

TÉCNICAS AMIGABLES CON EL MEDIO AMBIENTE PARA LA DESCONTAMINACIÓN DE FRUTAS FINAS

Franco Van de Velde^{1, 2}, María P. Méndez-Galarraga^{1, 2}, Andrea M. Piagentini¹, María E. Pirovani¹

¹ Universidad Nacional del Litoral (UNL), Instituto de Tecnología de Alimentos, Facultad de Ingeniería Química, Santiago del Estero 2829, (3000) Santa Fe, Argentina. E-mail: mpirovan@fiq.unl.edu.ar

² Consejo de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Godoy Cruz 2290, (C1425FQB) CABA, Argentina. E-mail: info@conicet.gov.ar

INTRODUCCIÓN

Las frutas finas o berries como frutillas (*Fragaria* spp.) y zarzamoras (*Rubus* spp.), de atractivo color y sabor, aportan a la dieta numerosos compuestos antioxidantes con comprobados beneficios para la salud del consumidor (Jung et al. 2015). Como consecuencia, se ha registrado en Argentina un aumento en la superficie cultivada, en la producción y en el posicionamiento en el mercado de estas frutas. Se trata de producciones intensivas en mano de obra y capital, que generan alta rentabilidad en pequeñas superficies y son movilizadoras de las economías locales y regionales (Gómez Riera et al. 2013).

Como contrapartida, las frutillas y las zarzamoras poseen una vida postcosecha extremadamente corta, ya que son susceptibles al daño mecánico, deterioro fisiológico y microbiológico y a la pérdida de agua (Ramos et al. 2013). Principalmente, los microorganismos alterantes, presentes en la microbiota nativa, pueden causar hasta el 15% de las pérdidas postcosecha de frutas y hortalizas. Las principales alteraciones postcosecha de frutillas y zarzamoras, de menor pH que las hortalizas, se deben principalmente a mohos, siendo los géneros más frecuentes *Alternaria*, *Aspergillus*, *Botrytis*, *Fusarium* *Penicillium*, y *Rhizopus* (Ramos et al. 2013, Vardar et al. 2012).

Además de los microorganismos que producen pérdida de calidad, pueden estar también presentes microorganismos patógenos para el hombre, afectando la seguridad de estos productos. Los expertos en nutrición aconsejan aumentar el consumo de frutas y hortalizas frescas o mínimamente procesadas por sus comprobados beneficios para la salud (Lynch et al. 2009). Por estos motivos, los consumidores perciben a estos alimentos como seguros y saludables, pero a menudo no son conscientes de los riesgos derivados de la presencia de microorganismos patógenos en los mismos. Los microorganismos

más frecuentemente vinculados a brotes relacionados con el consumo de frutas y hortalizas incluyen bacterias (*Salmonella* spp., *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli* y *Shigella* spp.), virus y parásitos (Ramos et al. 2013). La asociación de estos microorganismos con brotes relacionados a frutas y hortalizas frescas o mínimamente procesadas, demuestra la falta de un protocolo eficaz de lavado y/o desinfección.

1. TÉCNICAS DE DESCONTAMINACIÓN DE FRUTAS Y HORTALIZAS

El mejor método para reducir la población de microorganismos en frutas y hortalizas es, sin dudas, prevenir la contaminación. Sin embargo, esto no siempre es posible y el uso de técnicas de descontaminación constituye una de las etapas de procesamiento más críticas sobre todo en el mínimo procesamiento, ya que afecta la calidad, la seguridad y la vida útil del producto.

Varios compuestos químicos están disponibles comercialmente para su uso en la etapa de lavado y/o desinfección, siendo el cloro y sus derivados las alternativas más comunes y económicas. Los compuestos clorados se usan ampliamente en la industria de frutas y hortalizas enteras y mínimamente procesadas con el objetivo de controlar el número de microorganismos en el agua de lavado y reducir la contaminación superficial mejorando la calidad microbiológica de estos productos (Pirovani et al. 2006).

El espectro de microorganismos eliminados o inhibidos por los compuestos a base de cloro es probablemente más amplio que el de cualquier otro desinfectante aprobado. En solución, la eficiencia del cloro puede verse afectada por el pH y la materia orgánica, pero también por las propiedades de la superficie del producto. Además, su subutilización no proporciona ningún efecto en la población microbiana, mientras que su uso excesivo puede interferir con las propiedades fisiológicas, sensoriales, nutricionales y fitoquímicas, o generar subproductos tóxicos. Es decir, el uso inadecuado del cloro puede afectar la calidad y la vida útil de los productos frescos y mínimamente procesados (Chaidez et al. 2012). Por esta razón, se busca reemplazarlo por desinfectantes alternativos ya que la reacción del cloro con la materia orgánica podría resultar en la formación de trihalometanos y otros compuestos potencialmente carcinógenos (Silveira et al. 2008). Es así que el ácido peracético (APA) ha ganado interés como agente desinfectante de frutas y hortalizas frescas enteras o mínimamente procesadas (Vandekinderen et al. 2008, Van de Velde et al. 2010).

Comercialmente, el APA está disponible como una mezcla líquida cuaternaria en equilibrio de ácido acético, peróxido de hidrógeno, ácido peracético y agua. El APA es un líquido transparente e incoloro, sin capacidad de formación de espuma y cuyos productos de descomposición reportados son ácido acético y oxígeno, por lo que se lo considera respetuoso con el medio ambiente (Silveira et al. 2008, Vandekinderen et al. 2009). Las ventajas del uso de este desinfectante sobre otros agentes, como el cloro, incluyen la falta o

sólo una formación insignificante de compuestos tóxicos o carcinogénicos, que su actividad está poco influenciada por la presencia de material orgánico y que no depende de factores tales como el pH y la temperatura (Lee y Huang 2019, Vandekinderen et al. 2009). Las soluciones de APA pueden ser agentes fuertemente oxidantes. Los potenciales de óxido-reducción del APA y del peróxido de hidrógeno (H_2O_2) son de alrededor de 1,8 eV, siendo estos potenciales mayores que los del ácido hipocloroso (1,49 eV) o el dióxido de cloro (0,49 eV) (Pechacek et al. 2015). Las soluciones de APA se utilizan para el lavado de frutas y hortalizas en concentraciones autorizadas de hasta 80 mg/L (CFR 2018). La eficiencia del APA sobre los microorganismos, en orden decreciente es: bacterias > virus > esporas bacterianas > quistes de protozoos (Kitis 2004).

En resumen, el APA presenta ventajas importantes para su elección ya que es un germicida efectivo, es soluble en agua, requiere bajas concentraciones de uso con un costo moderado (aunque mayor que el del hipoclorito de sodio), no afecta el medio ambiente, no deja residuos tóxicos, es activo en presencia de materia orgánica y aguas duras y el almacenamiento de la solución concentrada es estable durante largo tiempo (Baldry 1983, Kunigk y Almeida 2001). Además, puede usarse en un amplio espectro de pH (3,0 – 7,5) y el proceso de desinfección puede llevarse a cabo a temperatura ambiente, siendo activo aun a temperaturas tan bajas como 0 °C (Kunigk y Almeida 2001).

La selección de una técnica adecuada de lavado para reducir la carga microbiológica de frutas y hortalizas depende de muchos factores tales como la carga microbiana inicial en la superficie de los productos, la superficie a tratar, el tipo de desinfectante, ubicación de microorganismos contaminantes, concentración, tiempo y temperatura de exposición al desinfectante (Beuchat et al. 2004). Además se debe considerar que cuando una operación de lavado no está diseñada y/o realizada adecuadamente, puede crear lesiones en la superficie del tejido vegetal, producir contaminación cruzada y/o internalización de contaminantes microbiológicos y químicos, así como generar pérdidas de pigmentos, vitaminas y compuestos importantes para la salud por oxidación y/o lixiviación.

Existen diferentes técnicas para producir el contacto entre la fruta y el agente desinfectante: por inmersión, por aspersión y por nebulización. En cada una de estas técnicas se pueden determinar las combinaciones de las variables operativas que permitan lograr la desinfección deseada sin pérdida de calidad ni potencial saludable. Es por esto que en este capítulo se presentarán diferentes tecnologías para la aplicación de APA en la etapa de lavado y/o desinfección de frutillas y zarzamoras, analizando principalmente su eficacia para reducir los niveles de contaminación inicial de las frutas frescas enteras y mínimamente procesadas. Además, se abordará el efecto de cada una de las técnicas sobre otros aspectos de la calidad y sobre el potencial saludable de ambas frutas, señalando sus ventajas y limitaciones.

2. LAVADO-DESINFECCIÓN POR INMERSIÓN

La técnica de inmersión de las frutas y hortalizas en una solución de lavado es una modalidad muy frecuentemente utilizada en la operación de lavado-desinfección, tanto de productos enteros como mínimamente procesados. Esta etapa tiene como objetivo reducir los microorganismos presentes en la superficie del producto y todo material extraño (tierra, restos de hojas, insectos, etc.). En el caso de los vegetales cortados también se pretende reducir los fluidos celulares que pudieron haberse generado luego del corte (Pirovani et al. 2006). El diseño de los equipos de lavado (agitación, relación de volumen agua/peso de producto, purgas de eliminación para sedimentos, etc.) suele resolver las cuestiones vinculadas a la eliminación de materiales extraños o fluidos celulares. Sin embargo, para cumplir con el objetivo de reducir la carga microbiana, es necesario utilizar agentes sanitizantes. Además, este sanitizante permite mantener bajo el nivel de concentración de microorganismos (carga microbiana) en el agua de lavado que se pone en contacto con la fruta. Como ya se mencionó, el ácido peracético (APA) es una alternativa apropiada si se considera su efectividad en reducir la carga microbiana y su mínima o nula producción de sustancias tóxicas o compuestos cancerígenos durante la operación (Lee y Huang 2019, Silveira et al. 2008, Vandekinderen et al. 2008) .

Van de Velde et al. (2014) estudiaron la efectividad del lavado-desinfección con APA de frutillas frescas cortadas var. 'Camarosa' sobre la carga microbiológica superficial, analizando el efecto de la concentración (0-100 mg/L), el tiempo de inmersión (0-120 s) y la temperatura de la solución de lavado (4-40°C), obteniéndose un modelo predictivo. La reducción de microorganismos aerobios mesófilos totales (rAMT) resultó función de la concentración inicial de APA, el tiempo de inmersión y la temperatura de la solución. Los resultados indican que se puede lograr una mayor reducción de microorganismos aerobios mesófilos a medida que se aumenta la concentración de APA y el tiempo de inmersión, con efecto más leve de la temperatura. El modelo predictivo indica que podría alcanzarse 2,6 log de reducción cuando las condiciones de lavado-desinfección son 100 mg/L de APA, 40°C y 120 s (Van de Velde et al. 2014).

Se ha reportado que la efectividad del tratamiento con APA en reducir la carga microbiana depende del tipo de vegetal. Kim et al. (2006) estudiaron la efectividad del lavado con soluciones de 40 y 80 mg/L de APA durante 1 y 5 min para inactivar *Enterobacter sakazakii* inoculado en la superficie de manzanas, tomates y lechuga. El lavado de manzanas con APA a 40 mg/L durante 1 min a 22°C causó reducciones mayores a 4,00 log. Mientras que el lavado de tomates con APA a la misma concentración (40 mg/L) y misma temperatura logró reducciones de *E. sakazakii* mayores a 3,70 log pero durante 5 min. Además, el lavado de lechuga con APA (40 y 80 mg/L) por 5 min a 22°C causó una reducción bacteriana mayor a 5,31 log (Kim et al. 2006).

Van de Velde et al. (2013) demostró que con diferentes variedades de frutillas ('Camarosa' y 'Selva') la efectividad del tratamiento de desinfección es diferente, utilizándose idénticas condiciones de proceso. Realizando un lavado por inmersión con 100 mg/L de APA, durante 120 s y a 40 °C se logró una rAMT de 2,6 y 1,5 log para las variedades 'Camarosa' y 'Selva', respectivamente. Estas diferencias en el comportamiento de la reducción de la flora aerobia mesófila frente al sanitizante podrían deberse a varios factores que condicionan la descontaminación de los productos vegetales tales como las condiciones de contaminación, tiempo entre la contaminación y el lavado, unión en sitios inaccesibles, formación de biofilms, internalización de bacterias dentro del producto, entre otros (Sapers 2001).

Otro aspecto que han observado algunos autores es que el impacto del tiempo de inmersión puede variar según sea la concentración de APA. A concentraciones menores de 75 mg/L, Vandekinderen et al. (2009) encontró que el aumento del tiempo (mayor a 4 min) producía un efecto leve sobre la reducción microbiológica. Similarmente, Van de Velde et al. (2013) encontró que a 75 mg/L de APA y 22°C, la reducción de la carga microbiana variaba de 1,4 a 2,1 log cuando el tiempo de inmersión aumentaba de 10 a 65 s, respectivamente. Sin embargo, posteriores extensiones del tiempo de inmersión hasta 120 s sólo permitían alcanzar una reducción a 2,2 log.

Más allá de su efecto beneficioso sobre la calidad microbiológica, el lavado-desinfección de las frutas y hortalizas en general y de las frutillas en particular, pueden traer aparejados algunos problemas. Principalmente, podría ocurrir pérdida de pigmentos, vitaminas y otros compuestos (como sólidos solubles) por oxidación y/o lixiviación. Esto puede producir como consecuencia un efecto perjudicial sobre el color al inducir al pardeamiento o la decoloración del tejido vegetal (Vandekinderen et al. 2008). Por lo tanto, la operación de lavado-desinfección puede afectar la calidad general y los nutrientes y compuestos bioactivos del producto. Por todo ello, es esencial que los procesadores sepan cómo impactan las principales variables del proceso y cómo reducir su impacto.

Van de Velde et al. (2013) estudiaron los cambios en los contenidos de antocianinas y compuestos fenólicos totales, ácido ascórbico y vitamina C, para evaluar los compuestos bioactivos y el color, como principal atributo de calidad visual, de frutillas variedades 'Selva' y 'Camarosa' cortadas en cuartos durante la operación de lavado-desinfección con APA. Las variables estudiadas y sus rangos operativos fueron idénticos a los reportados por Van de Velde et al. (2014). La calidad de ambas variedades de frutillas utilizadas como materia prima, se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Compuestos bioactivos, parámetros de calidad y carga inicial de microorganismos aerobios mesófilos totales en frutillas frescas cortadas sin lavar.

| Atributo | Cultivar | |
|-------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | Camarosa | Selva |
| AA (mg/100 g) | 36,1 ± 2,5 ^b | 14,8 ± 0,6 ^a |
| Vit C (mg/100 g) | 41,2 ± 3,4 ^b | 28,7 ± 0,3 ^a |
| FT (mg AG/100 g) | 324,2 ± 6,2 ^b | 292,4 ± 5,1 ^a |
| Ant T (mg/100 g) | 47,0 ± 2,2 ^b | 19,0 ± 0,8 ^a |
| CA (mg AA/100 g) | 440,1 ± 8,1 ^b | 395,7 ± 7,2 ^a |
| SS (° Brix) | 8,5 ± 0,1 ^b | 6,6 ± 0,2 ^a |
| pH | 3,4 ± 0,1 ^a | 3,4 ± 0,1 ^a |
| AT (g ACA/100 g) | 0,8 ± 0,1 ^a | 0,8 ± 0,1 ^a |
| L ₀ [*] | 30,1 ± 0,1 ^b | 32,3 ± 0,6 ^a |
| a ₀ [*] | 37,2 ± 0,6 ^b | 25,4 ± 0,7 ^a |
| b ₀ [*] | 20,7 ± 0,1 ^b | 12,2 ± 0,6 ^a |
| C _{ab0} [*] | 42,5 ± 0,5 ^b | 28,2 ± 0,9 ^a |
| h _{ab0} | 29,1 ± 0,6 ^b | 25,7 ± 0,5 ^a |
| AMT (log UFC/g) | 3,8 ± 0,1 ^a | 3,6 ± 0,1 ^a |

Media ± desviación estándar. (n=3). AA: ácido ascórbico; Vit C: vitamina C; FT: fenoles totales; AG: ácido gálico; Ant T: antocianinas totales; CA: capacidad antioxidante; SS: sólidos solubles; AT: acidez total; ACA: ácido cítrico anhidro; L^{*}, a^{*}, b^{*}, C_{ab}^{*} y h_{ab} parámetros del sistema CIElab, AMT: microorganismos aerobios mesófilos totales. Valores en la misma fila con diferente letra muestran diferencias estadísticamente significativas (p≤0,05) por variedad.

En las frutillas var. ‘Camarosa’ no se observaron cambios de color en función de las variables de proceso. Los porcentajes de los cambios de color en todos los parámetros (L^{*}, a^{*}, b^{*}, C_{ab}^{*} y h_{ab}) no fueron superiores al 13% (Van de Velde et al. 2013). Por el contrario, los parámetros de color en las frutillas var. ‘Selva’ fueron afectados por las tres variables del proceso. La concentración de APA afectó principalmente los parámetros de color L^{*} y C_{ab}^{*}. Se obtuvieron frutillas más claras (mayor L^{*}) que la materia prima al ser lavadas por inmersión con concentraciones de APA superiores a 80 mg/L y tiempos de tratamiento superiores a los 100 s a 22°C. La oxidación y posterior degradación de antocianinas por el APA podrían justificar la obtención de frutas más claras. En cuanto al croma (C_{ab}^{*}), se encontró que en todas las condiciones de lavado se obtuvieron frutillas de color más vívido que la materia prima. Numerosas combinaciones de tiempos de inmersión y concentraciones de APA demuestran la posibilidad de realizar el lavado preservando el tono rojo (h_{ab}) característico de

la fruta o volviéndolas aún más rojas. El aumento en el tono rojo en esta área experimental (tiempos mayores de 65 s y concentraciones entre 30 y 70 mg/L) podría justificarse por el bajo pH de las soluciones de APA (pH < 4) que intensifican el tono rojo de las antocianinas (Van de Velde et al. 2013).

Como puede observarse en la Tabla 2, la retención de ácido ascórbico, compuestos fenólicos y antocianinas totales para ambas variedades disminuye a medida que la concentración de APA y el tiempo de inmersión aumentan. La capacidad antioxidante, en cambio, sólo se ve afectada por la concentración de APA utilizada, indicando que una mayor concentración resulta en menor retención de capacidad antioxidante.

Tabla 2. Valores predichos de la retención de ácido ascórbico (RAA), fenoles totales (RFT), antocianinas totales (RAnt T) y capacidad antioxidante (RCA) después del lavado-desinfección por inmersión con ácido peracético (APA) de frutillas frescas cortadas ‘Camarosa’ y ‘Selva’ a 24°C.

| APA (mg/L) | Tiempo (s) | RAA (%) | RFT (%) | RAnt T (%) | RCA (%) |
|------------|------------|---------|---------|------------|---------|
| 20 | 20 | 95,4 | 93,0 | 95,1 | 92,4 |
| | 60 | 97,9 | 90,9 | 90,1 | 92,4 |
| | 120 | 75,0 | 87,8 | 82,6 | 92,4 |
| 40 | 20 | 89,4 | 90,8 | 92,0 | 90,0 |
| | 60 | 91,9 | 88,7 | 87,0 | 90,0 |
| | 120 | 69,0 | 85,5 | 79,5 | 90,0 |
| 80 | 20 | 77,3 | 89,8 | 85,8 | 85,1 |
| | 60 | 79,8 | 87,7 | 80,8 | 85,1 |
| | 120 | 56,9 | 84,5 | 73,3 | 85,1 |

En el espacio experimental ensayado por Van de Velde et al. (2013), la mínima y máxima retención de antocianinas totales fue de 54,6 % (obtenido a 100 mg/L, 120 s y 40°C) y 95,9 % (obtenida a 13 mg/L, 10 s y 26°C), respectivamente. Alexandre et al. (2012) determinó un 85 % de retención de antocianinas totales después del lavado con agua de frutillas enteras var. ‘Camarosa’ durante 120 s a 15°C. En lo que respecta al ácido ascórbico, Alexandre et al. (2012) reportó que la máxima retención (98 %) se logra con un lavado de las frutillas enteras sólo con agua, 120 s y 15°C, resultando para éstas mismas condiciones, 83,4 % de retención en frutillas frescas cortadas según lo informado por Van de Velde et al. (2013). Estas diferencias pueden deberse a la mayor superficie expuesta a la solución de lavado de las frutas cortadas.

La menor y mayor retención de compuestos fenólicos fue 84,3 % (68 mg/L APA y 120 s) y 97 % (0 mg/L APA y 10 s), respectivamente. La retención

de la capacidad antioxidante disminuyó a medida que la concentración de APA aumentó. Como puede verse en la Tabla 2, dicha retención no fue afectada por el tiempo de inmersión ni por la temperatura de la solución de lavado. El mayor y menor valor predicho de la retención de capacidad antioxidante resultó 100 % (0 mg/L) y 77 % (100 mg/L APA), respectivamente.

La retención de vitamina C (ácido ascórbico más ácido deshidroascórbico) de frutillas ‘Camarosa’ cortadas en cuartos, no fue afectada por las diferentes condiciones de las variables de proceso (Van de Velde et al. 2013). Es decir que para todo el dominio experimental ensayado (0-100 mg/L APA, 10-120 s, y 4-40°C), la pérdida promedio de vitamina C fue del 10 ± 4 %. Sin embargo para las frutillas var, ‘Selva’ cortadas en cuartos, la retención de vitamina C resultó función de la concentración de APA y el tiempo de inmersión, La menor retención de vitamina C (67,6 %), en este caso, ocurrió a 100 mg/L APA y 120 s, indicando que más del 30 % se ha degradado a ácido dicetogulónico, perdiendo su poder vitamínico.

En resumen, el efecto oxidante del APA justifica las pérdidas de ácido ascórbico, vitamina C, compuestos fenólicos y de la capacidad antioxidante de las frutillas. Si se estiman las pérdidas en estos compuestos para los valores de concentración de APA (80 mg/L) recomendados por CFR (2018), se obtendría una reducción de antocianinas de aproximadamente el 27 % y 43 % para el ácido ascórbico, cuando se utiliza el mayor tiempo ensayado (120 s) y 24°C con frutillas frescas cortadas en cuartos (Tabla 2).

De acuerdo a los resultados anteriormente mencionados, puede verse que resulta esencial balancear los aspectos favorables del lavado-desinfección (descontaminación microbiológica) con los perjudiciales como son la pérdida de calidad sensorial y potencial saludable de las frutillas.

En este sentido, Van de Velde et al. (2014) empleó la metodología de optimización de respuestas múltiples para determinar las condiciones de lavado por inmersión óptimas con dos objetivos diferentes. Uno de los objetivos (OP1) fue maximizar la reducción microbiológica de AMT limitando una pérdida de no más del 10 % en los compuestos bioactivos (90 % de retención de ácido ascórbico y de antocianinas totales). Para satisfacer estas condiciones, los valores óptimos de las variables del proceso resultantes fueron 100 mg/L de APA, 24°C y 50 s de tiempo de inmersión. El otro objetivo (OP2) fue maximizar la retención los compuestos bioactivos y alcanzar una reducción de 2 log de AMT con respecto a la carga inicial de la materia prima. El proceso debería realizarse aplicando las siguientes condiciones: 20 mg/L de APA, 18°C y 52 s.

Posteriormente, se realizaron ensayos de validación para ambas condiciones de optimización, evaluando sensorialmente las frutillas frescas cortadas obtenidas y comparándolas con las muestras control (lavadas con agua durante 2 min) con panel experto (datos no mostrados). No se observaron diferencias significativas en apariencia general, pardeamiento, firmeza, aroma genuino, sabor genuino, sabor ácido y sabor dulce. Los panelistas reportaron

una presencia leve de sabores desagradables en las frutillas lavadas en la condición OP1 y presencia leve de olores desagradables en las frutillas lavadas en OP1 y OP2 con respecto a las muestras control. Los autores recomiendan 20 mg/L de APA, 18°C y 52 s como condiciones de proceso para frutillas ‘Camarsa’ cortadas en cuartos debido a la aceptable reducción de la carga microbiológica ($rAMT = 0,8 \pm 0,4 \log$), mayor retención de antocianinas y ácido ascórbico ($87,2 \pm 0,5 \%$ y $93,3 \pm 2,0 \%$, respectivamente), buena calificación de atributos sensoriales y conveniencia económica por menor consumo de APA.

3. LAVADO-DESINFECCIÓN POR ASPERSIÓN

La técnica de aspersión surge como una alternativa a la inmersión y puede considerarse como un buen método de lavado-desinfección de frutas frescas, ya que, además del efecto antimicrobiano del sanitizante, hay una remoción física extra producida por la presión del aspersor (Chang y Schneider 2012). Además, es una tecnología amigable con el ambiente ya que produce menor cantidad de agua residual que las técnicas de inmersión. Sin embargo, existe escasa información sobre el impacto de esta tecnología sobre la calidad de frutas frescas cortadas.

Méndez-Galarraga et al. (2018) modelaron y optimizaron el lavado-desinfección por aspersión de frutillas frescas cortadas con APA sobre la calidad microbiológica, nutricional y sensorial. Además, los autores evaluaron la efectividad del método a través de la reducción de un patógeno modelo (*Escherichia coli*). Para estos objetivos, se planteó un diseño de Metodología de Superficie Respuesta, siendo las variables estudiadas, la concentración del sanitizante (APA: 1 – 240 mg/L) y el tiempo de aspersión (t: 11-138 s).

Para ver el efecto que produce esta tecnología en la microflora nativa, se evaluaron las reducciones microbiológicas de aerobios mesófilos totales (rAMT), mohos (rM) y levaduras (rL) en el día de procesamiento (día 0) y a los 7 días de almacenamiento a 2°C. La concentración de APA tuvo mayor efecto que el tiempo de aspersión sobre las rAMT, rM y rL en el día del procesamiento. A medida que incrementan ambas variables (C y t), incrementa la reducción de todos los microorganismos analizados, excepto para mohos que sólo se ve afectado por la concentración del sanitizante (Tabla 3). Además, luego del almacenamiento refrigerado a 2 °C por 7 días, los recuentos de microorganismos continuaron reduciéndose.

En cuanto a la reducción de *E. coli*, los autores reportaron que, en el rango experimental ensayado, en las frutas lavadas a altas concentraciones de APA, el tiempo influye positivamente en la respuesta (a mayores tiempos, mayores reducciones), llegando a una reducción predicha de 4 log cuando las condiciones son las extremas: 240 mg/L y 138 s. Después de 7 días de almacenamiento a 2°C, la concentración del sanitizante y el tiempo no afectaron significativamente la *rEcoli*, obteniéndose una reducción promedio de 2,4 log.

Tabla 3. Valores predichos de la reducción de aerobios mesófilos totales (rAMT), mohos (rM), levaduras (rL) y *Escherichia coli* (rEcoli) después del lavado-desinfección por aspersión con ácido peracético (APA) de frutillas frescas cortadas.

| APA (mg/L) | Tiempo (S) | rAMT | rM | rL | rEcoli |
|------------|------------|------|-----|-----|--------|
| 20 | 20 | 0,1 | | 0,4 | 2,1 |
| | 60 | 0,4 | 0,8 | 1,3 | 1,8 |
| | 120 | 0,5 | | 1,3 | 1,4 |
| 80 | 20 | 0,6 | | 0,9 | 1,8 |
| | 60 | 0,8 | 1,2 | 1,8 | 2,0 |
| | 120 | 1,0 | | 1,8 | 2,1 |
| 200 | 20 | 0,8 | | 1,9 | 1,3 |
| | 60 | 1,1 | 2,0 | 2,8 | 2,2 |
| | 120 | 1,3 | | 2,8 | 3,6 |

Como se muestra en la Figura 1, el recuento de *E. coli* en el día 7 fue generalmente menor que en el día 0. Según Abadias et al. (2011), la eficacia de los métodos de descontaminación se refleja en la reducción microbiológica obtenida, pero es aún más importante el mantenimiento de esta reducción durante el almacenamiento. Por lo tanto, el lavado-desinfección por aspersión con APA no solo reduce el recuento de *E. coli* y de la microflora nativa, sino que también previene el incremento de los mismos durante el almacenamiento por 7 días a 2°C. Esto probablemente se deba a la acción germicida residual que tiene el APA.

Por otra parte, Méndez-Galarraga et al. (2018) reportaron que el lavado-desinfección por aspersión no afecta de manera significativa los parámetros de color de las frutillas cortadas en el rango experimental ensayado. La reducción promedio del parámetro de color L^* (luminosidad) en este estudio fue de alrededor del 1%, indicando que las frutas lavadas fueron ligeramente más oscuras que las muestras control, y no hubo cambios durante el almacenamiento por 7 días a 2 °C. El color de las frutillas frescas cortadas fue más vívido que las muestras control (aumento de alrededor del 20% de C_{ab}^*) y en el almacenamiento este cambio fue significativamente menor. Por último, las muestras lavadas fueron ligeramente menos rojas (aumento de h_{ab} de alrededor del 12%) que las muestras control, y este cambio se mantuvo en el almacenamiento. Además, se observó que el lavado-desinfección por aspersión con APA en las frutillas frescas cortadas y su posterior almacenamiento no afectó la retención de sólidos solubles con respecto a las muestras control, aunque la retención del pH fue afectada ligeramente en el almacenamiento (Tabla 4).

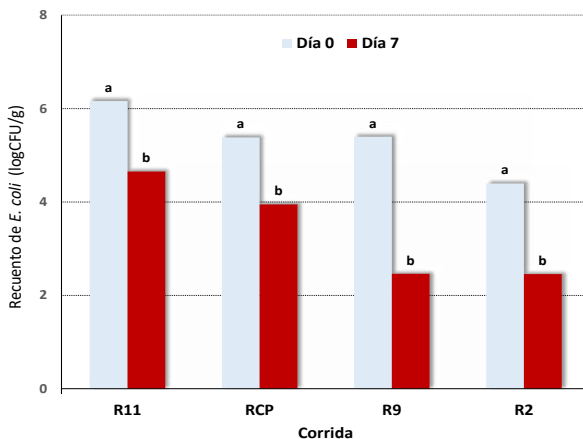


Figura 1. Efecto del almacenamiento a 2°C sobre frutillas frescas cortadas inoculadas con *E. coli* lavadas por aspersión con ácido peracético (APA). R11: muestras tratadas con 1 mg/L 75 s; RCP: promedio de los puntos centrales de las muestras tratadas con 120,5 mg/L y 75 s; R9: muestras tratadas con 120,5 mg/L y 138 s; R2: muestras tratadas con 240 mg/L y 75 s. Diferentes letras sobre las barras indican diferencias significativas ($P \leq 0,05$).

Como se describió anteriormente, Van de Velde et al. (2014) maximizaron la retención de ácido ascórbico y antocianinas totales con una reducción razonable de microorganismos (2 log) en el lavado-desinfección de frutillas frescas cortadas por inmersión con 20 mg/L de APA y 52 s. En esas condiciones, las retenciones para antocianinas totales y ácido ascórbico fueron del 87,2 y 93,3 %, respectivamente. Méndez-Galarraga et al., (2018) reportaron que las retenciones de estos compuestos bioactivos en el sistema de lavado por aspersión con APA en las condiciones optimizadas por Van de Velde et al. (2014) fueron menores (~74 % para antocianinas totales y 79 % para ácido ascórbico). Sin embargo, la retención de vitamina C fue de alrededor del 84 %, indicando que hubo una oxidación parcial del L-ácido ascórbico a L-ácido deshidroascórbico debido al APA, pero manteniendo su actividad biológica (Hernández et al. 2006). Paralelamente, en este trabajo hubo una retención importante de la capacidad antioxidante (~98 %), probablemente, debido a la retención lograda en los compuestos fenólicos (~96 %) (Tabla 4).

Empleando la metodología de optimización de respuestas múltiples, Méndez-Galarraga et al. (2018) encontraron que las condiciones óptimas del lavado-desinfección por aspersión de frutillas frescas cortadas para maximizar la reducción de AMT, M y L en el día del procesamiento (día 0) fueron 240 mg/L y 97 s, alcanzándose una reducción de 1,2, 2,4 y 3,3 log, respectivamente.

En función de estos resultados, el lavado por aspersión con APA puede considerarse una buena alternativa de desinfección de frutillas frescas cortadas, en donde no se compromete la calidad sensorial y nutricional de las frutas y se logran reducciones microbiológicas apropiadas.

Tabla 4. Promedios de las respuestas en frutillas frescas cortadas después del lavado-desinfección por aspersión con APA en el día 0 y después de 7 días de almacenamiento a 2°C.

| Atributos (%) | Tiempo (d) | |
|-----------------------------|-------------------|-------------------|
| | 0 | 7 |
| RSSi | 99,2 ^a | 98,4 ^a |
| RpHi | 98,4 ^a | 100 ^b |
| δ Li* | -1,2 ^a | -1,3 ^a |
| δ C _{ab} i* | 23,6 ^a | 11,2 ^b |
| δ h _{ab} i | 12,2 ^a | 9,6 ^a |
| RFTi | 95,3 ^a | 97,1 ^a |
| RAnt Ti | 78,8 ^a | 79,4 ^a |
| RCAi | 98,2 ^a | 97,3 ^a |
| RAAi | 74,1 ^a | 76,5 ^a |
| RVitCi | 83,0 ^a | 85,5 ^a |

Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas ($P \leq 0,05$). RSSi: retención de sólidos solubles en el día i; RpHi: retención de pH en el día i; δ Li*: cambio de luminosidad en el día i; δ C_{ab}i*: cambio de chroma en el día i; δ h_{ab}i: cambio de hue en el día i; RFTi: retención de fenoles totales en el día i; RAnt Ti: retención de antocianinas totales en el día i; RCAi: retención de capacidad antioxidante en el día i; RAAi: retención de ácido ascórbico en el día i; RVitCi: retención de vitamina C en el día i, i es el día de análisis, 0 o 7.

4. DESINFECCIÓN POSTCOSECHA DE FRUTAS FINAS POR NEBULIZACIÓN

La nebulización o la aerosolización es la dispersión de un agente desinfectante como una fina niebla en el aire y su aplicación en los productos. La aplicación de agentes desinfectantes por nebulización puede ser una tecnología promisoría para la sanitización de berries, ya que la manipulación y la generación de humedad en la superficie de las frutas están minimizadas (Oh et al. 2005). Además, la sanitización por nebulización permitiría sortear la limitación que, a veces, enfrentan las operaciones de lavado-desinfección en alcanzar y eliminar patógenos situados en sitios inaccesibles del producto vegetal (Lee et al. 2004), Sin embargo, la desinfección por aerosolización tiene algunas desventajas, tales como la necesidad de equipos más complejos para la genera-

ción de la nube gaseosa y que el número de agentes sanitizantes que pueden ser nebulizados es limitado (Oh et al. 2005).

La nebulización de ácido peracético (APA) surge como una opción promisoriosa para el control de la población microbiana y la extensión de la vida útil de las berries. Es escasa la bibliografía sobre la aplicación de este desinfectante por nebulización. Oh et al. (2005) estudiaron la nebulización de APA sobre hojas de lechuga inoculadas con *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella typhimurium* y *Listeria monocytogenes* durante 10 a 60 min. Los autores reportaron reducciones altas (cerca de 4 ciclos log) en las poblaciones inoculadas a los tiempos máximos. Sin embargo, los resultados sobre el impacto de estos tratamientos en el contenido de los nutrientes y los compuestos bioactivos del material vegetal no fueron reportados.

Van de Velde et al. (2016a) modelaron y optimizaron la operación de desinfección de frutillas frescas por nebulización con APA (APA 5 %, H_2O_2 20 % y agua), procurando alcanzar buenas reducciones microbiológicas sobre la superficie de las frutas, sin afectar su calidad general, contenido de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante. Para estudiar la operación de nebulización los autores utilizaron la metodología de Superficie de Respuesta, siendo las dos variables estudiadas la concentración del desinfectante (3,4-116,6 μ L APA por L de aire) y el tiempo de tratamiento (5,7-69,3 min). A mayores concentraciones de APA nebulizado y tiempos de tratamiento, mayores fueron las reducciones en los recuentos de microorganismos aerobios mesófilos totales (rAMT) y de levaduras y mohos (rLyM) sobre la superficie de las frutillas luego de la nebulización. Además, los autores reportaron que la rAMT fue, en general, menor después de 7 días de almacenamiento, manteniéndose en buenos niveles de reducción. Sin embargo, las rLyM fueron más altas después de 7 días de almacenamiento, lo que indicaría una acción residual del desinfectante ecológico nebulizado; similarmente a lo reportado por Méndez-Galarraga et al. (2018) para el lavado-desinfección de frutillas frescas cortadas por aspersión.

En un trabajo similar, Vardar et al. (2012) realizaron la desinfección de frutillas por nebulización a 750, 1000, 1500 y 2000 μ L de H_2O_2 al 50%/L de aire, por 60 min. El tratamiento de desinfección a la concentración de nebulización más alta (2000 μ /L) redujo la población de AMT en la superficie de las frutas en 2 log. La predicción de la reducción de AMT usando el sanitizante APA al 5 %, el cual también contiene H_2O_2 al 20%, a la concentración de nebulizado más alta: 116,6 μ L/L por 60 min fue de 3,5 log (Van de Velde et al. 2016a), una reducción 1,5 log más alta que la obtenida por Vardar et al. (2012). De acuerdo a Baldry (1983), el APA es un excelente bactericida y el H_2O_2 por sí solo es más efectivo como esporicida que como bactericida. Así, sería evidente el mayor poder en la reducción de la carga microbiológica de la combinación de sanitizantes APA/ H_2O_2 que el empleo de H_2O_2 únicamente.

Por otra parte, Vaccari (2017) demostró utilizando el mismo diseño experimental de Van de Velde et al. (2016a) que la desinfección de frutillas

por nebulización utilizando concentraciones intermedias de APA y periodos de tiempo cortos (por ej., 60 $\mu\text{L/L}$, 30 min) a 20°C logra reducir la población de *E. coli* ATTC 25922 inoculada sobre la superficie de las frutas en 4 ciclos log y mantener esa reducción luego del almacenamiento refrigerado, como reportado por Méndez-Galarraga et al. (2018) para el lavado-desinfección de frutillas frescas cortadas por aspersión con 240 mg/L APA y 138 s. Estos resultados podrían ser considerados válidos para el patógeno *E. coli* O157:H7 por las similitudes que presentan estos microorganismos con respecto de sus características de crecimiento, tolerancia al frío, fijación a superficies de productos frescos e inactivación por calor y por antimicrobianos (Kim y Harrison 2016).

En cuanto al impacto que tiene la nebulización de APA en la calidad y el aporte de compuestos bioactivos de las frutillas, Van de Velde et al. (2016a) reportaron que las retenciones de vitamina C, antocianinas totales, fenoles totales y capacidad antioxidante de las frutas nebulizadas resultaron afectadas tanto por la concentración de APA como por el tiempo de tratamiento. El aumento de la magnitud de ambas variables produjo retenciones menores de los compuestos bioactivos. De acuerdo a la predicciones obtenidas trabajando a la máxima concentración de APA nebulizada (116,6 $\mu\text{L/L}$) y tiempo de tratamiento (69,3 min) pueden lograrse retenciones superiores al 65 % tanto de vitamina C como de fenoles totales y capacidad antioxidante luego de 7 de almacenamiento a 2°C. Sin embargo, estas condiciones de nebulización podrían ocasionar pérdidas de alrededor del 70 % en el contenido de antocianinas totales en las mismas frutas (Van de Velde et al. 2016a). Las antocianinas son los compuestos fenólicos responsables del color de las frutillas y representan la fuente de antioxidantes más importante de la fruta. Son muy inestables y susceptibles a la degradación durante el procesamiento y almacenamiento de vegetales.

En un estudio posterior se reportó que el nebulizado de APA provocó oxidaciones de los compuestos fenólicos individuales de las frutillas en diferentes grados, de acuerdo a la naturaleza química de los mismos (Van de Velde et al. 2016b). Como se había observado previamente, las antocianinas individuales fueron los compuestos fenólicos más vulnerables a la oxidación durante el nebulizado con APA, seguido de las proantocianidinas con nivel bajo de polimerización, los derivados del ácido hidroxicinámico y el elagitanino sanguini H-6 (Van de Velde et al. 2016b). Los autores reportaron que a medida que la concentración de APA y el tiempo de nebulizado se incrementan, las retenciones de las antocianinas individuales disminuyen. Por ejemplo, la retención de las antocianinas cianidin-3-O-glucósido, pelargonidin-3-O-glucósido y pelargonidin-3-O-rutinósido fueron de 6,6, 15,0 y 43,6 %, respectivamente, cuando las frutillas se nebulizaron con 116,6 $\mu\text{L APA/L}$ de aire por 37,5 min. Los efectos oxidantes del APA y el H_2O_2 sobre las antocianinas y otros compuestos bioactivos de las frutillas fueron descritos por otros autores (Özkan et al. 2005).

Aparentemente, el H_2O_2 , presente en la mezcla sanitizante junto al APA, o sus productos de descomposición son nucleófilos fuertes, los cuales se

pueden adicionar a la molécula de antocianina produciendo la ruptura de la molécula y/o la formación de chalconas incoloras (Özkan et al. 2005).

Por otra parte, la desinfección por nebulización usando APA fue utilizado por Vaccari (2017) sobre zarzamoras frescas. En este caso, para todas las concentraciones de APA (3,4 - 116,6 μL APA/litro de aire), el tratamiento presentó una capacidad de desinfección de AMT de 2 log tanto para tiempos cortos (5,7 min) como tiempos largos (69,3 min). Además, el aumento de la concentración de APA redujo significativamente los niveles de mohos y levaduras, correspondiendo las máximas reducciones a la concentraciones de APA y tiempos de tratamiento empleados extremos (116,6 μL APA/litro de aire y 69,3 min). Luego del almacenamiento de las zarzamoras a 2°C, estos resultados se mantuvieron o incluso se observaron mayores reducciones de mohos y levaduras, indicando una acción residual del APA en las frutas nebulizadas. Además, el tratamiento de desinfección produjo una reducción muy alta en el recuento de *E. coli* inoculada, debido al poder sanitizante del APA y a la cutícula protectora cerosa de las zarzamoras, la cual brinda un efecto protector adicional a las frutas, impidiendo la correcta adherencia de los microorganismos (Vaccari 2017).

En cuanto a la calidad sensorial, la aplicación de APA por nebulización no produjo cambios importantes, aunque las zarzamoras nebulizadas resultaron menos azules, posiblemente por oxidación de antocianinas coloreadas. En ese sentido, se encontró que la nebulización de APA en ciertas concentraciones y tiempos provocó pérdidas considerables en el potencial bioactivo de las zarzamoras. Los flavonoides del tipo antocianinas, los cuales representan cerca del 80 % del total de los compuestos fenólicos en zarzamoras, resultaron afectados por algunas de las condiciones del tratamiento.

Si bien la nebulización del APA demostró ser efectiva para controlar la carga microbiológica nativa e inoculada de las frutas tratadas, las propiedades oxidantes del desinfectante en algunas condiciones evidenciaron pérdidas de la calidad sensorial y del potencial bioactivo de las mismas. Por lo tanto, el empleo de la metodología de optimización de respuestas múltiples permitió determinar las condiciones de desinfección óptimas para maximizar la reducción microbiológica y minimizar los cambios sensoriales y pérdidas en el potencial bioactivo de las frutas. Para el caso de las frutillas, por ejemplo, el tratamiento de desinfección por nebulización a las condiciones óptimas 10,1 $\mu\text{L/L}$ por 29,6 min logra reducciones de ~ 1 log en AMT y LyM, con una retención de los compuestos bioactivos del 92 %, y sin cambios en el color de las frutas. Además, las frutillas nebulizadas en esas condiciones, almacenadas a 2 °C por 7 días tuvieron reducciones microbiológicas apropiadas (de $\sim 1,3$ log en AMT y LyM), buena retención de compuestos bioactivos y estabilidad del color.

En conclusión, la nebulización de frutas finas (frutillas y zarzamoras) utilizando el desinfectante ecológico APA sería una opción promisoriosa para extender la vida postcosecha de estas frutas sin comprometer su apariencia general ni su valioso aporte en compuestos bioactivos.

CONSIDERACIONES FINALES

En este capítulo se abordó la problemática del lavado-desinfección de frutillas mínimamente procesadas usando el sanitizante ecológico APA por inmersión y aspersión. Además se estudió la desinfección postcosecha de frutillas y zarzamoras enteras por nebulización. La inmersión y la aspersión de frutillas mínimamente procesadas con soluciones de APA produce una buena descontaminación microbiológica, pero ciertas condiciones resultan perjudiciales sobre la calidad sensorial y potencial saludable de las frutas. Esto demuestra la necesidad de optimizar el proceso. Las concentraciones óptimas obtenidas en la inmersión y la aspersión de frutillas mínimamente procesadas resultan superiores a la autorizada (80 mg/L) cuando se maximiza la reducción microbiológica e inferiores cuando se prioriza la retención de compuestos bioactivos y calidad sensorial.

Por otra parte, la nebulización de APA demostró ser una opción promisoriosa para extender la vida postcosecha de frutillas y zarzamoras sin comprometer su calidad sensorial ni su valioso aporte en compuestos bioactivos. El APA resulta una opción ecológica para la descontaminación de frutas enteras y mínimamente procesadas, el cual presenta, además, un efecto residual sobre la carga microbiológica luego de 7 días de almacenamiento refrigerado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [CFR] C of FR (2018) Online reference included in secondary direct food additives permitted in food for human consumption: Chemicals used in washing or to assist in the peeling of fruits and vegetables. Chlorine dioxide. <https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcfr/cfrsearch.cfm?fr=173.315>. Acceso Junio 2019.
- Abadias M, Alegre I, Usall J et al (2011) Evaluation of alternative sanitizers to chlorine disinfection for reducing foodborne pathogens in fresh-cut apple. *Postharvest Biology and Technology*, 59:289–297. doi:10.1016/j.postharvbio.2010.09.014
- Alexandre EMC, Brandão TRS, Silva CLM (2012) Efficacy of non-thermal technologies and sanitizer solutions on microbial load reduction and quality retention of strawberries. *Journal of Food Engineering*, 108:417–426.
- Baldry MGC (1983) The bactericidal, fungicidal and sporicidal properties of hydrogen peroxide and peracetic acid. *Journal of Applied Microbiology*, 54:417–423. doi:10.1111/j.1365-2672.1983.tb02637.x
- Beuchat LR, Adler B, Lang M (2004) Efficacy of chlorine and a peroxyacetic acid sanitizer in killing *Listeria monocytogenes* on Iceberg and Romaine Lettuce using simulated commercial processing conditions. *Journal of Food Protection*, 67:1238–1242. doi:10.4315/0362-028x-67.6.1238
- Chaidez C, Campo NC, Heredia JB, et al. (2012) Chlorine. En: *Decontamination of Fresh and Minimally Processed Produce*. Wiley-Blackwell, Hoboken, Nueva Jersey, Estados Unidos, pp. 121-133

- Chang AS, Schneider KR (2012) Evaluation of overhead spray-applied sanitizers for the reduction of salmonella on tomato surfaces. *International Journal of Food Science*, 77: 65-69. doi:10.1111/j.1750-3841.2011.02486.x
- Gómez Riera P, Bruzone I, Kirschbaum D (2013) *Visión prospectiva de la cadena de frutas finas al 2030*. 1ed. Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva, Buenos Aires, Argentina, 184p.
- Hernández Y, Lobo MG, González M (2006) Determination of vitamin C in tropical fruits: A comparative evaluation of methods. *Food Chemistry*, 96:654-664. doi:10.1016/j.foodchem.2005.04.012
- Jung H, Lee HJ, Cho H, et al (2015) Anthocyanins in *Rubus* fruits and antioxidant and anti-inflammatory activities in RAW 264.7 cells. *Food Science and Biotechnology*, 24:1879-1886. doi: 10.1007/s10068-015-0246-1
- Kim H, Ryu J-H, Beuchat LR (2006) Survival of *Enterobacter sakazakii* on fresh produce as affected by temperature, and effectiveness of sanitizers for its elimination. *International Journal of Food Science*, 111:134-143. doi:10.1016/J.IJFOODMICRO.2006.05.021
- Kim JK, Harrison MA (2016) Surrogate selection for *Escherichia coli* O157:H7 based on cryotolerance and attachment to Romaine lettuce. *Journal of Food Protection*, 72:1385-1391. doi:10.4315/0362-028x-72.7.1385
- Kitis M (2004) Disinfection of wastewater with peracetic acid: a review. *Environment International*, 30:47-55. doi:10.1016/S0160-4120(03)00147-8
- Kunigk L, Almeida MCB (2001) Action of peracetic acid on *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus* in suspension or settled on stainless steel surfaces. *Brazilian Journal of Microbiology*, 32:38-41.
- Lee SY, Costello M, Kang DH (2004) Efficacy of chlorine dioxide gas as a sanitizer of lettuce leaves. *Journal of Food Protection*, 67:1371-1376.
- Lee W-N, Huang C-H (2019) Formation of disinfection byproducts in wash water and lettuce by washing with sodium hypochlorite and peracetic acid sanitizers. *Food Chemistry*, 1:1-17. doi:10.1016/J.FOCHX.2018.100003
- Lynch MF, Tauxe RV, Hedberg CW (2009) The growing burden of foodborne outbreaks due to contaminated fresh produce: risks and opportunities. *Epidemiology & Infection*, 137:307-315.
- Méndez-Galarraga MP, Salsi MS, Piagentini AM, Pirovani ME (2018) Spray washing disinfection with peracetic acid in the processing of fresh-cut strawberries: An alternative for dipping techniques. *International Journal of Food Science*, 3:258-275. doi:10.1080/15538362.2018.1502722
- Oh SW, Gray PM, Dougherty RH, Kang DH (2005) Aerosolization as novel sanitizer delivery system to reduce food-borne pathogens. *Letters in Applied Microbiology*, 41:56-60. doi:10.1111/j.1472-765X.2005.01711.x
- Özkan M, Yemenicioğlu A, Cemeroglu B (2005) Degradation of various fruit juice anthocyanins by hydrogen peroxide. *Food Research International* 38:1015-1021. doi:10.1016/J.FOODRES.2005.03.013
- Pechacek N, Osorio M, Caudill J, Peterson B (2015) Evaluation of the toxicity data for peracetic acid in deriving occupational exposure limits: A minireview. *Toxicology Letters*, 233:45-57. doi:10.1016/J.TOXLET.2014.12.014
- Pirovani ME, Güemes DE, Piagentini AM (2006) *Vegetales frescos cortados. Procesamiento y calidad*. Ediciones UNL, Santa Fe, Argentina, 92p.

- Ramos B, Miller FAA, Brandão TRSRS et al (2013) Fresh fruits and vegetables - An overview on applied methodologies to improve its quality and safety. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 20:1–15.
- Sapers GM (2001) Efficacy of washing and sanitizing methods for disinfection of fresh fruit and vegetable products. *Food Technology and Biotechnology*, 39:305–311.
- Silveira AC, Conesa A, Aguayo E, Artes F (2008) Alternative sanitizers to chlorine for use on fresh-cut “Galia” (*Cucumis melo* var. *catalupensis*) melon. *International Journal of Food Science*, 73:M405–M411.
- Vaccari MC (2017) Desinfección de frutillas y zarzamoras frescas por nebulización con ácido peracético. Tesis de Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad Nacional del Litoral
- Van de Velde F, Grace MH, Pirovani MT, Lila MA (2016b) Impact of a new postharvest disinfection method based on peracetic acid fogging on the phenolic profile of strawberries. *Postharvest Biology and Technology*, 117:197–205. doi: 10.1016/j.postharvbio.2016.03.005
- Van de Velde F, Güemes DR, Pirovani ME (2014) Optimisation of the peracetic acid washing disinfection of fresh-cut strawberries based on microbial load reduction and bioactive compounds retention. *International Journal of Food Science & Technology*, 49:634–640. doi:10.1111/ijfs.12346
- Van de Velde F, Piagentini AM, Güemes DR, Pirovani ME (2013) Modelling changes in anthocyanins, total vitamin C and colour as a consequence of peracetic acid washing disinfection of two cultivars of strawberries for fresh-cut processing. *International Journal of Food Science & Technology*, 48:954–961. doi:10.1111/ijfs.12047
- Van de Velde F, Tavella A, Piagentini AM, et al (2010) Retención De Compuestos Bioactivos En El Lavado-Desinfección De Frutillas Mínimamente Procesadas Con Ácido Peracético. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 18: 162–169.
- Van de Velde F, Vaccari MC, Piagentini AM, Pirovani ME (2016a) Optimization of strawberry disinfection by fogging of a mixture of peracetic acid and hydrogen peroxide based on microbial reduction, color and phytochemicals retention. *Food Science and Technology International*, 22:485–495. doi:10.1177/1082013215625696
- Vandekinderen I, Devlieghere F, Van Camp J, et al (2009) Impact of a decontamination step with peroxyacetic acid on the shelf-life, sensory quality and nutrient content of grated carrots packed under equilibrium modified atmosphere and stored at 7°C. *Postharvest Biology and Technology*, 54:141–152. doi:10.1016/J.POSTHARVBIO.2009.06.007
- Vandekinderen I, Van Camp J, Devlieghere F et al. (2008) Effect of decontamination agents on the microbial population, sensorial quality, and nutrient content of grated carrots (*Daucus carota* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56:5723–5731. doi:10.1021/jf800681a
- Vardar C, Ilhan K, Karabulut OA (2012) The application of various disinfectants by fogging for decreasing postharvest diseases of strawberry. *Postharvest Biology and Technology*, 66:30–34. doi:10.1016/j.postharvbio.2011.11.008