

DOI:10.18684/BSAA(14)125-134

CAMBIOS FÍSICOS Y FISCOQUÍMICOS DURANTE EL ALMACENAMIENTO EN PLÁTANO IMPREGNADO AL VACÍO CON SOLUCIONES ANTIOXIDANTES

PHYSICALS AND PHYSICO-CHEMICAL CHANGES DURING STORAGE ON PLANTAIN ANTIOXIDANT SOLUTIONS VACUUM IMPREGNATED

MUDANÇAS FÍSICAS E FÍSICO QUÍMICAS DURANTE AS SOLUÇÕES DE ARMAZENAMENTO BANANA COM VÁCUO IMPREGNADAS ANTIOXIDANTES

RENE M. DÁVILA M.¹, MISAEL CORTÉS R.², JESUS H. GIL G.³

RESUMEN

Para introducir las frutas frescas cortadas a los mercados es necesario asegurar que su calidad visual no sea alterada por el proceso de pelado y cortado, y además debe asegurarse la calidad fisicoquímica del producto. Se evaluaron propiedades fisicoquímicas y físicas de la pulpa de plátano verde (PPV), previa impregnación al vacío (IV) con dos soluciones conteniendo antioxidantes (1: sulfitos 500 mg/kg PPV fresco, 2: mezcla de 90 mg ácido ascórbico y 100 mg ácido cítrico/kg PPV fresco) más conservantes, NaCl y EDTA, empacada con y sin vacío (CV y SV), y almacenadas a 4°C, durante 0, 3, 6, 9, 12 y 15 días; además, se compararon

Recibido para evaluación: 24 de febrero de 2015. **Aprobado para publicación:** 5 de Agosto de 2016.

- 1 Instituto Universitario de la Paz, Escuela de Ingeniería Agroindustrial, Grupo de Investigación en innovación, Desarrollo Tecnológico y Competitividad en Sistemas de Producción Agroindustrial (GIADAI). M.Sc. Ciencia y Tecnología de Alimentos, Docente. Barrancabermeja, Colombia.
- 2 Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agrarias, Departamento de Ingeniería Agrícola y Alimentos, Grupo de Investigación de Alimentos Funcionales (GAF). Doctor en Ingeniería de Alimentos. Medellín, Colombia.
- 3 Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agrarias, Departamento de Ingeniería Agrícola y Alimentos, Grupo de Investigación SIMBIOMENA. Doctor en Química. Medellín, Colombia.

Correspondencia: e-mail: mcortesro@unal.edu.co

con PPV sin impregnación a las mismas condiciones de almacenamiento. Se presentó una tendencia a disminuir el pH y el contenido de sulfitos, y aumentar los °Brix, la acidez y la actividad enzimática, mientras que la aw y la humedad no presentaron cambios significativos. Los tratamientos que controlaron el pardeamiento enzimático durante 15 días en la PPV fueron todos aquellos a condiciones de empaquetado CV, además del tratamiento con sulfitos SV. Las muestras impregnadas con la solución de sulfitos y empaquetadas CV y SV, presentaron la mayor firmeza, haciendo de estos tratamientos los más adecuados para utilizar la PPV mínimamente procesado como materia prima en la industria de los snack.

ABSTRACT

To insert the fresh cut fruit to markets is necessary to ensure that visual quality is not altered by the process of peeled and sliced; and also must ensure physical chemistry product quality. It was evaluated the physico-chemical and physic properties of the pulp of green plantain (PPV), after vacuum impregnation (IV) with two solutions containing antioxidants (1: Sulfites 500 mg/kg PPV fresh, 2: mixture of 90 mg and 100 mg ascorbic acid citric acid / kg PPV fresh) plus preservatives, NaCl and EDTA, with and without vacuum packed (CV and SV), and stored at 4°C for 0, 3, 6, 9, 12 and 15 days; in addition, it was compared with PPV without impregnating the same storage conditions. There was a tendency to decrease the pH and content of sulphites, and increase the °Brix, acidity and enzyme activity, while the a_w and humidity showed no significant changes. Treatments controlled enzymatic browning for 15 days in the PPV were all those conditions packaged CV, besides to treatment with sulfites SV. The samples impregnated with the sulfite solution and packed CV and SV, had the higher strength, making these the most appropriate treatments for minimally processed PPV use as feedstock in the snack industry.

PALABRAS CLAVE:

Ingeniería de matrices, Sulfitos, Ácido ascórbico, Ácido cítrico.

KEYWORDS:

Matrix engineering, Sulfites, Ascorbic acid, Citric acid.

PALAVRAS CHAVE:

Engenharia Matrix, Sulfitos, Ácido ascórbico, Ácido cítrico.

RESUMO

Para intrar no mercado para "frutas frescas picadas é necessário garantir que a qualidade visual não é alterada pelo processo de descascados e cortados; e também deve garantir qualidade física química do produto. Avaliadas as propriedades físicas e químicas da polpa de banana verde (PPV), após impregnação a vácuo (IV) com duas soluções que contenham antioxidantes (1: 500 Sulfitos PPV recente mg/kg, 2: mistura de 90 mg e 100 mg de ácido cítrico/kg PPV recente) mais conservantes, NaCl e EDTA, embalado com e sem vácuo (CV e SV), e armazenados a 4°C por 0, 3, 6, 9, 12 e 15 dias também compararam com PPV sem impregnação para as mesmas condições de armazenamento. E uma tendência para diminuir o pH e conteúdo de sulfitos, e aumentar a atividade acidez Brix, enquanto que a aw e umidade não apresentou alterações significativas. Tratamentos controlados escurecimento enzimático por 15 dias no PPV foram todas essas condições embalados CV, além de tratamento com sulfitos SV. As amostras impregnadas com a solução de sulfito e embalados CV e SV, mostrou mais força, fazendo estes tratamentos o mais adequado para uso PPV minimamente processados como matéria-prima na indústria de snack.

INTRODUCCIÓN

El plátano (*Musa paradisiaca*) es un cultivo de relevancia en la alimentación básica de la población de los países en vía de desarrollo, ya que proporciona gran parte de los carbohidratos requeridos (45-65%) en la ingesta diaria [1]; además es importante para los hogares y los pequeños y medianos productores de los países tropicales, al contribuir con la seguridad alimentaria, el autoempleo e ingresos anuales de los hogares [2]. En Colombia, la producción de plátano es cercana a 2,9 toneladas/año y abarca desde los cultivos de economía campesina hasta la producción de tipo empresarial, cuyos destinos incluyen la comercialización interna, las exportaciones y el uso como materia prima por parte de la industria. El plátano representa una buena fuente de vitaminas A, C, B1, B6 y carbohidratos (25,5%), además de minerales como potasio, magnesio y fósforo, así como en ácido málico, ácido fólico y fibras solubles e insoluble (6,5-15,5%) [3] y posee un buen aporte de energía debido a su contenido en almidón (40,9-58,5%) [4]. Por otro lado, el plátano tiende a pardearse rápidamente durante la manipulación, operaciones de pelado y rebanado, e incluso en almacenamiento, disminuyendo así considerablemente la calidad comercial de la fruta [5], siendo este pardeamiento especialmente atribuido a la oxidación de compuestos fenólicos por acción de la enzima polifenol oxidasa (PFO), la cual cataliza la conversión de fenoles a sus correspondientes quinonas, que son compuestos altamente reactivos que finalmente se polimerizan a melaninas [6]. Las relaciones entre contenidos fenólicos, actividad de la PFO, pH, temperatura e índice de pardeamiento han sido estudiadas por varios autores en diferentes frutas [7, 8, 9]. Varias estrategias se han empleado para el control del pardeamiento enzimático en frutas y vegetales mínimamente procesadas, entre ellas se encuentran: tratamientos térmicos, luz ultravioleta, recubrimientos comestibles y agentes químicos como ácidos carboxílicos y fenólicos, compuestos azufrados (tioles y sulfitos) y resorcinoles entre otros [9].

La impregnación a vacío (IV) permite incorporar en forma controlada y rápida líquidos externos, en estructuras porosas de tejidos animales y vegetales. El proceso actúa mediante el mecanismo hidrodinámico (MHD) debido a los cambios de presión y consiste en una transferencia de masa del líquido externo al interior de la matriz y de fase gaseosa o líquido nativo desde el interior de la matriz hacia el líquido externo [10]. La IV está afectada por factores como concentración, temperatura, presión

de vacío, tiempo, la cantidad y agitación de la SI, entre otros, y como consecuencia del proceso, las frutas y vegetales logran cambios composicionales, funcionales, sensoriales, microestructurales y en general de los atributos de calidad de la matriz de los alimentos [11, 12]. Investigaciones con diferentes objetivos han sido realizadas en estructuras porosas: plátano [13], manzana [14], uchuva [10, 15], papa [16], fresa [17], entre otros. El objetivo del presente trabajo es evaluar la influencia de soluciones antipardeantes, sobre las propiedades fisicoquímicas y físicas de la pulpa de plátano verde (PPV) impregnado al vacío, durante el almacenamiento a 4°C, tiempos de 0, 3, 6, 9, 12 y 15 días, empacados con y sin vacío (CV y SV).

MÉTODO

Se utilizaron plátanos (*Musa paradisiaca*) procedentes de Urabá (Antioquia, Colombia), con un estado de madurez verde [18]. Los frutos sin corteza, fueron acondicionadas a una forma cilíndrica con un peso de $36,8 \pm 0,54$ g, $f = 35,85 \pm 0,99$ mm y longitud 50 mm.

El proceso IV se realizó en un equipo piloto con una capacidad instalada de 10 kg/h. La respuesta a la IV, se determinó en función de la fracción volumétrica de impregnación (m^3 líquido impregnado/ m^3 PPV_{fresco}) en la etapa de vacío (X_1) y al final de proceso (X), de la deformación volumétrica (γ_1 y γ) (m^3 muestra impregnada/ m^3 muestra inicial) y de la porosidad efectiva (ϵ) (m^3 gas/ m^3 PPV_{fresco}). Se aplicaron 5 min tanto en la etapa de vacío (4,186 kPa) como a presión atmosférica local (85,326 kPa). Las formulaciones de las SI se diseñaron a partir de una solución isotónica de NaCl (1,6%) con igual a_w que la PPV ($0,993 \pm 0,001$), además con composiciones del conservante y secuestrante de O₂ que permita incorporar durante el proceso 1000 mg de benzoato de sodio y 75 mg de EDTA por kg PPV_{fresco}. La composición del metabisulfito de sodio se fijó bajo el criterio de incorporar 500 mg de sulfito/kg PPV_{fresco}; mientras que para la mezcla se fijó el criterio de incorporar 90 mg de AA y 100 mg de AC/100 g de PPV_{fresco}. Las composiciones de los componentes en las SI se determinaron a partir de un balance de materia en el sistema PPV – SI, según metodología descrita por Cortés (2004) [10].

La caracterización fisicoquímica se realizó en términos de acidez (g ácido málico/100 g PPV) según la NTC 4623 [20]; el pH según la norma AOAC 981.12, 1990 [21]; la humedad según la norma AOAC 7.003 y

930.15 adaptado (AOAC, 1996) [22]; los sólidos solubles según la NTC 4624 (ICONTEC, 1999) [23]; actividad de agua (a_w) con un higrómetro de punto de rocío a 25°C, AquaLab Decagón serie 3TE (AOAC 978.18M, 1996) [24]; la densidad aparente por la relación masa de la muestra y volumen desplazado; la densidad de la SI por el método del picnómetro a 20°C (AOAC 945.06, 1990) [25]. La determinación de la actividad enzimática de la PFO se determinó por espectrofotometría a 420 nm (30°C), utilizando el método de Ng y Wong (2015) [26], donde los extractos fueron analizados por triplicado. El contenido de sulfitos [SO_2] se determinó según el método iodométrico descrito por Musagala *et al.* (2013) [27], el cual consiste en la determinación de SO_2 por valoración directa con yodo.

Por otro lado, el producto se caracterizó en términos de propiedades físicas como el color y textura. El color se determinó utilizando el espectrofotómetro X-RITE modelo SP-64, EE. UU, iluminante D_{65} , observador de 10° y una ventana de observación de 4 mm. A partir del espectro de reflexión de las muestras se determinaron las coordenadas de color CIE-L*a*b* y las coordenadas polares tono ($h_{ab}^* = \arctg [b^*/a^*]$) y croma o saturación ($C_{ab}^* = [a^{*2} + b^{*2}]^{1/2}$). Las lecturas de los parámetros de color se realizaron en la zona superficial de la PPV en 3 lotes o replicas, a razón de 5 muestras/lote y 4 lecturas /muestra, para un total de 60 lecturas para cada condición de almacenamiento. La textura se realizó a partir de ensayos de punción en un analizador de textura TA.XT2 Stable Micro Systems (SMS), utilizando un embolo metálico de 2 mm de diámetro y una velocidad de 2 mm/s hasta penetrar 10 mm en la zona superficial (trancos) y hasta 6 mm en la zona radial (tajadas). En todos los casos se registro la fuerza máxima (gf).

Las muestras de PPV impregnado fueron almacenadas a temperaturas de 4°C, con tiempos 0, 3, 6, 9, 12 y 15 días y empacadas con y sin vacío (CV y SV respectivamente), utilizando bolsas plásticas multicapa de poliamida-polietileno marca Alico S. A., con barrera al vapor de agua ($< 15 \text{ g/m}^2/24\text{h/atm}$, $T = 38^\circ\text{C}$), O_2 ($60 \text{ cc/m}^2/24\text{h/atm}$, 23°C), N_2 y CO_2 . Se evaluó la efectividad de los tratamientos, comparando las propiedades con patrones de referencia correspondientes a muestras de PPV sin tratamiento empacadas CV y SV. Durante el almacenamiento se aplicó un diseño factorial 6x6, en función de los factores: tiempo (0, 3, 6, 9, 12 y 15 días) y tratamiento (patrón, sulfitos y la mezcla de ácido ascórbico y ácido cítrico en condiciones de empacado CV y SV) y de las variables dependientes:

parámetros fisicoquímicos y físicos. El análisis de datos se realizó utilizando el programa Statgraphics Centurium (XV), con un análisis de varianza de dos vías y la técnica de comparaciones múltiples con un nivel de confianza del 95% y un nivel de potencia del 80%. Se realizaron 3 réplicas por combinación de factores.

RESULTADOS

El cuadro 1 presenta los valores promedios y las desviaciones estándar de X , X_1 , γ , γ_1 y ϵ_e en muestras impregnadas con la solución isotónica.

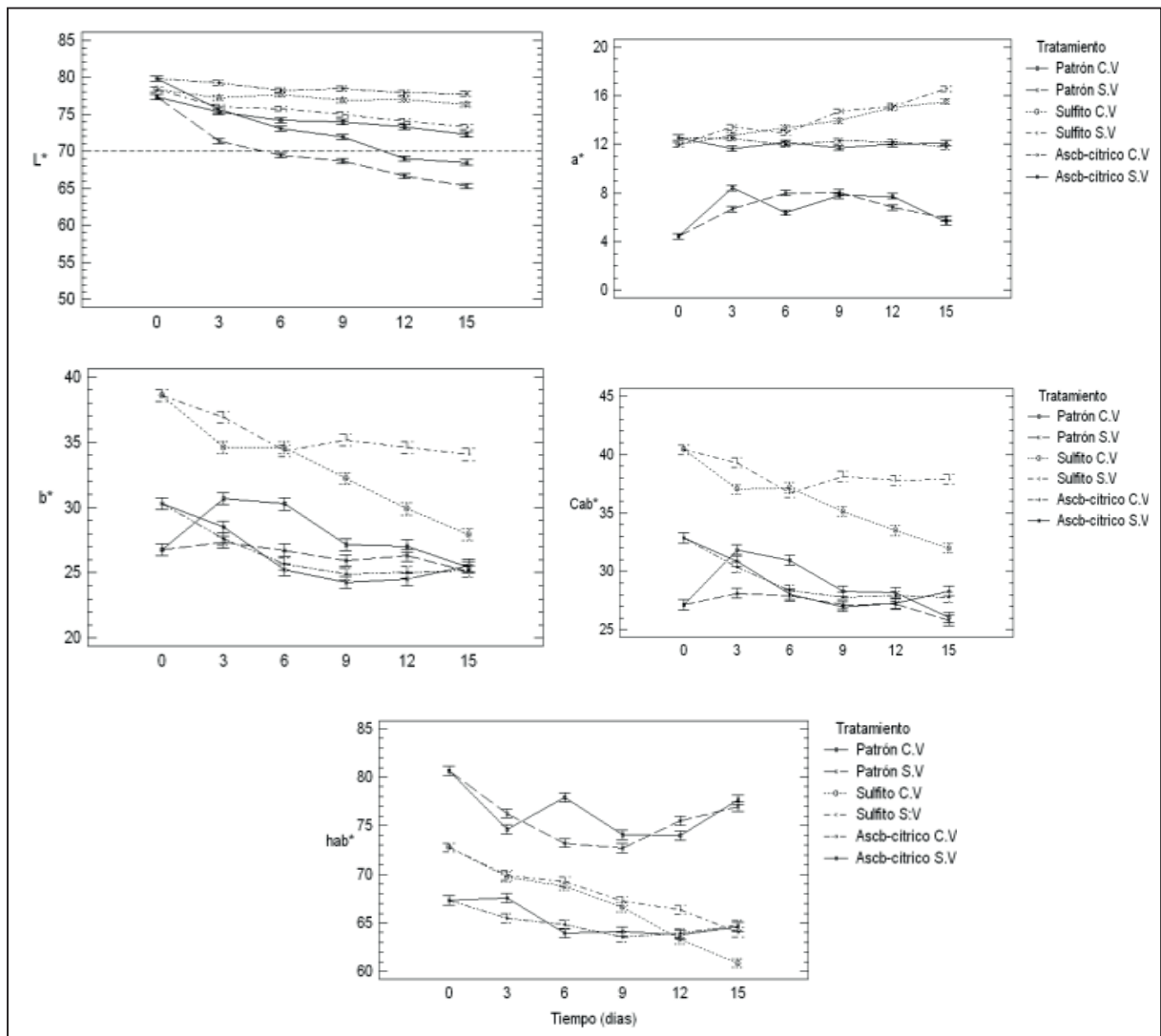
Durante la etapa de vacío, el valor de X_1 reflejó salida de líquido nativo desde el interior, experimentando la matriz una expansión volumétrica ($\gamma_1 > 0$); por otro lado, el acoplamiento del MHD y el fenómeno de deformación relajación producen una contracción volumétrica ($\gamma < 0$) y valores de X y ϵ_e equivalente a $10,1 \pm 1,6$ y $18,4 \pm 5,1\%$, que denotan la disponibilidad de la matriz de la PPV a la incorporación de componentes en la SI de estudio, durante el proceso IV. Los valores de X de la PPV comparados con otras estructuras alimentarias impregnadas con soluciones isotónicas, fueron mayores que los obtenidos en papa ($2,71 \pm 0,67\%$) [28] y fresa ($1,5 \pm 0,3\%$), y menores que en hongos (*Pleurotus ostreatus*) $31,2 \pm 10,7$ [29]. La figura 1 presenta los valores medios con intervalos LSD (95%) de los parámetros de color para la PPV en función del tiempo y tratamientos (Patrón CV, Patrón SV, Sulfito CV, Sulfito SV, Ascb-Cítrico CV, Ascb-Cítrico SV). El ANOVA presentó diferencias significativas ($p < 0,05$) en el parámetro L^* con respecto a los factores tiempo y tratamiento, siendo en todos los casos los valores menores con el incremento del tiempo.

Un estudio preliminar de almacenamiento de PPV fresco estableció al parámetro L^* como el de mayor importancia en el fenómeno de pardeamiento y fijó un $L^*_{crítico}$ en 70, como valor mínimo de aceptación co-

Cuadro 1. Parámetros de IV en PPV con la solución isotónica de NaCl (1,6%).

X (%)	X_1 (%)	γ (%)	γ_1 (%)	ϵ_e (%)
10,1±1,6	-0,3±1,4	-7,2±3,6	1,7±3,3	18,4±5,1

Figura 1. Evolución del color de PPV a 4°C en función de los tratamientos y el tiempo.



mercial [13]. La PPV impregnada con la SI con sulfitos cumplió con el $L^*_{\text{crítico}}$ durante los 15 días de almacenamiento en ambas condiciones de envasado (CV: $76,3 \pm 0,9$; SV: $73,3 \pm 0,7$). Los iones $S_2O_5^{2-}$ actúan como agentes blanqueadores sobre algunos pigmentos que al reaccionar producen formas sulfónicas en diversas posiciones que son incoloras; por otro lado, inhiben especialmente las reacciones de oscurecimiento producidas por la enzima PFO, reduciendo las quinonas y transformándolas en compuestos incoloros (quinona-sulfito) [30, 31] que evitan que la quinona se polimerice; otro mecanismo indica que el sulfito inhibe directamente la enzima alterando su estructura proteica [32]. Por otro lado, los tratamientos con las mezclas de ácidos y el patrón en condiciones CV tam-

bién fueron efectivos en el control del pardeamiento durante los 15 días. Este fenómeno se debe a que los tratamientos con interacciones (ácido cítrico y ascórbico) inhiben la reacción que actúa sobre el sustrato; al reconvertir las quinonas en fenoles [33].

El ácido cítrico es un acidulante que junto con sus sales de sodio y potasio actúan como preservativos en la acción de agentes quelantes para atrapar metales extraños que causan turbiedad deteriorando el color de la pulpa; además actúa como agente regulador del pH y en presencia de ácido ascórbico generan un efecto sinérgico, en la decoloración de las frutas y vegetales, actuando de igual manera como agentes retenedores de vitaminas, evitando la oxidación enzimática

en alimentos y por ende la degradación del color [34], debido que está disponible para una oxidación energéticamente favorable donde las especies de oxígeno reactivas se oxidan a partir del ascorbato, formando primero monodehidroascorbato y posteriormente dehidroascorbato. Las especies de oxígeno reactivas son reducidas a agua, mientras que las formas oxidadas del ascorbato son relativamente estables y no reactivas, por lo que no causan daño celular conservando sus propiedades organolépticas. Las condiciones CV en todos los casos fueron más efectivas que las SV, debido al efecto inhibitor dado las bajas presiones parciales de O_2 , inhibiendo la acción de la PFO [35].

Los tratamientos menos efectivos fueron la mezcla de ácidos y el patrón en condiciones de envasado SV, alcanzando el $L^*_{crítico}$ a los 10,5 y 5,3 días, respectivamente; debido que la actividad fisiológica del fruto a temperaturas de refrigeración son menores; la condición SV permite el intercambio de O_2 del exterior al interior del empaque; sin embargo, con el aumento del tiempo de almacenamiento no sólo se ve afectado el índice de respiración de la PPV sino que se incrementa la actividad de enzimas oxidativas como la PFO [36] y desencadena reacciones espontáneas de formación de quinonas. Se considera que el efecto sobre el pardeamiento por la presencia de O_2 es mayor que el efecto inhibitor del antioxidante y acidulante, resultando en menores tiempos donde el color tiene la aceptación comercial.

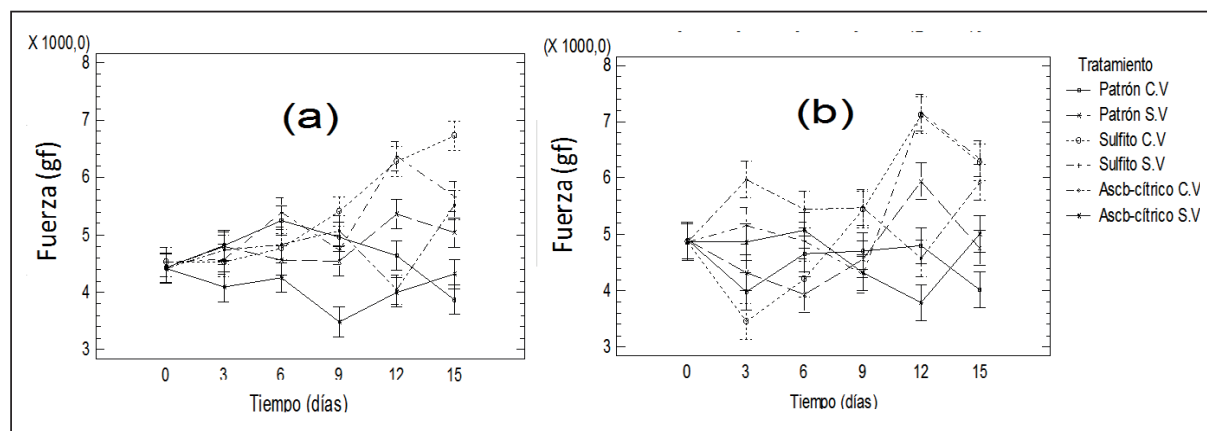
La evolución del color en el plano cromático a^*b^* de las muestras empacadas CV, muestra que la PPV impregnada con sulfitos, tiene un desplazamiento desde la zona amarilla hasta los límites de las zonas amarilla-gris-roja ($a^*:12,0\pm 1,1\rightarrow 15,5\pm 1,5$; $b^*: 38,6\pm 2,3\rightarrow 27,9\pm 2,0$); mientras que la PPV impregnada con

la mezcla de ácidos ($a^*:12,6\pm 1,2\rightarrow 11,8\pm 0,8$; $b^*:30,3\pm 2,7\rightarrow 25,1\pm 2,4$) y la muestra patrón CV ($a^*:4,4\pm 1,0\rightarrow 5,6\pm 1,1$; $b^*:26,8\pm 2,2\rightarrow 25,4\pm 1,5$), el desplazamiento ocurre desde los límites de las zonas amarilla-gris hacia la zona de los grises. Para este envasado se presenta una tendencia a disminuir la saturación de color ($<<C_{ab}^*$), correspondiente a los cambios observados en el tono o matiz (hab^*), siendo mayor en la PPV impregnada con la SI con sulfitos. Para el caso de las muestras empacadas SV, la PPV impregnada con sulfitos ($a^*:12,0\pm 1,1\rightarrow 16,5\pm 1,3$; $b^*: 38,6\pm 2,3\rightarrow 34,0\pm 2,2$) tiene un desplazamiento desde la zona de los amarillos hasta la zona límite entre los rojos y grises; mientras que la PPV impregnada con la mezcla de ácidos ($a^*:12,6\pm 1,2\rightarrow 12,1\pm 1,0$; $b^*:30,3\pm 2,7\rightarrow 25,6\pm 1,9$) presenta un desplazamiento desde la zona límite entre amarillos y grises hacia la zona de los grises, y finalmente la muestra patrón SV ($a^*:4,4\pm 1,0\rightarrow 5,9\pm 1,7$; $b^*:26,8\pm 2,2\rightarrow 25,1\pm 3,4$) el desplazamiento ocurre uniformemente entre la zonas de los grises.

La figura 2 presenta los valores medios con intervalos LSD (95%) de la fuerza máxima para la PPV en función del tiempo y tratamientos.

La textura presentó diferencias estadísticas significativas ($p<0,05$) por efecto de los factores tratamiento y tiempo. Se observa un comportamiento similar en las dos formas de la PPV y con altos coeficientes de variabilidad en cada tiempo; sin embargo para las muestras impregnadas con sulfitos, así como las mezclas de ácidos, la textura se hace más rígida a medida que se incrementaba el tiempo. Los troncos impregnados con sulfitos presentan en la zona superficial la mayor resistencia, obteniendo a los 15 días valores de $5375,8\pm 617,0$ gf (CV) y $5215,9\pm 518,5$ gf (SV), se-

Figura 2. Evolución de la textura de la PPV a 4°C en troncos (a) y tajadas (b).



guidos por la PPV impregnada con la mezcla de ácidos con valores de $4773,2 \pm 463,3$ (CV) y $4097,6 \pm 409,1$ gf (SV) y finalmente por la PPV patrón con valores de $4666,9 \pm 453,2$ gf (CV) y $4791,7 \pm 477,0$ gf (SV). Las tajadas de PPV impregnadas con sulfitos, presentan en la zona radial a los 15 días valores de $5229,6 \pm 587,2$ (CV) y $5452,82 \pm 603,45$ gf (SV), seguidos de la PPV impregnada con la mezcla de ácidos de $5374,9 \pm 600,9$ gf (CV) y $4652,4 \pm 389,6$ gf (SV); y finalmente la PPV patrón con valores de $4509,4 \pm 497,2$ (CV) y $4724,9 \pm 633,1$ gf (SV). En general, los cambios observados se encuentran en un rango entre 3500–7000 gf, donde el tratamiento con sulfitos se presenta más favorable por tener una mayor firmeza.

La figura 3 presenta los valores medios con intervalos LSD (95%) de los cambios en °Brix, pH, humedad, acidez, sulfitos y actividad enzimática, para la PPV impregnadas con las soluciones de estudio y para las muestras patrones, almacenadas a 4°C durante los tiempos control de 0, 3, 6, 9, 12, 15 días y empa-

das CV y SV. Se observó una relación coherente entre el pH y la acidez, siendo la PPV impregnada con la mezcla de ácidos la de pH más bajos (5,5 y 5,1 durante los 15 días) debido a su acción reguladora; seguido de la PPV impregnada con sulfitos con pH entre 5,6 y 5,2 y las muestras patrones con pH entre 5,55 y 5,65; mientras que la acidez varió entre 0,01 y 0,03%. Estos resultados muestran la SI de la mezcla de ácidos a la concentración utilizada, puede producir un control del pardeamiento en los tejidos vegetales, más no confiere un efecto inhibitorio al desarrollo de microorganismos.

Por otro lado, la humedad no presentó cambios apreciables en cada uno de los tratamientos durante el almacenamiento (82-84%), lo cual fue coherente con los mínimos cambios de la a_w (0,989-0,992).

La figura 4 presenta los valores medios con intervalos LSD (95%) del contenido de sulfitos y la actividad enzimática, para la PPV impregnadas con las soluciones de estudio y para las muestras patrones, almacenadas

Figura 3. Evolución de parámetros fisicoquímicos de la PPV.

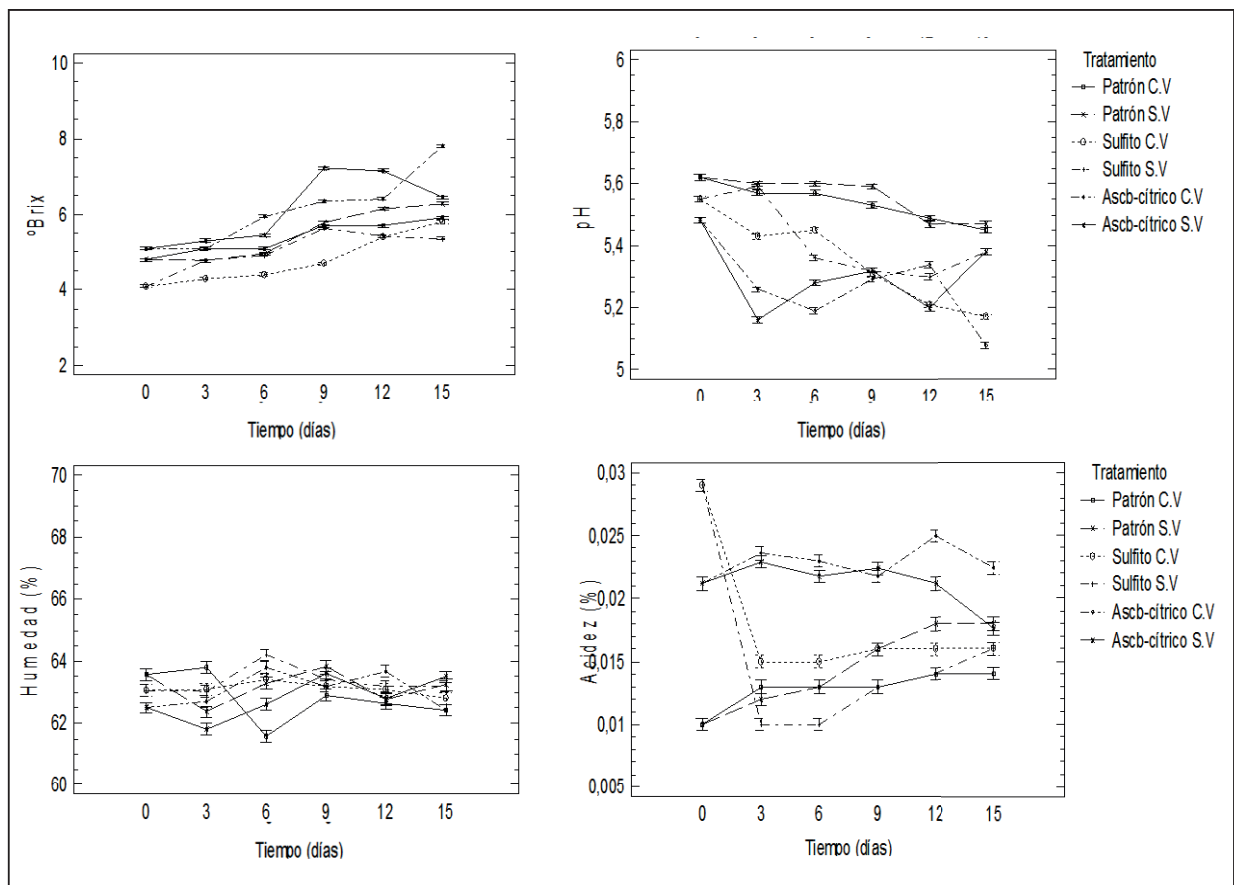
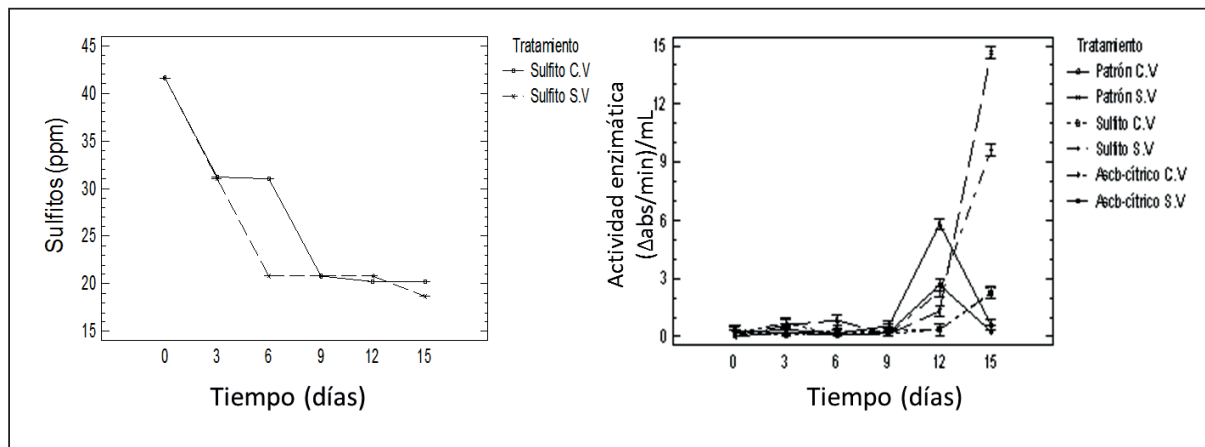


Figura 4. Evolución de los sulfitos y la actividad enzimática

a 4°C durante los tiempos control de 0, 3, 6, 9, 12, 15 días y empaçadas CV y SV. El contenido de sulfitos presente en las muestras de PPV impregnadas, muestran una tendencia a disminuir considerablemente a medida que avanza los tiempos control; las muestras empaçadas SV disminuyen en el día 6 un 50%, pasando de $41,6 \pm 4,5$ a $20,8 \pm 2,7$, manteniendo ese valor de manera constante hasta el tiempo control 15; mientras que las muestras empaçadas CV presenta una disminución escalonada, pasando de $41,6 \pm 4,5$ a $31,2 \pm 3,7$ (día 3 - 6) y $31,0 \pm 1,2$ (día 9 al 15). Este fenómeno se asocia principalmente a la evaporación del sulfito de la zona superficial al inicio del almacenamiento, el cual se difunde desde el interior a la superficie con el tiempo y finalmente podría quedar disuelto en el líquido residual que se observó al interior del empaque, el cual se da por el proceso de relajación que sufre la PPV después de ser sometida al proceso IV.

La actividad enzimática presentó un comportamiento uniforme hasta el día 9 en todos los tratamientos, siendo los tratamientos CV << SV. Las muestras impregnadas con sulfitos y la mezcla de ácidos, y empaçadas CV presentaron el mismo fenómeno enzimático llegando hasta el día 12 con valores promedios de $0,22 \pm 0,01$ y $0,32 \pm 0,01$ respectivamente y hasta el día 15 de $2,22 \pm 0,32$ y $2,29 \pm 0,46$ respectivamente; en comparación con la muestra patrón donde se observa su máxima actividad enzimática de $2,64 \pm 0,17$ para el día 12 y de $0,23 \pm 0,18$ para el día 15. Para el caso de las PPV impregnada con la mezcla de ácidos y empaçadas SV, presenta su máxima actividad enzimática al día 12 con valores de $5,81 \pm 0,51$ y de $0,58 \pm 0,23$ para el día 15, mientras que la PPV impregnado con sulfitos registra un incremento brusco

de la actividad enzimática de $9,63 \pm 0,51$, al igual que la muestra patrón de $14,62 \pm 1,18$, para el día 15. Esta situación se podría atribuir a que las muestras de PPV empaçadas a condiciones SV presentan una mayor actividad fisiológica que las CV, representado por el índice de respiración, el cual es bajo por encontrarse a 4°C, sin embargo a periodos de almacenamiento mayores de 9 días, la enzima PFO inicia su proceso enzimático de manera acelerada; por otro lado, el pH de la muestra incide sobre la PFO [37].

CONCLUSIONES

El proceso IV es una tecnología efectiva de incorporación de componentes antioxidantes en la estructura de la pulpa de plátano verde *Musa paradisiaca*, mejorando atributos de calidad. Los parámetros fisicoquímicos están afectados por los tratamientos de impregnación al vacío aplicados, por el tiempo de almacenamiento y por las condiciones de empaçado: CV y SV. El pH y el contenido de sulfitos en el producto disminuyeron con el tiempo; mientras que, el contenido de sólidos solubles, la acidez y la actividad enzimática aumentaron; la a_w y % humedad no presentaron variación.

Los tratamientos de impregnación de la PPV con sulfitos CV y SV y Asc-b-cítrico CV, presentaron un control efectivo sobre el pardeamiento enzimático en el plátano, obteniendo un producto con un color aceptable hasta el día 15 ($L^* > 70$); mientras que con el tratamiento Asc-b-cítrico SV alcanzó su aceptación a los 10,5 días. La firmeza de la PPV con la aplicación de estos tratamientos durante 15 días de almacenamiento en condiciones de refrigeración (4°C), se conside-

ra aceptable y con un potencial uso a nivel de cocina casera y como materia prima para la elaboración de snacks obtenidos por fritura, horneado, entre otros.

REFERENCIAS

- [1] ALMANZA-BENITEZ, S., OSORIO-DÍAZ, P., MENDEZ-MONTEALVO, G., ISLAS-HERNÁNDEZ, J.J. and BELLO-PEREZ, L.A. Addition of acid-treated unripe plantain flour modified the starch digestibility, indigestible carbohydrate content and antioxidant capacity of semolina spaghetti. *LWT - Food Science and Technology* 62, 2015, p. 1127-1133.
- [2] LAZARO, A. Factores condicionantes de la toma de decisiones en procesos de organización empresarial: caso del entorno platanero en Nicaragua [Tesis Maestría Socioeconomía ambiental]. TurriAlba (Costa Rica): Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, 2008, 129 p.
- [3] SARAWONG, C., RODRIGUEZ, Z., BERGHOFER, E. and SCHOENLECHNER, R. Effect of green plantain flour addition to gluten-free bread on functional bread properties and resistant starch content. *International Journal of Food Science and Technology* 2014, 49, 1825–1833.
- [4] AGAMA, E., ISLAS, J., PACHECO, G., OSORIO, P. and BELLO, L. Starch digestibility and glycemic index of cookies partially substituted with unripe banana flour. *LWT - Food Science and Technology*, 46(1), 2012, p. 177–182.
- [5] LOZANO, J. Fruit products. Deterioration by browning. In: *Fruit manufacturing*. New York (Unites States of America): Springer, 2006, p. 163-182.
- [6] RADHAKRISHNAN, S., SHIMMON, R., CONN, C. and BAKER, A. Azachalcones: A new class of potent polyphenol oxidase inhibitors. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*, 25(8), 2015, p. 1753–1756.
- [7] PLAZAS, M., LÓPEZ-GRESA, M., VILANOVA, S., TORRES, C., HURTADO, M., GRAMAZIO, P., ANDÚJAR, I., HERRÁIZ, F., BELLÉS, J. and PROHENS, J. Diversity and Relationships in Key Traits for Functional and Apparent Quality in a Collection of Eggplant: Fruit Phenolics Content, Antioxidant Activity, Polyphenol Oxidase Activity, and Browning. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(37), 2013, p. 8871–8879.
- [8] FALGUERA, V., LORDAN, J., GATIUS, F., PASQUAL, M., VILLAR, J., IBARZ, A. and RUFAT, J. Influence of nitrogen fertilization on polyphenol oxidase activity in peach fruits. *Scientia Horticulturae*, 142(1), 2012, p. 155–157.
- [9] LANTE, A., TINELLO, F. and NICOLETTO, M. UV-A light treatment for controlling enzymatic browning of fresh-cut fruits. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 34(1), 2016, p. 141-147.
- [10] PEÑA, P., CORTÉS, M. y GIL, J.H. Uchuva mínimamente procesada impregnada al vacío con calcio y vitaminas B9, D y E. *Biotecnología en el sector Agropecuario y Agroindustrial*, 13(1), 2015, p. 110-119.
- [11] BETORET, E., BETORET, N., ROCCULI, P. and DALLA-ROSA, M. Strategies to improve food functionality: Structure-property relationships on high pressures homogenization, vacuum impregnation and drying technologies. *Trends in Food Science & Technology*, 46, 2015, p. 1-12.
- [12] PUENTE, I., BETORET, N. and CORTÉS, M. Evolution of probiotic content and color of apples impregnated with lactic acid bacteria. *Vitae*, 3(16), 2009, p. 297-303.
- [13] CORTÉS, M., DÁVILA, R. and GIL, J. Impregnation Solution Influence on the Pulp Color of Plantains (*Musa paradisiaca*). *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 66(1), 2013, p. 6949-6958.
- [14] CASTAGNINI, J.M., BETORET, N., BETORET, E. and FITO, P. Vacuum impregnation and air drying temperature effect on individual anthocyanins and antiradical capacity of blueberry juice included into an apple matrix. *LWT - Food Science and Technology*, 64(2), 2015, p. 1289-1296.
- [15] PEÑA, R.F., CORTÉS, M. and MONTOYA, O.I. Evaluation of the physicochemical, physical and sensory properties of fresh cape gooseberry and vacuum impregnated with physiologically active components. *Vitae*, 20(1), 2013, p. 13-22.
- [16] ERIHEMU, HIRONAKA, K., ODA, Y. and KOAZE, H. Iron enrichment of whole potato tuber by vacuum impregnation. *LWT - Food Science and Technology*, 59(1), 2014, p. 504-509.
- [17] MORENO, J., SIMPSON, R., PIZARRO, N., PARADA, K., PINILLA, N., REYES, J.E. and ALMONACID, S. Effect of ohmic heating and vacuum impregnation on the quality and microbial stability of osmotically dehydrated strawberries (cv.

- Camarosa). *Journal of Food Engineering*, 110(2), 2012, p. 310-316.
- [18] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (ICONTEC). Plátanos. Clasificación. Norma Técnica Colombiana 1190. Bogotá (Colombia): 1976, 6 p.
- [19] CORTÉS, M. Desarrollo de productos de manzana deshidratados enriquecidos con vitamina E [Ph.D. Tesis]. Valencia (España): Universidad Politécnica de Valencia, Departamento Tecnología de Alimentos, 2004, 254 p.
- [20] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (ICONTEC). Productos de frutas y verduras. Determinación de la acidez titulable. Norma Técnica Colombiana 4623. Bogotá (Colombia): 1999, 6 p.
- [21] ASSOCIATION OF OFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). Official Methods of Analysis 981.12. 15th ed. Arlington (United States of America): Kenneth Helrich, 1990.
- [22] ASSOCIATION OF OFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). Official Methods of Analysis 7.003 and 930.15 (adapted C 934.06). Arlington (United States of America): 1996.
- [23] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (ICONTEC). Jugos de frutas y hortalizas. Determinación del contenido de sólidos solubles. Método refractométrico. Norma Técnica Colombiana 4624. Bogotá (Colombia): 1999, 9 p.
- [24] ASSOCIATION OF OFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). Official Methods of Analysis. 978.18M. Arlington (United States of America): 1996.
- [25] ASSOCIATION OF OFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). Official Methods of Analysis. 945.06. 15th Edition. Arlington (United States of America): Kenneth Helrich, 1990.
- [26] NG, A. and WONG, C. Partial purification and characterization of polyphenol oxidase from round brinjal (*S. melongena* var. *depressum*). *International Food Research Journal*, 22(2), 2015, p. 826-831.
- [27] MUSAGALA, P., SSEKAALO, H., MBABAZI, J. and NTALE, M. A spectrophotometric method for quantification of sulphite ions in environmental samples. *Journal of Toxicology and Environmental Health Sciences* 5(4), 2013, p. 66-72.
- [28] HERNÁNDEZ, D., CORTÉS, M., CASTELLANOS, F. y TOBÓN, C.S. Influencia de emulsiones de impregnación antipardeantes sobre el color de la papa durante el almacenamiento. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 67(Suplemento 2), 2014, p. 143-146.
- [29] RUIZ, M. Aplicación de la Ingeniería de Matrices en el desarrollo de hongos comestibles (*Pleurotus ostreatus*) fortificados con Calcio, Zinc y Vitaminas E y C [M.Sc. Tesis]. Medellín (Colombia): Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agrarias, 2004, 109 p.
- [30] IKOLANTONAKI, M. and WATERHOUSE, A. A Method to Quantify Quinone Reaction Rates with Wine Relevant Nucleophiles: A Key to the Understanding of Oxidative Loss of Varietal Thiols. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(34), 2012, p. 8484–8491.
- [31] KUIJPERS, T., GRUPPEN, H., SFORZA, S., VAN BERKEI, W.J. and VINCKEN, J.P. The antibrowning agent sulfite inactivates *Agaricus bisporus* tyrosinase through covalent modification of the copper-B site. *FEBS Journal*, 280(1), 2013, p. 6184–6195.
- [32] KUIJPERS, T.F., NARVAEZ-CUENCA, C.E., VINCEN, J.P., VERLOOP, A.J., VAN BERKEL, W.J. and GRUPPEN, H. Inhibition of Enzymatic Browning of Chlorogenic Acid by Sulfur Containing Compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(13), 2012, p. 3507–3514.
- [33] AKA, J.P., COURTOIS, F., LOUARME, L., NICOLAS, J. and BILLAUD, C. Modelling the interactions between free phenols, L-ascorbic acid, apple polyphenoloxidase and oxygen during a thermal treatment. *Food Chemistry*, 138(2-3), 2013, p. 1289–1297.
- [34] LIUA, K., YUANA, CH., CHENA, Y., LI H. and LIUA, J. Combined effects of ascorbic acid and chitosan on the quality maintenance and shelf life of plums. *Scientia Horticulturae*, 176, 2014, p. 45–53.
- [35] DENOYA, G.I., VAUDAGNA, S.R. and POLENTA, G. Effect of high pressure processing and vacuum packaging on the preservation of fresh-cut peaches. *LWT - Food Science and Technology*, 62(1), 2015, p. 801–806.
- [36] MISHRA, B.B., GAUTAM, S. and SHARMA, A. Free phenolics and polyphenol oxidase (PPO): The factors affecting post-cut browning in eggplant (*Solanum melongena*). *Food chemistry*, 139(1–4), 2013, p. 105–114.
- [37] WUYTS, N., DE WAELE, D. and SWENNEN, R. Extraction and partial characterization of polyphenol oxidase from banana (*Musa acuminata* Grande naine) roots. *Plant Physiology and Biochemistry*, 44(5-6), 2006, p. 308–314.