

DETERMINACION DE LA ALTURA PERMISIBLE DE LA FRUTA EN UN EMPAQUE EN CONDICIONES ESTATICAS QUE PERMITA CONSERVAR LA CALIDAD DE LA UCHUVA (*Physalis peruviana* L).

¹María José Chica M.

²Federico García U.

³Juan Mauricio Rojas A.

RESUMEN

El sector hortifrutícola colombiano presenta unas elevadas pérdidas poscosecha (35%) y son en parte, debidas al uso inadecuado de los sistemas de empaques para cosecha y comercialización empleados actualmente, ya que, para el diseño de los empaques, no se tienen en cuenta las características fisicomecánicas de los productos que se comercializan y los volúmenes adecuados a empacar. En este estudio se determinó la altura y el número de capas que puede soportar la uchuva (con y sin capacho) contenidas en un empaque con el fin de minimizar los daños ocurridos en el interior de este por efecto de la compresión. El trabajo se dividió en dos etapas: en la primera se determinó experimentalmente la fuerza de ruptura mínima para el exocarpio de la fruta analizada según el estado de madurez y el plano de carga, por medio de una máquina universal de ensayos INSTRON 5569. En la segunda se realizaron ensayos de fluencia donde se determinó, por medio de un software y un hardware específicos, el número de capas admisibles necesarias para conservar la calidad de las frutas del fondo de un recipiente. Los resultados obtenidos indicaron que a una temperatura de 20,7°C y 80% de humedad relativa, el número de capas determinado como adecuado para conservar la calidad de la fruta teniendo en cuenta el tiempo de permanencia en el empaque, son los siguientes: Uchuva sin capacho, de 3 a 5 capas y Uchuva con capacho, 11 capas. Estos resultados permitieron soportar y sustentar las recomendaciones dadas en la Norma Técnica Colombiana de Empaque (numeral 3.2 Requisitos Específicos), en cuanto a las dimensiones y la capacidad de los recipientes de cosecha y comercialización, con el fin de disminuir de manera considerable el daño mecánico ocasionado por los inadecuados sistemas que se utilizan actualmente. Adicionalmente estos resultados corresponden al trabajo de tesis para optar por el título de ingeniera de alimentos titulado "Determinación de la altura permisible de la fruta en un empaque en condiciones estáticas que permita conservar la calidad de los productos de: mora de Castilla (*Rubus glaucus* Benth), lulo de Castilla (*Solanum quitoense* L.), mangos criollos (*Manguifera indica* L.), uchuva (*Physalis peruviana* L) y pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus* Haw), los cuales se encuentran publicados en su totalidad en el libro "Caracterización de los sistemas de empaque para cosecha y comercialización de los productos hortifrutícolas colombianos y establecimiento de las normas técnicas de empaque"

Palabras claves: uchuva, fuerza de ruptura, deformación, tiempo, número de capas.

INTRODUCCION

Los estudio que se han llevado a cabo para la determinación de propiedades fisico-mecánicas en diversas frutas y hortalizas se han realizado en países como Estados Unidos, España, Japón y Holanda, entre otros. En Colombia no se reportan estudios sobre tema, por tanto utilizar los resultados de las investigaciones realizadas en otros países repercutirían en grandes errores debido a la gran variabilidad de condiciones ambientales (incidencia de las estaciones) y condiciones culturales, entre otros.

¹Ingeniera de Alimentos. Universidad de Caldas. Manizales.

²Ingeniero Agrícola. Universidad Nacional de Colombia. Medellín.

³Asistente de investigación. Equipo de Normalización. Programa ETIA - Cenicafé.

PANMANAS *et al* (1997), realizaron en la universidad de Japón pruebas de penetración mediante la técnica de Magness – Taylor en peras Japanese, cosechas en varios estados de crecimiento, determinando que las propiedades de textura de la piel pueden contribuir a la firmeza y rigidez de la fruta, textura de la pulpa, pero no a la elasticidad de la fruta. También concluyeron que la piel de la pera aporta de 70% a 80% la firmeza de la fruta y cuando esta es sometida a compresión, la deformación es pequeña en el rango elástico, pero pasado este límite, la firmeza y rigidez se reducen favoreciendo la incidencia del daño mecánico.

KRAMER *et al* (1973), citando a HOLT (1970) en estudios de penetración con una máquina INSTRON (utilizando punzón) determinaron que a medida que los tomates avanzaban en su maduración, las características mecánicas de los componentes estructurales del mismo cambian de diferentes maneras. Encontraron que es necesario aplicar una gran fuerza para atravesar el exocarpio. Superada esta región, la fuerza aplicada experimenta un decremento tal que la fuerza necesaria para penetra el mesocarpio y endocarpio es muy pequeña.

En el mismo estudio observaron que la fuerza para penetrar el exocarpio disminuye progresivamente durante la maduración y el mesocarpio y endocarpio exhiben un rápido decremento de la fuerza durante los primeros estados de madurez del fruto y un decrecimiento pequeño de las fases siguientes.

La aplicación de fuerzas a compresión puede causar los siguientes efectos sobre la fruta:

- Ruptura del exocarpio.
- Falla estructural (sin presencia de rotura), que incluye el mesocarpio, la pulpa y el endospermo debida a una deformación más allá de su límite de fluencia biológico.

Este tipo de investigaciones se realiza entre otros aspectos con el fin de garantizar la funcionalidad del sistema de empaque, es decir, que satisfaga las necesidades del usuario (fácil manejo) y del producto (proteger la calidad). En este estudio se determinó la altura y el número de capas que puede soportar la uchuva con y sin capacho, contenidas en un empaque con el fin de minimizar los daños ocurridos en el interior de un empaque por efecto de la compresión.

Los resultados de esta investigación permitieron soportar y sustentar las recomendaciones dadas en la Norma Técnica Colombiana de Empaque (numeral 3.2 Requisitos Específicos), en cuanto a las dimensiones y la capacidad de los recipientes de cosecha y comercialización.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en el laboratorio de Investigaciones para la Cosecha de Café (LICC) de Cenicafé, el cual se encuentra ubicado en el municipio de Chinchiná (Caldas) con una altitud de 1.310 m, 80% de humedad relativa promedio y temperatura promedio de 20,7 °C. La uchuva para el experimento provino de las zonas productoras del departamento de Cundinamarca y fue seleccionada según los requisitos y tolerancias permitidas por la Norma Técnica Colombiana NTC 4580 (Numeral 3.1).

Posterior al proceso de recibo, la uchuva fue llevada al cuarto de refrigeración a una temperatura de 10 °C con 80% de humedad relativa promedio, con el fin de retardar su maduración.

Al momento de hacer las pruebas, se verificó que la fruta alcanzara la temperatura ambiente según lo planteado por MOSHENIN 1986. Para ello, se insertó un termómetro en el interior de la fruta y

adicionalmente se midió la temperatura del ambiente con un termohigrómetro. Dichas lecturas fueron comparadas y solo se procedió a la ejecución del ensayo cuando los valores de temperatura fueron similares descriptivamente en un rango de $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$. De acuerdo a ensayos preliminares, el tiempo aproximado para alcanzar la condición de equilibrio fue de 7 horas.

Para realizar las pruebas a compresión se utilizó la máquina universal de ensayos INSTRON 5569 y se tuvo en cuenta las siguientes características de la uchuva:

- Calibre: 18,1 mm - 20,0 mm
- Estado de madurez: color 5 (NTC 4580)
- Planos: polar y ecuatorial
- Presentación: uchuva con y sin capacho

METODOLOGIA

Esta investigación fue realizada en dos etapas:

Determinación del valor mínimo de fuerza [N] por compresión, se definieron la condiciones de trabajo de la máquina, referidas a la velocidad de deformación y la forma de la fruta (irregular o esférica, etc). La máquina utilizada para esta etapa de la metodología se ilustra en la Figura 1.

Determinación del número de capas de producto con base en los resultados de la primera etapa se estableció el número de capas a empacar con el equipo que se ilustra en la Figura 2.

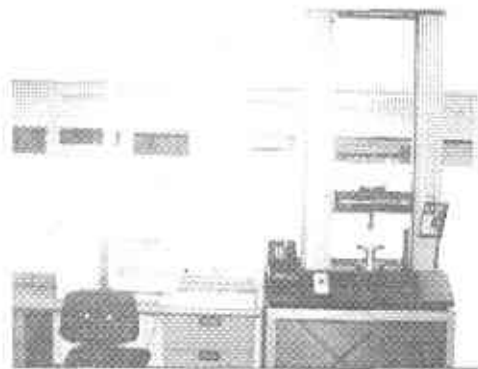


Figura 1. INSTRON 5569 planos de carga

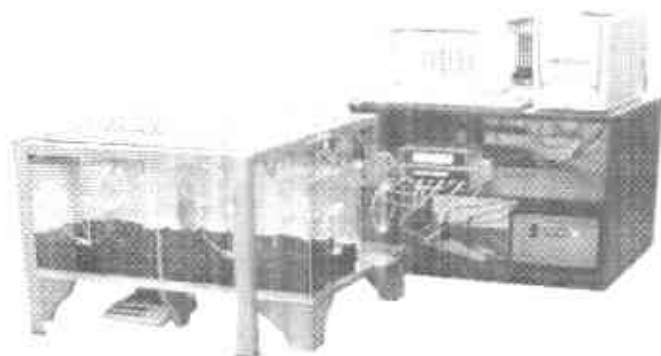


Figura 2. Sensor de deformación

RESULTADOS Y DISCUSION

La uchuva es una baya carnosa en forma de esfera u ovoide, con un diámetro que oscila entre 12,5 y 25,0 mm y con un peso entre 4 y 10 g. Contiene de 100 a 300 semillas pequeñas de forma lenticelar. El fruto está cubierto por un cáliz formado por cinco sépalos de 50mm de longitud que lo protegen contra agentes externos.

- Para la realización del ensayo a compresión se utilizó la punta de 5 mm de diámetro ya que el área de contacto, entre frutos, es pequeña debido a su forma esferada y su tamaño reducido, además permitió imitar condiciones de contacto reales entre frutos en un empaque.
- En la Figura 3 se observan las curvas Fuerza [F] vs. Deformación [d] correspondientes a la

uchuva con capacho y sin capacho cargada en los planos polar y ecuatorial.

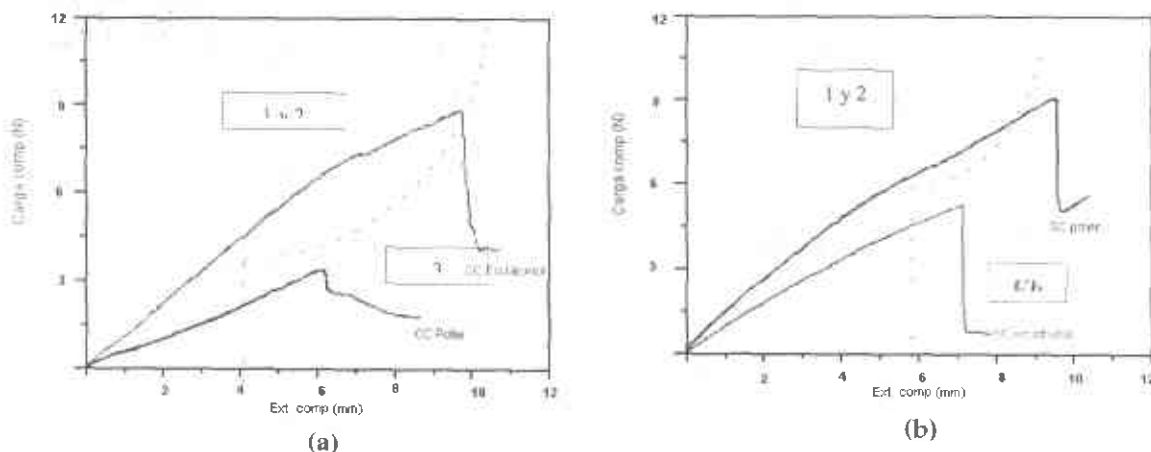


Figura 3. Comportamiento de la uchuva con capacho (a) y sin capacho (b), estado de madurez 5, sometida a compresión por los planos polar y ecuatorial. Punta de 5 mm. Velocidad 1.5 mm/min

Tomando como zona 1, valores de fuerza de ruptura menor de 2 N; como zona 2 a partir de éste valor y el punto antes de ruptura, y como zona tres donde se da el punto de ruptura, las curvas de la Figura 3 muestran un comportamiento lineal en las zonas 1 y 2, de tal manera que no se diferencia el comportamiento de la fuerza de ruptura en éstas. Este comportamiento se debe posiblemente a las características físico-mecánicas que posee el fruto asociadas a la composición interna (pulpa acuosa con presencia de semillas) y externa (exocarpio liso y presencia de cáliz), que le confieren propiedades mecánicas elástico-plásticas particulares.

La zona de ruptura (zona 3), presenta una falla catastrófica caracterizada por un cambio brusco en la pendiente de la curva, ésta probablemente se presenta por esfuerzos de punzonamiento cortantes. Este comportamiento se presenta en la gráfica como un decrecimiento drástico del valor de fuerza [F].

En la Figura 4, se muestra que en el interior de la fruta existen cuatro cavidades, con presencia de semillas dentro de cada una de ellas y en el centro de la fruta, esta distribución ocasiona una discontinuidad de tejidos que posiblemente es la causa por la cual se presentan los tipos de fallas y como se describen a continuación dependen del plano donde sea aplicada la carga:

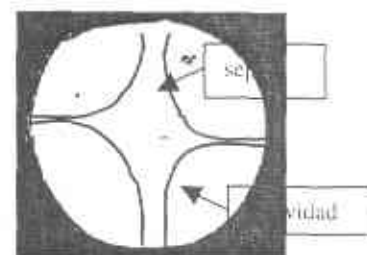


Figura 4. Partes internas de la uchuva.

En el plano polar, la uchuva se deforma hasta que se produce una falla (en forma de grieta). Este tipo de falla ocurre probablemente por el efecto de esfuerzos de tensión periféricos en las fibras del exocarpio (cáscara), los cuales pueden actuar sobre macroporos de la estructura generando concentración de esfuerzos los cuales finalmente producen el rasgamiento de los tejidos, como se observa en la Figura 5a.

Cuando la carga es aplicada en el plano ecuatorial, el punzón penetra la pulpa en el área de compresión sin presentarse agrietamientos en otras zonas del fruto. En este caso, la fruta posiblemente falla por cargas de punzonamiento cortantes sobre el exocarpio (Figura 5b).

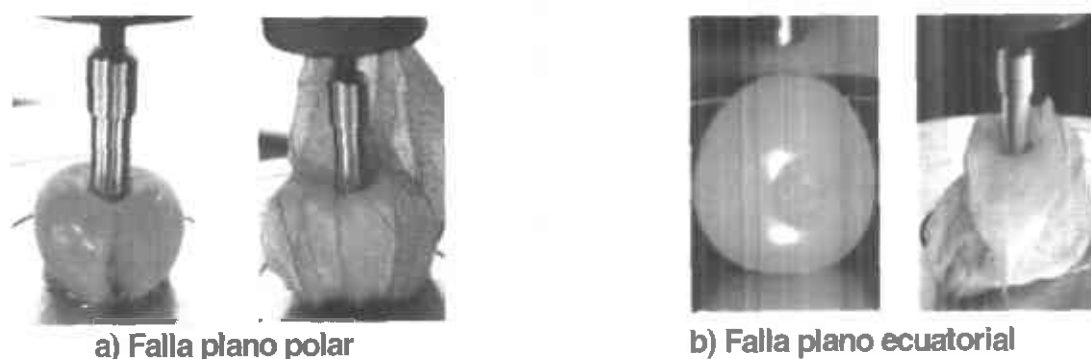


Figura 5. Tipos de falla en la uchuva cargada por los planos a) polar, b) ecuatorial.

El análisis de varianza mostró efecto de los planos con la variable fuerza de ruptura para la uchuva con capacho y sin capacho (Tabla 1).

Tabla 1. Promedios y variación de la fuerza de ruptura, según el plano en uchuva color 5 con y sin capacho

Plano	Con capacho		Sin capacho	
	F (N)	CV (%)	F (N)	CV (%)
Ecuatorial	11,2 A*	20,11	8,42 B*	11,14
Polar	8,80 B*	27,38	12,7 A*	14,98

*Letras no comunes implican diferencia estadística según prueba de contraste al 5%

Para el caso de la uchuva sin capacho, en la Tabla 2 se presenta el valor mínimo de fuerza de ruptura dado por el límite inferior del intervalo de confianza para el plano ecuatorial, el cual fue de 7,75 N (775gf).

Para determinar el número de capas adecuado a empacar de uchuva sin capacho, se consideró la carga admisible o recomendada, como al valor anterior de fuerza disminuido en 30% (5,42 N), representado por un peso de 542 gf (90 capas de producto). Sin embargo debido a las limitaciones que impone el contenedor o empaque, específicamente su altura (máximo 250 mm), el número máximo

Tabla 2. Información relacionada con pruebas a compresión requerida para realizar pruebas de fluencia en uchuva sin capacho

Fuerza de ruptura		Fuerza admisible		Número máximo de capas	Fuerza equivalente al número de capas		Factor de seguridad	
Li [N]	Li [gf]	[N]	[gf]		[N]	[gf]	Etapas 1	Etapas 2
7,75	775	5,42	542	11	0,54	54	1,4	10

de capas que se pueden colocar son 11, lo cual genera una carga de 0,54 N sobre la capa de uchuva colocada en el fondo, es decir, solamente 10% del valor admisible.

Las curvas de fluencia obtenidas con 11 etapas, teniendo en cuenta las especificaciones anteriores mostraron la siguiente tendencia (Figura 6):

En las primeras cinco horas se observó una tendencia lineal de la deformación de la fruta, presentando un cambio en la pendiente a las 5 horas de iniciado el ensayo. A partir de este tiempo y hasta las 14 horas, la fruta presentó pequeñas deformaciones (0,06 mm). A partir de las 14 horas se observó el inicio de mayores deformaciones hasta un valor de 0,12 mm, posiblemente debidas al deterioro de las estructuras del producto por la acción metabólica.

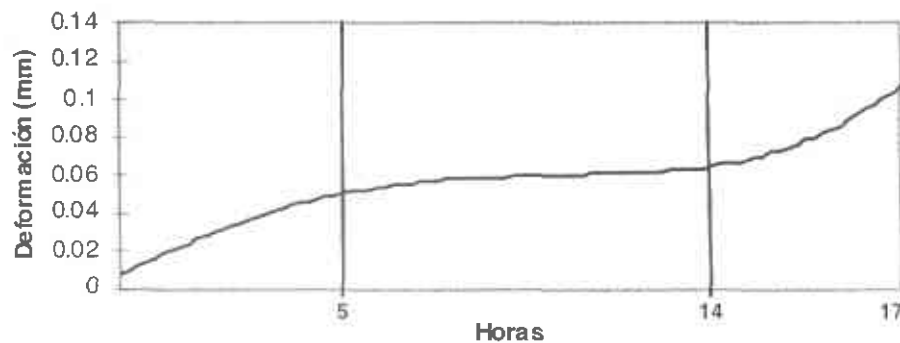


Figura 6. Respuesta de la uchuva sin capacho bajo condiciones de fluencia (11 capas de producto). Temperatura promedio 20.7 °C y 80% de humedad relativa

- La uchuva está recubierta por un aceite que le proporciona protección natural. Al final de esta prueba, se observó un drenado de aceite en la base del recipiente, como consecuencia posible mente, del aumento de la temperatura por la respiración del producto.
- Una vez retiradas las capas superiores, los frutos del fondo presentaron pequeñas burbujas internas en el sitio de incidencia de la carga. Estas burbujas, en un tiempo aproximado de 2 días, provocaron en la fruta depresiones como consecuencia de la deshidratación de esta.
- La Tabla 3, muestra que la fruta presentó una relación de deformación (ϵ) promedio de 0,54%, al cabo de 17 horas, teniendo en cuenta que ésta tiene un diámetro ecuatorial de 22 mm. Aunque este valor es relativamente pequeño para materiales biológicos, fue suficiente para ocasionar daños internos en la uchuva que afectan su apariencia y calidad.

Tabla 3. Información obtenida de las pruebas de fluencia con 11 capas de uchuva sin capacho

Número máximo de capas	Fuerza equivalente al número de capas		Máxima deformación Ls (mm)	CV (%)	ϵ (%)
	[N]	[gf]			
11	0,54	54	0,12	17,53	0,54

Teniendo en cuenta que la calidad de la uchuva sin capacho se afectó por efecto de la carga aplicada y del acelerado metabolismo de la fruta en condiciones de empaque (temperatura promedio 20,7 °C y 80% de humedad relativa) y que ésta se comercializa en empaques dosificados de 250 g y 500 g, se evaluaron 3 y 5 capas que corresponden a estas capacidades. La respuesta lineal de la deformación solamente se presentó en las primeras 3 horas del ensayo como se observa en la Figura 7; no se observó un efecto marcado de la actividad metabólica en la deformación, durante 17 horas (tiempo del ensayo); la máxima deformación se presentó a las 5 horas y permaneció constante las 12 restantes.

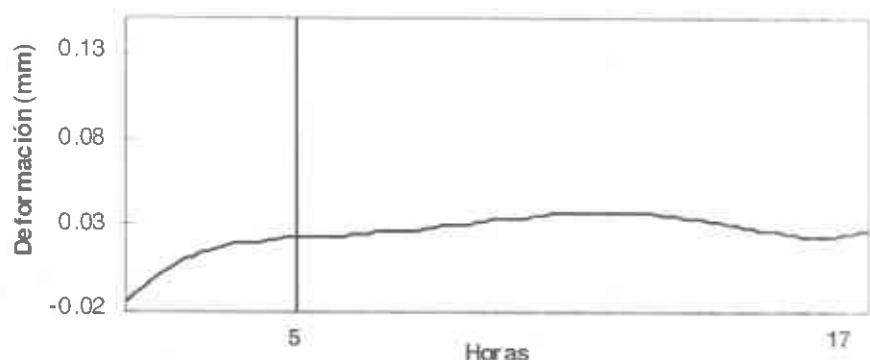


Figura 7. Respuesta de la uchuva sin capacho bajo condiciones de fluencia (3 y 5 capas de producto). Temperatura promedio 20,7 °C y 80% HR. Tiempo de ensayo 17 horas

El valor de la relación de deformación (ϵ) reportado en la Tabla 4, al final de la prueba fue de 0,19%; con este valor no se observaron daños visibles en el producto (burbujas internas) al cabo de las 17 horas consideradas en el ensayo, ni cambios en la apariencia del fruto durante los 2 días posteriores a la finalización del ensayo. Sin embargo el fruto en las condiciones ambientales de los ensayos tiende a deshidratarse y a iniciar procesos fermentativos.

Por tanto, la uchuva sin capacho debe ser empacada de tres a cinco capas, de acuerdo con los resultados de las pruebas de fluencia obtenidos, Tabla 4.

Tabla 4. Información obtenida de las pruebas de fluencia con 3 y 5 capas de uchuva sin capacho

Número máximo de capas	Fuerza equivalente al número de capas		Máxima deformación Ls (mm)	CV (%)	ϵ (%)
	[N]	[gf]			
3	0,11	11	0,05	49,7	0,19
5	0,22	22			

Para el caso de la uchuva con capacho, en la Tabla 5, se presenta el valor mínimo de fuerza de ruptura dado por el límite inferior del intervalo de confianza, para el promedio del plano polar, el cual fue de 7,07 N (707 gf)

Para realizar las pruebas de fluencia, se tomó el 30% menos del límite inferior para el intervalo de la fuerza de ruptura del plano polar, de tal manera que el valor de seguridad fue de 4,9 N, lo cual implica aproximadamente 80 capas, pero este valor de capas sobrepasa la altura del empaque (250 mm). Por tanto, de acuerdo con la altura del empaque solo se podían colocar 11 capas de la fruta (0,48 N), lo cual corresponde al 10% del valor de fuerza admisible (4,9N), Tabla 5.

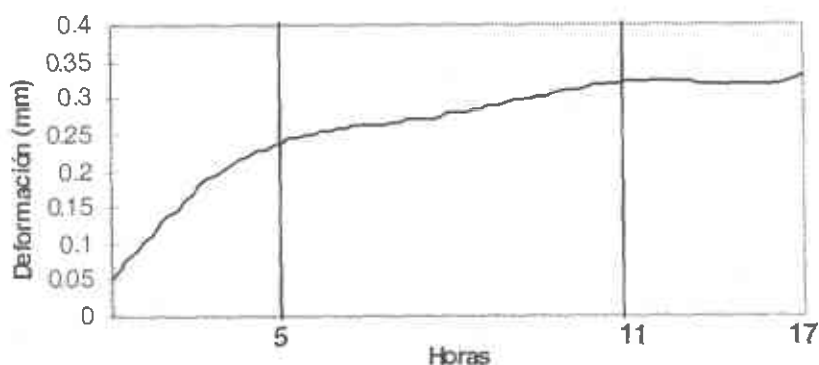
Tabla 5. Información relacionada con pruebas a compresión requerida para realizar pruebas de fluencia con Uchuva con capacho

Fuerza de ruptura		Fuerza admisible		Número máximo de capas	Fuerza equivalente al número de capas		Factor de seguridad	
Li [N]	Li [gf]	Li [N]	Li [gf]		[N]	[gf]	Etapas 1	Etapas 2
7,07	707	4,9	490	11	0,48	48	1,4	10,2

En la Figura 8, se presenta la respuesta en fluencia de la uchuva con capacho. En general, el comportamiento es similar al observado con la fruta sin capacho, aunque los valores de deformación en cada tiempo del ensayo son superiores, descriptivamente, posiblemente por el acomodamiento del capacho en cada fruta ubicada en cada capa. La deformación presenta un comportamiento lineal en las primeras cinco horas; después de este periodo de tiempo las deformaciones son menores, alcanzando un valor máximo de 0,3 mm a las 11 horas, el cual se conservó hasta el final del ensayo.

La curva deformación vs. tiempo para la uchuva con capacho presentó la siguiente tendencia:

Figura 8. Respuesta de la uchuva con capacho bajo condiciones de fluencia (11 capas de producto). Temperatura promedio 20,7 °C y 80% HR. Tiempo de ensayo 17 horas.



Aunque se esperaba que el fruto experimentara deformaciones importantes por efecto del número de capas a que fue sometida, no se observaron daños externos en su estructura, visibles a simple vista. Esta respuesta permite destacar la importancia del capacho como elemento protector para atenuar el efecto de cargas externas a que fue sometida la fruta en las diferentes etapas de su manejo.

Una vez finalizado el ensayo de fluencia, la uchuva fue dejada cinco días en condiciones ambientales del laboratorio (temperatura promedio 20,7 °C y HR 80%), sin observarse cambios en su apariencia que pudieran demeritar su calidad.

De acuerdo con lo anteriormente descrito, la uchuva con capacho debe ser empacada hasta 11 capas (Tabla 6).

Tabla 6. Información obtenida de las pruebas de fluencia con 11 capas de uchuva con capacho

Número máximo de capas	Fuerza equivalente al número de capas		Máxima deformación Ls (mm)	CV (%)	ε (%)
	[N]	[gf]			
11	0,48	48	0,3	63,3	1,2

CONCLUSIONES

- En la uchuva con capacho y sin capacho la fuerza de ruptura varía según el plano (polar o ecuatorial) donde sea aplicada la carga. En el plano polar la uchuva con capacho es más susceptible a la acción de la carga a compresión, mientras que en la uchuva sin capacho fue el plano ecuatorial, presentando valores de fuerza de ruptura de 7,07 N (707 gf) y 7,75 N (775 gf), respectivamente.
- Las pruebas de fluencia para la uchuva sin capacho determinaron que un número de capas equivalente a 11, afectó su calidad física por efecto de la carga y de los procesos metabólicos acelerados por las condiciones de empaque (temperatura promedio 20,7°C y 80% de humedad relativa). A estas condiciones de temperatura y humedad relativa la uchuva sin capacho se debe empacar con máximo 5 capas, con el fin de conservar su calidad.
- A diferencia del fruto sin capacho, la uchuva con capacho admite hasta 11 capas dentro de un empaque con una altura de 250mm durante un tiempo equivalente a 48 horas en las mismas condiciones de humedad y temperatura (80%HR y 20,7°C).

RECOMENDACIONES

Evaluar el comportamiento que presentan estas frutas sometidas a condiciones dinámicas o de transporte, con el fin de complementar la Norma Técnica Colombiana de Transporte.

BIBLIOGRAFIA

MOHSEIN, N.N. 1970. Physical Properties of Plant and Animal Materials. Vol. I. Structure, Physical Characteristics and Mechanical Properties, pp. Gordon and Breach Science Publishers, New York. Cap 2, 6 y 8.

OFICINA REGIONAL DE LA FAO PARA AMERICA LATINA Y EL CARIBE. Manual para el Mejoramiento del Manejo Poscosecha de Frutas y Hortalizas- Empaque de Frutas y Hortalizas. [on line]., Publicado por la Regional Office for Asia and the Pacific (RAPA) FAO and the Association of Food Marketing Agencies in Asia and the Pacific (AFMA). <http://www.fao.org/inpho7vlibrary/x0055s/Xoo55S04.htm>.

SENA – UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA (1995), [on line], <http://www.angelfire.com/ia2/ingenieriaagricola/mora.htm> http://www.angelfire.com/ia2/ingenieriaagricola/uchuva.htm#_Toc479622918

CHICA, M. M. 2004. "Determinación de la Altura Permisible de la Fruta en un Empaque en Condiciones Estáticas que Permita Conservar la Calidad de los Productos de: Mora de Castilla (*Rubus glaucus* Benth), lulo de Castilla (*Solanum quitoense* L.), mangos criollos (*Manguifera indica* L.), uchuva (*Physalis peruviana* L) y pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus* Haw). Tesis Ingeniero de Alimentos. Universidad de Caldas, Facultad de Ingeniería. Manizales. 114 p.