

MODELADO DEL POTENCIAL BIOACTIVO Y CALIDAD DE FRUTILLAS FRESCAS CORTADAS EN EL LAVADO-DESINFECCIÓN CON ÁCIDO PERACÉTICO

Van de Velde, Franco^{1,2}, Piagentini, Andrea¹, Güemes, Daniel¹, Salsi, Sara¹, Tiburzi, María¹, Moguilevsky, María¹, Pirovani, María^{1*}

¹Instituto de Tecnología de Alimentos (ITA). Fac. de Ing. Química (FIQ) – Univ. Nac. del Litoral (UNL). Santiago del Estero 2829 (3000) - Santa Fe, Argentina. *mpirovan@fiq.unl.edu.ar; ²Consejo de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina.

Palabras claves: ácido ascórbico, antocianinas totales, color, microorganismos aerobios mesófilos

RESUMEN

En este trabajo se propone cuantificar y modelar los cambios en el potencial saludable, atributos fisicoquímicos y reducción de microorganismos aerobios mesófilos de dos variedades de frutillas frescas cortadas (*Camarosa* y *Selva*) cuando se someten al lavado-desinfección con soluciones de ácido peracético (APA), variando la concentración (0 – 100 mg L⁻¹), el tiempo de contacto (10 – 120 s) y la temperatura de la solución de lavado (4 – 40°C). Para el diseño y análisis de los resultados se aplicó la Metodología de Superficie de Respuesta, siendo las respuestas: porcentajes de retención de ácido ascórbico (RAA) y vitamina C (RVit C), antocianinas totales (RANT), fenoles totales (RFT), capacidad antioxidante (RCA), y sólidos solubles (RSS), cambios de pH (CpH), acidez total (CAT), y de los parámetros de color: L*, a*, b*, C_{ab}* y h_{ab}; y reducción de microorganismos aerobios mesófilos (RedFAM). Los modelos de retenciones de AA, Ant T, CA y FT se vieron afectados por las variables del proceso, principalmente por la concentración de APA y el tiempo, no observándose diferencias entre ambas variedades. La retención de Vit C y los cambios de color no sufrieron modificaciones debido a las variables de procesamiento para el cultivar *Camarosa*. Sin embargo, para la variedad *Selva*, los modelos predictivos de estos parámetros si se vieron afectados por las variables de la operación. La retención de SS, y los cambios de pH y AT no fueron afectados por el lavado, y por lo tanto no pudieron modelarse. Por otra parte, la Red FAM fue afectada por las variables del proceso obteniéndose modelos predictivos para cada cultivar. Este trabajo demuestra el comportamiento diferente de ambas variedades de frutillas ante un mismo proceso de lavado-desinfección y provee herramientas predictivas sencillas para cuantificar dicho efecto.

MODELING HEALTH POTENTIAL AND QUALITY OF FRESH-CUT STRAWBERRIES AFTER WASHING-DISINFECTION WITH PERACETIC ACID

Keywords: Ascorbic acid, total anthocyanins, color, mesophilic aerobic microorganisms

ABSTRACT

The aim of this work was to quantify and model changes in bioactive compounds and antioxidant capacity content, physicochemical attributes and aerobic mesophilic microorganisms, of two fresh-cut strawberries varieties (*Camarosa* and *Selva*) with peracetic acid washing-disinfection (APA) at different concentrations (0 - 100 mg L⁻¹), contact times (10 - 120 s) and temperatures (4 - 40°C). Response surface methodology was employed for the design and analysis of results. The studied responses were: ascorbic acid (RAA), vitamin C (RVit C), total anthocyanins (RANT), total phenols (RFT), antioxidant capacity (RCA), soluble solids (RSS) retention percentages, and changes on pH (CpH), total acidity (CAT), and color parameters: L*, a*, b*, C_{ab}* and h_{ab}. Reduction of aerobic mesophilic microorganisms (FAM) was also evaluated. The retention of AA, Ant T, AC and TP were affected by the process washing-disinfection variables, mainly by the concentration of PAA and time, and there were no differences between both varieties. Vit C retention and color changes were not affected by processing variables for *Camarosa* cultivar. However, latter parameters were affected by the process variables in *Selva* strawberries. Retention of SS, and changes in pH and TA were not affected by the washing process, and therefore could not be modeled. FAM reduction was affected by the washing-disinfection in both cultivars differentially, and predictive models for each of them were obtained. This work demonstrates the different behavior of two strawberry varieties after the same washing-disinfection process and provides simple predictive tools to quantify this effect.

INTRODUCCIÓN

Las frutillas constituyen una excelente fuente de vitaminas y compuestos bioactivos. La oferta de esta fruta como “lista para consumir”, requiere lograr un producto similar al fresco, sin perder valor nutricional ni potencial saludable. El efecto del procesamiento sobre la calidad, en diferentes variedades de frutillas, ha sido reportado previamente con diferentes resultados (Reyes y col., 2007). Por lo tanto, la selección de la materia prima adecuada para condiciones preestablecidas de procesamiento, o inversamente, la elección de las condiciones de procesamiento para cada variedad es una decisión importante para lograr un producto de calidad.

Específicamente, para la etapa de lavado-desinfección se usa cloro o compuestos clorados como agentes sanitizantes, con el objetivo de controlar el número de microorganismos en el agua y de mejorar la calidad microbiológica de estos productos (Pirovani y col., 2006). Sin embargo, en los últimos años, se está buscando reemplazarlo por desinfectantes alternativos ya que la reacción del cloro con la materia orgánica podría resultar en la formación de potenciales carcinógenos halogenados, como son los trihalometanos y los ácidos haloacéticos (Silveira y col., 2008). Actualmente, para superar este inconveniente y considerando que también podría minimizar impactos ambientales, el ácido peracético (APA) ha ganado interés como agente desinfectante de productos enteros o cortados (Vandekinderen y col., 2009, Ölmez y Kretschmar 2009, Van de Velde y col., 2010). Comercialmente, el APA está disponible como una mezcla cuaternaria en equilibrio, de ácido acético, peróxido de hidrógeno, ácido peracético y agua. El APA es un agente sanitizante que no reacciona con las proteínas para producir compuestos tóxicos o carcinogénicos; y los únicos productos de su descomposición reportados, han sido ácido acético y oxígeno (Silveira y col., 2008,

Vandekinderen y col., 2009). En consecuencia, al usar un agente fuertemente oxidante como el APA para el lavado-desinfección, se pueden generar pérdidas de pigmentos y vitaminas por oxidación.

El objetivo de este trabajo fue cuantificar y modelar los cambios en los contenidos de compuestos bioactivos, capacidad antioxidante, parámetros de calidad y calidad microbiológica de dos variedades de frutillas frescas cortadas, cuando se someten al lavado-desinfección con soluciones de ácido peracético, variando la concentración, el tiempo de contacto y la temperatura de la solución de lavado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materia prima y mínimo procesamiento

Frutillas (*Fragaria ananassa* Duch) de dos cultivares: Selva y Camarosa (90% de superficie de color rojo) fueron compradas en el mercado de Santa Fe y almacenadas a 2°C y 95% HR antes del procesamiento (24 hs). El mínimo procesamiento se realizó en la Planta Piloto del ITA. Las frutillas fueron seleccionadas, despedunculadas, pre-lavadas con agua de red fluyente durante 2 min, escurridas sobre papel absorbente y cortadas longitudinalmente en cuartos. Lotes de 200 g de frutillas cortadas se lavaron de acuerdo a lo establecido en el diseño experimental con una relación de lavado de 3 L kg⁻¹. Finalmente, las muestras de frutillas lavadas según lo establecido en el diseño experimental para cada corrida y una muestra de frutillas cortadas sin lavar (control) fueron congeladas a -80°C hasta su análisis.

Diseño experimental

Para estudiar la operación de lavado-desinfección se empleó la metodología de superficie de respuesta en dos bloques (uno por cada variedad), usando un diseño de Box-Behnken (3 factores en 3 niveles y 15 experiencias por bloque). Se supuso que existía una función matemática para cada una

de las respuestas. Las mismas se expresaron como porcentaje de retención respecto a las frutillas cortadas sin lavar. Las respuestas fueron: porcentaje de retención de ácido ascórbico (%R AA), vitamina C (%R Vit C), antocianinas totales (%R Ant T), fenoles totales (%R FT), capacidad antioxidante (%R CA), y sólidos solubles (%R SS), porcentaje de cambio de pH (%C pH), acidez total (%C AT) y de parámetros de color: δL^* , δa^* , δb^* , δC_{ab}^* y δh_{ab} ; y reducción de microorganismos aerobios mesófilos (Red FAM), en función de 3 factores independientes de proceso (Ec. 1):

$$Y = f(C, T, t) \quad (1)$$

Donde Y = Respuesta, C = concentración de ácido peracético (mg L^{-1}), T = temperatura de la solución de lavado ($^{\circ}\text{C}$) y t = tiempo de tratamiento (s).

La ecuación polinomial de 2° orden propuesta como modelo fue (Ec. 2):

$$Y_k = \beta_{ko} + \sum_{i=1}^3 \beta_{ki} X_i + \sum_{i=1}^3 \beta_{kii} X_i^2 + \sum_{i=1}^2 \sum_{j=i+1}^3 \beta_{kij} X_i X_j \quad (2)$$

Donde: β_{ko} , β_{ki} , β_{kij} son los coeficientes y X_i son las variables independientes codificadas.

Los tres niveles de las variables independientes fueron: C (X_1)= 0, 50 y 100 mg L^{-1} , T (X_2)= 4, 22 y 40 $^{\circ}\text{C}$, y t (X_3)=10, 65 y 120 s.

Ácido ascórbico y vitamina C

El contenido de ácido ascórbico y vitamina C fue determinado por HPLC, de acuerdo a Van de Velde et al. (2011). El equipo utilizado fue un HPLC–KONIK KNK–500–A Series, acoplado a un espectrofotómetro Uvis 200 (Konik Instruments, Barcelona, España), equipado con una columna de fase reversa Gemini 5 μ C18 110A unida a un guardacolumna (Phenomenex Inc., CA, EE UU). La fase móvil consistió en una solución buffer 0.03 mol L^{-1} de acetato de sodio/ácido acético, metanol 5% (pH 5.8). La velocidad de flujo fue de 1.15 mL min^{-1} a temperatura ambiente. Las mediciones se hicieron a 251 nm. Cinco gramos de fruta fueron homogeneizados con 25 mL de solución extractante (3% ácido metafosfórico y 8% de

ácido acético). La mezcla fue homogeneizada por 1 min y luego centrifugada a 12.000 g durante 20 min a 4 $^{\circ}\text{C}$. El sobrenadante fue separado y diluido 1/6 con fase móvil, filtrado a través de una membrana Millipore 0.45 μm e inyectado en el sistema de HPLC para conocer el contenido de ácido ascórbico (AA) de las muestras. Para cuantificar el contenido de vitamina C (Vit C) se utilizó una solución de ditiotreitól (DTT) 0.5%. Se agregaron 0.2 mL de DTT a 1 mL del sobrenadante obtenido para el análisis de AA. La mezcla fue dejada en la oscuridad a temperatura ambiente por 2 horas, luego diluida 1/6 con fase móvil, filtrada a través de membrana Millipore 0.45 μm e inyectada en el sistema de HPLC. El contenido de AA y vitamina C de las muestras se calculó con curvas estándares y se expresó en mg 100 g^{-1} de fruta fresca (FF).

Obtención de los extractos para antocianinas, fenoles totales y capacidad antioxidante

Cinco gramos de fruta se homogeneizaron con 75 mL de acetona/agua (80:20) y se sonicaron en un Lavador Ultrasónico (Testlab, Buenos Aires, Argentina), durante 5 minutos; luego se centrifugó la mezcla a 12.000 g durante 20 minutos a 4 $^{\circ}\text{C}$ El sobrenadante fue separado y usado para los análisis correspondientes.

Antocianinas totales

El contenido de antocianinas totales se determinó por triplicado sobre el extracto obtenido, con el método diferencial de pH según Jin Heo y Yong Lee (2005). Se midió la absorbancia de los extractos a 510 y 700 nm en soluciones reguladoras a pH 1 y 4.5. La absorbancia se convirtió a $\text{mg de pelargonidin-3-glucósido 100 g}^{-1}$ de fruta fresca (FF), usando un coeficiente de extinción molar de 22.400 L (mol.cm)^{-1} y un camino óptico de 1 cm y una absorbancia de:

$$A = A_{510} - A_{700\text{pH}=1} - A_{510} - A_{700\text{pH}=4,5} \quad (3)$$

Fenoles Totales

La determinación de fenoles totales se llevó a cabo usando el reactivo de Folin-Ciocalteu (Singleton y Rossi, 1965). A 0.125 mL de extracto se agregaron 0.25 mL del reactivo de Folin-Ciocalteu, 0.5 mL de solución de carbonato de sodio (20%) y agua destilada hasta completar a 5 mL. Se dejó reaccionar durante 30 min y se midió la absorbancia a 760 nm. Los blancos se prepararon reemplazando el volumen de muestra por acetona/agua (80:20). Los resultados se expresaron en equivalentes de ácido gálico (mg AGE 100 g⁻¹ FF) (triplicados).

Capacidad antioxidante

La capacidad antioxidante de las muestras se midió de acuerdo a Sánchez-Moreno y col., 2003. La actividad antirradicalaria se cuantificó por la medida de la disminución de la absorbancia de una solución metanólica de DPPH* a 517 nm en presencia de alícuotas del extracto de la fruta. La concentración inicial de DPPH* fue de 0,03 g L⁻¹ y las lecturas fueron tomadas después de dejar reaccionar las muestras durante 120 min.

Los cálculos se realizaron de la siguiente manera:

$$\%DPPH_{\text{remanente}} = A_{\text{muestra}} / A_{\text{control}} \times 100 \quad (4)$$

En donde A_{muestra} es la absorbancia de 3,9 mL de DPPH* adicionado de un volumen entre 0.025 y 0.075 mL de extracto y A_{control} es la absorbancia de 3,9 mL de solución de DPPH* adicionado de un volumen de acetona/agua (80:20) entre 0.025 y 0.075 mL. Se calculó el IC50(muestra) definido como la cantidad de muestra en 1 mL de reacción necesaria para disminuir al 50% la concentración inicial de DPPH*, obtenida de la gráfica de % de DPPH* remanente vs. concentración (mg de fruta mL⁻¹ de reacción). Los resultados se expresaron como la capacidad antioxidante equivalente al ácido ascórbico (AEAC) (Lim y col., 2007) usando la siguiente ecuación (triplicados):

$$AEAC = \frac{mgAA100g \text{ de fruta fresca}}{IC50(AA)IC50(muestra) \times 105} \quad (5)$$

Donde: IC50 (AA) es la cantidad de ácido ascórbico en 1 mL de reacción necesaria para disminuir al 50% la concentración inicial de DPPH*, obtenida de la gráfica de % DPPH* remanente vs. concentración (mg de AA mL⁻¹ reacción) y cuyo valor fue de $3.22 \cdot 10^{-3}$ mg mL⁻¹.

Acidez total

Se valoraron 15 g de frutilla triturada con una solución de hidróxido de sodio 0,1N hasta pH 8.1. Los resultados fueron expresados como g ácido cítrico anhidro 100 g⁻¹ FF (duplicados).

Sólidos solubles y pH

Los sólidos solubles fueron medidos por refractometría sobre una muestra de fruta triturada. Los resultados expresados como °Brix (duplicados). El pH fue determinado con un pHmetro sobre una muestra de fruta triturada (duplicados).

Color

Se determinó el color de las frutas sobre muestras trituradas (50 g por muestra) y colocadas en cubetas blancas de 1 cm de espesor, utilizando un espectrofotómetro Minolta 508d (Minolta Co., LTD., Japón), en las siguientes condiciones: iluminante D65, ángulo del observador 10°, SCE (componente especular excluida). Se evaluaron los parámetros correspondientes al sistema CIE: L*, a*, b*, C_{ab}* y h_{ab}. El parámetro L* mide el grado de luminosidad (L*=100: blanco; L*=0: negro), el a*, el grado de componente rojo o verde (a*>0: rojo; a*<0: verde) y el b* el grado de componente amarillo o azul (b*>0: amarillo b*<0: azul). C_{ab}* (croma)* = (a*² + b*²)^{0.5} y h_{ab} (ángulo de tono) = arctg (b*/a*) (0°: rojo; 90° amarillo; 180°: verde; 270°: azul). Los cambios de los parámetros de color (ΔL*, Δa*, Δb*, ΔC_{ab}* y Δh_{ab}) se expresaron como el porcentaje de la diferencia de los parámetros de color de las frutillas frescas cortadas lavadas (L*, a*, b*,

C_{ab}^* y h_{ab}) y los valores de los parámetros de las frutillas frescas cortadas sin lavar (L_0^* , a_0^* , b_0^* , C_{ab0}^* y h_{ab0}), dividido por los valores de los parámetros de las frutillas frescas cortadas sin lavar.

Microorganismos aerobios mesófilos (FAM)

Cada muestra de frutilla (10 g) se homogenizó con 90 mL de agua de peptona al 0.1% por 2 min en stomacher. Se efectuaron diluciones decimales con agua de peptona, sembrando 0.1 mL de las diluciones decimales, en superficie de placas de PetrifimTM 3M (3M S.A.C.I.F.A, Buenos Aires, Argentina). Las placas se incubaron a 30°C durante 48 hs y los recuentos se expresaron como unidades formadoras de colonia por gramo (UFC g⁻¹) de FF. Los análisis se realizaron por triplicado.

Análisis estadístico

El programa estadístico STATGRAPHICS Centurion XV 15.2.06 (Statpoint Technologies, Inc., Warrenton, Virginia, EE UU) fue usado para el análisis de los datos a través del ANOVA y para comprobar la idoneidad de los modelos propuestos. Asimismo permitió ajustar las ecuaciones polinomiales de 2° orden a los datos experimentales y graficar las superficies predichas a partir de los modelos. Para comprobar la idoneidad de los modelos se determinó la falta de ajuste, y el coeficiente de determinación (R^2), y la desviación media absoluta (AAD) calculada de acuerdo a Baş y Boyacı, 2007).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se presentan las concentraciones de compuestos bioactivos, los parámetros de calidad y la calidad microbiológica inicial de las frutillas frescas cortadas sin lavar.

Las frutillas variedad *Camarosa* presentaron mayor contenido inicial de compuestos bioactivos (ácido ascórbico, vitamina C, fenoles y antocianinas totales), y mayor contenido inicial de sólidos solubles

que la variedad *Selva*. Las diferencias naturales en los contenidos de compuestos fitoquímicos entre cultivares de frutillas fue observada en trabajos previos (Davey y col., 2000, Cordenunsi y col., 2005). Se observó un color rojo más vívido en la variedad *Camarosa* (C_{ab0}^* mayores), lo cual coincide con los valores de antocianinas totales más altos encontrados para este cultivar.

Tabla 1. Compuestos bioactivos, parámetros de calidad y calidad microbiológica inicial en frutillas frescas cortadas sin lavar.

Atributos	Cultivar	
	Camarosa	Selva
AA (mg 100g ⁻¹ FF)	36.1 ± 2.5b	14.8 ± 0.6a
Vit C (mg 100g ⁻¹ FF)	41.2 ± 3.4b	28.7 ± 0.3a
FT (mg AG 100 g ⁻¹ FF)	324.2 ± 6.2b	292.4 ± 5.1a
Ant T (mg 100g ⁻¹ FF)	47.0 ± 2.2b	19.0 ± 0.8a
CA (mg AA 100 g ⁻¹ FF)	440.1 ± 8.1b	395.7 ± 7.2a
SS (° Brix)	8.5 ± 0.1b	6.6 ± 0.2a
pH	3.4 ± 0.1a	3.4 ± 0.1a
AT (g ACA 100 g ⁻¹ FF)	0.8 ± 0.1a	0.8 ± 0.1a
L_0^*	30.1 ± 0.1b	32.3 ± 0.6a
a_0^*	37.2 ± 0.6b	25.4 ± 0.7a
b_0^*	20.7 ± 0.1b	12.2 ± 0.6a
C_{ab0}^*	42.5 ± 0.5b	28.2 ± 0.9a
h_{ab0}	29.1 ± 0.6b	25.7 ± 0.5a
FAM (log UFC g ⁻¹)	3.8 ± 0.1a	3.6 ± 0.1a

Media ± SD (n=3). AA: ácido ascórbico; Vit C: vitamina C; FT: fenoles totales; Ant T: antocianinas totales; CA: capacidad antioxidante; SS: sólidos solubles; AT: acidez total; L^* , a^* , b^* , C_{ab}^* y h_{ab} parámetros del sistema CIELAB, FAM: microorganismos aerobios mesófilos. Valores en la misma fila con diferente letra son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$) por una prueba t.

$$R \text{ AA (\%)} = 88.5 - 0.08 C + 0.3 T + 0.4 t - 0.009 CT - 0.004 t^2 \quad R^2 = 74.7 \quad \text{AAD} = 9.7 \quad (6)$$

$$R \text{ Ant T (\%)} = 94.6 - 0.2 C + 0.6 T - 0.1 t - 0.02 T^2 \quad R^2 = 63.0 \quad \text{AAD} = 6.3 \quad (7)$$

$$R \text{ FT (\%)} = 97.6 - 0.2 C - 0.05 t + 0.002 C^2 \quad R^2 = 65.9 \quad \text{AAD} = 2.6 \quad (8)$$

$$R \text{ CA (\%)} = 94.9 - 0.1 C \quad R^2 = 22.8 \quad \text{AAD} = 8.2 \quad (9)$$

El análisis de varianza, en principio, se realizó empleando los resultados obtenidos en las 30 corridas experimentales, teniendo en cuenta, el factor bloque: variedad. Cuando

este factor no fue significativo, la respuesta se analizó en conjunto para las dos variedades, de lo contrario el análisis se llevó a cabo por separado para cada variedad. Los ANOVAS de los porcentajes de retención de AA, Ant T, FT, y CA no presentaron efectos de bloque significativo, por lo tanto, los resultados se modelaron en forma conjunta para ambas variedades de frutillas estudiadas. Se obtuvieron los modelos reducidos en variables no codificadas para las respuestas % R AA, % R Ant T, % R FT y % R CA eliminando los términos no significativos por el método de regresión lineal "stepwise" (Ecuaciones 6, 7, 8 y 9). Los valores de R^2 y AAD resultaron aceptables.

La retención de ácido ascórbico fue afectada por la concentración de APA, por el tiempo, y por la temperatura a través de la interacción con la concentración de APA. En la Figura 1 se muestra como el %R AA disminuye cuando la concentración de APA y el tiempo aumentan a 22°C. Con la Ecuación 6, el valor predicho de la retención de ácido ascórbico es de 93.3 % y 46.9 % para el extremo inferior (0 mg L⁻¹ APA, 4°C y 10 s) y superior (100 mg L⁻¹ APA, 40°C y 120 s) de la región experimental ensayada, respectivamente.

La retención de antocianinas totales fue afectada por la concentración de APA y el tiempo del lavado-desinfección, a través de los términos lineales ($p \leq 0.01$), y la temperatura, a través del término cuadrático ($p \leq 0.05$). Con la Ecuación 7, el valor predicho de %R Ant T fue del 54.6 % trabajando con los valores máximos de las variables del diseño (100 mg L⁻¹, 40°C y 120 s). Por otro lado, una retención de antocianinas de casi el 100 % se alcanzaría trabajando a 0 mg L⁻¹ de APA, 4°C y 10 s, los valores mínimos empleados de las variables del proceso.

La retención de fenoles totales fue afectada por la concentración de APA a través de los términos lineal y cuadrático ($p \leq 0.05$) y el tiempo en el término lineal ($p \leq 0.05$). Otra vez, se observó una disminución de la retención de fenoles totales a medida que la concentración

de APA y el tiempo del proceso aumentaban. En cuanto a la capacidad antioxidante, si bien el modelo de % R CA obtenido presenta un valor de R^2 bajo (menor a 0.5), el AAD (%) es aceptable. La Ecuación 3.21 predice una retención de la capacidad antioxidante del 84.8 % en las condiciones extremas del diseño (100 ppm APA; 40°C y 120 s).

El efecto oxidante del ácido peracético justificaría las pérdidas de ácido ascórbico, antocianinas y fenoles totales y capacidad antioxidante en las frutillas frescas cortadas luego del lavado-desinfección. Además, las soluciones de ácido peracético contienen peróxido de hidrógeno (200 y 400 mg L⁻¹ en 50 y 100 mg L⁻¹ de solución de APA, respectivamente), el cual se considera un agente oxidante fuerte. Al respecto, Özkan y col., 2005, reportaron una degradación del contenido de antocianinas totales en cerezas, frutillas y granadas, luego del lavado-desinfección con soluciones de peróxido de hidrógeno entre 167 y 502 mg L⁻¹. Por lo tanto, un efecto oxidante conjunto entre el APA y el peróxido de hidrogeno justificaría aún más la degradación de los compuestos bioactivos observada.

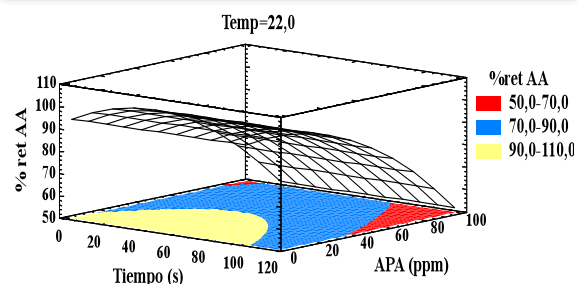


Figura 1. Superficie de respuesta del porcentaje de retención de ácido ascórbico en función de la concentración de APA y el tiempo de lavado-desinfección a T= 22°C.

La retención de vitamina C, la reducción de los microorganismos aerobios mesófilos totales, la retención de sólidos solubles y los cambios de pH, y acidez total; y los parámetros de color, presentaron efecto de bloque

(variedad) significativo, por lo que se analizaron por separado.

Para *Camarosa*, el modelo de % R Vit C no presentó falta de ajuste, pero ninguno de los términos del mismo resultó significativo (datos no mostrados). Es decir, las variables del proceso no afectaron la respuesta por lo que el promedio de las 15 corridas resulta la mejor estimación del cambio de calidad de las frutillas durante el lavado-desinfección, en cualquier situación del espacio experimental ensayado. El %R Vit C promedio fue de 90 ± 4 %.

Para la variedad *Selva*, el modelo reducido en variables no codificadas para el %R Vit C se presenta en la Ecuación 10. Los valores de R² y AAD resultaron aceptables.

$$R \text{ Vit C}_{Selva} (\%) = 85.2 - 0.2C + 0.5t - 0.004t^2 \quad R^2 = 71.4. \quad AAD = 6.9 \quad (10)$$

La retención de vitamina C en las frutillas variedad *Selva* fue afectada por la concentración de APA y por el tiempo. La predicción con el modelo de %R Vit C obtenido (Ec. 10), indica una retención en las frutillas del 67.6 %, trabajando en el extremo superior de la región experimental del diseño de lavado-desinfección (100 ppm, y 120s). Como se ha mencionado, el ácido peracético produce un efecto oxidante sobre el ácido ascórbico (AA), por lo tanto la mayor pérdida de vitamina C alcanzada en las frutillas variedad *Selva*, se debe a la mayor oxidación del AA por el ácido peracético, lo cual demostraría que pueden ocurrir respuestas diferentes en función de la variedad de frutilla.

Con respecto a los atributos de color, para el cultivar *Camarosa*, los términos del modelo no resultaron significativos según el ANOVA (datos no mostrados) por lo tanto los datos no pueden ser representados por ecuaciones polinomiales de 2° orden. Para el cultivar *Selva*, los parámetros de color fueron afectados por las variables del proceso. Se obtuvieron modelos reducidos de los atributos de color para esta variedad (no mostrados). En

general el efecto del APA produjo frutas menos rojas y menos claras (δa^* menores y δL^* mayores). La reducción de microorganismos aerobios mesófilos (FAM) fue afectada por las variables del proceso para ambos cultivares, pero al haberse presentado efecto bloque (variedad) significativo, se procedió a realizar el análisis por separado para cada variedad. En las ecuaciones 11 y 12 se muestran los modelos de reducción de los microorganismos FAM en variables no codificadas para las variedades *Camarosa* y *Selva*, respectivamente en forma reducida.

$$\text{Red FAM}(\text{Camarosa}) = 0.3 + 0.009 C + 0.01 T + 0.02 t - 0.0001 t^2 \quad R^2 = 68.9 \quad AAD = 26.3 \quad (11)$$

$$\text{Red FAM}(\text{Selva}) = 0.5 + 0.02 C - 0.0001 C^2 \quad R^2 = 68.0 \quad AAD = 25.0 \quad (12)$$

Las predicciones de la reducción de FAM resultaron 2.6 y 1.5 órdenes logarítmicos para las variedades *Camarosa* y *Selva*, respectivamente, en las condiciones extremas del diseño de lavado-desinfección (100 mg L⁻¹ APA, 40 °C y 120 s).

En relación con la retención de SS, y cambios de pH y AT, los mismos no fueron afectados por las variables del diseño de lavado, y por lo tanto no pueden modelarse con ecuaciones polinomiales de 2° orden. El % retención de SS promedio de las 30 corridas experimentales fue: $90\% \pm 7$, los % de cambio de pH y AT fueron $-7\% \pm 5$, y $-0.4\% \pm 3.0$, respectivamente.

CONCLUSIONES

Este trabajo demuestra el comportamiento diferente de ambas variedades ante un mismo proceso, provee herramientas predictivas sencillas para cuantificar dicho efecto y así encontrar las mejores condiciones de procesamiento.

BIBLIOGRAFÍA

Baş, D., and I. H. Boyacı. 2007. Modelling and optimization I: usability of response

- surface methodology. *J. Food Eng.* 78: 836-845.
- Cordenunsi, B.R., M I. Genovese, J. R. Oliveira do Nascimento, N. M. A. Hassimotto, R. J. dos Santos, and F. M. Lajolo. 2005. Effects of temperature on the chemical composition and antioxidant activity of three strawberry cultivars. *Food Chem.* 91: 113-121.
- Davey, M.W., M. Van Montagu, D. Inzé, M. Sanmartin, A. Kanellis, N. Smirnoff, J. J. Benzie, J. J. Strain, D. Favell, and J. Fletcher. 2000. Review: Plant L-ascorbic acid: chemistry, function, metabolism, bioavailability and effects of processing. *J. Sci. Food Agr.* 80: 825- 860.
- Jin Heo, H., and C. Yong Lee. 2005. Strawberry and its anthocyanins reduce oxidative stress-induced apoptosis in PC12 cells. *J. Agr. Food Chem.* 53: 1984-1989.
- Lim, Y. Y., T. T. Lim, and J. J. Tee. 2007. Antioxidant properties of several tropical fruits: A comparative study. *Food Chem.* 103: 1003-1008.
- Ölmez H., and U. Kretzschmar. 2009. Review: Potential alternative disinfection methods for organic fresh-cut industry for minimizing water consumption and environmental impact. *Lebensm. Wiss. Technol.* 42: 686-693.
- Özkan, M., A. Yemencioğlu, A., and B. Cemeroglu. 2005. Degradation of various fruit juice anthocyanins by hydrogen peroxide. *Food Res. Int.* 38: 1015-1021.
- Pirovani, M. E., D. R. Güemes, and A. M. Piagentini. 2006 "Vegetales frescos cortados: Procesamiento y calidad". Ediciones UNL. Santa Fe, Argentina.
- Reyes, M. S., A. M. Piagentini, D. R. Güemes, and M.E. Pirovani. 2007. "Procesamiento y calidad de frutillas frescas cortadas". p. 71-76. En: Avances tecnológicos en el procesado mínimo hortofrutícola. Aspectos sensoriales y Nutricionales. Proyecto CYTED XI22. Desarrollo de Tecnologías para la Conservación de vegetales Frescos Cortados. Gustavo González Aguilar y Fernando Ayala Zavala (eds). México.
- Sánchez-Moreno, C., L. Plaza, B. de Ancos, and M. P. Cano. 2003. Quantitative bioactive compounds assessment and their relative contribution to the antioxidant capacity of commercial orange juices. *J. Sci. Food Agr.* 83: 430-439.
- Silveira A.C., A. Conesa, E. Aguayo, F. Artes, F. 2008. Alternative sanitizers to chlorine for use on fresh-cut "Galia" (*Cucumis melo* var. *catalupensis*) melon. *J. of Food Sci.* 73: 405-411.
- Singleton, V. L., and J. A. Rossi. 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *Am. J. Enol. Viticult.* 16: 144-1158.
- Van De Velde, F., A. Tavella, A. Piagentini, D. Güemes, D., and M. Pirovani. 2010. Retención de compuestos bioactivos en el lavado-desinfección de frutillas mínimamente procesadas con ácido peracético. *Rev. Iberoamericana Tec. Post.* 11: 162-170.
- Van de Velde, F., M. E. Pirovani, M. S. Cámara, Güemes, D. and C. M. del H. Bernardi. 2011. Optimization and validation of a UV-HPLC method for vitamin C determination in strawberries (*Fragaria ananassa* Duch.), using experimental designs. *Food Anal. Meth.* DOI: 10.1007/s12161-011-9347-5.
- Vandekinderen I., F. Devlieghere, B. De Meulenaer, P. Ragaert, and J. Van Camp. 2009. Optimization and evaluation of a decontamination step with peroxyacetic acid for fresh-cut produce. *Food Microbiol.* 26: 882-888.