

Evaluación del proceso de maduración del lulo (*Solanum quitoense* Lam) variedad Castilla

Evaluation of the ripening process of the Lulo (*Solanum quitoense* Lam) Castilla variety

Trujillo N. Yanine Y.*, Suarez A. Jeimy.

Facultad de Ingenierías y Arquitectura, Departamento de Alimentos. Universidad de Pamplona, Pamplona, Norte de Santander, Colombia.

Recibido 13 de Julio 2009; aceptado 9 de Octubre 2009

RESUMEN

Se llevó a cabo un seguimiento del proceso de maduración del lulo, variedad castilla, cosechado en estado verde con el fin de establecer los cambios fisiológicos, fisicoquímicos y enzimáticos ocurridos durante las etapas de maduración organoléptica del fruto en almacenamiento a granel en ambiente natural. Como variables de respuesta de este estudio, se consideraron la tasa de respiración, transpiración, humedad, pH, sólidos solubles, acidez, azúcares reductores, color, firmeza y pectinesterasa. Los resultados indican que el lulo es un producto cuya maduración organoléptica se genera plenamente durante los primeros siete días cuando la firmeza, la actividad de la pectinesterasa y el color son las características en las que se pronuncian significativamente cambios al ser almacenado al granel a 20°C y humedad relativa del 75%.

Palabras clave: CIEL*a*b*, Maduración, lulo, poscosecha, almacenamiento

ABSTRACT

It was carried out a monitoring of the ripening process of the lulo Castilla variety harvested in the green stage in order to establish the physiological, physicochemical and enzymatic changes that occur during the stages of the organoleptic ripening of the fruit in bulk

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

storage in natural environment. In this study as variables of response were considered the respiration rate, transpiration, moisture, pH, soluble solids, acidity, sugar reducers, color, firmness and the pectinesterase. The results indicated that the lulo is a product which organoleptic ripening is fully generated during the first seven days, where the firmness, the pectinesterase activity and color are the features in which there are significant changes when being stored in bulk to 20°C and 75% of relative humidity.

Keywords: CIEL * a * b *, ripeness, lulo, postharvest, storage

INTRODUCCIÓN

El lulo de castilla o naranjilla (*Solanum quitoense Lam*) es una planta originaria de los Andes sudamericanos, típica en Colombia en las regiones húmedas de clima medio frío moderado, en donde crece en forma espontánea, y se desarrolla entre los 1600 y 2500 m de altitud con temperatura entre 22 y 25°C (Gómez *et al.*, 2004).

Las frutas como órganos vegetales vivos, en la etapa poscosecha, están sujetas a cambios provocados por la actividad fisiológica, ya que al cosecharse continúan realizando las actividades metabólicas como la respiración produciendo cambios físicos y químicos en su composición (Muñoz y Puentes, 1993). Asimismo, se producen modificaciones físicas, químicas, enzimáticas.

Las enzimas pécticas responsables de la alteración fisiológica del tejido celular vegetal, que trae como consecuencia ablandamiento del fruto y pérdida de características fisicoquímicas, son la pectinesterasa (PE) y la poligalacturonasa. La pectinesterasa es

una enzima que al hidrolizar enlaces éster metílico de los grupos carboxilos esterificados, libera metanol y transforma la pectina de bajo metoxilo (Wu *et al.*, 2004, Zhou 2000, Pires *et al.*, 2005, Warilow *et al.*, 1994, Carabalí 2005).

El lulo variedad quitoense es una de las más importantes de Colombia, que por la cualidad de fruto climatérico su proceso de maduración organoléptica produce cambios en sus características, tema que ha involucrado algunas investigaciones como Galvis y Herrera, 1999, con el fin de lograr establecer los cambios producidos durante la maduración poscosecha en frutos de lulo expuestos a 6°C, con humedad relativa entre 75 y 80%. Sin embargo, no se han manejado condiciones naturales en almacenamiento a granel. Por ello, el presente estudio se realizó con el fin de conocer los cambios producidos durante el proceso de maduración del lulo en condiciones de almacenamiento a granel, a 20°C de temperatura y humedad del 75%.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la ejecución de este proyecto, se adquirieron en el centro de acopio de la Central de Abastos de Pamplona, 12 kg de lulo en estado de madurez verde, representada en los grados 1 y 2, según la tabla de color establecida por Corpoica. Posteriormente, se realizó una limpieza en seco, para ser finalmente sometida al almacenamiento a granel por un tiempo de 15 días en ambiente natural (temperatura 20 ± 2 °C, y humedad relativa 75%).

De los 6 kg de lulo adquiridos y seleccionados, fue tomada una muestra al azar de un kilogramo para la evaluación de intensidad respiratoria, color, pérdida de peso con el fin de llevar a cabo una mejor evaluación y reproducibilidad de la evolución en estos parámetros.

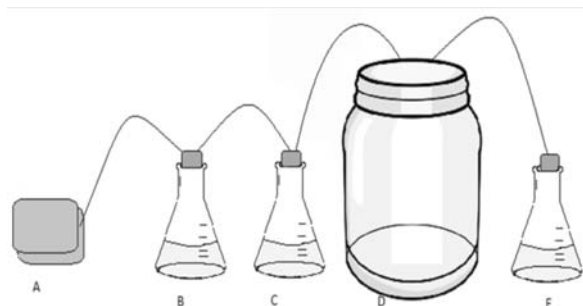
Se realizó un seguimiento de las características fisiológicas, fisicoquímicas y enzimáticas del lulo durante los días 0, 2, 5, 7, 10, 12, 15, con el fin de establecer los cambios que se producen en estas características durante las etapas de maduración organoléptica y de senescencia del fruto.

Características fisiológicas del lulo

La tasa de respiración del lulo (*Solanum quitoense lam*) se evaluó a partir de un montaje de arrastre (Figura 1), cuyo principio es atrapar el gas carbónico (CO₂) en una solución de hidróxido de bario (BaOH), para ser valorado con ácido oxálico empleándose fenoltaleína como indicador (REINA, 1998).

La prueba se realizó por duplicado, depositando 1Kg de muestra en un recipiente de vidrio, manteniéndose en el sistema cerrado

por media hora, tras el cual se procedió a la titulación.



A-Motor eyector de aire, B-C Hidróxido de potasio al 0.1N, D- Portador de muestra, E- Hidróxido de Bario al 0.1N.

Figura 1. Montaje de arrastre para la evaluación de la respiración.

Para esta prueba se realiza una muestra en blanco con 10ml de hidróxido de bario, determinándose la tasa de respiración a partir de la siguiente fórmula:

$$\frac{(\text{mgr CO}_2)}{(\text{Kg./hora})} = \frac{(\text{Vo-Vi}) \text{ mL} * 22\text{gr CO}_2 * \text{N ácido oxálico}}{\text{Tiempo de barrido} * \text{peso de la muestra}}$$

donde:

Vo – Volumen de ácido oxálico gastado en la titulación de 50mL de hidróxido de bario blanco.

Vi- Volumen de ácido oxálico gastado para titular la solución de hidróxido de bario, y el CO₂ producido por el lulo.

N ácido oxálico- normalidad del ácido oxálico

22gr de CO₂- Peso equivalente del CO₂

Tiempo de barrido- Tiempo que fracciona todo el sistema.

Peso de la muestra- Peso del lulo en la muestra (Kg).

Características fisicoquímicas del lulo

Forma- tamaño. Se empleó el método por unificación según PINZON (1996), en el cual se emplean cartas estándar para la comparación y descripción de la forma de la fruta.

Color. Se analizó a partir del uso del espectrofotómetro de esfera X-RITE, empleándose un espacio de color CIEL*a*b* e iluminante D65 (CIE, 1976). Para esta evaluación se tomaron 4 repeticiones y 3 réplicas para un total de 12 determinaciones.

Peso. Para la determinación del peso, se usó la balanza analítica marca OHAUS, teniendo en cuenta la misma muestra durante el seguimiento (AOAC, 1994).

Firmeza. La firmeza fue evaluada tanto en la piel como en la pulpa. Para ello, se empleó un Texturometro (*texture analyzer TA plus*) utilizándose como aditamento (accesorio) un punzón cilíndrico que finaliza en punta con forma de esfera, accesorio indicado en los productos hortofrutícolas para medir la firmeza de textura. Los datos se obtuvieron bajo un software llamado NEXIGEN. Para la evaluación de ésta, fue necesario poner a punto la técnica, con el fin de determinar las variables que se emplearían en la evaluación final, determinándose que para el análisis de la firmeza con piel, las variables a emplear son fuerza trigger 0,1 Kgf, % ruptura 10%, depresión límite 5 mm, velocidad de ensayo 5 mm/s, detector de ruptura 10N. Las condiciones que se seleccionaron para la evaluación de la firmeza de la pulpa del lulo fueron depresión límite 20 mm, velocidad de ensayo 1 mm/s, fuerza trigger 0,01 Kgf, porcentaje de ruptura 10% y detector de ruptura 5 N.

En la determinación de la firmeza del lulo, se realizaron 10 repeticiones por cada condición (con piel y sin piel), teniendo en cuenta el ensayo escogido en la puesta a punto de la técnica.

Humedad. Se usó una balanza de humedad OHAUS, donde se puso a punto la técnica para determinar el tiempo en el cual, 3 g de lulo deben ser expuestos a una temperatura de 110°C en el que la humedad y el peso sea constante. Para ello, en intervalos de 1 minuto y por una hora se tuvo en cuenta el porcentaje de humedad y la pérdida de peso.

pH. Es la medida potenciométrica a 20°C con previa eliminación del dióxido de carbono por agitación en frío. Se tomó un volumen de muestra exenta de dióxido de carbono y se determinó el pH con la ayuda del pH-metro de marca Crison. Se expresó el pH medido a 20°C con tres decimales (AOAC, 1994).

Acidez total. Es la valoración potenciométrica con una disolución alcalina hasta pH=8,1, previa eliminación del dióxido de carbono. Se tomó un volumen de muestra (5ml) exenta de dióxido de carbono, la cual se encontraba homogenizada en un vaso con 5ml de agua destilada. Se valoró agitando con hidróxido de sodio al 0.1N hasta pH=8,1 (AOAC 1994). Los resultados se expresaron en gramos de ácido cítrico/100ml de muestra.

Sólidos solubles totales. Medida del índice de refracción y conversión en grados Brix. Se dispuso el refractómetro en un lugar iluminado con luz difusa, circulando agua destilada a temperatura constante a través de los prismas del refractómetro, con el fin de calibrarlo. Se dispuso sobre el prisma una pequeña cantidad de muestra y se procedió a realizar la lectura (AOAC 1994).

Azúcares reductores. Se tomó una muestra de 50ml de pulpa de lulo en un balón de 250ml, aforando con etanol al 80%, se mezcló bien, procediéndose a filtrar, hasta obtener 25ml, la cual se diluyó con 50ml de agua destilada, añadiendo 2 gotas de solución de acetato en polvo al 30%, hasta lograr la precipitación completa, procediéndose a filtrar. Se agregó al filtrado 0.5 gr de oxalato en polvo, y seguidamente se filtró, descartando los primeros mililitros, con el fin de que la solución quedara transparente. Se tomó una alícuota de 25ml del filtrado, la cual se dispuso en un balón aforado de 100ml, completándose el volumen con agua destilada, se mezcló bien y se colocó en una bureta. Por otra parte, en una fiola se colocaron 5ml de solución fehling A, 5ml de solución fehling B, 3 gotas de azul de metileno y 20ml de agua destilada, añadiendo perlas de vidrio, la cual se llevó a ebullición, procediéndose a titular con el filtrado dispuesto en la bureta (AOAC, 1994). Se tomó nota del volumen de solución gastada en la titulación, para realizar los siguientes cálculos:

$$C = \frac{2000}{PY}$$

C= Gramos de azúcares reductores por 100gr de pulpa

P= Peso de la muestra de pulpa utilizada

Y=Volumen de la solución gastada en la titulación

Pectinesterasa (PE)

La determinación de la actividad de la pectinesterasa se realizó, empleando la técnica del pH estático.

Extracto enzimático

Se preparó una relación 1:1 de muestra y una solución de NaCl 2M (10 ml de muestra y 10 ml de solución de NaCl 2M), se ajustó el pH a 7.5 con una solución de NaOH y se mantuvo en agitación constante por una hora en baño de hielo a temperatura de 4°C.

Determinación de la actividad de la pectinmetilesterasa

Se tomó una alícuota de 10 ml del extracto enzimático y se mezcló con 10 ml de una solución de pectina cítrica al 1% en NaCl 1 M, se ajustó el pH a 7.5 y se mantuvo en agitación constante con un agitador magnético por 5 minutos a una temperatura de 30°C. Posteriormente, se midió el pH y se tituló la muestra con una solución de NaOH al 0.0004 N hasta llegar nuevamente a pH 7.5 (Carabalí I. *et al.*, 2009). La unidad de pectinmetilesterasa (UPME) es definida como el número de miliequivalentes de éster hidrolizado por minuto y mililitro de muestra a pH 7.5, expresándose la actividad de la pectinmetilesterasa como UPE/ml (Fayyaz *et al.*, 1994, Carabli 2005).

Análisis estadístico

Se empleó un paquete estadístico SPSS versión 13, a través del análisis ANOVA (un factor), con el fin de determinar cual/s parámetros de composición varían significativamente durante el proceso de maduración.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características fisiológicas del lulo

La figura 2, describe la intensidad respiratoria del lulo durante su proceso de maduración organoléptica a granel a condiciones ambientales, demostrando un ritmo respiratorio inconstante, ascendiendo hasta el día 7, donde se registra el punto climaterico, para luego iniciar un descenso hasta el día 15, llegando finalmente a la senescencia.

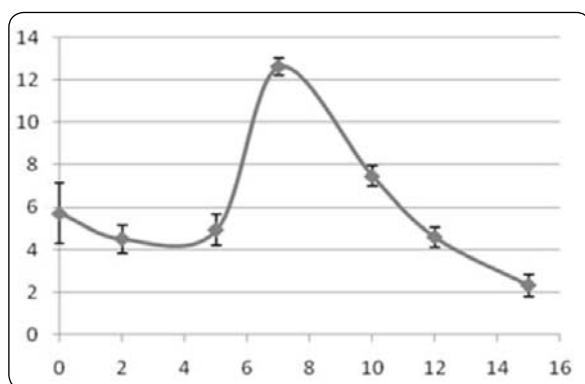


Figura 2. Evolución de la tasa de respiración del lulo en almacenamiento a condiciones ambientales ($20\pm 2^{\circ}\text{C}$, HR=65%).

Según estos resultados, el lulo en las condiciones ambientales de Pamplona, en estado pintón, logra después de 7 días de su recolección su maduración organoléptica, momento en el que se obtienen los mayores cambios en su composición.

Se obtuvo una gran pérdida durante su proceso de maduración, la cual, para el día 7, fue en torno del 5.85% y para el día 15 se presentó una pérdida por transpiración del 19.33% en relación al valor inicial (día 0). Esta pérdida así como lo reporta Reina en 1998, es causada por la pérdida de agua en forma de vapor a través de aberturas microscópicas en la epidermis de la fruta y constituye la causa principal de la pérdida de peso. En

los resultados de Reina se obtuvo una pérdida de peso del 8.7% en el lulo variedad la Selva, almacenado a 28°C y humedad relativa del 65%, resultados muy similares a los obtenidos en esta investigación, ya que para el día 10 el lulo variedad Castilla almacenado a la temperatura de 20°C y humedad relativa del 65% presentó una pérdida del 7.3%.

Características fisicoquímicas del lulo

Los resultados del análisis del tamaño de la muestra de lulo, se dan a conocer en la tabla 1, demostrando que es un fruto de forma redonda con un tamaño aproximado de $6.1\text{cm} \times 6.1\text{cm}$, obteniéndose un área de 37.21cm^2 . El tamaño del fruto disminuyó de forma gradual, debido a la transpiración durante el almacenamiento.

Tabla 1

Resultados estadísticos promedios de las propiedades fisicoquímicas del lulo, durante su proceso de maduración a condiciones ambientales

Día	Tamaño	Humedad	pH	SST	Acidez total	Azúcares reductores
0	$37,21 \pm 0,00^{\text{a}}$	$94,86 \pm 0,00$	$3,08 \pm 0,01$	$6,00 \pm 0,00$	$2,77 \pm 0,07^{\text{a}}$	$0,50 \pm 0,05^{\text{a}}$
2	$37,21 \pm 0,00^{\text{a}}$	$91,31 \pm 0,00$	$3,17 \pm 0,02^{\text{a}}$	$8,00 \pm 0,00$	$1,50 \pm 0,03$	$0,50 \pm 0,03^{\text{a}}$
5	$37,21 \pm 0,00^{\text{a}}$	$90,99 \pm 0,00$	$3,19 \pm 0,01^{\text{a}}$	$9,00 \pm 0,00$	$1,80 \pm 0,08^{\text{a}}$	$0,68 \pm 0,1$
7	$31,92 \pm 0,00$	$90,85 \pm 0,00$	$3,30 \pm 0,04^{\text{bc}}$	$9,50 \pm 0,00$	$2,81 \pm 0,02^{\text{a}}$	$0,64 \pm 0,15$
10	$30,80 \pm 0,00$	$91,41 \pm 0,00$	$3,31 \pm 0,02^{\text{bd}}$	$9,50 \pm 0,00$	$2,21 \pm 0,10$	$0,59 \pm 0,05$
12	$24,50 \pm 0,00$	$92,51 \pm 0,00$	$3,69 \pm 0,03$	$9,00 \pm 0,00$	$1,70 \pm 0,20^{\text{b}}$	$0,46 \pm 0,04$
15	$16,80 \pm 0,00$	$89,77 \pm 0,00$	$3,35 \pm 0,10^{\text{cd}}$	$9,00 \pm 0,00$	$2,37 \pm 0,08$	$1,60 \pm 0,70$
p-valor	0,00	0,00	0,00	0,45	0,00	0,00

p -valor $< 0,05$ existen diferencias significativas,

a,b,c,d Letras iguales entre columnas, no existen diferencias mínimas significativas al nivel del 95%.

Los resultados de la evolución de la luminosidad se muestran en la figura 3. Según lo presentado, el lulo variedad Castilla producida en el municipio de Pamplona, se caracteriza por presentar una luminosidad expresada numéricamente en 48.59. De acuerdo con la

evolución presentada durante los 15 días de almacenamiento, la luminosidad del color de la piel en el lulo no difiere conforme procede la maduración en este fruto. Por otra parte, se precisa indicar que en el tiempo de almacenamiento solo se observó una variación en la intensidad de la luminosidad en el lulo en el día 7, siendo esto consecuente con lo obtenido en la tasa de respiración, ya que en este día se obtuvo el pico climatérico, en donde se dice que existe una mayor producción del etileno hormona de la maduración.

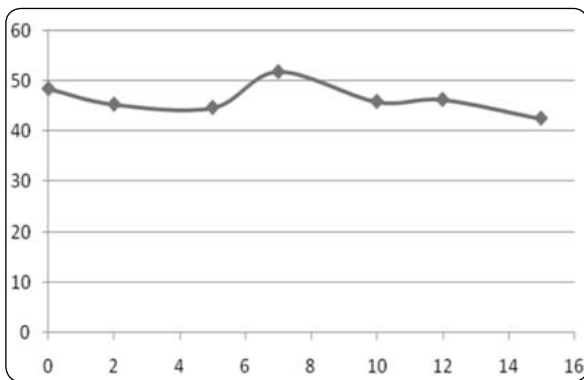


Figura 3. Evolución de la luminosidad en el color del lulo almacenado en condiciones ambientales ($20\pm 2^{\circ}\text{C}$, HR= 65%).

Respecto a los resultados estadísticos, y según ANOVA no se presenta diferencia significativa (p -valor = 0.251) en la luminosidad del color de la piel del lulo, variedad Castilla, durante el proceso de maduración.

En relación a los tonos a^* (Rojo-verde) y b^* (Amarillo-azul) del lulo (figura 4), se puede observar que el tono rojo y amarillo aumentaron considerablemente desde el día 5 al 7, cuando disminuyeron al llegar finalmente a la senescencia, presentándose una mayor tonalidad el día 7.

En relación a la evolución del color en su tono (a^* , b^*) se obtuvo que el lulo, en estado pintón, variedad castilla, se caracteriza

por presentar un tono, representado en una escala CIEL* a^*b^* , en $a^*= 2.12$ y en $b^*= 39.27$, es decir su tonalidad es más intensa en el color amarillo. Esta tonalidad conforme se desarrollaba la maduración a condiciones ambientales presentó una variación que se representó claramente en dos grupos. El primer grupo conformado por los días 0, 2 y 5 y el segundo por los días 7, 10, 12 y 15. Con estos resultados se evidencia que el lulo, variedad Castilla, sufre su mayor transformación en el color a partir del día 7 en que se manifiesta una mayor tonalidad rojiza.

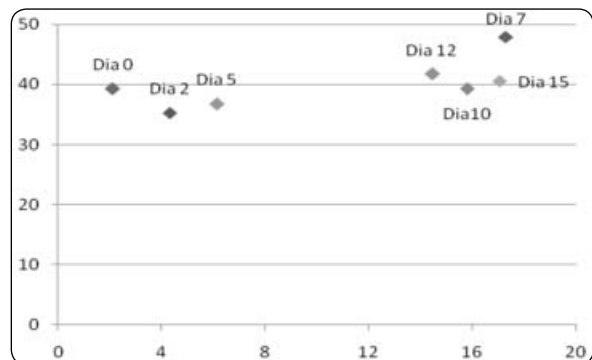


Figura 4. Evolución de los tonos a^* y b^* del lulo almacenado a condiciones ambientales ($20\pm 2^{\circ}\text{C}$, HR= 65%).

Los resultados estadísticos para el tono (a^* y b^*) se muestran en la tabla 2.

Tabla 2

Resultados promedios estadísticos de la evolución del tono (a^* y b^*) en el color de la piel del lulo variedad Castilla

DIAS	a^*	b^*
0	2.12 ± 0.00^{ab}	39.27 ± 0.00
2	4.32 ± 5.77^{ac}	35.32 ± 6.69
5	6.14 ± 3.40^{bc}	36.78 ± 3.45
7	17.30 ± 4.64^{def}	47.91 ± 7.50
10	15.81 ± 7.60^{dgh}	39.26 ± 12.66
12	14.45 ± 4.82^{ghi}	41.72 ± 12.19
15	17.05 ± 5.02^{hi}	40.54 ± 8.41
p-valor	0.000	0.488

$n= 84$, promedio \pm desviación típica, p -valor ≤ 0.05 existen diferencias significativas, ^{a,b,c,d} Letras iguales entre columnas, no existen diferencias mínimas significativas al nivel del 95%.

Se presentaron diferencias estadísticamente significativas al nivel del 95% en el tono rojo (a^*) durante el almacenamiento del lulo, encontrándose que hay diferencia de color en el tono rojo a partir del día 7 de almacenamiento. Este resultado demuestra la transformación que se genera en el día 7, el cual presenta la mayor tasa de respiración y los mayores cambios en firmeza, con lo cual se puede establecer que el lulo, variedad Castilla, es un fruto que presenta sus mayores cambios fisiológicos y metabólicos en el día 7 de almacenamiento a condiciones ambientales.

En la figura 5 se puede observar que el lulo variedad Castilla en estado pintón presenta una firmeza aproximada de 18.34 N, la cual va decayendo a medida que se procede el proceso de maduración, disminuyéndose de forma gradual en un 73% aproximadamente, de acuerdo con el día 0 (valor inicial). Sin embargo, la pérdida de firmeza fue mayor en la pulpa (figura 6).

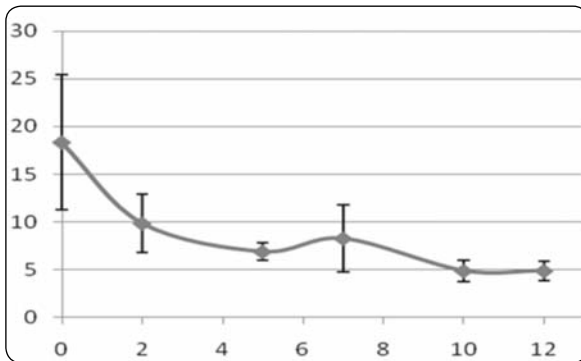


Figura 5. Evolución de la firmeza del lulo con piel almacenado a condiciones ambientales ($20\pm 2^\circ\text{C}$, HR= 65%).

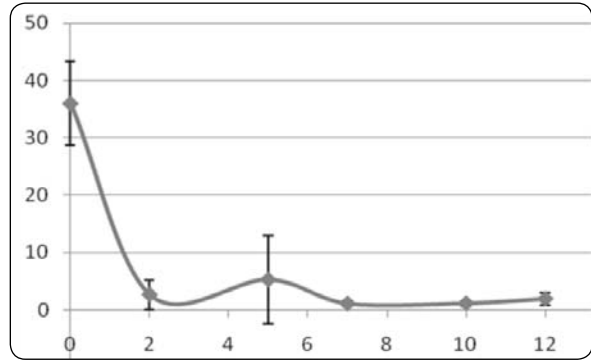


Figura 6. Evolución de la firmeza del lulo sin piel almacenado a condiciones ambientales ($20\pm 2^\circ\text{C}$, HR= 65%).

Los resultados de la evolución de la presencia de la enzima PE en el lulo se presentan en la figura 7, donde se puede observar que el lulo en su estado verde presenta la menor actividad de esta enzima (0.064). Si se observan los resultados de firmeza del lulo sin piel, se puede concluir que esta enzima influye directamente con la firmeza en el lulo.

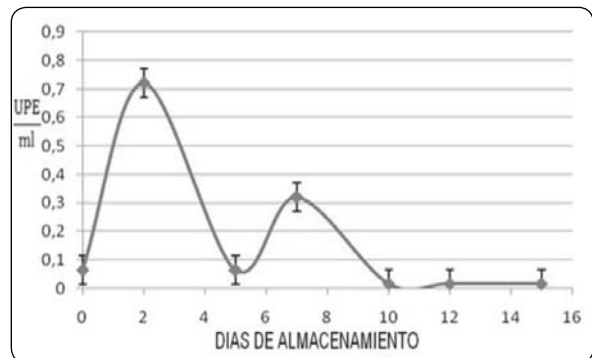


Figura 7. Evolución de la actividad de la enzima PE en el lulo almacenado a condiciones ambientales.

CONCLUSIONES

El lulo variedad Castilla durante el proceso de maduración organoléptica sufre su mayor transformación a partir del día 7 prin-

cipalmente en el color, firmeza, y actividad de la enzima pectinesterasa.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Carabalí L. (2005). Extracción y medida de actividad de pectin metilesterasa en pitaya amarilla (*Acanthocereus pitajaya*), enzima relacionada con el ablandamiento. Universidad Nacional de Colombia.
- Fayyaz A., Sabih B., Ghazali H., Che Man Y., Jinap S. (1995). Stability studies of papaya pectinesterasa. Food Chemistry, 53:391-396.
- Gomez CR., *et al.*, (2004). Caracterización y normalización del lulo de castilla (*Solanum quitoense L.*) Memorias del seminario Nacional e Internacional de frutales. Manizales: Universidad Nacional de Colombia.
- Muñoz Juan y Puentes Álvaro. Evaluación de la calidad del lulo (*Solanum quitoense*) y diseño de un empaque apropiado para su comercialización. Tesis de grado. Universidad Nacional de Colombia, 1993.
- Pires R, Finardi-filho F. (2005). Extraction and assay of pectin enzymes from Peruvian carrot (*Arracacia xanthiriza*). Food Chemistry. 89: 85-92.
- Warilow A. Jones M. 1994. Different forms of tomato pectinesterase have different kinetic properties. Phytochemistry. 39: 277-282.
- Wu M, Chen Y, Hwang J. (2004). Transacylation of citrus pectin as catalyzed by pectinesterase from tendril shoots of chayote (*Sechium edule S.*). Food Res Int. 37:759-765.
- Zhou H. (2005). Pectinesterase, polygalacturonase and gel formation in peach pectin fractions. Phytochemistry. 55: 191-195.