

Caracterización de la polifenoloxidasas en tres variedades de papa (*Tuberosum solanum L.*) mínimamente procesada y su incidencia en el color

*Characterization of the polyphenoloxidase in three varieties of potato (*Solanum tuberosum L.*) minimally processed and its color effect*

Trujillo N. Yanine^{1*}, Villamizar C. Nidia², Durán O. Daniel¹

¹Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Grupo de investigación en Ingeniería y Tecnología de Alimentos (GINTAL), Universidad de Pamplona, Km. 1 Vía Bucaramanga, Pamplona, Colombia

²Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad de Pamplona, Km. 1 Vía Bucaramanga, Pamplona, Colombia

Recibido 18 de Octubre 2012; aceptado 20 de Diciembre de 2012

RESUMEN

*Papas de las variedades Parda pastusa, Pastusa Suprema e ICA Única fueron peladas, empacadas y almacenadas por 20 días a 4°C, con el objetivo de evaluar la actividad de la enzima polifenoloxidasas (PFO), y poder conocer el potencial pardeamiento de cada variedad, el pH óptimo sobre el cual actúa la PFO en cada variedad, además de relacionarla con los cambios de color que se producen durante el almacenamiento. Un total de 100 kg de papa fueron desinfectadas, peladas, empacadas (250 g) en polietileno de alta densidad, y almacenadas. La actividad de la enzima PFO en los extractos se evaluó a 410 nm durante los días 0, 8, 15 y 20 de almacenamiento. El pH óptimo para cada variedad fue evaluado entre el rango 2,5-7,5. Asimismo, se determinó el color de la superficie con un espectrofotocolorímetro X-RITE empleándose el espacio de color CIEL*a*b*. La papa Parda pastusa es la variedad con un actividad de la PFO mayor que las variedades Pastusa Suprema e ICA Única, la cual se ve influenciada por el tiempo de almacenamiento siendo el día 15 en el que se obtiene, su máximo potencial al pardeamiento, el cual está directamente relacionado con la pérdida de la luminosidad y mayor presencia de tonos rojos en el color de la superficie. Las variedades Pastusa Suprema e ICA Única presentan su máxima actividad a pH 6,5, mientras que el pH óptimo para la Parda pastusa fue de 7,0.*

Palabras clave: color, papa, pH, polifenoloxidasas, variedad.

*Autor a quien debe dirigirse la correspondencia. E-mail: yaninetrujillo@unipamplona.edu.co

ABSTRACT

Potatoes of the variety Parda Pastusa, Pastusa Suprema and ICA Unica were peeled, packaged and stored for 20 days at 4°C, in order to evaluate the activity of the polyphenol oxidase enzyme (PPO) and to know the enzymatic discoloration of each variety, the optimum pH on which the PPO acts on each variety, in addition to relate it to the color changes which occur during storage. A total of 100 kg of potatoes were disinfected, peeled, packed (250g) in high density polyethylene and stored. The enzyme activity of PPO in the extracts was evaluated at 410 nm during the days 0, 8, 15 and 20 of storage. The optimum pH for each variety was evaluated within the range 2,5 - 7,5. Also, the color of the surface was determined with an X-RITE spectrophotometer employing the color space CIEL a* b*. The Parda Pastusa potato is the variety with a PPO activity higher than Pastusa Suprema and ICA Unica varieties, which is influenced by the storage time, being the 15th day in which it is obtained their highest potential of browning, which is directly related to the loss of brightness and higher presence of red tones in the color of the surface. Pastusa Suprema and ICA Unica varieties present their highest activity occur at a pH 6.5, while the optimum pH for the Parda Pastusa was 7.0.*

Keywords: color, potato, pH, polyphenoloxidase, variety

INTRODUCCIÓN

La polifenoloxidasas (PFO), es enzima que cataliza la hidroxilación de monofenoles a odifenoles (actividad cresolasa EC 1.14.18.1) y la oxidación de *o*-difenoles a *o*-quinonas (actividad catecolasa EC 1.10.3.1). La formación de *o*-quinonas es una reacción reversible en presencia de agentes reductores, mientras que la polimerización posterior es irreversible (Labuza *et al.*, 1992; McEvily *et al.*, 1992, Vámos-Vigyázó, 1981). Esta polimerización ocurre a partir de reacciones químicas no enzimáticas muy complejas que suceden con posterioridad a la oxidación de las *o*-quinonas producidas en el pardeamiento enzimático, dando lugar, en la papa, a la formación de pigmentos pardos o negros, así como a modificaciones desfavorables del color.

Entre los factores más incidentes en la actividad de la enzima se citan la especie, la variedad, la naturaleza y la cantidad de los sustratos fenólicos, el pH, la temperatura, la

disponibilidad del oxígeno (Mayer, 1987; Vámos-Vigyázó, 1981).y la compartimentación de las enzimas y de los sustratos.

En el caso particular de papa, estudios realizados demuestran que variedades Españolas como la Monalisa presenta una mayor actividad la enzima PFO comparada con la variedad Agata (Bobo *et al.*, 2009). Vitti *et al.*, (2011), identificaron que la actividad de la enzima PFO difiere con respecto a la variedad de papa, en donde Monalisa, es más activa que en las variedades Ágata y Asterix.

La variedad Atlantic presenta una menor actividad de la enzima polifenoloxidasas que la variedad Russet Burbank (Sapers *et al.*, 1989). Cantos *et al.*, (2002) y Cabezas *et al.*, (2009), evaluaron la influencia de la variedad con el desarrollo del pardeamiento enzimático, en donde emplearon 5 variedades, Marabel Agata, Vivaldi, Almera y Agria encontrando que

ésta última es la menos susceptible al pardeamiento. Por otra parte, el pH es otro factor determinante en la actividad de la enzima PFO en donde, la relación entre pH y la actividad de la enzima depende del comportamiento ácido-base de la enzima y del sustrato (Badui, 2000). Se ha publicado frecuentemente que el pH óptimo para la actuación de la enzima comprende valores entre 5.0 y 7.0 (Kader *et al.*, 1997, Ashie *et al.*, 1996). En papa, Lin *et al.*, (2010); Eidhin *et al.*, (2010); Duangmal and Owusu (1999); Kwon and Kim, (1996); Lourenco *et al.*, (1992); Fatibello-Filho *et al.*, (1977) establecen valores óptimos de pH entre 6.0-7.5, para la máxima actividad de la PFO.

El interés comercial en la prevención de pardeamiento causado por la enzima PFO ha originado la evaluación de la actividad de la enzima para diferentes variedades de papa, sin embargo, no existen estudios previos a

este trabajo, en la evaluación de la actividad de la enzima PFO en variedades de papa cultivadas en Colombia, que brinden información sobre la influencia de la variedad y del pH óptimo sobre el cual actúa la PFO en cada variedad.

Por lo anterior, el objetivo de esta investigación es evaluar la actividad de la enzima polifenoloxidasas (PFO) en función del tiempo de almacenamiento, en las variedades Parda pastusa, Pastusa Suprema e ICA Única, que representan el 67,1% del área total sembrada en Colombia (Consejo Nacional de la papa CNP, 2010), y poder conocer el potencial pardeamiento de cada variedad, el pH óptimo sobre el cual actúa la PFO en cada variedad, su comportamiento post-corte, además de relacionarla con los cambios de color que se producen durante el almacenamiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal

Un total de 100 kg de papa (*Solanum tuberosum L.*) correspondientes a 40 kg de la variedad Parda Pastusa, 30 kg de la variedad Pastusa Suprema ambas provenientes del municipio de Pamplona; y 30 kg de la cv. ICA Única, proveniente de los municipios de Mutiscua y Cácuta en el Departamento Norte de Santander, Colombia.

Extracción de la PFO

La metodología adoptada para la obtención del extracto fue la desarrollada por Duangmal *et al.*, (1999), Ni Eidhin *et al.*, (2010), con modificaciones.

10 gramos de papa pelada, laminada fueron homogeneizados, por un tiempo de 2 minutos, en 10 ml de buffer fosfato pH 6.5 que contenía 3% de polivinilpirrolidona, tras el cual, fue filtrado empleándose 4 capas de gasa.

La solución filtrada fue centrifugada a 14000 rpm durante un tiempo de 30 minutos obteniéndose un sobrenadante denominado extracto enzimático no purificado. Todas las condiciones de extracción se realizaron verificándose que la temperatura no fuera superior a 4°C.

Determinación del pH óptimo

Se evaluaron 11 sistemas de buffer (2,5-7,5) con el fin de establecer el pH óptimo en la actividad PFO, empleándose la metodología de Ni Eidhin *et al.*, 2010; Oktay *et al.*, 1995; Zhou *et al.*, 1993 con modificaciones. El efecto del pH en la actividad fue evaluado por adición de 0,4 ml de extracto crudo enzimático (papa Pastusa, Pastusa Suprema e ICA Única) en 0,8ml de sustrato (pirocatecol 50 mM en 0,2 M buffer fosfato sodio pH 6,5) y 1 ml de buffer fosfato-cítrico al 0,1 M – buffer fosfato desodio

0,2M para los buffer pH 2,5 a 5,5 ó buffer fosfato de sodio al 0,2 M para los pH 6,0 a 7,5.

La evaluación se realizó por duplicado analizando dos réplicas. Los datos fueron reportados en unidades de absorbancia en función del tiempo de reacción a temperatura de 30°C.

La determinación del pH óptimo se estableció representando la velocidad de reacción en unidad de tiempo, tomando la máxima absorbancia obtenida para cada pH, dividiendo este valor por el tiempo en el cual se registra el primer tramo lineal de la curva de reacción en la mezcla enzima-sustrato, para cada pH.

Determinación de la actividad PFO

La mezcla de reacción contenía 1 ml de buffer fosfato 0,2 M pH 6,5 y 0,8 ml de sustrato (pirocatecol 50 mM en 0,2 M de buffer fosfato pH 6,5), previamente atemperados a 30°C ± 1, y 0,4 ml de solución extracto crudo enzimático. La medición se realizó, empleándose una celda de cuarzo de 1 cm de recorrido óptico y un espectrofotómetro UV-2401PC Shimadzu acoplado a un software UV-probe.

La actividad de la polifenoloxidasas (PFO) se determinó mediante la medición de la absorbancia a una longitud de onda de 410 nm. El cambio en la absorbancia se registró cada 5 segundos durante 1 minuto y la actividad enzimática se midió a partir de la primera porción lineal de la curva, calculándose las unidades enzimáticas por mililitro (Ni Eidhin *et al.*, 2010; Wong *et al.*, 1971). Una unidad de actividad de la PFO fue definida como el cambio en la absorbancia en 0,001 por mililitro de enzima.

Efecto de la actividad de la PFO y del tiempo de almacenamiento en el color de la papa mínimamente procesada

Papas seleccionadas de acuerdo a su calidad externa, fueron lavadas, desinfectadas en solución de hipoclorito de sodio (NaClO)

300ppm/5min, (Gunes *et al.*, 1997, Trujillo *et al.*, 2004; Trujillo *et al.*, 2005), tras el cual, se realizó un segundo lavado con agua potable.

Posteriormente, se llevó a cabo el pelado manual, empleando peladores con filo agudo. A medida que eran peladas las papas, se sumergían en un recipiente conteniendo agua desionizada. Seguidamente fueron escurridas, empacadas en bolsas de polietileno de alta densidad con un peso aproximado de 250 ± 1g y selladas. En el empacado se realizó un vacío del 20% bajo una atmósfera pasiva en una empacadora HENCOVAC 1500. Las muestras una vez empacadas, fueron almacenadas en una cámara refrigerada a 4 ± 1°C con una humedad relativa del 70-75%, y analizadas durante los días 0, 8, 15 y 20 de almacenamiento (Sapers *et al.*, 1993, Trujillo *et al.*, 2003).

De cada tratamiento fueron preparadas dos réplicas para cada día de análisis, evaluándose el color, la actividad de la enzima PFO durante el almacenamiento refrigerado. El color se midió a partir de un espectrofotómetro de esfera X-RITE, un espacio de color CIEL*a*b*, iluminante D65, observador 10°. Se realizaron dos repeticiones y dos réplicas, tomadas sobre la superficie externa de la papa (Limbo *et al.*, 2006; Cabezas-Serrano *et al.*, 2009; Lante *et al.*, 2010).

La actividad de la enzima PFO se llevó a cabo según la metodología expuesta, salvo que en este caso, se obtuvo la extracción de la PFO empleándose el pH óptimo para cada variedad.

Análisis estadístico

Se emplearon los métodos análisis de la varianza y el test de Fisher con un nivel de significación de 0,05. Las variables de respuesta que se estudiaron fueron unidades ópticas, unidades enzimáticas por ml (UE/ml), con el fin de establecer si la variable de estudio (pH) influyen significativamente en la actividad de la enzima PFO.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Determinación del pH óptimo de la actividad de la enzima polifenoloxidasasa (PFO) para las variedades de papa Parda pastusa, Pastusa Suprema e ICA Única

El cambio de la absorbancia obtenido en la mezcla de reacción enzima-sustrato (figura 1), muestra que la enzima PFO en la papa Parda pastusa presenta el máximo desempeño en el rango de pH de 6,5-7,5 desarrollando velocidades de 0,0396; 0,1554 y 0,0540, siendo el pH 7,0 el que genera significativamente (p -valor=0,000) la mayor actividad catalítica de la polifenoloxidasasa.

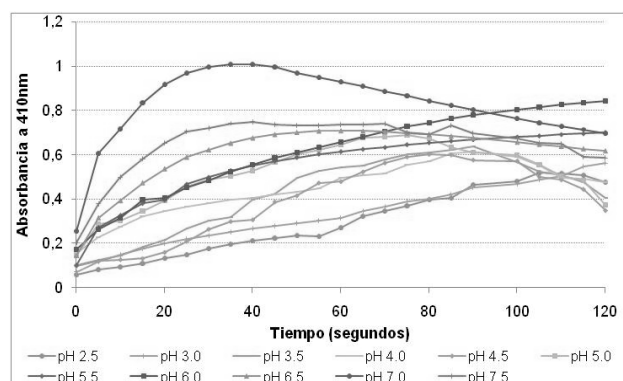


Figura 1. Variación en la actividad de la enzima PFO en papa cv. Parda Pastusa, en unidades de absorbancia, a diferentes pH en función del tiempo

n= 4 (duplicado analizado por dos réplicas)

En la papa variedad Pastusa Suprema (figura 2), se presenta que el rango de pH en el que la enzima PFO es más activa se encuentra entre 6,0-7,5 siendo el de 6,5, donde se muestra la máxima absorción significativamente mayor con respecto al pH 6,0 (p -valor=0,007), al pH 7,0 (p -valor=0,004) y al pH 7,5 (p -valor=0,001). La velocidad de reacción, corroboran estos resultados en donde la máxima velocidad 0,0433 UO/seg, se presenta a pH 6,5, seguido por el pH 7,0 con una velocidad de 0,041 UO/seg y del pH 6,0 (0,0374UO/seg) y 7,5 (0,0305/UO/seg).

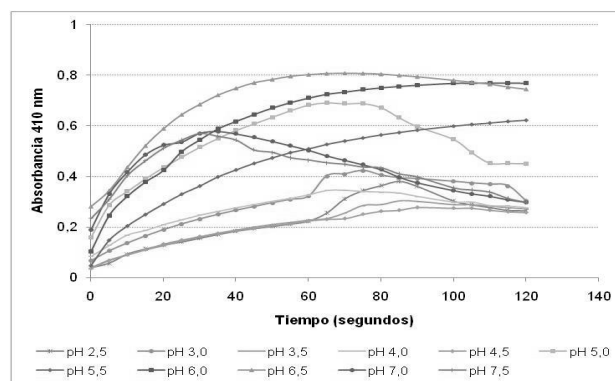


Figura 2. Variación de la absorbancia para la mezcla de reacción sustrato-extracto crudo enzimático (papa Suprema) a diferentes pH en función del tiempo

n= 4 (duplicado analizado por dos réplicas)

En la figura 3, se representan los valores de absorbancia obtenidos en la valoración del efecto del pH en la actividad de la enzima polifenoloxidasasa en papa variedad ICA Única.

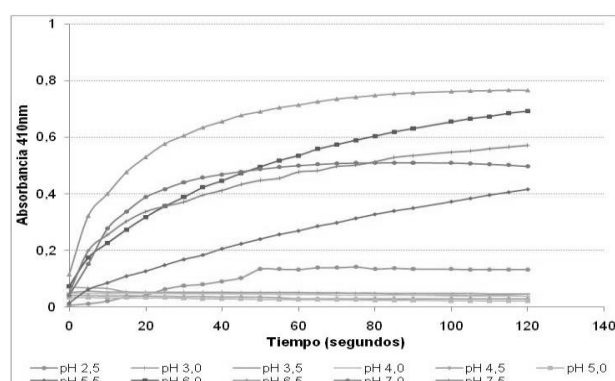


Figura 3. Variación en la actividad de la enzima PFO en papa cv. ICA Única, en unidades de absorbancia, a diferentes pH en función del tiempo

n= 4 (duplicado analizado por dos réplicas)

De acuerdo a la absorptividad se tienen 4 grupos que experimentan capacidades catalíticas diferentes. El grupo de pH 2,5-5,0 muestra una actividad solo hasta los primeros 10 segundos, tras el cual la capacidad disminuye conforme transcurre el tiempo de reacción de la enzima PFO. En este rango de pH no existen diferencias estadísticamente

significativas en la capacidad de la enzima entre el emplear pH de 2,5 con respecto a pH 3,0 (p -valor= 0,561), a pH 3,5 (p -valor= 0,592), a pH 4,0 (p -valor= 0,530), a pH 4,5 (p -valor= 0,406) y a pH 5,0 (p -valor= 0,277). Las velocidades de reacción para estos pH oscilan entre el rango de 0,0025-0,0084.

El pH 5,5 conforma un segundo grupo el cual evidencia un comportamiento lineal y significativamente diferente (p -valor= 0,000), de todos los pH, en donde, la enzima PFO realiza un desempeño intermedio en relación a los demás pH evaluados, con una velocidad de reacción de 0,0087 UO/seg. El tercer grupo lo forman los pH 6,0; 7,0 y 7,5 condiciones que permiten velocidades de reacción de 0,0225; 0,0333 y 0,0252, UO/seg., respectivamente, que no difieren significativamente (pH 6,0-pH 7,0: p -valor= 0,0617 y pH 6,0-pH7,5: p -valor= 0,676). El último grupo representado por el pH 6,5 es el pH óptimo, dentro de los ensayos, para la actividad de la enzima PFO en papa variedad ICA Única, presentando una mayor capacidad catalítica de la enzima PFO en los primeros 10 segundos, alcanzando una velocidad de reacción de 0,0362 UO/seg.

Efecto de la actividad de la PFO y del tiempo de almacenamiento en el color de la papa mínimamente procesada

En la figura 4, se expone la actividad de la enzima polifenoloxidasasa en el tiempo de almacenamiento refrigerado de papas mínimamente procesadas, reportándose que la variedad Parda pastusa es más susceptible a la actividad de la enzima que las otras dos variedades estudiadas, tanto en estado fresco (día 0), como durante el almacenamiento a 4°C. Para el octavo día de almacenamiento se presenta una disminución de la actividad de la enzima, en las tres variedades, por lo que la temperatura de 4°C debió afectar la actividad de la PFO.

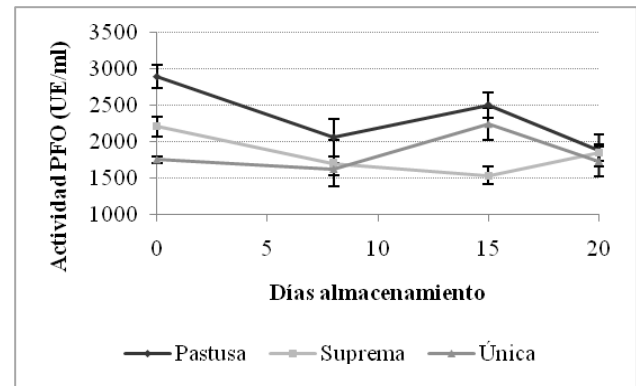


Figura 4. Actividad de la enzima PFO en papa mínimamente procesada en función del tiempo. Valores determinados utilizando catecol 50 mM al pH óptimo de la enzima (Pastusa 7,0; Pastusa Suprema e ICA Única 6,5)

Otra causa puede ser debida a la reducción del oxígeno disponible dentro del empaque, ya que las papas fueron selladas realizando un vacío del 20%, y por el consumo pasivo del oxígeno por el proceso metabólico del producto. El promedio de la evolución de la actividad de la enzima PFO en las variedades durante el almacenamiento, indica que la papa Parda pastusa es la que presenta mayor actividad de esta enzima (2360 UE/ml), seguida de la variedad Pastusa Suprema e ICA Única (1881, 1852 UE/ml, respectivamente).

Los resultados estadísticos, señalan que la variedad Parda pastusa almacenada durante 20 días, presenta una actividad de la PFO significativamente mayor (p -valor= 0,001) que la variedad Pastusa Suprema e ICA Única (p -valor= 0,002). Además muestran que las variedades Pastusa Suprema e ICA Única presentan una actividad promedio similar (p -valor= 0,836) durante el almacenamiento a 4°C. El mayor potencial de la actividad de la enzima PFO se presenta el día 15 de almacenamiento para las variedades Parda Pastusa e ICA Única.

Al analizar los resultados de color obtenidos (tabla 1), se identifica que la parda Pastusa es la variedad que presenta una mayor pérdida de la luminosidad (L^*), manifestada en un comportamiento lineal descendente conforme

avanza el tiempo en almacenamiento. Esta variedad es la que presenta de acuerdo a los resultados de actividad reportados en la figura 4, la mayor actividad de la enzima PFO, datos que se relacionan con la pérdida de la luminosidad (L^*) y el aumento de los tonos rojos (a^*).

Esta relación también es presentada en las otras dos variedades, identificándose que la luminosidad y el espacio cromático a^* son las propiedades del color en un espacio CIEL a^*b^* que relacionan la actividad de la enzima PFO en papa mínimamente procesada y almacenada en refrigeración.

Tabla 1
Evolución del color de la papa mínimamente procesada

Color	Variación	Día 0	Día 8	Día 15	Día 20	p-valor
L^*	Parda Pastusa	78,14 ± 1,39 ^a	60,07 ± 1,94 ^b	49,30 ± 1,72 ^c	33,20 ± 0,85 ^d	0,000
	Parda Suprema	79,74 ± 2,08 ^a	56,91 ± 0,64 ^a	56,07 ± 1,83 ^b	52,79 ± 2,15 ^c	0,000
	ICAÚnica	75,51 ± 1,75 ^a	59,38 ± 0,60 ^b	57,03 ± 0,90 ^c	53,43 ± 1,06 ^d	0,000
a^*	Parda Pastusa	-0,68 ± 0,52 ^a	2,55 ± 0,96 ^a	8,5 ± 1,32 ^b	6,66 ± 0,13 ^c	0,000
	Parda Suprema	-0,45 ± 0,77 ^a	5,97 ± 0,21 ^a	5,63 ± 0,95 ^b	6,88 ± 0,52 ^c	0,000
	ICAÚnica	-1,08 ± 0,72 ^a	3,56 ± 0,18 ^b	5,87 ± 0,80 ^c	7,54 ± 0,22 ^d	0,000
b^*	Parda Pastusa	24,57 ± 3,05 ^a	21,52 ± 1,09 ^a	26,31 ± 0,30 ^a	25,15 ± 3,87 ^a	0,128
	Parda Suprema	27,01 ± 2,07 ^{abc}	27,16 ± 2,94 ^a	28,33 ± 0,88 ^b	24,78 ± 1,90 ^c	0,086
	ICAÚnica	28,38 ± 3,49 ^a	27,64 ± 0,48 ^a	27,52 ± 0,89 ^a	27,42 ± 0,47 ^a	0,565

n= 4 ± desviación típica, p-valor ≤ 0,05 existen diferencias significativas, letras iguales en filas no existen diferencias mínimas significativas al 95%

CONCLUSIONES

La papa Parda Pastusa es la variedad con un actividad de la PFO significativamente mayor (p-valor ≤ 0,001) que las variedades Pastusa Suprema e ICA Única, la cual se ve influenciada por el tiempo de almacenamiento siendo el día 15 en el que se obtiene, su máximo potencial al pardeamiento, en las

variedades Parda pastusa e ICA Única, relacionado directamente con la pérdida de la luminosidad y mayor presencia de tonos rojos, en el color de la superficie carnosa de la papa. Las variedades Pastusa Suprema e ICA Única presentan su máxima actividad a pH 6,5, mientras que el pH óptimo para la Parda pastusa fue de 7,0.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bobo, Gloria; Arroqui, Cristina; Virseda Paloma. Comparative study of different antibrowning treatments in fresh-cut potato (*Monalisa cv.*) VI Internacional symposium on Food precessing, monitoring technology in bioprocesses and food quality management . (2009).

Cabezas-Serrano, A. B.; Amodio, M.L.; Cornacchia, R; Rinaldi, R.; and Colelli, G. Suitability of five different potato cultivars (*Solanum tuberosum L.*) to be processed as fresh-cut products. (2009). *Postharvest Biology and technology*, 53:138-144.

Cantos Emma; Tudela, J. A.; Gil, M. I.; Espín, J. C. Phenolic compounds and related enzymes are not rate limiting in browning development of fresh-cut potatoes. (2002). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50:3015-3023.

Consejo Nacional de la papa, FEDEPAPA, Secretaría Técnica, CNP. (2010). Acuerdo de competitividad papa. Disponible www.fedepapa.com.

- Duangmal, Kiattisak; Richard, K; Apenten, Owusu. Comparative study of polyphenoloxidases from taro (*Colocasia esculenta*) and potato (*Solanum tuberosum var. Romano*). (1999). *Food Chemistry*, 64:351-359.
- Labuza, T. P.; Lillemo J. H.; Taokis P. S. Inhibition of polyphenol oxidase by proteolytic enzymes. (1992). *Fruit Processing*, 2(1):9-13.
- Lante, Anna; Zocca, Federico. Effect of β -cyclodextrin addition on quality of precooked vacuum packed potatoes. (2010). *Food Science and Technology*, 43:409–414.
- Limbo, S; Piergiovanni, L. Shelf life of minimally processed potatoes Part 1. Effects of high oxygen partial pressures in combination with ascorbic and citric acids on enzymatic browning. (2006). *Postharvest Biology and Technology*, 39:254–264.
- Mayer A. M. Polyphenol oxidases in plants. (1987). *Recent Progress Phytochemistry*, 26:11-20.
- McEvelly, A. J. and Iyengar R. Inhibition of enzymatic browning in foods and beverages. (1992). *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 32:253-273.
- Ni Eidhin, D.; Degn, P.; and O'Beirne, D. Characterization of polyphenol oxidase from Rooster potato (*solanum tuberosum cv Rooster*). (2010). *Journal of food biochemistry*, 34:13-30.
- Oktay, M.; Küfrevioğlu, I.; Kocaçaliskan, I.; Sakiroğlu, H. Polyphenol oxidase from Amasya apple. (1995). *Journal Food Science*, 60:494-496.
- Sapers, G. and Miller, R. L. Control of enzymatic browning in pre-peeled potatoes by surface digestion. (1993). *Journal of Food Science*, 58(5): 1076-1078.
- Sapers, G. M.; Douglas, F. W.; Bilyk A., Dower, H. W.; Garzarella, L.; Kozempel, M. Enzymatic browning in Atlantic potatoes and related cultivars. (1989). *Journal of Food Science*, 54:362-365.
- Trujillo, Yanine; Arroqui, Cristina; Fernández, Teresa; Virseda, Paloma. Estudio del procesado mínimo de patata bajo temperaturas, sobre la seguridad y la calidad del producto final. (2004). *Alimentación Equipos y Tecnología*, 191:36-40.
- Trujillo, Yanine; Arroqui, Cristina; Virseda, Paloma. Mejora de la calidad y vida útil de las papas refrigeradas mínimamente procesadas mediante agentes conservantes. (2005). *@limentech Ciencia y Tecnología Alimentaria*. 2(2):5-10.
- Trujillo, Yanine; Durán, Daniel; Arroqui, Cristina; Virseda, Paloma. Efectos de la temperatura en el procesado mínimo de patatas peladas y cortadas. (2003). *Alimentación Equipos y Tecnología*. 180:63-66.
- Vámos-Vigyázó, L. Polyphenol oxidase and peroxidase in fruits and vegetables. (1981). *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 15:49-127.
- Vitti, Maria C.; Sasaki, Fabiana; Miguel, Patricia; Kluge, Alfredo; Moretti, Celso. Activity of enzymes associated with the enzymatic browning of minimally processed potatoes. (2011). *Brazilian archives of biology and technology*, 54(5):983-990.
- Zhou, P.; Smith, N. L.; & Lee, C. Potential purification and some properties of Monroe apple peel polyphenol oxidase. (1993). *Journal of agricultural and food chemistry*, 41, 532-536.
- Wong, T.C.; Lun, B.S. and Whitaker, J.R. Isolation and characterization of polyphenol oxidase isoenzymes clingstone peach. (1971). *Plant Physiology*, 48:19-23.
- Gunes, G. and Lee, Chang. Color of minimally processed potatoes as affected by modified atmosphere packaging and antibrowning agents. (1997). *Journal of Food Science*, 62, (3):572-576.