

DETERMINACIÓN DE LA FUERZA DE LA FRACTURA SUPERFICIAL Y FUERZA DE FIRMEZA EN FRUTAS DE LULO (*Solanum quitoense* x *Solanum hirtum*)

Diana Marcela Ospina Monsalve¹; Héctor José Ciro Velásquez² e Iván Darío Aristizábal Tórres³

RESUMEN

*Se hizo la caracterización reológica de la fruta de lulo (*Solanum quitoense* x *Solanum hirtum*) a través de la respuesta mecánica bajo ensayos de compresión unidireccional a pruebas de firmeza y fractura, de acuerdo a dos grados de madurez comercial (pintón y maduro) y tiempos de poscosecha (0, 3, 6, 9 días). Adicionalmente se determinaron propiedades físico-químicas tales como concentración de azúcares, pH y color. Las frutas fueron sometidas a ensayos de compresión unidireccional usando un analizador de textura a una velocidad de deformación de 1 mm·s. Los ensayos para la prueba de fractura se realizaron según dos sentidos de carga (longitudinal y transversal) y la prueba de firmeza se determinó en dos ángulos de incidencia. Los resultados mostraron que el comportamiento reológico de la fruta a ensayos de fractura y firmeza es altamente dependiente del tiempo transcurrido después de la cosecha de la fruta y condiciones fisiológicas (grado de madurez), situación ésta que refleja el comportamiento visco elástico y anisotrópico del producto. Los valores de la fuerza de fractura indicaron que la fruta pintona resiste mayor carga de aplastamiento con respecto al fruta madura. La fruta resiste más carga en sentido longitudinal que transversal, mostrando valores para frutas pintonas en posición longitudinal de 226 N y en posición transversal de 84,8 N, y para las frutas maduras se encontró una fuerza de fractura media en posición longitudinal de 180 N y en posición transversal de 68,5N. Para la fuerza de firmeza media (pulpa) el valor máximo para frutas maduras fue de 1,4 N, y para frutas pintonas de 1,1 N. La fuerza de firmeza máxima (epicarpio) tomó como valores máximos para las frutas maduras 14,4 N y para los frutas pintonas de 15,7 N.*

Palabras claves: Fuerza de fractura, fuerza de firmeza, propiedades físicas y químicas, lulo.

¹ Ingeniera Agrícola. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Facultad de Ciencias Agropecuarias. A.A. 1779, Medellín, Colombia. <hjciro@unalmed.edu.co>

² Profesor Asociado. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Facultad de Ciencias Agropecuarias. A.A. 1779, Medellín, Colombia. <hjciro@unalmed.edu.co>

³ Profesor Asistente. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Facultad de Ciencias Agropecuarias. A.A. 1779, Medellín, Colombia. <idaristi@unalmed.edu.co>

Recibido: Septiembre 9 de 2006; aceptado: Agosto 1 de 2007

ABSTRACT

**DETERMINATION OF SURFACE FRACTURE AND FIRMNESS FORCE
IN LULO FRUIT (*Solanum quitoense* x *Solanum hirtum*)**

*A rheological characterization of lulo fruits (*Solanum quitoense* x *Solanum hirtum*) by using the test of unidirectional compression to firmness and fracture tests, according to two degrees of commercial maturity (immature and mature) and four post harvesting times (0, 3, 6, 9 days) was done. Additionally physical and chemical properties were determined such as Brix degrees, pH and colour. The fruits were subjected to unidirectional compression by a texture analyzer and loading rate of 1 mm·s. The tests of fracture were established in two loading senses (longitudinal and transversal) and the test of firmness was determined in two angles of incidence. Statistical analyses indicated that the rheological behavior of the fruit to fracture and firmness depended upon the post-harvesting time conditions and physiological condition (maturation), situation that shows the anisotropic and viscoelastic behavior of the product. The values of the indicated that the immature fruit presents higher mechanical resistance to the compression with respect to the mature fruit. Nevertheless, the product present more resistance to mechanical fracture in longitudinal position showing mean values to the immature fruits in longitudinal and transversal positions of 226 N and 84, 8 N, respectively. The mature fruits showed mean values of fracture force of 180 N and 68,5 N to longitudinal and transversal loading directions. The maximum firmness force to the pulp in mature fruits was of 1,4 N and 1,0 N to immature fruit. The maximum force measured in the exocarp showed a mean value of 14,4 N and 15,7 N to mature and immature fruits respectively.*

Key words: Fracture force, firmness force, physical and chemical properties, lulo fruit.

Las frutas y hortalizas pueden considerarse materiales biológicos, que durante su cosecha y en los procesos de manipulación en poscosecha, son sometidos a diversas condiciones de fuerzas o cargas aplicadas, las cuales, si no se tiene un control óptimo de manejo, pueden ocasionar graves daños mecánicos que afectarán tanto su calidad, como su comercialización y precio. Por tanto, identificar las magnitudes de esas cargas y esfuerzos resulta muy importante para determinar el índice de cosecha, características de empaque, transporte, y sistemas de control de calidad en los procesos de transformación, teniendo presente conservar la calidad de un producto altamente valorable para el consumidor final.

A nivel teórico, los modelos reológicos pueden predecir información útil del comportamiento mecánico de los materiales

sometidos a diferentes condiciones de esfuerzo. Sin embargo; debido a la heterogeneidad estructural de los materiales vegetales, el modelamiento matemático se hace extensivo y laborioso, y en algunos casos infructuoso, conllevando a la utilización de técnicas experimentales con el fin de determinar el comportamiento mecánico de estos tipos de materiales; admitiendo que dicho comportamiento puede estar afectado por una combinación de múltiples factores o características físicas, químicas, térmicas y mecánicas del producto.

También es indispensable avanzar en el conocimiento de los factores de poscosecha que influyen en la calidad del producto, como son los sistemas de empaque y transporte, eslabones de la cadena comercial en los que la fruta es sometida a fuerzas de compresión y de impacto que afectan de

manera negativa la posterior conservación en poscosecha, contribuyendo a incrementar las pérdidas y a disminuir el valor comercial.

Se encuentra entonces en la caracterización mecánica de la fruta, un conocimiento académico, práctico y tecnológico que puede ayudar a definir los límites críticos de operación y manejo de la fruta de lulo, de manera que dependiendo de su estado de madurez, no se afecten sensiblemente su calidad física, química y sus atributos sensoriales.

El objetivo de la investigación fue realizar la caracterización reológica de la fruta de lulo, a través de la respuesta mecánica bajo ensayos de compresión unidireccional a pruebas de firmeza y fractura, de acuerdo a dos grados de madurez comercial (pintón y maduro) y el tiempo transcurrido después de la cosecha (0, 3, 6, 9 días) de la fruta.

Reología de materiales viscoelásticos. En el caso de los materiales biológicos según Mohsenin (1986), los productos agrícolas pueden considerarse como materiales de ingeniería de naturaleza anisotrópica cuyas propiedades mecánicas están relacionadas con su comportamiento bajo la acción de fuerzas aplicadas.

El comportamiento mecánico que pueden exhibir los materiales biológicos no es perfectamente elástico ni perfectamente plástico. Estos materiales biológicos exhiben un comportamiento medio entre los anteriores y son agrupados bajo la definición de materiales viscoelásticos, en donde su comportamiento es representado

mediante modelos reológicos (Mohsenin, 1986; Stroshine, 1999). Según Peleg, (1976), las propiedades reológicas de un material biológico están en función de su composición bioquímica y su estructura física con alta dependencia del factor tiempo.

Fractura. La fractura de un material sólido puede ser considerada como una propiedad mecánica del material donde ocurre una separación física en dos o más partes como consecuencia de la acción de un determinado esfuerzo (Smith, 1996; Dowling, 1998). Además en el caso de las frutas la fractura es considerada como un daño mecánico, ocasionado por una fuerza de acción externa, que puede inducir cambios de sabor y alteración química del color sin romper la superficie del producto (Mohsenin, 1986).

Según Bourne (2002), en los materiales biológicos existen tres tipos de fractura: fractura de tipo simple (separación de un cuerpo en dos o más piezas), fractura frágil (se caracteriza por una nula o pequeña deformación plástica con una baja absorción de energía antes de la fractura) y fractura dúctil (se caracteriza por una substancial deformación plástica con alta absorción de energía antes de la ruptura). Cada tipo de fractura se caracteriza por tres pasos: inicialización de una grieta, propagación de la grieta y falla final.

La fractura ocasionada por compresión unidireccional es un proceso continuo que abarca dos etapas: una fractura interna en la que el producto permanece intacto y una segunda etapa en donde se da una desintegración física del producto (Pollak y Peleg, 1980).

Firmeza. Se define la firmeza de un material, como la fuerza necesaria para romper los tejidos carnosos y está relacionada con los diferentes estados durante el proceso de maduración, por lo tanto la firmeza de la fruta es considerada como un buen indicativo de la madurez. La firmeza depende del estado de la fruta en el momento de recolección, de la temperatura y forma de almacenamiento y puede relacionarse con el color externo (Valero y Ruiz, 1996).

De acuerdo a Fekete (1994), la firmeza es la resistencia de un material a la deformación o penetración, y cada material se caracteriza por una curva de deformación en respuesta a fuerzas variables aplicadas sobre él, donde para materiales biológicos por poseer características viscoelásticas se recomienda utilizar un coeficiente de elasticidad específico.

Según Lewis (1993) la fuerza de penetración se define como la fuerza necesaria o requerida para penetrar un producto en un tiempo determinado. El equipo denominado texturómetro, se emplea para medir la fuerza requerida para penetrar, comprimir, deformar o extruir un alimento. La fuerza puede aplicarse en una amplia variedad de formas como penetración, cizalla, compresión, extrusión, corte, flujo y mezcla. La fuerza se aplica mediante una sonda que es empujada sobre la muestra de producto, causando compresión irreversible o flujo del material; la profundidad de la penetración se mantiene constante, mientras la fuerza ejercida por el producto es registrada.

Aunque muchos estudios sobre propiedades mecánicas de productos vegetales han sido realizados a nivel

internacional, pocos trabajos se han publicado referentes a caracterización reológica de frutas tropicales. La fuerza de fractura ha sido estudiada un forma puntual en frutas tropicales como granadilla y tomate de árbol (Ciro, Vahos y Cortes, 2003), lulo de castilla, mora de castilla, mango y pitalla (Chica, García y Rojas, 2005), banano (Ciro, Montoya y Millán, 2005) y uchuva (Chica, García y Rojas, 2005; Ciro, Buitrago y Pérez, 2007).

En el caso del lulo de castilla, Chica García y Rojas (2005), encontraron en frutas sometidas a compresión una fuerza de ruptura para el estado de maduración 3 (pintón) de 31 N y para frutas completamente maduras de 13 N. El estudio se orientó para determinar el número de capas de producto que puede soportar la fruta contenida en un recipiente de cosecha y en un empaque de comercialización pero no se evaluó el efecto del tiempo de almacenamiento en la resistencia del fruto a este tipo de fuerzas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización. El trabajo se realizó en el Laboratorio de Procesos Agroindustriales de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín con condiciones ambientales de temperatura y humedad relativa de 21°C y 65%, respectivamente. La materia prima fue aportada por CORPOICA, C.I. "La Selva", la cual correspondió a una misma producción.

Materiales y equipos.

- Frutas de lulo clasificadas en dos grados de madurez: pintona (estado entre inmadura y madura) y madura.

- Analizador de textura Stable Micro Systems®, Modelo TA-XT2i.
- Plato de compresión de 100 mm de diámetro.
- Aguja de penetración cilíndrica de 2 mm de diámetro.
- Espectrofotómetro de esfera X-RITE SP – 60.
- Programa <Texture Expert Exceed> version 1.00.
- Refractómetro Leica auto ABBE.
- Potenciómetro METER, cg-840b Schott.
- Agua destilada.
- Paquete estadístico SAS. Versión 8.0.

Métodos. La investigación se realizó en tres fases diferentes.

Fase 1: Caracterización reológica. Los ensayos se realizaron con un intervalo de 3 días, comenzando a partir del día cero (día de la cosecha) y terminando las pruebas el día 9 después de recolectada la fruta.

Cada ensayo se realizó con 5 repeticiones. Se emplearon 120 frutas en dos estados de maduración, pintonas y maduras, según tabla de clasificación de colores suministrada por CORPOICA (Rojas *et al.*, 2004). En cada día, se realizaron pruebas para determinar la firmeza máxima y media y pruebas para determinar la fractura.

Los ensayos se desarrollaron utilizando el texturómetro, operando a una velocidad de deformación de 1 mm/s y con una distancia mínima unidireccional de 2 cm para ambas pruebas (fractura y firmeza). La prueba de fractura se hizo en dos direcciones diferentes, una en sentido longitudinal (de polo a polo) y otra en

sentido transversal (a lo largo de la zona ecuatorial de la fruta). La prueba de compresión se realizó con un plato de 100 mm de diámetro.

La fuerza de firmeza unidireccional se aplicó sobre una fruta de lulo, en 3 direcciones diferentes que variaron en un ángulo de 120°, medidos a partir del eje longitudinal (de derecha e izquierda del eje). La aplicación de la fuerza en sentido longitudinal se denominó posición 1, la variación de posición 120° hacia la derecha, se denominó posición 2, y la variación hacia la izquierda, posición 3. La fruta se punzó con una sonda cilíndrica de 2 mm de diámetro.

La información obtenida se procesó mediante el programa Texture Expert® versión 1.1, sistema operativo Windows. La fuerza de fractura y de firmeza se determinaron a partir de las gráficas fuerza vs. deformación, suministradas por el programa.

Fase 2: Determinación de las propiedades físico-químicas. En cada una de las frutas sometidas a las pruebas reológicas, se determinaron la concentración de azúcares, el pH y el color. Para la caracterización del color del producto, se determinaron las coordenadas arrojadas por el sistema del espectrofotómetro de esfera X-RITE SP-60. El sistema suministra por la toma de una muestra, tres coordenadas correspondientes a luminosidad (L), matiz ó tono (a) y saturación (b). A cada fruta se le tomaron tres datos por cada coordenada. Estas fueron promediadas obteniendo así un solo valor medio de cada coordenada para cada fruta.

Fase 3: Análisis estadístico. Tanto para la caracterización reológica (fuerza de fir-

meza y fuerza de fractura) como para la caracterización físico-química, fue establecido un diseño completamente aleatorizado con un arreglo factorial 2 x 4 (2 niveles de maduración y 4 tiempos de poscosecha) con 5 repeticiones por tratamiento, estableciéndose pruebas de análisis de varianza a un nivel de significancia del 5% y pruebas de diferenciación de medias a través del estadístico Duncan a un nivel de confianza del 95%. Los datos fueron analizados con el paquete estadístico SAS versión 8.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fuerza de firmeza máxima en el epicarpio. En la Tabla 1 se muestra el análisis de varianza a un nivel de significancia del 5 % para la variable fuerza de firmeza máxima de la fruta medida en el epicarpio, utilizando como factores fijos el tiempo de poscosecha y el estado de madurez. Los resultados indicaron que la fuerza de firmeza es dependiente del tiempo posterior a la cosecha de la fruta, de su estado de madurez y de la interacción de ambos factores.

Tabla 1. Análisis de varianza para la fuerza de firmeza máxima en frutas de lulo.

Factor	Grados de libertad	Valor F	Valor P
Tiempo	3	34,36	<0,0001
Estado de madurez	1	31,09	<0,0001
Tiempo*Estado de madurez	3	6,29	0,0018

En la Figura 1 se muestran la fuerza de firmeza máxima para la fruta de lulo en los dos estados de madurez estudiados, desde

el momento de su recolección (tiempo cero) hasta el noveno día después de la cosecha

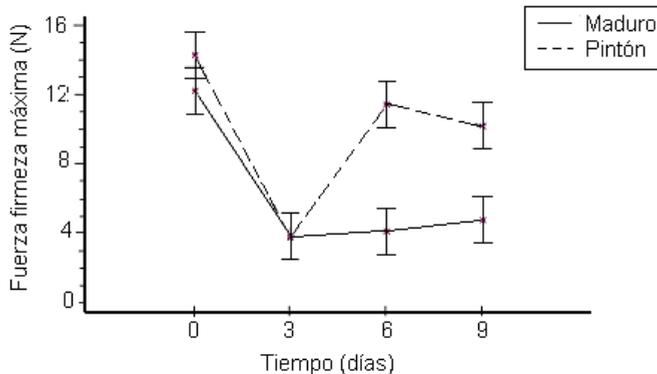


Figura 1. Fuerza de firmeza máxima del epicarpio del lulo según el estado de madurez y el tiempo después de la cosecha.

Se observa que al inicio y al día tres los frutos pintonas y maduras no presentaron diferencias significativas, sin embargo a partir del tercer día, las frutas pintonas presentan en el epicarpio una mayor resistencia a la penetración que las frutas maduras. La Figura 1 indica también, que la fuerza de firmeza para frutas de lulo en su estado maduro no presentó diferencia estadísticas a partir del tercer día de haber sido cosechadas. El comportamiento del la fruta de lulo pintona en la fuerza máxima de firmeza no presentó diferencias en el tiempo, a excepción del tercer día. Para los dos estados de madurez el mayor porcentaje de disminución de la firmeza ocurrió en los tres primeros días.

Fuerza de firmeza media en la pulpa. El análisis de varianza muestra que hubo efecto significativo de la interacción estado de maduración y tiempo pos-cosecha en la firmeza media de la pulpa del lulo (Tabla 2). También hubo efecto significativo del tiempo transcurrido desde la recolección en la firmeza de la pulpa. La Figura 2 muestra una drástica disminución en la firmeza de la pulpa de los frutos maduros y pintones en los tres días primeros después de la recolección del fruto. A partir del tercer día la variación de la firmeza de la pulpa en las frutas maduras fue mínima, mientras que en las frutas pintonas experimentaron un ligero aumento.

Tabla 2. Análisis de varianza para la fuerza de firmeza media en la pulpa de lulo.

Factor	Grados de libertad	Valor F	Valor P
Tiempo	3	17,45	0,0000
Estado de madurez	1	2,53	0,1215
Tiempo*Estado de madurez	3	4,09	0,0144

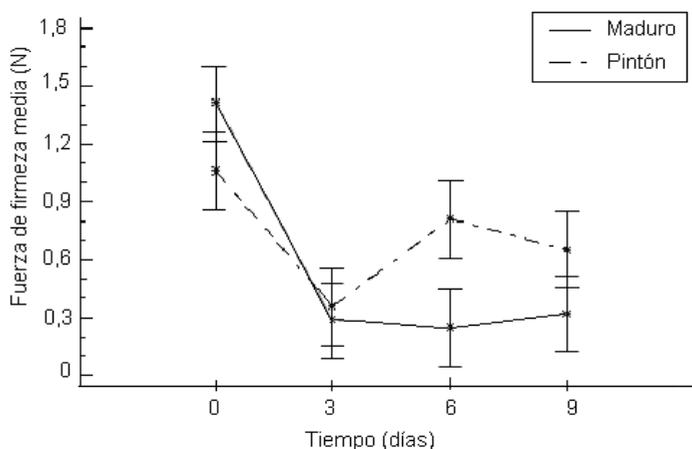


Figura 2. Fuerza de firmeza media de la pulpa del lulo según el estado de madurez y el tiempo después de la cosecha.

Dado que el lulo es una fruta climatérica, el proceso de maduración que continua después de la recolección, tuvo mayor incidencia en la disminución de la firmeza, tanto del epicarpio como de la pulpa, como consecuencia, quizás, de una mayor actividad de desdoblamiento de almidones en azúcares durante este periodo de tiempo, generando el debilitamiento de las paredes celulares de los tejidos del epicarpio y del mesocarpio del fruto. A partir del tercer día, se observó una disminución de la firmeza en las frutas maduras debida probablemente a la pérdida interna de la estructura del mesocarpio, que conllevó a un tejido ex-

terno (epicarpio) blando más elástico y deformable bajo la acción de la fuerza de punción.

Fuerza de fractura. En la Tabla 3 se muestra el análisis de varianza, para un nivel de significancia del 5%, realizado para la variable de respuesta fuerza de fractura y tomando como factores; el estado de madurez, el tiempo posterior a la cosecha y la posición de aplicación de la fuerza. Las cifras indican que los factores mencionados y la interacción del estado de madurez con la posición de aplicación de la fuerza fueron significativos.

Tabla 3. Análisis de varianza para la fuerza de fractura en frutas de lulo.

Factor	Grados de libertad	Valor F	Valor P
Estado	1	30,77	<0,0001
Tiempo	3	7,81	0,0002
Estado*Tiempo	3	0,48	0,7006
Posición	1	108,85	<0,0001
Estado*Posición	1	6,15	0,0158
Tiempo*Posición		30,80	0,4962
Estado*Tiempo*Posición.		30,37	0,7733

En la Figura 3 se muestra la fuerza de fractura de la fruta de lulo para dos posiciones de falla (transversal y longitudinal) y para dos estados de madurez (madura y pintona). Se observa que el lulo en posición longitudinal, presenta mayor resistencia a la fractura tanto para el estado pintón como maduro, y se deduce que el lulo en la posición transversal es más susceptible a posibles daños mecánicos ocasionados por fuerzas de aplastamiento o compresión. El comportamiento de la fuerza de fractura presenta una tendencia generalizada de disminuir a través del tiempo hasta el día sexto de ensayo. Para las frutas colocadas en

posición longitudinal se observó una ligera recuperación en la resistencia a la fuerza de fractura, representada por un aumento en el valor de la misma hacia el día 9.

En la Figura 4 se aprecia que la fruta de lulo en estado pintón es significativamente más resistente a la falla por cargas de compresión, en sus dos ejes, que lulo en estado maduro, además que la resistencia a la compresión es más alta en sentido de carga longitudinal que transversal. Este comportamiento anisotrópico es bastante similar al reportado por Ciro, Vahos y Cortés 2003, en tomate de árbol.

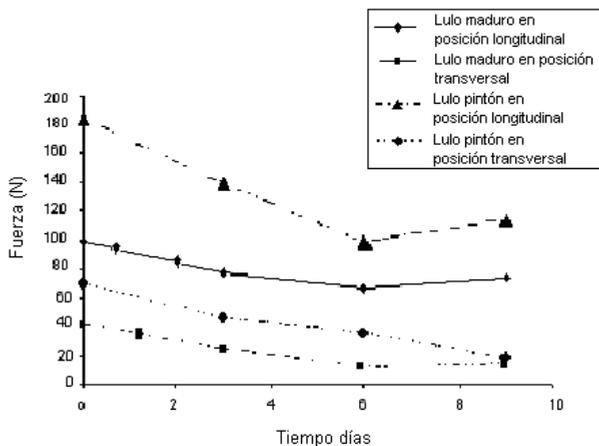


Figura 3. Fuerzas de fractura en frutas de lulo en posición longitudinal y transversal.

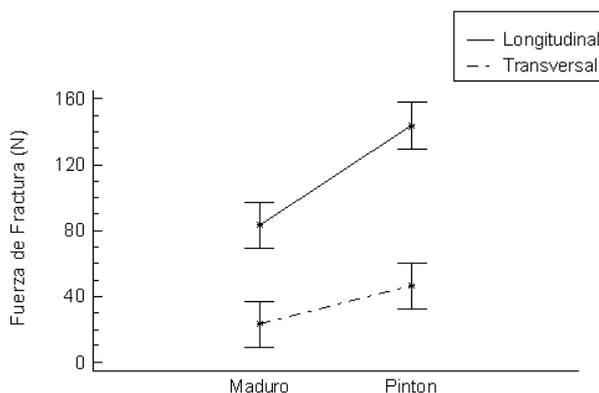


Figura 4. Fuerzas de fractura en frutas de lulo en posición longitudinal y transversal, y estado de madurez (pintón y maduro).

Caracterización Físico - Química

Sólidos solubles totales. En la Figura 5 se puede apreciar como los °Brix no presentaron diferencias significativas con

respecto al tiempo y con respecto al grado de madurez, y se encuentran dentro de un rango de variación pequeño. Un valor medio de 8,25°Brix puede asumirse representativo para la fruta.

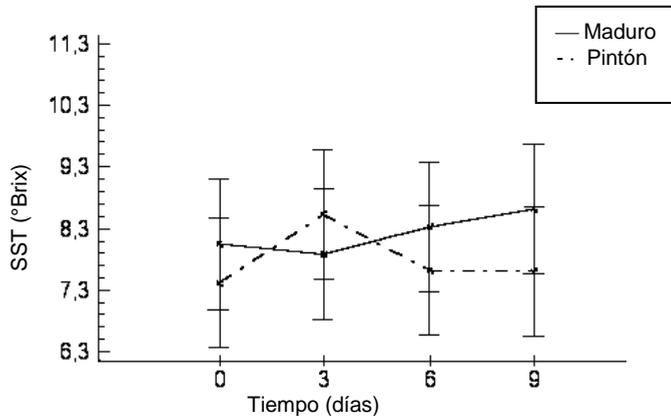


Figura 5. Comportamiento de los sólidos solubles totales (SST), en el tiempo de poscosecha en la pulpa de frutas maduras y pintonas de lulo.

pH. La Figura 6 indica como las diferencias entre los dos grados de madurez y el tiempo, no son significativas y prácticamente todas las frutas ensayadas

no mostraron variación en el pH. Un valor promedio de 3,30 puede entonces ser considerado como representativo para esta fruta.

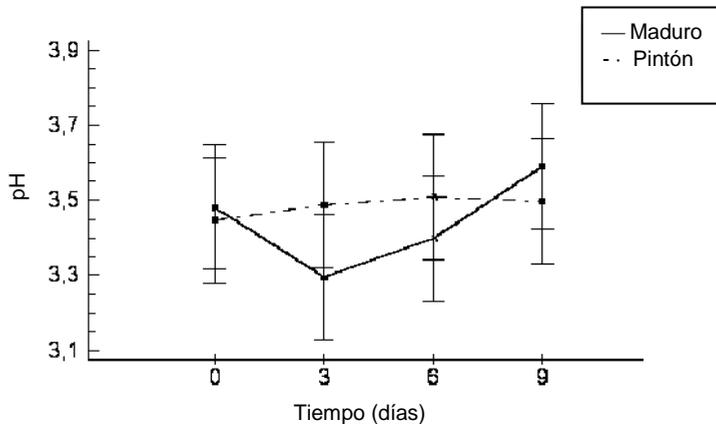


Figura 6. Comportamiento de pH en el tiempo de poscosecha en la pulpa de frutas maduras y pintonas de lulo.

Color

Luminosidad (L). En la Tabla 4 se muestra el análisis de varianza con un nivel de significancia del 5%, para la variable respuesta luminosidad, utilizando

como factores fijos el tiempo de poscosecha y el estado de madurez. Se encontró que la luminosidad depende del tiempo de poscosecha de la fruta, del estado de madurez y de la iteración de tiempo poscosecha y estado de madurez.

Tabla 4. Análisis de varianza para la Luminosidad.

Factor	Grados de libertad	Valor F	Valor P
Estado	1	11,86	0,0016
Tiempo	3	7,33	0,0007
Estado*Tiempo	3	3,06	0,0421

La luminosidad sólo presentó diferencias entre las frutas maduras y pintonas al comienzo del experimento. A partir del tercer día, no se presentaron diferencias en esta variable entre los dos estados de maduración, esto podría explicarse por la condición de fruta climatérica que el lulo posee en la que el cambio de pigmentación de la epicarpio, afecta más la luminosidad de la fruta pintona.

Tonalidad (a). En la Tabla 5 se muestra el análisis de varianza para la variable de respuesta tonalidad (coordenada a*, indicador del componente rojo) y se puede observar que esta variable presentó una dependencia estadística significativa del 5% con el estado de madurez y con la iteración del tiempo de poscosecha y del estado de madurez, pero no presentó dependencia con relación al tiempo de poscosecha.

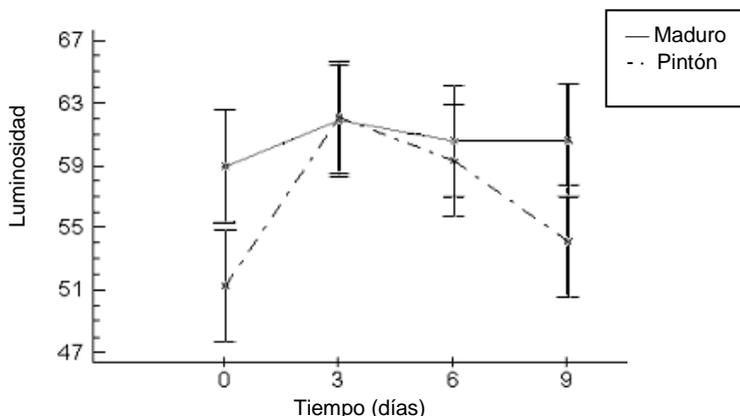


Figura 7. Comportamiento de la luminosidad en el epicarpio de frutas de lulo, según el tiempo de poscosecha y el grado de madurez.

Tabla 5. Análisis de varianza para la tonalidad (a) del pericarpio en frutas de lulo según el tiempo de poscosecha y el grado de madurez.

Factor	Grados de libertad	Valor F	Valor P
Estado	1	48,84	0,0000
Tiempo	3	1,65	0,1968
Estado*Tiempo	3	4,19	0,0131

Para la tonalidad, se presentaron diferencias significativas entre los dos estados de madurez del fruto, para los días cero y

nueve, mostrando mayor componente rojo en el epicarpio las frutas maduras que las pintonas

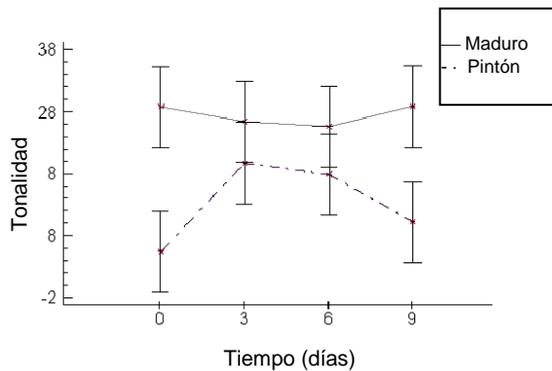


Figura 8. Comportamiento de la tonalidad en el epicarpio de frutas de lulo, según el tiempo de poscosecha y el grado de madurez.

De acuerdo a la Figura 8, se puede inferir que la fruta de lulo madura, presenta una tendencia a mostrar un grado más alto del color rojo con respecto al fruto pintón.

color), utilizando como factores de variación; el tiempo de poscosecha y el estado de madurez. Se halló que el componente amarillo (coordenada b*) del epicarpio de la fruta de lulo es dependiente del tiempo de poscosecha de la fruta y del estado de madurez (a un nivel de significancia del 5%), pero no de la iteración de estos factores.

Saturación (b). En la Tabla 6 se muestra el análisis de varianza para la saturación (componente amarillo del

Tabla 6. Análisis de varianza para la saturación (b) del color en el epicarpio de frutas de lulo, según el tiempo de poscosecha y el grado de madurez.

Factor	Grados de libertad	Valor F	Valor P
Estado	1	17,50	0,0002
Tiempo	3	9,29	0,0001
Estado*Tiempo	3	2,42	0,0839

En la Figura 9 se puede apreciar un comportamiento similar al presentado para la luminosidad, en el que las frutas maduras tienden a presentar mayor componente amarillo del color (coordenada b*) con relación a las frutas pintonas.

Efectivamente, por el comportamiento en el tiempo postrecolección de los componentes rojo y amarillo del epicarpio de las frutas pintonas, se comprueba para el lulo que el proceso de maduración influye de una manera significativa en el color.

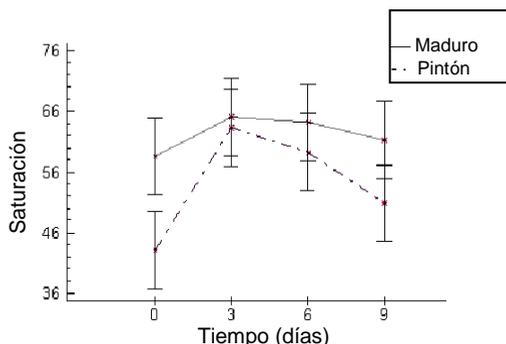


Figura 9. Comportamiento de la saturación del color en el epicarpio de frutas de lulo, según el tiempo de poscosecha y el grado de madurez.

Correlación entre la respuesta reológica y la caracterización físico-química de la fruta. Las Tablas 7 y 8 muestran que las variables °Brix, pH y

color, no presentaron incidencia significativa sobre la respuesta de la fruta a la aplicación de fuerza de punzamiento y a la aplicación de una fuerza de fractura.

Tabla 7. Correlaciones entre las variables físico químicas y la fuerza de firmeza en frutas de lulo, según el tiempo de poscosecha y el grado de madurez.

	Fuerza Firmeza Máxima	Fuerza Fractura Media	Color			°Brix	pH
			L	a	b		
Fuerza Firmeza Máxima	1						
Fuerza Firmeza Media	0,87	1					
Color	L	-0,74	-0,59	1			
	a	-0,55	-0,45	0,71	1		
	b	-0,74	-0,60	0,96	0,73	1	
°Brix	-0,36	-0,18	0,27	0,36	0,32	1	
pH	0,21	0,13	-0,22	0,00	-0,21	0,25	1

Tabla 8. Correlaciones entre las variables químicas y la fuerza de fractura en frutas de lulo, según el tiempo de poscosecha y el grado de madurez.

	Fuerza Fractura	Color			°Brix	pH
		L	a	b		
Fuerza Fractura	1					
Color	L	-0,28	1			
	a	-0,43	0,68	1		
	b	-0,32	0,94	0,71	1	
°Brix	-0,22	0,34	0,46	0,37	1	
pH	-0,15	0,22	0,39	0,23	0,41	1

En la Tabla 7 se observa que hay una alta correlación (0,87) entre las fuerzas de firmeza en la pulpa y en el epicarpio de la fruta.

Un análisis de regresión lineal entre la fuerza de firmeza máxima y la fuerza de firmeza media resultó significativo ($P < 0,05$) cuyo modelo de ajuste, presentó un coeficiente de regresión (R^2) de 0,65. El modelo lineal encontrado, el cual es válido para valores de $0,01 \text{ N} < \text{FFm} < 2,09 \text{ N}$, es el siguiente:

$$\text{FFM} = 3,21 + 7,59 * \text{FFm} \quad (1)$$

Donde:

FFM = Fuerza de firmeza máxima (epicarpio) en N.

FFm = Fuerza de firmeza media (pulpa) en N.

Los resultados del modelo de regresión múltiple entre la fuerza de firmeza máxima y los parámetros de color, tomando como variable dependiente la fuerza de firmeza máxima, resultó significativo ($P < 0,05$) con un coeficiente

de regresión (R^2) de 0,53. La expresión obtenida para el modelo, válida para $-3,86 < a < 35,55$; $23,96 < b < 71,26$ y $39,72 < L < 64,67$, fue:

$$\text{FFM} = 34,70 - 0,005 * a - 0,28 * b - 0,17 * L \quad (2)$$

Donde:

FFM = Fuerza de firmeza máxima (epicarpio) en N

L = Luminosidad

a = Tonalidad (componente rojo)

b = Saturación (componente amarillo)

CONCLUSIONES

El comportamiento reológico de la fruta de lulo tanto a fractura y punzamiento, es determinado por condiciones fisiológicas de la fruta, tiempo de poscosecha y condiciones de carga.

La fruta de lulo, es un material altamente anisotrópico cuyo comportamiento mecánico depende del factor tiempo pos recolección y de características estructurales de sus tejidos.

A partir del análisis estadístico y de acuerdo al comportamiento de la fuerza de firmeza, es fiable almacenar el lulo maduro a temperatura ambiente, hasta tres días después de cosechado, ya que posterior a éste día, el daño que presenta la fruta, en cuanto a textura es avanzado e irreversible.

La fruta de lulo presenta una mayor resistencia a la compresión en posición longitudinal, que para efectos de empaque, sería la ideal para ubicar los frutos dentro del contenedor.

BIBLIOGRAFIA

Bourne, M. 2002. Food texture and viscosity. 2nd ed. Academic Press, New York. 427 p.

Ciro V., H.J., D. Vahos, y E.A. Cortes. 2003. Fuerza de fractura superficial en granadilla (*Passiflora ligularis* Juss) y tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* Sendt): estudio experimental. Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín. 56(2):2067-2076.

Ciro V., H.J., M.L. Montoya L. y L. Millán C. 2005. Caracterización de propiedades mecánicas del banano (Cavendish valery). Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín. 58(2):2975-2988.

Ciro V., H.J., O.H Buitrago G. y S.A. Pérez A. 2007. Estudio preliminar de la resistencia mecánica a la fractura y fuerza de firmeza para fruta de uchuva (*Physalis peruviana* L.). Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín. 60(1):3785-3796.

Chica M., M.J.; F. Garcia U., J.M. Rojas A. 2005. Caracterización físico-mecánica de

las frutas frescas. En: Caracterización y normalización de los recipientes de cosecha y empaques de comercialización de frutas en Colombia. Cenicafé, Chinchiná, Caldas. 168 p.

Dowling, N.E. 1998. Mechanical behavior of materials: engineering methods for deformation, fracture, and fatigue. 2nd ed. Prentice Hall, New Jersey. p. 1-20.

Fekete, A. 1994. Elasticity characteristics of fruits. Intl. Agrophys. 8(3):411-414.

Lewis, M.J. 1993. Propiedades físicas de los alimentos y de los sistemas de Procesado. Acribia, Zaragoza, España. p. 135-167.

Mohsenin, N.N. 1986. Physical properties of plant and animal materials: structure, physical, characteristics and mechanical properties. Gordon and Breach Science, New York. 664 p.

Instituto Colombiano de Normas Tecnicas. 1979. Lulo. Norma Técnica Colombiana NTC-1265, Bogotá. 15 p.

Peleg, M. 1976. Considerations of a general rheological model for the mechanical behavior of viscoelastic solid food materials. J. Texture Studies. 7:243-255.

Pollak, N. and M. Peleg. 1980. Early indications of failure in large compressive deformation of solid foods. J. Food Sci. 45(4):825-835.

Rojas, J.M., A.E. Peñuela, C. R. Gomez, G.E. Aristizabal, M.C. Chaparro y J.A. López, 2004. Caracterización de los productos hortifrutícolas colombianos y

establecimiento de las normas técnicas de calidad. Cenicafé, Chinchiná, Caldas. 213 p.

Smith, W.F. 1996. Principles of material science and engineering. 3th ed. McGraw Hill, New York. p. 303–310.

Stroshine, R. 1999. Physical properties of agricultural materials and food products. Purdue University. Depart-

ment of Agricultural and Biological Engineering, West Lafayette. 152 p.

Valero U., C. y M. Ruiz A. 1996. Técnicas de medida de la calidad de frutas. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid. Departamento de Ingeniería Rural. En: [http://www.lpftag.upm.es/pdf/2000%2520Ctmcs PDF+T%C3%A9cnicas&hl=es&ct=clnk&cd=1&gl=co](http://www.lpftag.upm.es/pdf/2000%2520Ctmcs%20PDF+T%C3%A9cnicas&hl=es&ct=clnk&cd=1&gl=co) Consulta: Junio 2006.