

ATRIBUTOS DE CALIDAD EN FRUTOS DE FRESA 'CAPITOLA' COSECHADOS EN DIFERENTES CONDICIONES CLIMÁTICAS EN VENEZUELA

María Pérez de Camacaro¹, Maritza Ojeda¹, Aracelis Giménez¹,
Marie González¹ y Alexander Hernández¹

RESUMEN

La calidad de la fresa es afectada por las condiciones ambientales donde se desarrolla. Se estudiaron atributos fisicoquímicos de calidad del cultivar Capitola en tres localidades con diferentes condiciones climáticas determinadas por la altitud. Los frutos fueron cosechados en madurez organoléptica, uniformes en tamaño y coloración en Humocaro Bajo (Lara), Páramo de Cabimbú (Trujillo) y Colonia Tovar (Aragua). La calidad de los frutos mostró variabilidad entre las localidades, pero en general, presentaron una calidad fisicoquímica que se corresponde con los estándares de comercialización de la fresa. Los frutos de menor tamaño, pero de mayor firmeza fueron los de Humocaro Bajo y Colonia Tovar ubicadas a una menor altitud y con temperaturas superiores a las de Páramo de Cabimbú. En Humocaro Bajo con las mayores temperaturas, los frutos mostraron una coloración rojo brillante; en contraste con los de Páramo de Cabimbú que los frutos presentaron una coloración rojo oscuro. El mayor tamaño, así como la menor firmeza y acidez, junto a altos contenidos de sólidos solubles totales, antocianinas y vitamina C fueron encontrados en los frutos de Páramo de Cabimbú, lo cual sugiere que el comportamiento de estas variables estuvo condicionado por las bajas temperaturas y/o alta humedad relativa. En contraste, los mayores índices de color y contenidos de polifenoles totales se encontraron en los frutos de Humocaro Bajo. El análisis de componentes principales evidenció el efecto de las condiciones climáticas (altitud, temperatura, humedad relativa) sobre las variables fisicoquímicas de calidad de la fresa 'Capitola', al discriminarlas por localidad.

Palabras clave adicionales: Altitud, *Fragaria x ananassa*, humedad relativa, propiedades fisicoquímicas, temperatura

ABSTRACT

Attributes of quality in strawberry fruit 'Capitola' harvested in different climate condition in Venezuela

The quality of strawberry is affected by environmental conditions where the fruit develops. We evaluated physicochemical attributes at harvest of cultivar Capitola in three localities with different climatic conditions determined by the altitude. Fruits were harvested in organoleptic maturity, uniform in size and color in Humocaro Bajo (Lara), Páramo de Cabimbú (Trujillo) and Colonia Tovar (Aragua). The quality of the fruits showed variability among locations, although, in general, they presented a physicochemical quality that corresponds to the marketing standards. The fruits of smaller size, but greater firmness were those from Humocaro Bajo and Colonia Tovar located at lower altitude and higher temperatures, where the fruits showed a bright red color, in contrast to those from Páramo de Cabimbú, where fruits presented dark red color, larger fruits with less firmness. The largest size and lower firmness and acidity, as well as high content of total soluble solids, anthocyanins and vitamin, C were found in fruits from Páramo de Cabimbú, suggesting that the behavior of those variables were conditioned by low temperatures and high humidity. In contrast, the highest color indexes and total polyphenol contents were found in Humocaro Bajo fruits, where the highest temperatures were recorded. The principal component analysis showed the effect of weather conditions (altitude, temperature, relative humidity) on the quality variables of strawberry 'Capitola', which were discriminated by location.

Additional key words: Altitude, *Fragaria x ananassa*, physicochemical properties, relative humidity, temperature

INTRODUCCIÓN

Humocaro Bajo, Páramo de Cabimbú y Colonia Tovar pertenecientes a los estados Lara, Trujillo y Aragua respectivamente, están ubicadas

en altitudes superiores a los 1000 msnm, donde las condiciones climáticas, especialmente la temperatura, son favorables para el crecimiento y producción de la fresa. En Venezuela la superficie del cultivo es cercana a 1.800 ha con rendimiento

Recibido: Agosto 25, 2016

Aceptado: Abril 7, 2017

¹ Posgrado de Horticultura, Decanato de Agronomía. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Apdo. 400. Barquisimeto. Venezuela. e-mail: mariap@ucla.edu.ve

aproximado de 15 Mg·ha⁻¹ (FAO, 2013). Los cultivares de fresa son afectados por las condiciones climáticas, en particular la latitud, que es uno de los principales factores de adaptación del cultivo (Krüger et al., 2012). La respuesta de la planta a la longitud del día (fotoperiodo), temperatura y su interacción han permitido el establecimiento de las plantaciones comerciales con la utilización principalmente de materiales genéticos de días cortos y de días neutros a nivel mundial (López et al., 2011). Entre los cultivares de días neutros se encuentra 'Capitola', un material californiano de hábito erecto, con alta productividad (429 g/planta), frutos atractivos de coloración rojo intenso y peso promedio de 23,7 g (MAPA, 2006).

La calidad de los frutos depende de su apariencia externa (color, tamaño, forma y ausencia de daños), firmeza, sabor y aroma, determinado éste último por los componentes volátiles (Jouquand et al., 2008). El color es uno de los cambios más notorios experimentados durante la maduración y con frecuencia el más importante de los criterios utilizados por los consumidores para decidir si el fruto está en madurez óptima de consumo y correlacionarla con la calidad (Will et al., 2007). Los pigmentos responsables del color son principalmente las antocianinas que pueden variar dependiendo del cultivar (Nunes et al., 2005). La contribución genética del cultivar en la expresión del color de la fresa se ubica entre 25 a 40 %, y el resto del aporte es debido a los derivados del ácido elágico y flavonoles (Álvarez et al., 2014). El balance entre el contenido de sólidos solubles totales (SST) y la acidez total titulable (ATT), con predominancia del ácido cítrico, son los responsables del agradable sabor en el fruto (Jouquand et al., 2008; Ali et al., 2011). El contenido de ácido ascórbico es alto en fresa, por lo que se considera una buena fuente de vitamina C en la dieta humana (Giampieri et al., 2012). Además, de la vitamina C, los minerales, antocianos y polifenoles determinan el valor nutricional de la fresa, así como su actividad antioxidante (Tulipani et al., 2008; Pradas et al., 2015). A diferencia de la mayoría de las frutas no climatéricas, la fresa cambia rápida y drásticamente su apariencia durante la maduración, la cual está caracterizada por una reducción de la celulosa y un incremento de las

pectinas y azúcares solubles en agua con lo que disminuye su firmeza y/o consistencia. También durante la maduración se produce una reducción de la acidez, de los fenoles totales, antocianinas, vitamina C, azúcares totales y del pH (Wright y Kader, 1997).

Los atributos de calidad dependen de la genética de los cultivares y son afectados por las condiciones ambientales, como la latitud, altitud, temperatura, radiación solar, precipitación y niveles de humedad relativa, en las cuales las plantas crecen, y los cambios de estos factores durante el proceso de maduración de los frutos, así como de las prácticas hortícolas en el campo (Álvarez et al., 2014; Cocco et al., 2015). A tal efecto, Pérez de C. et al. (2005) evaluaron las propiedades físico-químicas a cosecha en frutos del cultivar Capitola provenientes de la localidad de La Lagunita, estado Trujillo, ubicada a 2200 msnm y con temperaturas promedio diurnas/nocturnas de 15/10 °C, encontraron frutos de calidad aceptable en términos de masa fresca. Asimismo, Crespo et al. (2010) estudiaron los atributos químicos de fresa en los cultivares Antea y Clery en dos localidades de Suiza ubicadas a 1060 y 480 msnm, con diferentes condiciones climáticas, donde el cultivar Antea fue el más afectado por las condiciones del sitio de producción, ya que en la mayor altitud se produjeron los frutos con menores valores de calidad. Agüero et al. (2015) encontraron que los atributos de calidad (tamaño, color, consistencia, SST y ATT) fueron altamente afectados por los factores ambientales de temperatura del aire y precipitación, indicando que en condiciones subtropicales las variaciones de las condiciones climáticas son extremas entre épocas y años de cosecha, por lo que es importante la consideración del clima y la interacción con el genotipo y/o cultivares según sus requerimientos, tolerancia y adecuación a esas condiciones. Asimismo, Josuttis et al. (2012) indicaron que las altas temperaturas durante el desarrollo del fruto de fresa incrementaron los contenidos de componentes bioactivos, principalmente los polifenoles.

Resultados similares indicaron Voca et al. (2014) quienes determinaron que los cambios en los factores climáticos como la temperatura del aire y precipitación durante la maduración del fruto afectaron los contenidos de antocianinas y

polifenoles en cuatro cultivares de fresa. Estos autores establecieron una correlación positiva entre el cultivar y la época de cosecha con los índices del color de la pulpa (L^* , chroma y hue), encontrando además una alta relación de los contenidos de antocianinas con el color, lo cual sugiere que la medición del color puede ser utilizada para monitorear la evolución del contenido de antocianina en los frutos.

En este sentido, el objetivo del presente estudio fue evaluar los atributos de calidad a cosecha de los frutos de fresa cultivar Capitola en tres localidades ubicadas en diferentes condiciones climáticas.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se condujo usando como material de estudio frutos de fresas (*Fragaria x ananassa* Duch), cultivar Capitola procedentes de las localidades: Humocaró Bajo, Finca Los Golondrinos ubicada en el caserío Las Palmitas

vía El Parchal, municipio Morán del estado Lara; Páramo de Cabimbú, Finca Agrícolas y Hortalizas El Fresal, en Sector el Chuchuco, municipio Urdaneta del estado Trujillo, y de Colonia Tovar, Finca Capachal, municipio Tovar del estado Aragua. Las condiciones climáticas de estas zonas durante el ciclo fenológico del cultivo se muestran en el Cuadro 1.

Los frutos fueron recolectados en las tres localidades durante el mes de noviembre del año 2013, los cuales fueron seleccionados en madurez organoléptica, completamente coloreados y sin daños aparentes. Posteriormente, trasladados bajo refrigeración al laboratorio de Poscosecha del Posgrado de Agronomía de la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado donde se analizaron variables físicas y propiedades químicas de calidad. Las determinaciones fueron realizadas en cinco repeticiones conformadas por 20 frutos para cada variable, para un total de 100 frutos por localidad, constituyendo los tratamientos las tres localidades.

Cuadro 1. Elementos del clima en las localidades de Humocaró Bajo (Edo. Lara), Páramo de Cabimbú (Edo. Trujillo) y Colonia Tovar (Edo. Aragua)

Localidad	Latitud	Altitud (msnm)	Temperatura (°C)		HR (%)	
			Max	Min	Max	Min
Humocaró Bajo	9° 47' N 69° 47' W	1.200	25	18	70	30
Páramo de Cabimbú	9° 9' N 70° 28' W	2.800	22	8	90	80
Colonia Tovar	10° 25' N 67° 18' W	1.800	22	10	90	70

Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH). Caracas, Venezuela

Las variables físicas evaluadas fueron masa fresca con el uso de balanza analítica Ohaus de 0,01g de apreciación, diámetros polar y ecuatorial medidos con un vernier digital. La consistencia fue medida con el penetrómetro punta 11 mm, Effegi modelo FT327. El color de los frutos se determinó usando un equipo Hunter Lab Color Flex, cuantificando los índices L^* , a^* , b^* , chroma y hue (CIELAB). Estos índices se ubican dentro de la cromaticidad de colores, donde L^* [luminosidad-brillo, 100 = blanco; 0 = negro], a^* [(positivo = rojo; negativo = verde), b^* [(positivo = amarillo; negativo = azul], Chroma indica la intensidad y pureza del color y el Hue constituye el ángulo que ubica el color en el espectro visible (McGuire, 1992).

Las propiedades químicas analizadas fueron el contenido de SST, usando un refractómetro digital Atago PR-101, ATT expresada en porcentaje de

ácido cítrico obtenida por valoración con NaOH 0,1 N hasta punto final de pH 8,1, con un potenciómetro Orion mod. 520-A, con el que también se midió el pH. La concentración de antocianos y polifenoles totales se cuantificó por el método descrito por Iland (2004). La concentración de vitamina C por el método 2,6 Diclorofenolindofenol (COVENIN, 1984).

Los datos fueron procesados estadísticamente bajo un diseño completamente al azar a través de análisis de varianza y prueba de Tukey utilizando el programa Statistix versión 8. Con los promedios de las variables evaluadas y de los valores climáticos se construyó una matriz básica de datos para un análisis multivariado. La matriz de correlación entre los datos estandarizados permitió el análisis de componentes principales (ACP) utilizando el programa InfoGen versión 2012 (Universidad de Córdoba, Argentina).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Atributos físicos y químicos de calidad. Los resultados muestran diferencias significativas ($P \leq 0,05$) para las variables físicas de calidad debido al factor localidad (Cuadro 2). Los frutos de mayor masa fresca, diámetros polar y ecuatorial, así como los de menor consistencia fueron los provenientes de Páramo de Cabimbú. Los frutos más pequeños pero con altos valores de consistencia fueron los de Colonia Tovar y de Humocaró Bajo obteniéndose frutos con 2,68 y 1,8 veces respectivamente, más firmes que los frutos provenientes de Páramo de Cabimbú. Los altos valores de consistencia o firmeza le confieren al fruto mayor resistencia al transporte, manipulación y menos susceptibilidad al deterioro durante el proceso de comercialización (Wills et al., 2007).

El mayor tamaño (masa fresca y diámetros) de

los frutos de Páramo de Cabimbú es casi 25 % más que los frutos de las otras localidades, al igual que su menor consistencia podría atribuirse a que en dicha localidad se registraron porcentajes de humedad relativa superiores y menor rango de diferencia entre las máximas y mínimas, en comparación con las otras localidades (Cuadro 1), así como menor temperatura promedio. A mayor altitud las temperaturas disminuyen y la humedad relativa aumenta, condiciones que permiten tanto una mayor acumulación de fotoasimilados por una menor tasa de respiración que implica menos degradación de sustratos respiratorios (Rasmussen et al., 2014) como por una disminución de las pérdidas de agua por transpiración durante el proceso de desarrollo (Taiz y Zeiger, 2010), lo que resulta en frutos con mayor tamaño y mayor contenido de agua, y a su vez, menor firmeza y/o consistencia (Wills et al., 2007).

Cuadro 2. Propiedades físicas de calidad en frutos de fresa a cosecha del cultivar *Capitola* provenientes de Humocaró Bajo (Edo. Lara), Páramo de Cabimbú (Edo. Trujillo) y Colonia Tovar (Edo. Aragua)

Localidad	Variables físicas			
	Masa fresca (g)	Diámetro polar (mm)	Diámetro ecuatorial (mm)	Consistencia (Kg)
Humocaró Bajo	16,18 b	35,73 b	28,69 b	0,45 b
Páramo de Cabimbú	22,20 a	42,37 a	33,86 a	0,25 c
Colonia Tovar	17,71 b	35,76 b	29,37 b	0,67 a

Letras distintas dentro de cada columna indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$)

Contrariamente, las localidades ubicadas a menor altitud con rangos más altos de temperatura y menores porcentajes de humedad relativa (Humocaró Bajo y Colonia Tovar), mostraron los frutos más pequeños pero con mayor firmeza. Por otra parte, el tamaño de los frutos de Páramo de Cabimbú fue superior a los del mismo cultivar *Capitola* cosechados en La Lagunita, Edo. Trujillo (Pérez de C. et al., 2005), localidad ubicada a menor altitud y con un promedio de temperatura superior a la de Páramo de Cabimbú, lo que sugiere que estas diferencias en las variables de calidad pueden ser atribuibles a las condiciones climáticas.

Debe destacarse que las características físicas de calidad encontradas en los frutos del cultivar *Capitola* en las tres localidades son consideradas aceptables comercialmente al presentar una masa fresca superior a 6 g por fruto y diámetros mayores a los rangos entre 18 y 25 mm que se

corresponden con las categorías Extra, I y II, según las especificaciones de los estándares de calidad de la Unión Europea (Pérez y Sanz, 2008).

Las variables químicas presentaron diferencias significativas ($P \leq 0,05$) entre las tres localidades (Cuadro 3). El mayor contenido de SST, menor ATT, y mayor relación de SST/ATT y de pH, fueron para las fresas cosechadas en Páramo de Cabimbú.

Los frutos de Colonia Tovar presentaron el menor contenido de SST y la menor relación SST/ATT con diferencias de 67 y 47 %, respectivamente, en comparación con los frutos de Páramo de Cabimbú. Los altos contenidos de SST, al igual que el mayor tamaño de los frutos en Páramo de Cabimbú podría deberse a una menor degradación de los azúcares como sustratos respiratorios, debido a que en dicha localidad se registró el mayor diferencial entre las máximas y

mínimas temperaturas (Cuadro 1), condiciones que permiten una mayor acumulación de SST. En este sentido, durante el día hay temperaturas adecuadas para la síntesis de carbohidratos mediante la fotosíntesis pero en la noche las temperaturas descienden desacelerando la respiración, ya que este proceso está regulado enzimáticamente y cuya actividad esta directa y positivamente relacionada con las temperaturas

(Taiz y Zeiger, 2010; Rasmusson et al., 2014). Choi et al. (2016) indicaron resultados similares de SST en frutos cosechados a nivel de invernadero con temperaturas entre 5 y 10 °C, y atribuyeron estos resultados a una mayor tasa fotosintética en la medida que incrementó la temperatura de los tratamientos. En Humocaro Bajo los frutos presentaron valores intermedios de SST y los menores contenidos en Colonia Tovar.

Cuadro 3. Propiedades químicas de calidad en frutos de fresa a cosecha del cultivar Capitola provenientes de Humocaro Bajo (Edo. Lara), Páramo de Cabimbú (Edo. Trujillo) y Colonia Tovar (Edo. Aragua).

Localidad	Variables químicas			
	SST (°Brix)	ATT (%)	SST/ATT	pH
Humocaro Bajo	7,60 b	1,17 a	6,50 b	3,55 b
Páramo de Cabimbú	8,51 a	0,79 b	10,77 a	3,72 a
Colonia Tovar	5,75 c	1,14 a	5,04 c	3,59 b

SST: Sólidos solubles totales. ATT: Acidez total titulable. Letras distintas dentro de cada columna indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$)

Choi et al. (2016) reportaron que las fluctuaciones de temperaturas, así como los días nublados afectan la productividad y calidad de los frutos de fresa, ya que estas condiciones inciden directamente tanto en la fase de captación de luz como en la actividad de la enzima Rubisco durante la fotosíntesis, el proceso de síntesis de azúcares. Asimismo, las temperaturas altas para la fresa, implican un mayor consumo de los azúcares como sustrato de la respiración. En este sentido Crespo et al. (2010) y Agüero et al. (2015) indicaron que el contenido de SST puede disminuir debido a las precipitaciones, alta humedad relativa y altas temperaturas durante el periodo de crecimiento y desarrollo del fruto, lo cual coincide parcialmente con lo obtenidos en nuestra investigación. Shaw (1990) determinó que el contenido de SST en frutos de fresa fue más dependiente de las condiciones ambientales durante la etapa de producción que de la constitución genética de la planta. Por otra parte, los mayores valores de SST obtenidos en Páramo de Cabimbú son consistentes con los menores valores de ATT, ya que la respiración es la principal ruta de síntesis de los ácidos, y como ya se indicó este proceso pudo haber disminuido debido a las bajas temperaturas registradas en dicha localidad (Rasmusson et al., 2014).

El pH de los frutos fue consistente con los valores de ATT en las tres localidades; y estas variables fueron iguales estadísticamente para los

frutos cosechados en las localidades de menores altitudes como son Humocaro Bajo y Colonia Tovar. Asimismo, los SST y la relación SST/ATT en los frutos de las tres localidades fueron superiores a los reportados por Pérez de C. et al. (2005) para el mismo cultivar 'Capitola' cosechados en la Lagunita del estado Trujillo. Cordunesi et al. (2003) determinaron que para alcanzar un sabor aceptable en fresas, sólo se requiere de un contenido mínimo de sólidos solubles totales de 7 °Brix, y acidez titulable del 0,8 %, valores de calidad que fueron superados por los frutos de las localidades de Humocaro Bajo y Páramo de Cabimbú.

Los resultados del Cuadro 4 muestran diferencias significativas para las concentraciones de antocianinas, polifenoles totales y vitamina C entre los frutos de las tres localidades. Los frutos provenientes de Páramo de Cabimbú presentaron la mayor concentración de antocianinas en comparación con los provenientes de Humocaro Bajo, representando un incremento de aproximadamente el 20 %. Estos resultados podrían deberse a que Páramo de Cabimbú es la localidad ubicada a mayor altitud, condición que permite que las temperaturas sean menores y mayor la humedad del aire (Cuadro 1). Las antocianinas son casi exclusivamente responsables del color rojo de las fresas (Wang, 2006), que es uno de sus principales atributos de calidad. En este sentido, la concentración de antocianinas en

los frutos de Páramo de Cabimbú se corresponde con los índices de color de los frutos de esta

localidad, los cuales mostraron un color rojo más oscuro que las otras localidades (Cuadro 5).

Cuadro 4. Contenido de antocianinas, polifenoles totales y vitamina C en frutos de fresa cultivar Capitola a cosecha provenientes de Humocaró Bajo (Edo. Lara), Páramo de Cabimbú (Edo. Trujillo) y Colonia Tovar (Edo. Aragua)

Localidad	Antocianinas	Polifenoles totales	Vitamina C
	mg·100g ⁻¹		
Humocaró Bajo	39,18 b	97,14 a	38,14 b
Páramo de Cabimbú	46,56 a	64,66 b	59,33 a
Colonia Tovar	40,99 ab	51,30 c	31,90 c

Letras distintas dentro de cada columna indican diferencias significativas según la prueba de Tukey (P≤0,05)

Cuadro 5. Índices de color L*, hue, chroma, a*, b*, en los frutos de fresa a cosecha del cultivar Capitola provenientes de Humocaró Bajo (Edo. Lara), Páramo de Cabimbú (Edo. Trujillo) y Colonia Tovar (Edo. Aragua)

Localidad	Índices de color				
	L*	Hue	Chroma	a*	b*
Humocaró Bajo	45,16 a	46,31 a	49,76 a	34,36 a	35,89 a
Páramo de Cabimbú	38,88 b	37,49 b	42,88 b	33,92 a	26,09 b
Colonia Tovar	35,78 c	35,82 c	38,78 c	31,35 b	22,73 c

Letras distintas dentro de cada columna indican diferencias significativas según la prueba de Tukey (P≤0,05)

Del Pozo et al. (2006) investigaron la calidad en 22 cultivares de fresa cosechadas en diferentes fechas y encontraron que la concentración de antocianinas fue dependiente del cultivar y la temperatura del aire al momento de la cosecha; reportando que el cultivar Aromas mostró un incremento del 32 % de antocianinas en los frutos cosechados en épocas con temperaturas ambientales más bajas en comparación con épocas de cosecha más calurosas, resultados que coinciden con los de esta investigación. Choi et al. (2016) reportaron que la mayor acumulación de antocianinas en frutos cosechados a temperaturas entre 5 y 10 °C, estuvo asociada con las condiciones que permitieron la máxima eficiencia fotosintética a estas temperaturas conjuntamente con la intensidad lumínica. Por otra parte, el contenido de antocianinas de los frutos en las tres localidades fue superior al rango entre 15 a 35 mg·100 g⁻¹ señalado como adecuado para la fresa según Nunes et al. (2005).

Los polifenoles totales fueron superiores para la localidad de Humocaró Bajo, casi duplicando los valores de esta variable con respecto a la Colonia Tovar sugiriendo el efecto de la localidad (Cuadro 4). Las concentraciones superiores de polifenoles totales encontradas en los frutos cosechados en Humocaró Bajo pudieran estar

asociadas con los mayores promedios de temperaturas registrados en dicha localidad (Cuadro 1). Las concentraciones de antioxidantes en los frutos de fresa están controlados genéticamente, pero su expresión está regulada por factores ambientales; esta respuesta se fundamenta en que la síntesis de polifenoles es catalizada por un complejo de enzimas, entre las que se destaca la fenilalanina amonioliasa (PAL) que es activada por la luz y codificada por genes que son inducibles por la temperatura (Carvajal de P. et al., 2012). En tal sentido, varias investigaciones han reportado un incremento de estos compuestos en condiciones de mayor irradiancia y temperatura (Josuttis et al., 2012; Krüger et al., 2012; Voca et al., 2014). El incremento de polifenoles con el aumento de irradiancia y temperaturas ha sido asociado por el rol que tienen estos compuestos en la protección antioxidante del metabolismo celular ante posibles condiciones de estrés (Wang y Camp, 2000), lo cual se corresponde con lo encontrado en esta investigación ya que en Humocaró Bajo se registró el menor diferencial entre las temperaturas máximas y mínimas (Cuadro 1), en comparación con las otras localidades, que son condiciones que estimulan mayor tasa de respiración.

Las concentraciones de vitamina C fueron

significativamente mayores en los frutos de Páramo de Cabimbú con $59,33 \text{ mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$, (Cuadro 4) valor superior a los $58,8 \text{ mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ considerados adecuados en la composición química de las fresas, según lo indicado por Giampieri et al. (2012). La vitamina C también se relaciona con los factores climáticos y su incremento parece estar relacionado con las bajas temperaturas. En este sentido, De Pozo et al. (2006) reportaron una asociación negativa entre el incremento de la temperatura del aire de 12 a 14 °C y las concentraciones de vitamina C para diferentes épocas de cosecha en frutos de veintidós materiales genéticos de fresa. Esta acumulación de vitamina C se asocia con una disminución del metabolismo respiratorio a más bajas temperaturas (Wang y Camp, 2000), ya que los precursores de la vitamina C son sustratos respiratorios (Taiz y Zeiger, 2010). Los resultados de estos autores pudieran compararse con los encontrados en esta investigación, ya que los frutos cosechados en las localidades ubicadas en menores altitudes como Colonia Tovar y Humocaro Bajo donde se registraron los mayores promedios de temperatura fueron los que presentaron los menores tenores de esta vitamina.

Las diferencias en las concentraciones de antocianinas, polifenoles totales y vitamina C encontradas en las diferentes localidades demuestran que las condiciones climáticas afectan la capacidad antioxidante de la fresa, que es uno de sus principales atributos de calidad.

Los índices de color presentaron diferencias significativas debido al factor localidad (Cuadro 5). Los mayores valores de L^* , hue, Chroma y b^* , fueron superiores para los frutos de la localidad de Humocaro Bajo, indicando una coloración rojo coral brillante. En las localidades de Colonia Tovar y Páramo de Cabimbú con promedios de temperaturas inferiores, los índices de color fueron menores y se reflejan en frutos de color rojo oscuro representado por la pureza e intensidad del color con un valor inferior del Chroma y además más oscuro, indicado por un menor índice L^* (luminosidad-brillo).

Los resultados muestran que los factores del clima entre los que se destaca la temperatura, fueron determinantes en la coloración de los frutos según la localidad, donde en Humocaro Bajo con mayores temperaturas los frutos fueron más atractivos por su coloración rojo coral brillante

que en Colonia Tovar y Páramo de Cabimbú donde se registraron temperaturas más bajas y los frutos fueron rojo oscuro. Como fue señalado anteriormente, el color también está asociado con los altos contenidos de antocianinas (Griesser et al., 2008), cuyos mayores valores fueron encontrados en Páramo de Cabimbú. Igualmente, el color es una variable que se considera sensible a la radiación solar, ya que el brillo del color se incrementa con la intensidad lumínica y disminuye en zonas nubladas y con alta incidencia de precipitaciones, según lo indicado por Agüero et al. (2015), condiciones frecuentes que se observan en las localidades ubicadas a mayores altitudes como Colonia Tovar y Páramo de Cabimbú. A tal efecto, los resultados de ésta investigación coinciden con los indicados por Voca et al. (2009) quienes encontraron los mayores valores de L^* y chroma durante el período de maduración de la fresa cv. Diamante en los días largos con mayores temperaturas. Igualmente, Krüger et al. (2012) señalaron que el incremento de las temperaturas diurnas/nocturnas afectaron el color del fruto, los cuales fueron rojos brillantes en las localidades ubicadas más al sur (menor latitud) con los mayores valores de los índices (L^* , hue), y de color rojo oscuro los frutos provenientes del norte de Europa (mayor latitud) con menores índices, y estableciendo una correlación positiva entre L^* con la radiación fotosintéticamente activa (PAR). Asimismo, Kadir et al. (2006) reportaron que el color de los frutos del cultivar Chandler fue termodependiente es decir que el factor determinante en la pigmentación fue la temperatura al compararlo con los frutos del cultivar Sweet Charlie. Estos autores encontraron dichos resultados al exponer las plantas de fresa a tres regímenes de temperatura diurna y nocturna (20/15 °C, 30/25 °C y 40/35 °C), estableciendo que 20/15 °C fue la más adecuada para la calidad de los frutos.

Los resultados obtenidos en la calidad fisicoquímica de los frutos en las tres localidades pueden estar asociados con los factores climáticos analizados en esta investigación.

Análisis de Componentes Principales (ACP). Los planos factoriales CP1 y CP2 explican la variabilidad total del conjunto de datos. La componente CP1 explica por sí sola el 64,2 % de la variabilidad la cual se relaciona con la temperatura y humedad relativa en sentidos

opuestos. Las localidades con condiciones ambientales contrastantes se separan, al realizar las proyecciones de las variables sobre la CP1; en este sentido, los valores correspondientes a las

localidades de Páramo de Cabimbú y Colonia Tovar se ubican en el cuadrante con signos negativos, mientras que la proyección Humocaró Bajo posee valor positivo (Figura 1).

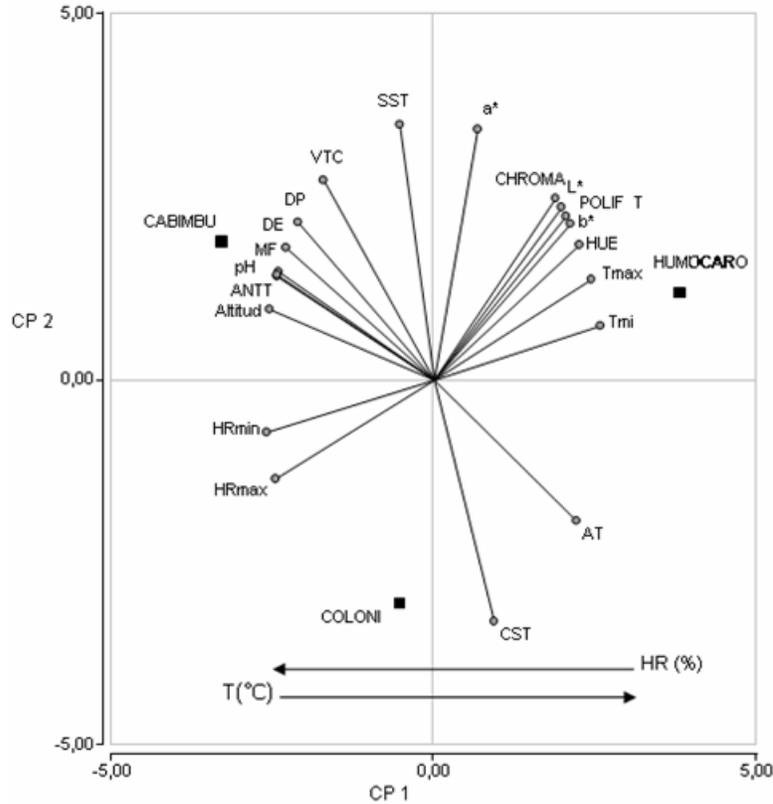


Figura 1. Análisis de los componentes principales (ACP) de las variables físicas (MF: masa fresca, DE: diámetro ecuatorial, DP: diámetro polar, CST: consistencia, índices de color: L*, a*, b*, hue, chroma) y variables químicas (SST: Sólidos solubles totales, pH, ATT: acidez total titulable, VTC: vitamina C, ANTT: antocianinas totales, POLIF.T: polifenoles totales) en fresas cultivar Capitola y su relación con el clima (altitud, temperatura y humedad relativa) en Humocaró Bajo, Páramo de Cabimbú y Colonia Tovar de los estados Lara, Trujillo y Aragua, respectivamente

Los casos con mayor inercia cuyas proyecciones se encuentran más distantes del cero, son los más representativos de la variabilidad total. Por ejemplo, se manifiestan mayores diferencias entre Humocaró Bajo y Páramo de Cabimbú. En orden lineal hay una disminución de la temperatura máxima promedio que se corresponde con un aumento de la altitud entre las localidades de Humocaró Bajo, Colonia Tovar y Páramo de Cabimbú. Todas las variables relacionadas con tamaño del fruto (masa fresca y dimensiones), contenido de vitamina C, antocianinas y pH muestran inercia hacia la

localidad de Páramo de Cabimbú, orientadas hacia los menores valores de temperatura.

Dado que los ángulos entre las variables vitamina C, diámetro polar, diámetro ecuatorial, masa fresca, pH, antocianinas totales y altitud son agudos y muy cerrados, significa que están positiva y altamente correlacionadas entre sí y relacionadas con la localidad de Páramo de Cabimbú (Figura 1 y Cuadro 6). Al otro extremo se ubican los polifenoles totales, los índices de color L*, a*, b*, hue y chroma que están correlacionadas entre sí, y relacionadas con las condiciones climáticas de la localidad de Humocaró Bajo. La

Pérez de C. et al. Calidad de fresa 'Capitola' en diferentes condiciones climáticas

localidad de Colonia Tovar con condiciones climáticas intermedias entre las otras localidades se asocia con mayores valores de consistencia.

La CP2, que explica el 35,8 % de la variación, permite diferenciar el efecto de los extremos entre temperaturas máximas y altitud con las condiciones intermedias que se presentó en la localidad de Colonia Tovar.

En un trabajo similar Krüger et al. (2009), en los cultivares de fresa Elsanta y Korona, para diferentes condiciones de cultivo en Europa, evaluaron la influencia de la temperatura y radiación durante el desarrollo de los frutos mediante un ACP. Los autores demostraron cómo las condiciones climáticas estuvieron asociadas con los incrementos de los atributos físicos y químicos de la calidad, destacando una asociación entre las condiciones climáticas 10 días antes de la cosecha (altas temperaturas e irradiación) y el cultivar Elsanta para la acumulación de fenoles totales y ácido ascórbico. En contraste, los sólidos solubles fueron más afectados por las condiciones

climáticas del día anterior a la cosecha. Cuando analizaron los resultados para el cultivar Korona, la situación fue diferente. Dichos resultados sugieren que los dos cultivares tuvieron un comportamiento diferencial respecto a las condiciones climáticas y localidad. Las localidades muestran condiciones climáticas marcadas por la altitud, la cual condiciona la temperatura y humedad relativa (Voca et. al., 2014; Choi et. al., 2016).

En el Cuadro 6 se muestran los índices de correlación entre las variables de calidad de los frutos y los factores del clima. Se aprecia una alta correlación positiva entre las variables de color, contenido de polifenoles totales y la temperatura. De igual manera se observa alta correlación positiva entre las variables de tamaño del fruto (MF, DP y DE), SST, VTC, ANTT, pH con la altitud. Las dimensiones de los frutos presentaron una alta correlación positiva con la humedad relativa, y la ATT presentó una muy alta correlación negativa con la altitud.

Cuadro 6. Matriz de correlación entre las variables fisicoquímicas en los frutos de fresa a cosecha del cultivar Capitola provenientes de Humocaro Bajo (Edo. Lara), Páramo de Cabimbú (Edo. Trujillo) y Colonia Tovar (Edo. Aragua)

	MF	DP	DE	SST	pH	ATT	CST	VTC	POLIF	ANTT	a*	b*	L*	HUE	CHR	Alt	Tmax	Tmin	HRma
DP	0,97	1,00																	
DE	0,99	0,99	1,00																
SST	0,57	0,75	0,67	1,00															
pH	1,00	0,98	0,99	0,59	1,00														
ATT	-0,98	-1,00	-1,00	-0,70	-0,99	1,00													
CST	-0,70	-0,85	-0,78	-0,99	-0,71	0,81	1,00												
VTC	0,89	0,98	0,94	0,88	0,90	-0,96	-0,95	1,00											
POLIF	-0,46	-0,24	-0,35	0,46	-0,45	0,30	-0,31	-0,02	1,00										
ANTT	1,00	0,97	0,99	0,58	1,00	-0,99	-0,70	0,90	-0,46	1,00									
a*	0,14	0,38	0,27	0,89	0,16	-0,31	-0,81	0,57	0,81	0,15	1,00								
b*	-0,50	-0,27	-0,39	0,43	-0,48	0,34	-0,27	-0,06	1,00	-0,49	0,79	1,00							
L*	-0,43	-0,20	-0,31	0,50	-0,41	0,26	-0,35	0,03	1,00	-0,42	0,83	1,00	1,00						
HUE	-0,58	-0,37	-0,48	0,34	-0,57	0,43	-0,18	-0,16	0,99	-0,57	0,72	0,99	0,98	1,00					
CHR	-0,38	-0,15	-0,26	0,54	-0,36	0,21	-0,39	0,07	1,00	-0,37	0,86	0,99	1,00	0,97	1,00				
Alt	0,99	0,93	0,97	0,46	0,99	-0,95	-0,60	0,83	-0,58	0,99	0,01	-0,61	-0,54	-0,69	-0,50	1,00			
Tmax	-0,70	-0,50	-0,60	0,19	-0,68	0,56	-0,03	-0,30	0,96	-0,69	0,61	0,97	0,95	0,99	0,93	-0,79	1,00		
Tmin	-0,82	-0,66	-0,74	0,00	-0,81	0,71	0,16	-0,48	0,89	-0,81	0,45	0,91	0,87	0,94	0,84	-0,89	0,98	1,00	
HRma	0,70	0,50	0,60	-0,19	0,68	-0,56	0,03	0,30	-0,96	0,69	-0,61	-0,97	-0,95	-0,99	-0,93	0,79	-1,00	-0,98	1,00
HRmi	0,82	0,66	0,74	-0,00	0,81	-0,71	-0,16	0,48	-0,89	0,81	-0,45	-0,91	-0,87	-0,94	-0,84	0,89	-0,98	-1,00	0,98

Los resultados muestran que la calidad fisicoquímica de la fresa fue discriminada según la localidad, agrupando la mayor cantidad de variables en las condiciones de temperatura y humedad relativa más extremas. En este sentido,

las variables masa fresca, diámetros, contenidos de sólidos solubles totales, acidez, pH, contenidos de vitamina C y antocianinas se manifestaron mayormente en las condiciones de Páramo de Cabimbú, mientras que los índices de color (L*,

a*, b*, hue y chroma) y la acumulación de polifenoles prevalecieron en las condiciones ambientales de Humocaró Bajo. Asimismo, la consistencia de los frutos fue ubicada en Colonia Tovar, que mostró una condición climática intermedia entre las otras dos localidades.

CONCLUSIONES

La calidad fisicoquímica de los frutos del cultivar *Capitola* mostró variabilidad debido a los factores climáticos de temperatura y humedad relativa modificadas por la altitud de las tres localidades.

Las temperaturas bajas y la humedad relativa alta registradas a mayor altitud al parecer fueron determinantes del mayor tamaño y de los altos contenidos de sólidos solubles totales, antocianinas y vitamina C, así como de los menores valores de consistencia y de acidez total titulable de los frutos cosechados en Páramo de Cabimbú.

Los frutos más coloridos y con altos contenidos de polifenoles cosechados en Humocaró Bajo, permiten inferir que el comportamiento de estas variables estuvo condicionado por la temperatura y la humedad de esta localidad, la cual está ubicada a menor altitud y donde se registraron temperaturas superiores a las de Páramo de Cabimbú y Colonia Tovar.

Los frutos de fresa '*Capitola*' cosechados en las tres localidades (Humocaró Bajo, Páramo de Cabimbú y Colonia Tovar) presentaron una calidad fisicoquímica que se corresponde con los estándares de comercialización de la fresa

El análisis de componentes principales evidenció el efecto de las condiciones ambientales sobre las variables fisicoquímicas de calidad de los frutos del cultivar *Capitola*, al discriminarlas por localidad.

AGRADECIMIENTO

Al Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico y Tecnológico de la Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado" por la subvención de esta investigación (Proyecto 002-AG-2007). A los señores Beltrán Rodón (finca Los Golondrinos), Gerardo Barrios (finca Agrícolas y Hortalizas El Fresal) y Juan Smuk (finca Capachal) quienes facilitaron los frutos para

la investigación.

LITERATURA CITADA

1. Agüero, J. J., M. Salazar, D. S. Kirschbaum y E. F. Jerez. 2015. Factors affecting fruit quality in strawberries grown in a subtropical environment. *International Journal of Fruit Science* 15: 223-234.
2. Ali, A., M. Abrar, M. T. Sultan, A. Din y B. Niaz. 2011. Post-harvest physicochemical changes in full ripe strawberries during cold storage. *The Journal of Animal & Plant Sciences* 21(1): 38-41.
3. Álvarez -Suárez, J., L. Mazzoni, T.Y. Forben-Hernández, M. Gasparrini, S. Sabbadini y F. Giampieri. 2014. The effects of pre-harvest and postharvest factors on the nutritional quality of strawberry fruits. A review. *Journal of Berry Research* 4: 1-10.
4. Carvajal de Pabón, L. C. El Hadi, R. Cartagena, C. Peláez, C. Gaviria y C. Benjamín. 2012. Capacidad antioxidante de dos variedades de *Fragaria x ananassa* (Weston) Duchense (fresa) sometidas a variaciones en la nutrición vegetal. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*. 17(1): 37-53.
5. Choi, H., B. Moon y N. J. Kang. 2016. Correlation between strawberry (*Fragaria ananassa* Duch.) productivity and photosynthesis related parameters under various growth conditions. *Frontiers in Plant Science* 7: 1-13.
6. Cocco, C., S. Magnani, M. L. Maltoni, I. Quacquarelli, M. Cacchi, L. E. Corrêa, L. F. D'Antuono, W. Faedi y G. Baruzzi. 2015. Effects of site and genotype on strawberry fruits quality traits and bioactive compounds. *Journal of Berry Research* 5:145-155.
7. Crespo, P., L. Terry y C. Carlen. 2010. Characterization of major taste and health-related compounds of four strawberry genotypes grown at different Swiss production sites. *Food Chemistry* 122(1):16-24
8. COVENIN.1984. Determinación de la calidad en frutas y productos derivados. Comisión Venezolana de Normas Industriales. Caracas. 177 p.
9. Cordenunsi, B. R, O. do Nascimento y F. M.

- Lajolo. 2003. Physical-chemical changes related to quality of five strawberry fruit cultivars during cool-storage. *Food Chemistry* 83(2): 167-173.
10. Del Pozo-Insfran, D., C. Duncan, K. Yu y S. Talcote. 2006. Polyphenolics, ascorbic acid, and soluble solids concentrations of strawberry cultivars and selections grown in a winter annual hill production system. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 131(1): 89-96.
 11. Giampieri, F., S. Tulipani, J. Álvarez- Suarez, J. Quiles, B. Mezzetti y M. Battino. 2012. Review: The strawberry: Composition, nutritional quality and impact in human health. *Nutrition* 28: 9-19.
 12. Griesser, M., T. Hoffmam, M. Bellido, C. Rosati, B. Fink, R. Kurtzer, A. Ahrani, J. Muñoz-Blanco y W. Schwab. 2008. Redirection of flavonoid biosynthesis through the down-regulation of an anthocyanidin glucosyltransferase in ripening strawberry fruit. *Plant Physiology* 146: 1528-1539.
 13. FAO. 2013. Datos y estadísticas. En <http://www.fao.org/crop/statistics>. (consulta del 12/06/2015).
 14. Iland, Patrick. 2004. Chemical analysis of grapes and wine: Techniques and concepts. Adelaide. Australia. 118 p.
 15. Jouquand, C., C. Chandler, A. Plotto y K. Googner. 2008. A sensorial and chemical analysis of fresh strawberries over harvest dates and seasons. Reveals factors that affect eating quality. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 133(6): 859-867.
 16. Josuttis, M., C. Carlen, P. Crespo, R. Nestby, T. B. Toldam-Andersen, H. Dietrich and E. Krüger. 2012. A comparison of bioactive compounds of strawberry fruit from Europe affected by genotype and latitude. *Journal of Berry Research* 2:73-95.
 17. Kadir, S., G. Sidhu y K. Al-Khatib. 2006. Strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) growth and productivity as affected by temperature. *HortScience* 41(6): 1423-1430.
 18. Krüger, E., M. Josuttis, R. Nestby, T. Toldam, C. Carlen y B. Mezzetti. 2012. Influence of growing conditions at different latitudes of Europe on strawberry growth performance, yield and quality. *Journal of Berry Research* 2:143-157.
 19. Krüger, E., T. Toldam-Anderson y H. Dietrich. 2009. Climatic influence on strawberry yield, quality and bioactive compounds in different European cultivation condition. *Acta Horticulturae* 842: 903-906.
 20. López-Aranda, J. M. C. Soria, B. M. Santos, L. Miranda, P. Domínguez y J. J. Medina-Mínguez. 2011. Strawberry production in mild climates of the world: A review of current cultivar use. *International Journal of Fruit Science*. 11:232-244.
 21. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA). 2006. Variedades de fresa. Registro de variedades comerciales. Edita Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, España. 285 p.
 22. McGuire, R. G. 1992. Reporting of Objective Color Measurements. *HortScience* 27(12): 1254-1255.
 23. Nunes, M. C., J. Brecht, M. Moraisy y S. Sargent. 2005. Possible influences of water loss and polyphenol oxidase activity on anthocyanin content and discoloration in fresh ripe strawberry Cultivar Oso Grande during storage at 1 °C. *Journal of Food Science* 70(1): 79-84.
 24. Pérez, A.G. y C. Sanz. 2008. Técnicas de poscosecha, manejo, almacenamiento y transporte de frutos. *In: La fresa de Huelva*. Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca (ed.). España. 247 p.
 25. Pérez de Camacaro M., A. Giménez, Y. Terán y L. Calderón. 2005. Physical and Chemical Quality of strawberry fruits from three years old cultivation at high altitude. *Acta Horticulturae* 682: 763-765.
 26. Pradas, I., J. J. Medina, V. Ortiz y J. M. Moreno-Rojas. 2015. 'Fuentepina' and 'Amiga', two new strawberry cultivars. Evaluation of genotype, ripening and seasonal effects on quality characteristics and health-promoting compounds. *Journal of Berry Research* 5: 157-171.
 27. Rasmusson, A., I. Møller y J. Browse. 2014. Respiration and lipid metabolism. *In: L. Taiz, E. Zeiger, I. Møller y A. Murphy (eds.)*. *Plant Physiology and Development*. Sinauer. Sunderland, MA, USA. pp. 317-352.

28. Shaw, D. 1990. Response to selection and associated changes in genetic variance for soluble solids and titratable acids content in strawberries. *Journal of American Society for Horticultural Science* 115:839-843.
29. Taiz, L. y E. Zeiger. 2010. *Plant Physiology*. Sinauer. Sunderland, MA, USA.
30. Tulipani, S., B. Mezzetti, F. Capocasa, S. Bompadre, J. Beekwilder, C. Ric de Vois, E. Capanoglu, A. Bouy y M. Battino. 2008. Antioxidants, phenolic compounds, and nutritional quality of different strawberry genotypes. *Agric. Food. Chem.* 56: 696-704.
31. Universidad Nacional de Córdoba. Programa estadístico Info-Gen versión 2012. FCA, Argentina. Consultado: marzo 2016. <http://www.info-gen.com.ar>.
32. Voca, S., J. Sic Zlabur, N. Dobricevic, L. Jakobek, M. Seruga, A. Galic y S. Pliestic. 2014. Variation in the bioactive compound content at three ripening stages of strawberry fruit. *Molecules* 19:10370-10385.
33. Voca, S., N. Dobricevic, J. Druzic, B. Duralija, M. Skendrovic, D. Dermisek y Z. Cmelik. 2009. The change of fruit quality parameters in day-neutral strawberries cv. Diamante grown out of season. *International Journal of Food Sciences and Nutrition* 60(3): 248-254.
34. Wang, S. 2006. Effect of pre-harvest conditions on antioxidant capacity in fruits. *Acta Horticulturae* 712: 299-305.
35. Wang, S. y M. Camp. 2000. Temperatures after bloom affect plant growth and fruit quality of strawberry. *Scientia Horticulturae* 85: 183-199.
36. Wills, R., B. McGlasson, D. Graham y D. Joyce. 2007. *Postharvest. An introduction to the physiology & Handling of fruit, vegetables & ornamentals*. CAB International. Wallingford UK. 262 p.
37. Wright, K. P. y A. A. Kader. 1997. Effect of slicing and controlled atmosphere storage on the ascorbate content and quality of strawberries and persimmons. *Postharvest Biology and Technology* 10: 39-48.