
INFLUENCIA DE LA MATERIA PRIMA PARA LA ELABORACIÓN DE JUGO DE MANZANA EN LA SÍNTESIS DE POLIFENOLOXIDASA Y COMPUESTOS DE SABOR

Yazmín Arleth Guillén Ramos, Mirna Villegas Pérez, Guadalupe Isela Olivas Orozco, Loreto Robles Hernández, Ana Cecilia González Franco, Abelardo Núñez Barrios y Nora Aideé Salas Salazar

RESUMEN

Gran parte de la producción de manzana en México (~30%) se emplea para la producción de jugos y néctares. En el jugo elaborado a base de manzana, el sabor y el color son parámetros de calidad importantes, los cuales son afectados durante el proceso de elaboración. En el presente estudio fueron utilizadas diferentes combinaciones de materia prima y proceso para la obtención de jugo de manzana, y se evaluaron los compuestos volátiles, actividad enzimática de la enzima polife-

noloxidasa, sólidos solubles totales ($^{\circ}$ Brix), porcentaje de ácido málico y color ($L^*a^*b^*$). El jugo elaborado con la combinación de manzanas Golden Delicious tamaño canica y estándar en proporción 1:1, con un tiempo de oxidación de 40min a 40°C antes del proceso de pasteurización, fue el que presentó los mejores valores de $L^*a^*b^*$, que indican menor pardeamiento, menor actividad de la enzima polifenoloxidasa y mayor concentración de compuestos volátiles.

Introducción

La manzana (*Malus domestica* Borkh) es una de las frutas más cultivadas en todo el mundo (FAOSTAT, 2014). En México se produjeron 716,000t de manzana en 2014, siendo Chihuahua el principal estado productor, con una participación del 77% de la producción nacional. Entre las principales variedades cultivadas en el país destacan la *Red Delicious*, *Golden Delicious* y *Red Chief* (SIAP, 2014). La producción nacional de manzana está destinada al consumo en fresco en las mejores calidades, con un volumen del 70%, en tanto que el 30% restante se utiliza en la agroindustria, especialmente para la producción de jugos y néctares (Unifrut, 2007).

La calidad organoléptica del jugo de manzana depende del sabor, el cual es el resultado de dos sensaciones: gusto y aroma (Abrodo *et al.*, 2010; Nikfardjam y Maier 2011). El aroma de las frutas y de los jugos obtenidos a partir de ellas, está conformado por compuestos volátiles, que son de gran importancia ya que tienen una gran influencia en el sabor. En la manzana se han identificado ~400 compuestos volátiles (Forney *et al.*, 2009) con diferentes estructuras químicas (Rowan *et al.*, 1999). La biosíntesis de estos compuestos volátiles involucra vías bioquímicas con diferentes enzimas y sustratos, siendo los ácidos grasos los principales precursores; estos son catabolizados a través de dos principales rutas

oxidativas: β -oxidación y lipoxigenasa (Pérez y Sanz, 2008). A través de estas rutas bioquímicas son sintetizados compuestos volátiles tales como aldehídos, alcoholes y ésteres. Los aldehídos son los compuestos volátiles predominantes en manzanas inmaduras (De Pooter *et al.*, 1987); por su parte, en manzanas maduras los alcoholes y ésteres se encuentran en mayor concentración (Flath *et al.*, 1967).

Algunos compuestos son especialmente importantes en el jugo de manzana; entre estos, ésteres como el acetato de butilo y el acetato de hexilo son importantes contribuyentes del olor de la manzana y por lo tanto, importantes también en el olor del jugo (Dixon y Hewett, 2002). Los compuestos volátiles característicos del

jugo de manzana recién extraído son producidos por la oxidación de lípidos o metabolitos de aminoácidos, después de triturar las manzanas. Los tratamientos de temperatura y la pasteurización, activan las enzimas y parecen inducir la oxidación de lípidos en el jugo de manzana y enriquecer los sabores (Su y Wiley, 1998).

El color es otro de los parámetros de calidad importantes en los jugos derivados de frutas, debido a que es el primer atributo sensorial que percibe el consumidor (Arévalo *et al.*, 2012). El pardeamiento, tanto enzimático como no enzimático, es el problema más importante que presentan muchos concentrados de jugos de fruta (Toribio y Lozano, 1984). El pardeamiento enzimático es una reacción de oxidación en la

PALABRAS CLAVE / Aroma / Calidad / Compuestos Volátiles / Gusto / Manzana / Polifenoloxidasa /

Recibido: 17/09/2016. Modificado: 11/07/2017. Aceptado: 13/07/2017.

Yazmín Arleth Guillén Ramos.

Estudiante de Licenciatura. Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH), México.

Mirna Villegas Pérez. Estudiante de Maestría en Ciencias. Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, UACH, México.

Guadalupe Isela Olivas Orozco.

Doctora en Ciencias. Washington State University, EEUU. Investigadora, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, (CIAD), México.

Loreto Robles Hernández.

Doctor en Ciencias. University of Idaho, EEUU. Académico, UACH, México.

Ana Cecilia González Franco.

Doctora en Ciencias. University of Idaho, EEUU. Académica, UACH, México.

Abelardo Núñez Barrios. Doctor en Ciencias. Michigan State University, EEUU. Académico, UACH, México.

Nora Aideé Salas Salazar. (Autora de correspondencia).

Doctora en Ciencias, CIAD, México. Académica, Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, UACH, México. Dirección: Calle Presa de la Amistad No. 2015. Barrio de la Presa. C.P. 31510. Ciudad Cuauhtémoc, Chihuahua, México. e-mail: nsalas@uach.mx

INFLUENCE OF RAW MATERIALS FOR APPLE JUICE PREPARATION ON POLYPHENOL OXIDASE SYNTHESIS AND TASTE COMPOUNDS

Yazmín Arleth Guillén Ramos, Mirna Villegas Pérez, Guadalupe Isela Olivas Orozco, Loreto Robles Hernández, Ana Cecilia González Franco, Abelardo Núñez Barrios and Nora Aideé Salas Salazar

SUMMARY

A large amount (30%) of the apple produced in Mexico is used for the preparation of juices and nectars. In juice made from apple, the flavor and color are important quality parameters that are affected during the preparation process. In this study, different combinations of raw materials and process were employed to obtain apple juice. Volatile compounds, polyphenoloxidase enzyme activity, total soluble solids ($^{\circ}$ Brix),

percentage of malic acid, and color ($L^*a^*b^*$) were evaluated. Juice made with the combination of marble and standard sizes of Golden Delicious apples, in a 1:1 proportion, with an oxidation time of 40min at 40°C before pasteurization, was the one that yielded the best $L^*a^*b^*$ values, which indicate less browning, lower polyphenoloxidase activity and higher concentration of volatile compounds.

INFLUÊNCIA DA MATÉRIA PRIMA PARA A ELABORAÇÃO DE SUCO DE MAÇÃ NA SÍNTESE DE POLIFENOLOXIDASE E COMPOSTOS DE SABOR

Yazmín Arleth Guillén Ramos, Mirna Villegas Pérez, Guadalupe Isela Olivas Orozco, Loreto Robles Hernández, Ana Cecilia González Franco, Abelardo Núñez Barrios e Nora Aideé Salas Salazar

RESUMO

Grande parte da produção de maçã no México (~30%) é empregada na produção de sucos e néctares. No suco elaborado à base de maçã, o sabor e a cor são parâmetros de qualidade importantes, os quais são afetados durante o processo de elaboração. No presente estudo foram utilizadas diferentes combinações de matéria prima e processos para a obtenção de suco de maçã, e foram avaliados os compostos voláteis, atividade enzimática da enzima polifenoloxidase, sólidos

solúveis totais ($^{\circ}$ Brix), porcentagem de ácido málico e cor ($L^*a^*b^*$). O suco elaborado com a combinação de maçãs Golden Delicious tamanho pequena e padrão em proporção 1:1, com um tempo de oxidação de 40min a 40°C antes do processo de pasteurização, foi o que apresentou os melhores valores de $L^*a^*b^*$, que indicam menor escurecimento, menor atividade da enzima polifenoloxidase e maior concentração de compostos voláteis.

que interviene como sustrato el oxígeno molecular. La enzima responsable del pardeamiento enzimático, la que entra en contacto con el O_2 recibe el nombre de polifenoloxidasa (PFO), (Bauman, 1982). El daño en el tejido de la manzana que ocurre durante el procesamiento trae como consecuencia el aumento del contacto entre la enzima y el sustrato, incrementando por lo tanto el pardeamiento enzimático (Kim *et al.*, 1993). El control de la actividad de la PFO es importante en el procesamiento y en la conservación de los alimentos, ya que podría promover el oscurecimiento en frutas y sus subproductos. Gübeli (2012) reporta un valor de 7,5 como límite de pardeamiento aceptable. Otras reacciones de degradación de pigmentos, en particular carotenoides y clorofila, igualmente afectan el color de productos de manzana procesada (Cortés, 2008). Dado

que las melaninas formadas por la PFO afectan la venta, así como su calidad sensorial y nutricional, su estudio es importante, (Weemas *et al.*, 1999).

Debido a que los sabores naturales de la manzana se modifican durante el proceso de fabricación del jugo, el presente estudio fue llevado a cabo para conocer el efecto de la combinación de materia prima y del proceso para la obtención del jugo, sobre la concentración de compuestos volátiles (CV), sólidos solubles totales ($^{\circ}$ Brix), acidez titulable (porcentaje de ácido málico; %AM), actividad de polifenoloxidasa (PFO) y color del jugo, en comparación con el jugo recién extraído, cuyo sabor es preferido por el consumidor.

Materiales y Métodos

La presente investigación fue realizada con muestras de

jugo aportado por una empresa de Cuauhtémoc, Chihuahua, México. Las muestras obtenidas fueron de jugo recién extraído (RE), después del periodo de oxidación (OX) y después del proceso de pasteurización (PS). Para la obtención del jugo se emplearon las siguientes cinco combinaciones de manzanas:

C-1. 1600kg de manzana *Golden Delicious*, tamaño canica + 400kg de manzana *Red Delicious*, tamaño canica (oxidación 40min a 30°C).

C-2. 2000kg de manzana *Golden Delicious*, tamaño canica (oxidación con jugo de C-1).

C-3. 2000kg de manzana *Golden Delicious* tamaño estándar (oxidación 20min a 20°C).

C-4. 2000kg de manzana *Golden Delicious* tamaño estándar + 200kg de manzana *Red Delicious*, tamaño estándar (oxidación 30min a 21°C)

C-5. 2000kg de manzana *Golden Delicious*, tamaño estándar + 2000kg de manzana *Golden Delicious*, tamaño canica (oxidación 40min a 40°C).

El estudio se estableció bajo un diseño experimental en parcelas divididas, en donde las parcelas corresponden a cinco combinaciones de materia prima usadas (C1-C5) y las subparcelas a las etapas (RE, OX y PS) en el proceso de la elaboración de jugo. Las variables evaluadas fueron: sólidos solubles totales ($^{\circ}$ Brix), acidez titulable (% de ácido málico), compuestos volátiles, actividad enzimática y color del jugo.

Sólidos solubles totales

El contenido de sólidos solubles en el jugo de manzana se determinó con un refractómetro ATC-1E (Atago Ltd., Tokio, Japón) con una escala de 0-32 $^{\circ}$ Brix, a 22°C.

Acidez titulable

La medición de la acidez titulable se realizó en una muestra de 10 ± 0,1 ml de jugo de cada una de las repeticiones, diluidos en 50 ± 0,1 ml de agua destilada, mediante titulación, utilizando hidróxido de sodio 0,1N y fenoftaleína como indicador. Los valores se expresaron como % de ácido málico (% AM).

Compuestos volátiles

La concentración de compuestos volátiles (CV) en las manzanas se determinó por cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (Varian Saturn 2100D GC/MS), utilizando la técnica de microextracción en fase sólida (SPME). Para ello se colocaron 2 ml de muestra en viales de 4 ml conteniendo 0,65 g de NaCl y una barra magnética para su agitación. Para la adsorción de los compuestos volátiles del espacio de cabeza del vial se utilizó una fibra PDMS-DVB (65 µm, Supelco), que fue expuesta durante 60 min a temperatura ambiente con agitación. Los compuestos volátiles fueron posteriormente desorbidos en el puerto de inyección del cromatógrafo de gases equipado con una columna capilar Equity-1 (60 m × 0,25 mm × 0,25 µm; Supelco). Las condiciones para la cromatografía fueron: temperatura del inyector de 200 °C, temperatura inicial del horno de 33 °C sostenida durante 5 min, incrementando a 50 °C a razón de 2 °C/min, e incrementando nuevamente la temperatura a 250 °C a razón de 5 °C/min, sosteniéndola durante 6,5 min. Se utilizó helio como gas acarreador con una velocidad lineal de 30 cm·s⁻¹. Los espectros de masas se obtuvieron mediante ionización electrónica a 70 eV. Las temperaturas de la línea de transferencia y de la trampa de iones fueron 250 y 180 °C, respectivamente. La identificación de los compuestos volátiles se realizó por comparación de los espectros de masas obtenidos de las muestras contra los reportados en la biblioteca NIST 98. Todos los valores representan el promedio de tres repeticiones.

Actividad enzimática

El extracto enzimático se obtuvo de la mezcla de 10 ml de jugo de manzana con 10 ml de buffer Mellvaine, centrifugando por 10 min a 3900 rpm y filtrando el jugo con papel Whatman N° 1 de 125 mm de diámetro. Del extracto enzimático, 0,5 ml fueron colocados en una celda de cuarzo y se añadieron 2 ml de buffer Mellvaine y 1 ml de solución de catecol. Se midió el incremento de absorbancia a 420 nm por min por ml de muestra. Una unidad de actividad enzimática se define como el cambio en absorbancia a 420 nm por min por ml de jugo de muestra (Gui *et al.*, 2006).

$$UAE = \frac{m \times 6 \times 10^4}{Vol}$$

donde m: pendiente de gráfica de absorbancia de la reacción de polifenoloxidasas en función de tiempo y Vol: volumen del extracto enzimático usado en la celda (ml).

El porcentaje de inhibición enzimática se calculó como % de Inhibición = (AE inicial - AE tratamiento) × 100 / AE inicial donde AE inicial: cantidad enzimática que tiene el jugo de manzana recién molido, AE tratamiento: cantidad enzimática que tiene el jugo de manzana al ser oxidado o pasteurizado.

Color

Para medir el color se utilizó el colorímetro Minolta CR-300 en la escala CIE L*a*b*, donde L*: indicador de luminosidad; a*: cromaticidad en el eje verde (-) a rojo (+); b*:

cromaticidad en el eje azul (-) a amarillo (+). El colorímetro se fijó en un lugar con luz uniforme y un fondo blanco para colocar el recipiente de acrílico de forma cubica (10×10×10 cm) y un volumen de 65 ml de muestra. Fueron realizadas tres repeticiones por tratamiento.

Análisis estadístico

Para el análisis de los datos se utilizó el paquete estadístico SAS versión 9 (SAS Institute, Cary, NC, EEUU). Se realizó un análisis de varianza y comparación de medias de acuerdo a LSD Fisher, con un nivel de confiabilidad del 95% (alfa = 0,05).

Resultados y Discusión

La Tabla I muestra el %AM y los °Brix presentes en cada una de las cinco combinaciones estudiadas. Se puede observar que no hay un efecto significativo en el %AM después del proceso de pasteurización y que la combinación con mayor porcentaje de ácido málico fue C-4. En esta misma combinación se encontró el mayor contenido de °Brix después del proceso de pasteurización, al igual que en las combinaciones C-1 y C-3.

La Tabla II muestra los compuestos volátiles (CV) que fueron identificados en el jugo recién extraído y después de su pasteurización. Se puede observar que la abundancia relativa de los CV en las distintas combinaciones sufre cambios después del proceso de pasteurización. El total de la abundancia relativa de los CV se ve disminuida en C-2 y

C-3, en el caso de la C-2 el jugo fue oxidado con jugo de la combinación C-1, disminuyendo la concentración de CV un 35%. Por su parte, el jugo de la combinación C-3 tuvo el menor tiempo de oxidación (20 min) y la menor temperatura (20 °C) de las empleadas en este estudio, disminuyendo la concentración de CV un 37% después de ser pasteurizado. La combinación que obtuvo la mayor abundancia de CV fue C-4, la que después del proceso de pasteurización solo disminuyó en un 1% su concentración; el jugo se obtuvo de la combinación de manzana *Golden* tamaño estándar con manzana *Red Delicious* tamaño estándar, con tiempo de oxidación de 30 min y una temperatura de 21 °C.

Los principales compuestos que se produjeron en esta combinación en el jugo recién extraído fueron, por orden de abundancia: 1-butanol, hexanal, acetato de 3-metil butilo, 1-hexanol, acetato de hexilo y 2-hexenal, que representan el 92% del total de CV producidos en C-4. Estos compuestos han sido descritos con aroma dulce, a verde, dulce-frutal-manzana, fruta-ligeramente graso, dulce-frutal-floral y manzana verde, respectivamente (Rizzolo *et al.*, 1989). Después del proceso de pasteurización prevalecieron en abundancia estos mismos compuestos, modificándose su orden a: hexanal, acetato de 3-metil butilo, 1-hexanol, 1-butanol, 2-hexenal y acetato de hexilo, representando igualmente el 92% del total. La siguiente combinación en presentar mayor concentración de CV después del proceso de pasteurización fue la C-5, donde los

TABLA I
PARÁMETROS DE CALIDAD EN JUGO DE MANZANA RECIÉN EXTRAÍDO (RE) Y PASTEURIZADO (PS)

	Combinaciones									
	* C-1		C-2		C-3		C-4		C-5	
	** RE	PS	RE	PS	RE	PS	RE	PS	RE	PS
% AM	0,37 a	0,39 aA	0,44 a	0,44 aB	0,43 a	0,44 aB	0,46 a	0,47 aC	0,42 a	0,40 aA
°Brix	14,1 a	14,95 bA	15,2 a	14,1 bB	14,5 a	14,25 aAB	12,25 a	15 bA	14,25 a	14 aB

* Combinaciones de materia prima. ** Etapas del proceso.

Los valores representan la media de 3 repeticiones. Medias en la misma combinación con diferente letra minúsculas son significativamente diferentes p ≤ 0,05 (LSD). Medias en el jugo pasteurizado con diferente letra mayúscula son significativamente diferentes p ≤ 0,05 (LSD).

TABLA II
COMPUESTOS VOLÁTILES EN JUGO DE MANZANA RECIÉN
EXTRAÍDO (RE) Y PASTEURIZADO (PS)

Compuesto	Combinación 1		Combinación 2		Combinación 3		Combinación 4		Combinación 5	
	RE	PS	RE	PS	RE	PS	RE	PS	RE	PS
Acetato de etilo	Nd	Nd	1,03	1,17	2,08	1,30	0,10	1,30	3,27	3,00
Acetato de 2-metil propilo	Nd	2,90	4,45	3,03	5,18	2,98	7,23	7,05	Nd	Nd
Acetato de butilo	55,57	71,67	115,50	79,06	93,49	66,02	8,67	8,72	64,81	89,94
Hexanal	33,74	39,86	68,32	40,56	92,28	48,89	97,51	105,10	68,28	75,61
Acetato de 3-metil butilo	37,75	38,33	98,08	43,94	72,74	47,40	94,67	98,46	27,61	36,66
1-butanol	4,30	12,21	10,28	12,06	16,07	9,47	100,00	84,16	6,10	9,82
Acetato de pentilo	2,61	2,24	4,43	1,74	4,20	2,90	0,17	1,78	2,87	3,77
2-metil butanol	3,69	9,42	11,08	13,87	14,08	8,51	11,43	14,35	3,36	5,99
2-hexenal	18,14	32,39	48,63	41,71	44,06	23,48	53,89	53,93	25,88	21,54
6-metil 5-hepten 2-ona	0,66	0,59	1,51	0,43	0,59	0,44	0,70	1,19	0,00	0,46
Acetato de hexilo	48,45	28,49	66,72	18,48	49,17	34,80	74,47	52,13	69,95	58,89
1-hexanol	43,77	90,08	110,10	94,47	135,70	80,98	78,28	93,28	67,77	105,30
2-hexanol	0,82	1,27	5,69	1,31	3,56	0,58	2,66	1,07	1,29	0,57
1,3,3 Trimetil norcamphon	0,83	0,77	1,69	0,86	0,54	0,58	Nd	Nd	1,00	1,04
Butanoato de hexilo	1,39	0,59	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	0,86	Nd
2-metil 6-hepten-1-ol	2,17	4,10	7,78	4,83	6,04	4,79	5,44	5,65	2,74	4,21
2,6 dimetil 7-octen-2-ol	2,83	2,81	0,12	0,16	0,69	3,37	4,73	4,45	3,69	1,01
2-etil 1-hexanol	1,78	3,05	0,69	1,66	1,07	2,06	2,35	3,83	1,84	2,07

Concentración relativa, calculada como la relación del área del pico cromatográfico del compuesto identificado, con el total del área de los picos cromatográficos de todos los compuestos. Nd: no detectado

principales volátiles por orden de abundancia fueron: 1-hexanol, acetato de butilo, hexanal, acetato de hexilo, acetato de 3-metil butilo y 2-hexenal, que constituyeron el 92% del total. En este caso la descripción de aroma sería en el siguiente orden: fruta-ligeramente graso, frutal-etéreo, verde, dulce-frutal-floral, dulce-frutal-manzana y manzana verde (Rizzolo *et al.*, 1989).

Su y Wiley (1998) señalan que durante los tratamientos de temperatura y pasteurización se activan enzimas que parecen inducir la oxidación de lípidos en el jugo de manzana y enriquecer sabores. En el presente estudio después del proceso de pasteurización, se tuvo un incremento de compuestos volátiles solo en las combinaciones C-1 y C-5. En ambos casos, el

tratamiento de oxidación tuvo el mayor tiempo 40min.

En la Figura 1 se muestran los resultados de Luminosidad (L*), las tres primeras combinaciones en las distintas etapas del proceso. Las mismas mostraron datos similares con valores entre 44,04 y 48,87, lo que indica que los jugos provenientes de estas combinaciones de manzana tuvieron menor

luminosidad que las C-4 y C-5, cuyos valores van desde 82,61 hasta 97,26. Una disminución del valor de L* se asocia a un aumento del pardeamiento enzimático (Kim *et al.*, 1993).

En la Figura 2 se muestra que la combinación C-1 obtuvo los valores de a* más altos, lo cual indica que el color de este jugo tiende a ser de un color rojo más intenso, seguido de la C-3 y C-2. Por su parte, C-4 y C-5 disminuyen en el valor de a*, ya que el color de estos jugos tienden hacia la tonalidad anaranjada. La etapa de oxidación (OX), tiene gran influencia sobre el parámetro a*: el valor en la combinación C-1 se reduce, lo que implica que el color del jugo tienda a rojo más pálido; en C-2 y C-3, los valores aumentan cerca del doble, lo que hace que el color de estos jugos se vuelva un rojo más fuerte. Un comportamiento similar, pero con un mayor incremento en el valor de a*, se observó en C-4 y C-5, las cuales muestran valores después de la etapa de oxidación, que van hacia un jugo de color rojo oscuro. En la etapa final de pasteurizado (PS) los valores de las combinaciones 1, 2, 3 y 5 se reducen, lo que origina un jugo de color rojo claro; el valor en C-4

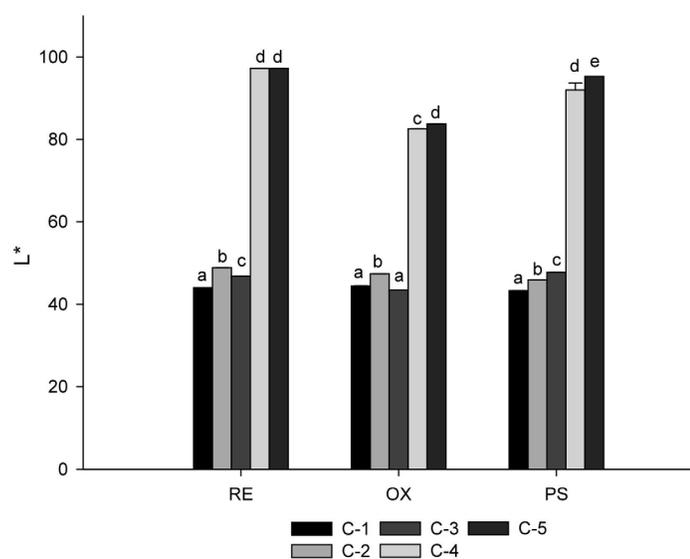


Figura 1. Luminosidad (L*) en jugo de manzana en diferentes etapas del proceso: recién extraído (RE), oxidado (OX) y pasteurizado (PS), en las distintas combinaciones de jugo (C-1 a C-5). Las barras verticales representan \pm ES. Medias en una misma etapa del proceso, con diferentes letras son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$; LSD).

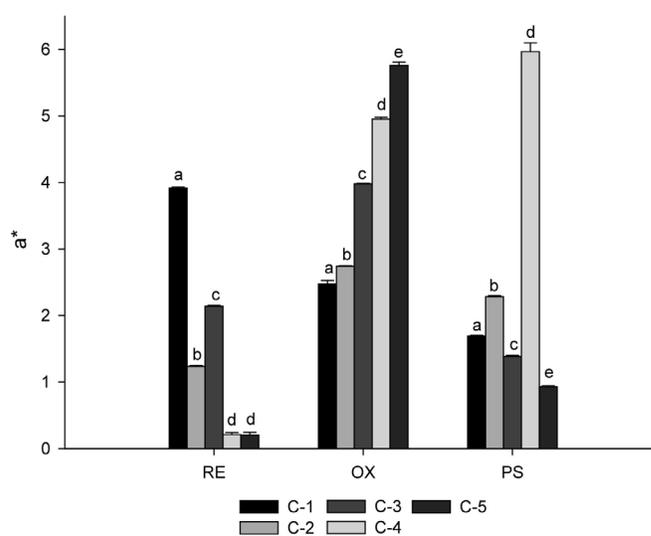


Figura 2. Valor de a* = coordenadas rojo/verde (+a indica rojo, -a indica verde), en jugo de manzana en diferentes etapas del proceso: recién extraído (RE), oxidado (OX) y pasteurizado (PS), en las distintas combinaciones de jugo (C-1 a C-5). Las barras verticales representan \pm ES. Medias en una misma etapa del proceso, con diferentes letras son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$; LSD).

aumenta, cambiando su color a una tonalidad rojo oscuro. Un incremento en el valor de a^* puede ser causado por la degradación de pigmentos de clorofila (Cortés, 2008). El jugo obtenido de las diferentes combinaciones de manzana se considera con pardeamiento en las distintas etapas del proceso. El límite de aceptabilidad pardeamiento reportado es de 0,1 hasta 7,5 (Gübeli, 2012). De acuerdo con este valor, el jugo que más se acerca al límite es el obtenido con C-5.

En la Figura 3 se observa que cuando el jugo está recién extraído (RE), la combinación C-1 tiene los valores más altos en el parámetro b^* , seguido de C-3 y C-2, mientras que C-4 y C-5 muestran los valores más bajos. Cuando es oxidado (OX), únicamente C-1 muestra una disminución, mientras que las cuatro combinaciones restantes se elevan, siendo las C-2 y C-3 las que presentan valores altos; estos jugos fueron hechos con la misma variedad de manzana *Golden Delicious*. Al ser pasteurizado el jugo (PS), todas las combinaciones disminuyen el valor de b^* e incluso C-4 presenta valores negativos, pero es C-5, la combinación que al final del proceso

presenta el valor que representa menor pardeamiento. Esta combinación es de manzana *Golden Delicious*.

Cuando el jugo se oxidó solo disminuyó C-1; las cuatro combinaciones restantes tuvieron un incremento en el valor de b^* , aclarándose el jugo. Después del proceso de pasteurización todas las combinaciones presentan una disminución en el valor de b^* , e incluso C-4 muestra valores negativos, lo que indica que esta combinación tiende a tener mayor pardeamiento.

Como se muestra en la Figura 4, C-5 presenta la mayor actividad de PFO del jugo recién extraído. Cuando el jugo se oxida (OX) la actividad de la enzima en todos los jugos disminuye, a excepción de la combinación C-2, que permanece constante. Está combinación, al haber sido oxidada mediante la mezcla con el jugo de C-1, se mantuvo en una temperatura de 30°C, a diferencia de las otras combinaciones. En la última etapa de pasteurización, todas las combinaciones tienen valores menores en la actividad de la PFO. En ninguna de las combinaciones se inhibe totalmente la actividad enzimática, las combinaciones

1, 2, 4 y 5 mostraron valores muy bajos de pardeamiento; solo C-2 presentó valores más altos. Como ya se mencionó, a diferencia del resto, en esta combinación no se utilizó temperatura para ser oxidada, se usó jugo de C-1, lo que podría ser el determinante de la presencia de actividad enzimática.

Conclusiones

El jugo elaborado con la combinación de manzanas *Golden Delicious* de tamaño canica y estándar fue el que presentó los mejores valores de $L^*a^*b^*$, indicativos de menor pardeamiento, menor actividad de la enzima polifenoloxidasas y de los valores más altos de compuestos volátiles. Sería recomendable establecer un modelo de seguimiento uniforme para la elaboración de este jugo, con características similares, en la medida de lo posible, a las utilizadas en estas combinaciones, donde se utilizó un tiempo de oxidación de 40min a 40°C antes del proceso de pasteurización.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C. Cuahtémoc y a PRODEP UACH-PTC-315.

REFERENCIAS

- Abrodo PA, Llorente DD, Corujedo SJ, de la Fuente ED, Álvarez MDG, Gomis DB (2010) Characterisation of Asturian cider apples on the basis of their aromatic profile by high-speed gas chromatography and solid-phase microextraction. *Food Chem.* 121: 1312-1318.
- Arévalo MA, Barreto AA, Carranza CJ, García VJ (2012) Efecto de la relación sólido/líquido y tiempo de residencia en la pérdida de sólidos solubles y eliminación de melanina por adsorción con carbón activado en jugo de manzana pardeado. *Agroind. Sci.* 27: 139-145.
- Bauman JW (1982) *Enzyme and Food Processing Products*. Londres, RU. pp. 272-276.
- Cortés RM, Chiralt BA (2008) Cinética de los cambios de color en manzana deshidratada por aire fortificado con vitamina E. *Vitae* 15: 8-16.
- De Pooter HL, Van Acker M, Schamp NM (1987) Aldehyde metabolism and the aroma quality of stored Golden Delicious apples. *Phytochemistry* 26: 89-92.
- Dixon J, Hewett E (2000) Factors affecting apple aroma/flavour volatile concentration: a review. *J. Crop. Hortic. Sci.* 28: 155-173.
- FAOSTAT (2014) *Statistics Database on the Worldwideweb*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/browse/Q/QC/S>
- Flath RA, Black DR, Guadagni DG, McFadden WH, Schultz TH (1967) Identification and organo-

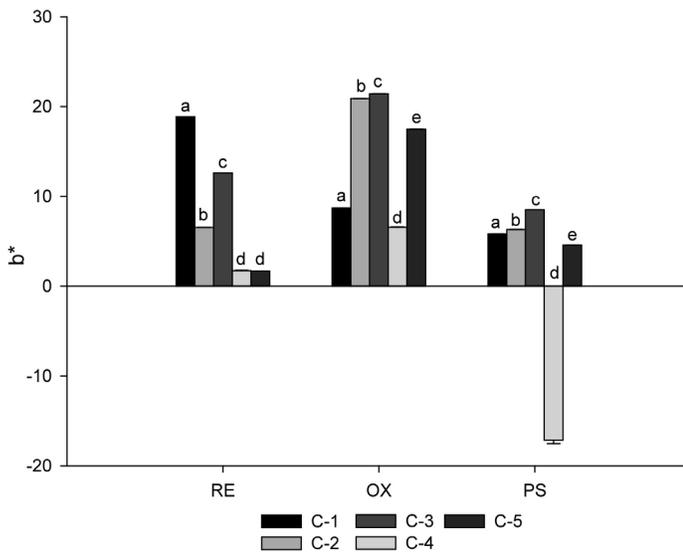


Figura 3. Valor de b^* = coordenadas amarillo/azul (+b indica amarillo, -b indica azul), en jugo de manzana en diferentes etapas del proceso: recién extraído (RE), oxidado (OX) y pasteurizado (PS), en las distintas combinaciones de jugo (C-1 a C-5). Las barras verticales representan \pm ES. Medias en una misma etapa del proceso, con diferentes letras son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$; LSD).

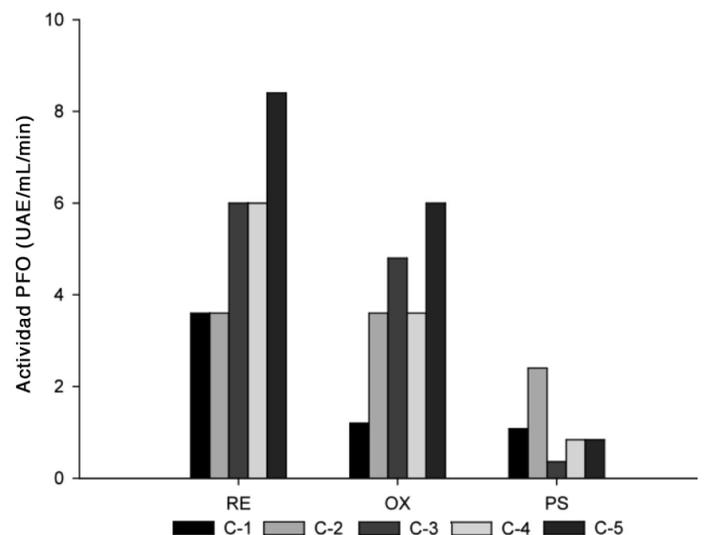


Figura 4. Actividad enzimática, en jugo de manzana en diferentes etapas del proceso: recién extraído (RE), oxidado (OX) y pasteurizado (PS), en las distintas combinaciones de jugo (C-1 a C-5).

- leptic evaluation of compounds in Delicious apple essence. *J. Agric. Food Chem.* 15: 29-35.
- Forney CF, Mattheis JP, Baldwin AE (2009) Effects on flavor: En Yahia EM (Ed.) *Modified and Controlled Atmospheres for the Storage, Transportation, and Packaging of Horticultural Commodities*. CRC. Boca Ratón, FL, EEUU. pp. 119-159.
- Gübeli GI (2012) *Efecto del Uso de Agentes Antipardeantes y Atmósfera Modificada sobre el Pardeamiento Enzimático en Cascos de Manzana "Royal Gala"*. Tesis. Universidad de Chile. 116-117 pp.
- Gui F, Wu J, Chen F, Liao X, Hu X, Zhang Z, and Wang Z (2006) Change of polyphenol oxidase activity, color, and browning degree during storage of cloudy apple juice treated by supercritical carbon dioxide. *Eur. Food Res. Technol.* 223: 427-432.
- Kim DM, Smith NL, Lee CY (1993) Quality of minimally processed apple slices from selected cultivars. *J. Food Sci.* 58: 1115-1117.
- Nikfardjam MP, Maier D (2011) Development of a headspace trap HRGC=MS method for the assessment of the relevance of certain aroma compounds on the sensorial characteristics of commercial apple juice. *Food Chem.* 126: 1926-1933.
- Pérez AG, Sanz C (2008) Formation of fruit flavor: en Bruckner B, Grant W S (Eds.) *Fruit and Vegetable Flavour*. Cambridge, RU. pp. 41-70.
- Rizzolo A, Polesello A, Teleky-Vamosy GY (1989) CGC/Sensory analysis of volatile compounds developed from ripening apple fruit. *J. High Resol. Chrom.* 12: 824-827.
- Rowan DD, Allen JM, Fielder S, Hunt MB (1999) Biosynthesis of straight-chain volatiles in 'Red Delicious' and 'Granny Smith' apples using deuterium-labeled precursors. *J. Agric. Food Chem.* 47: 2553-2562.
- SIAP (2014) Servicio de Información Alimentaria y Pesquera. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. México. www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/
- Su SK, Wiley RC (1998) Changes in apple juice flavor compounds during processing. *J. Food Sci.* 63: 688-691.
- Toribio J, Lozano E (1984) Non-enzymatic browning in apple juice concentrate during storage. *J. Food Sci.* 49: 889-892.
- Unifrut (2007) Unión Agrícola Regional de Fruticultores del Estado de Chihuahua. México. www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Documents/Estudios_promercado/UNIFRUT.pdf
- Weemas CA, Ludikhuyze LR, Van den Broeck, Hendrickx ME (1999) High pressure inactivation of polyphenoloxidases. *J. Food Sci.* 63: 873-876.