontamination. *International Journal of Food Microbiology*, 323, Article 108590. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108590>
- López, L., Romero, J., & Ureta, F. (2001). Tratamientos de desinfección de lechugas (*Lactuca sativa*) y frutillas (*Fragaria chiloensis*). *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 51(4), 376–381. <https://www.alanrevista.org/ediciones/2001/4/art-9/>
- Meireles, A., Giaouris, E., & Simões, M. (2016). Alternative disinfection methods to chlorine for use in the fresh-cut industry. *Food Research International*, 82, 71–85. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2016.01.021>
- Moreb, N., Murphy, A., Jaiswal, S., & Jaiswal, A. K. (2020). Chapter 3- Cabbage. In A. K. Jaiswal (Ed.), *Nutritional composition and antioxidant properties of fruits and vegetables* (pp. 33-54). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812780-3.00003-9>
- Mostafidi, M., Sanjabi, M. R., Shirkhan, F., & Zahedi, M. T. (2020). A review of recent trends in the development of the microbial safety of fruits and vegetables. *Trends in Food Science & Technology*, 103, 321–332. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.07.009>
- Murray, K., Wu, F., Shi, J., Xue, S. J., & Warriner, K. (2017). Challenges in the microbiological food safety of fresh produce: Limitations of post-harvest washing and the need for alternative interventions. *Food Quality and Safety*, 1(4), 289–301. <https://doi.org/10.1093/fqsafe/fyx027>
- Oyeyinka, B. O., & Afolayan, A. J. (2019). Comparative evaluation of the nutritive, mineral, and antinutritive composition of *Musa sinensis* L. (banana) and *Musa paradisiaca* L. (plantain) fruit compartments. *Plants*, 8(12), Article 598. <https://doi.org/10.3390/plants8120598>

- Pablos, C., Romero, A., de Diego, A., Vargas, C., Bascón, I., Pérez-Rodríguez, F., & Marugán, J. (2018). Novel antimicrobial agents as alternative to chlorine with potential applications in the fruit and vegetable processing industry. *International Journal of Food Microbiology*, 285, 92–97. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2018.07.029>
- Palma-Salgado, S., Pearlstein, A. J., Luo, Y., Park, H. K., & Feng, H. (2014). Whole-head washing, prior to cutting, provides sanitization advantages for fresh-cut Iceberg lettuce (*Latuca sativa* L.). *International Journal of Food Microbiology*, 179, 18–23. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2014.03.018>
- Pedrero, D. L., & Pangborn, R. M. (1989). *Evaluación sensorial de los alimentos*. Alhambra Mexicana.
- Pérez-Martínez, B., Ramos-Dubón, E., Ramos-Cortez, S., & Munguía, H. (2021). Evaluación de dos combinaciones de conservantes y su efecto sobre un producto hortícola de IV Gama. *Agrociencia*, 4(18), 38–49. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10667947>
- Petran, R. L., Grieme, L. E., & Foong-Cunningham, S. (2015). Culture methods for enumeration of microorganisms. In Y. Salfinger & L. Tortorello (Eds.), *Compendium of methods for the microbiological examination of foods* (5<sup>th</sup> ed., pp. 687-696). American Public Health Association. <https://doi.org/10.2105/MBEF.0222.011>
- Petri, E., Rodríguez, M., & García, S. (2015). Evaluation of combined disinfection methods for reducing *Escherichia coli* O157:H7 population on fresh-cut vegetables. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(8), 8678–8690. <https://doi.org/10.3390/ijerph120808678>
- Petri, E., Virto, R., Mottura, M., & Parra, J. (2021). Comparison of peracetic acid and chlorine effectiveness during fresh-cut vegetable processing at industrial scale. *Journal of Food Protection*, 84(9), 1592–1602. <https://doi.org/10.4315/JFP-20-448>
- Pinela, J., & Ferreira, I. C. F. R. (2017). Nonthermal physical technologies to decontaminate and extend the shelf-life of fruits and vegetables: Trends aiming at quality and safety. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(10), 2095–2111. <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1046547>
- Qadri, O. S., Yousuf, B., & Srivastava, A. K. (2015). Fresh-cut fruits and vegetables: Critical factors influencing microbiology and novel approaches to prevent microbial risks — A review. *Cogent Food & Agriculture*, 1(1), Article 1121606. <https://doi.org/10.1080/23311932.2015.1121606>
- Rodgers, S. L., Cash, J. N., Siddiq, M., & Ryser, E. T. (2004). A comparison of different chemical sanitizers for inactivating *Escherichia coli* O157:H7 and *Listeria monocytogenes* in solution and on apples, lettuce, strawberries, and cantaloupe. *Journal of Food Protection*, 67(4), 721–731. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-67.4.721>
- Sáez-Tonacca, L., Sepúlveda-González, C., Díaz-Ramírez, C., & Palacios-Pino, J. L. (2019). Aceptabilidad de hortalizas de IV gama tratadas mediante diferentes protocolos de desinfección. *Agrotecnia de Cuba*, 43(1), 65–77. [https://www.grupoagricoladecuba.gag.cu/media/Agrotecnia/pdf/43\\_2019\\_1/6.pdf](https://www.grupoagricoladecuba.gag.cu/media/Agrotecnia/pdf/43_2019_1/6.pdf)
- Schlich, P., Dacremont, C., & Brockhoff, P. B. (2000). Application of replicated difference testing. *Food Quality and Preference*, 11(1–2), 43-46. [https://doi.org/10.1016/S0950-3293\(99\)00037-3](https://doi.org/10.1016/S0950-3293(99)00037-3)
- Silveira Alexandre, A. C., Ferreira Gomes, B. A., Nayara Duarte, G., Fabiane Piva, S., Barros Zauza, S., & de Barros Vilas Boas, E. V. (2022). Recent advances in processing and preservation of minimally processed fruits and vegetables: a review – part 1: fundamentals and chemical methods. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(8), Article e16757. <https://doi.org/10.1111/jfpp.16757>



- Singh, P., Hung, Y. -C., & Qi, H. (2018). Efficacy of peracetic acid in inactivating foodborne pathogens in fresh produce surface. *Journal of Food Science*, 83(2), 432–439. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14028>
- Stone, H., Bleibaum, R. N., & Thomas, H. A. (2020). *Sensory evaluation practices*. Academic press.
- Tapia, M. R., Gutierrez-Pacheco, M. M., Vazquez-Armenta, F. J., González Aguilar, G. A., Ayala Zavala, J. F., Shafiur Rahman, M., & Wasim Siddiqui, M. (2015). Washing, peeling and cutting of fresh-cut fruits and vegetables. In M. Wassim-Siddiqui, & M. Shafiur-Rahman (Eds.), *Minimally Processed Foods: Technologies for Safety, Quality, and Convenience* (pp. 57–78). Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-10677-9\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-319-10677-9_4)
- Tudela, J. A., López-Gálvez, F., Allende, A., & Gil, M. I. (2019). Chlorination management in commercial fresh produce processing lines. *Food Control*, 106, Article 106760. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.106760>
- van Haute, S., Sampers, I., Jacxsens, L., & Uyttendaele, M. (2015). Selection criteria for water disinfection techniques in agricultural practices. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55(11), 1529–1551. <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.705360>
- Vandekinderen, I., Devlieghere, F., Van Camp, J., Kerkaert, B., Cucu, T., Ragaert, P., De Bruyne, J., & De Meulenaer, B. (2009). Effects of food composition on the inactivation of foodborne microorganisms by chlorine dioxide. *International Journal of Food Microbiology*, 131(2–3), 138–144. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2009.02.004>
- Venkitanarayanan, K. S., Lin, C. -M., Bailey, H., & Doyle, M. P. (2002). Inactivation of *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella enteritidis*, and *Listeria monocytogenes* on apples, oranges, and tomatoes by lactic acid with hydrogen peroxide. *Journal of Food Protection*, 65(1), 100–105. <https://doi.org/10.4315/0362-028x-65.1.100>
- Weng, S., Luo, Y., Li, J., Zhou, B., Jacangelo, J. G., & Schwab, K. J. (2016). Assessment and speciation of chlorine demand in fresh-cut produce wash water. *Food Control*, 60, 543–551. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.08.031>
- Yang, X., Yan, R., Chen, Q., & Fu, M. (2020). Analysis of flavor and taste attributes differences treated by chemical preservatives: a case study in strawberry fruits treated by 1-methylcyclopropene and chlorine dioxide. *Journal of Food Science and Technology*, 57, 4371–4382. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04474-7>
- Yoon, J. -H., & Lee, S. -Y. (2018). Review: Comparison of the effectiveness of decontaminating strategies for fresh fruits and vegetables and related limitations. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58(18), 3189–3208. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1354813>
- Zhang, L. A. (2013). Removal of chlorine residual in tap water by boiling or adding ascorbic acid. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 3(5), 1647–1651. [https://www.ijera.com/papers/Vol3\\_issue5/JN3516471651.pdf](https://www.ijera.com/papers/Vol3_issue5/JN3516471651.pdf)
- Zoellner, C., Aguayo-Acosta, A., Wasim Siddiqui, M., & Dávila-Aviña, J. E. (2018). Chapter 2- Peracetic acid in disinfection of fruits and vegetables. In M. Wasim Siddiqui (Ed.), *Postharvest disinfection of fruits and vegetables* (pp. 53–66). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812698-1.00002-9>