



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE IRRIGACIÓN

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA AGRÍCOLA

ANÁLISIS DE COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL FRUTO DE GUAYABA (*psidium guajava* L.) Y SU RELACIÓN CON LOS PROCESOS FISIOLÓGICOS

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN INGENIERÍA AGRÍCOLA Y USO INTEGRAL DEL AGUA

PRESENTA:

JOSÉ ANTONIO YAM TZEC

Chapingo, Estado de México Junio de 2008

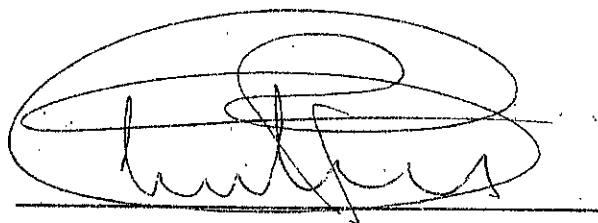


ANÁLISIS DE COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL FRUTO DE GUAYABA (*Psidium guajava* L.)
Y SU RELACIÓN CON LOS PROCESOS FISIOLÓGICOS

Tesis realizada por JOSE ANTONIO YAM TZEK, bajo la dirección del Comité Asesor indicado,
aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN INGENIERÍA AGRÍCOLA Y USO INTEGRAL DEL AGUA

DIRECTOR:



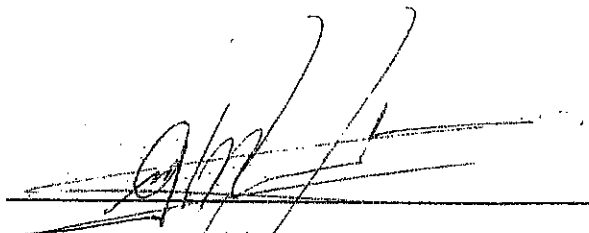
DR. CARLOS ALBERTO VILLASEÑOR PEREA

ASESOR:



DR. EUGENIO ROMANCHIK KRIUCHKOVA

ASESOR:



M.L. MARTÍN SOTO ESCOBAR

DEDICATORIA

A mis papás, Roberto y Paula por regalarme la vida.

A mis hermanos y hermanas por su comprensión.

A Gere por su tiempo.

A Flavio, por su paciencia.

A Armando, Javier y Sergio por su gran amistad.

A Silvia y Peña, por su apoyo.

A Sergio N. por su nobleza.

A Tino, Eric, Benjamín, Hugo, Máx., por la hermandad.

A Lázaro, Mijail, Emiliano, por los proyectos emprendidos.

A Salvador Alonso por el apoyo técnico.

.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo por permitirme culminar una etapa de mi formación profesional.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo otorgado durante un año de la realización de mis estudios de posgrado.

Al Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola y de Irrigación por el apoyo otorgado a través de la Coordinación de posgrado.

Al Dr. Villaseñor, Dr. Romanchik y M.I, Soto por regalarme de su tiempo y experiencia profesional en el desarrollo de esta investigación.

Al Dr. Ramón Arteaga Ramírez por el apoyo como profesor y como coordinador del posgrado.

A la Sra. Elba Cerna y a la Sra. Mirna quienes con su gentileza y consejos han contribuido en mi formación.

A Rosy quien nos brindó su amistad durante nuestra formación

A Lidia quien nos apoyo en los trámites necesarios con toda su paciencia

DATOS BIOGRAFICOS

El autor de la presente tesis realizó la licenciatura en la Universidad Autónoma Chapingo, cy obtuvo la carrera de Ingeniero Mecánico Agrícola, durante estos estudios realizó estancia profesional en San José Costa Rica en la Universidad Tecnológico como Asistente de Producción del Programa de Producción Agropecuaria en el marco del convenio México-Costa Rica de transferencia de tecnología, posteriormente estudió la Maestría en Ingeniería Agrícola, culminando sus estudios en el año 2007.

Ha colaborado como asesor en tesis de licenciatura relacionado con realización de software para administración de maquinaria y forestal, así como daños mecánicos en frutos de manzana, en los departamentos de Estadística y Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo.

Ha participado en los congresos de la Asociación Mexicana de Ingeniería Agrícola y en diferentes congresos Nacionales.

A la fecha es colaborador en la Universidad Autónoma Chapingo en el área administrativa.

RESUMEN

ANÁLISIS DE COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL FRUTO DE GUAYABA (*psidium guajava* L.) Y SU RELACIÓN CON LOS PROCESOS FISIOLÓGICOS

La importancia del cultivo de guayaba radica en el aporte económico para algunas regiones de México. Actualmente se cultiva de forma general en lugares con cierto tipo de condiciones equivalentes en México a zonas como Aguascalientes, Zacatecas y Michoacán.

Durante la comercialización se presentan muchos problemas relacionados con los daños mecánicos que se ocasionan durante la cosecha, transporte y almacenamiento, dichos daños aceleran la actividad fisiológica de los frutos de guayaba que se traduce en pérdidas económicas por la reducida vida de anaquel de los frutos. Se realizaron pruebas a frutos de guayaba de las variedades Calvillo y Criolla sometidas a compresión en dos posiciones del fruto (horizontal y vertical), tres distancias de la cruceta (límite elástico, punto de biocedencia y punto de ruptura), asimismo se sometieron a impacto en superficies de madera y plástico. Se midió la producción de etileno y CO₂ los cuales son significativos, encontrando que la producción de estos gases se incrementa a medida que se incrementa la carga de compresión, dicha producción se incrementa notablemente para el segundo día que se aplicó la fuerza de compresión. Los frutos de guayaba Criolla reportaron que soportan una mayor carga de compresión cuando se encuentran en posición horizontal hasta el límite elástico, información que resulta relevante para el diseño de empaques o para la transportación. Se midieron también las variables de porcentaje de deformación encontrando una mayor deformación en frutos criollos, en posición horizontal con valores de hasta 43% para el caso del módulo de Young se reportan valores de 0.3702 MPa para frutos criollos y 0.319 MPa para frutos de la variedad Calvillo.

Para el caso de impacto y compresión las diferencias notables se vieron cuando variamos la posición de vertical a horizontal observando la mayor deformación en los frutos criollos.

Durante los cuatro días que se midieron las variables se observaron pérdidas de peso de hasta 13% para compresión y de 9% por ciento para impacto.

Palabras clave: compresión de guayaba, impacto, respiración, etileno

SUMMARY

ANALYSIS OF THE MECHANICAL BEHAVIOR OF GUAVA FRUIT (*Psidium guava* L.) AND ITS RELATIONSHIP TO PHYSIOLOGICAL PROCESSES

The importance of the guava lies in its being the economic support of some regions in Mexico. It is presently harvested in areas which have a certain type of conditions in Mexico similar to those in areas such as Zacatecas, Aguascalientes and Michoacán.

Various problems related to mechanical damage, such as those that happen during harvesting, transporting and storage appear during its commercialization. Damage accelerates the physiological activity of the guava fruit, which translates into an economic loss due to the reduced shelf life of the fruit. Guava fruits of the Calvillo and "Criolla" variety were exposed to compression in both horizontally and vertically. Three axial compression distances were evaluated: elastic limit, bioyield point and rupture point. The fruit were also exposed to impact on plastic and wood surfaces. The production of ethylene and CO₂ were measured, and found to be significant due to the fact that the production of these gases increases as the compression load increases, such production increases noticeably by the second day of applied force of compression. The "Criolla" guava fruits support a higher compression load up to the elastic limit when in a horizontal position. This information is relevant to package design and the transportation of the fruit. The percentage of deformity was also measured, finding a higher rate of deformation in the "Criolla" fruits when they are horizontal with values of up to 43%. In the Young Module values of 0.3702 MPa for the criollo fruits and 0.319 MPa for the Calvillo fruits were reported. With regards to impact and compression, the most noticeable differences appeared when the position changed from horizontal to vertical finding more deformation in the "Criolla" fruits. Variables were measured during the 4 days, finding weight loss of up to 13% for compression and 9% for impact.

KEY WORDS: Guava compression, impact, respiration, ethylene.

INDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivo General.....	6
1.2 Objetivos Específicos	6
1.3 Hipótesis	7
2. REVISION DE LITERATURA	8
2.1 Importancia nacional y mundial de la producción de Guayaba (Psidium Guajava L.).....	8
2.2 Propiedades Físicas y Mecánicas de los productos agrícolas.....	17
2.2.1 Propiedades físicas.....	17
2.2.2 Propiedades Mecánicas.....	19
2.3 Pruebas mecánicas.....	23
2.4 Daños mecánicos.....	26
2.4.1 Formas de daños	27
2.4.2 Impacto económico de los daños	28
2.4.3 Determinación de los factores que influyen en la susceptibilidad de los daños mecánicos	28
2.5 Aspectos fisiológicos de poscosecha en los productos agrícolas: Respiración y producción de etileno.....	31
3. MATERIALES Y METODOS.....	35
3.1 Metodología de prueba para frutos de guayaba sometidos a compresión.....	35
3.2 Metodología de prueba para frutos de guayaba sometidos a impacto	42
4. RESULTADOS Y DISCUSION	44
4.1 Frutos sometidos a compresión	44
4.1.1 Carga de compresión	44
4.1.2 Porcentaje de deformación.....	47
4.1.3 Modulo de Young	48
4.1.4 Producción de CO ₂	50
4.1.5 Producción de etileno	52
4.1.6 Pérdida de peso	54
4.1.7 Simulación de esfuerzos mediante el software Ansys Workbench ®.....	56
4.2 Frutos sometidos a impacto	60
4.2.1 Producción de CO ₂	60
4.2.2 Producción de etileno	62
4.2.3 Pérdida de peso	64
CONCLUSIONES	67
BIBLIOGRAFIA	69

INDICE DE FIGURAS

Figura 1	Producción de guayaba en Zumpahuacan, estado de México....	4
Figura 2	Grafico que representa la producción de guayaba en México clasificados por principales estados productores, fuente: SAGARPA.....	13
Figura 3	Curva esfuerzo deformación de un cuerpo al aplicarle compresión	21
Figura 4	Curva esfuerzo deformación de un material biológico.....	22
Figura 5	Curva característica de la prueba creep	26
Figura 6	Cromatógrafo de gases Varian Star.....	35
Figura 7	Maquina universal de ensayos mecánicos comprimiendo una guayaba.....	36
Figura 8	Posiciones de los frutos para someterlos a compresión vertical (1) y horizontal (2)	36
Figura 9	Gráfico Carga-desplazamiento de frutos de guayaba sometidos a compresión generados por el software de la maquina universal de ensayos mecánicos	37
Figura 10	Muestra de las condiciones físicas de los frutos de guayaba sometidos a compresión	39
Figura 11	Recipiente hermético para toma de muestras para medición.....	40
Figura 12	Pantalla del software que indica el área bajo la curva para determinar la cantidad de CO ₂ y etileno	41
Figura 13	Pantallas que muestra la forma de la curva para CO ₂ y etileno después de la lectura realizada por el cromatógrafo de gases, del lado izquierdo etileno y del lado derecho CO ₂	42
Figura 14	Cargas soportadas por frutos de guayaba sometidos a compresión.....	46
Figura 15	Producción de CO ₂ en frutos de guayaba en las variedades Calvillo (v1) y Criolla (v2) sometidos a compresión en la posición vertical (p1) y horizontal (p2) en tres distancias de cruceta en limite elástico (d1), punto de biocedencia (d2) y ruptura (d3).....	51

Figura 16	Producción de etileno en frutos de guayaba en las variedades Calvillo (v1) y Criolla (v2) sometidos a compresión en la posición vertical (p1) y horizontal (p2) en tres distancias de cruceta en limite elástico (d1), punto de biocedencia (d2) y ruptura (d3).....	53
Figura 17	Perdida de humedad para frutos de guayaba de la variedad Calvillo sometidos a compresión en dos posiciones expresados en porcentaje	55
Figura 18	Perdida de humedad para frutos de guayaba de la variedad Calvillo sometidos a compresión en dos posiciones expresados en porcentaje	56
Figura 19	Modelo diseñado con el programa Inventor 10.0 ® y utilizado para las pruebas de compresión en el programa Ansys Workbench®, muestra los ejes y el enmallado definido por el programa	57
Figura 20	Vista de las superficies de las placas y del fruto sometidas a fricción, parámetros iniciales empleados, se puede apreciar las bases de las placas y el fruto, vistas desde el eje Y. Se puede apreciar la parte de la placa inferior que corresponde a la parte fija de la estructura	58
Figura 21	Vista exterior del modelo del fruto que muestra la intensidad del esfuerzo al ser sometido a compresión en dirección del eje Z, apreciando la distribución en la parte del contacto entre el fruto y la placa superior	59
Figura 22	Vista del modelo de las placas y del fruto de guayaba que muestra la intensidad de la deformación y las zonas donde se concentran.....	59
Figura 23	Producción de CO ₂ en frutos de guayaba en las variedades Calvillo (v1) y Criolla (v2) sometidos a impacto en la posición vertical (p1) y horizontal (p2) en dos superficies de contacto, plástico (m1) y madera (m2)	61
Figura 24	Producción de etileno en frutos de guayaba en las variedades Calvillo (v1) y Criolla (v2) sometidos a impacto en la posición vertical (p1) y horizontal (p2) en dos superficies de contacto, plástico (m1) y madera (m2)	63
Figura 25	Perdidas de peso en frutos de guayaba (Psidium Guava L) de la variedad Calvillo sometidos a impacto en dos diferentes materiales (m1) plástico y (m2) madera, en dos diferentes posiciones (p1) vertical y (p2) horizontal.....	64
Figura 26	Perdidas de peso en frutos de guayaba (Psidium Guava L) de la variedad Calvillo sometidos a impacto en dos diferentes materiales (m1) plástico y (m2) madera, en dos diferentes posiciones (p1) vertical y (p2) horizontal.....	65

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Porcentaje de costos de las principales labores de cultivo en la producción de guayaba en México	14
Cuadro 2. Tabla de susceptibilidad a lesiones mecánicas de diferentes frutos	33
Cuadro 3. Medias de cargas soportadas por los frutos de guayaba.....	45
Cuadro 4. Medias de los efectos de los factores variedades y posiciones de cruceta sobre la carga, en frutos de guayaba.....	47
Cuadro 5. Medias de los efectos de los factores variedades y posiciones de cruceta sobre el modulo de Young.....	49
Cuadro 6. Medias de producción de CO ₂ de frutos de guayaba sometidos a compresión	50
Cuadro 7. Medias de producción de etileno de frutos de guayaba sometidos a compresión	52
Cuadro 8. Medias de producción de CO ₂ de frutos de guayaba sometidos a impacto... ..	60
Cuadro 9. Medias de producción de CO ₂ de frutos de guayaba sometidos a impacto... ..	62

1. INTRODUCCIÓN

Los avances tecnológicos vislumbran nuevas formas de hacer las cosas, hacen necesaria la adopción de mejoras y de adaptarlas a nuestro medio de vida. Dichos avances se presentan en todos los campos del conocimiento, en el hogar, la electrónica, las ciencias básicas y la agronomía.

La guayaba (*Psidium guajava* L.) esta clasificada como uno de los frutos mas conocidos y estimados en la mayor parte del mundo. La producción mundial de guayaba es de alrededor de 1.2 millones de toneladas, la India y Pakistán aportan el 50%, México produce el 25% y el resto lo aportan otros países como Colombia, Egipto y Brasil.

En México la producción de guayaba es del orden de las 300 mil toneladas anuales; destacando por su aportación los Estados de: Michoacán 37 %, Aguascalientes 35 %, Zacatecas 21% y el 7% restante, lo aportan el Estado de México, Jalisco y Querétaro. Siendo el valor de la producción del orden de los 1200 millones de pesos (México, Gaceta del senado, 2007)

Por otro lado, el cultivo de la guayaba, tiene un periodo de vida muy corto; se cosecha con un color verde amarillento y se ablanda alrededor de los ocho días. Para el caso de México, la cosecha es de forma manual. El manejo poscosecha se hace sin ninguna protección al fruto; para el caso de

transporte se hace a granel, en cajas, hasta llenar los camiones, es en esta etapa donde los frutos sufren los peores daños.

La calidad de los frutos agrícolas determina la demanda que dicho producto pueda tener, entendiendo por calidad como el conjunto de características que permiten que el fruto agrícola pueda ser aceptado por el consumidor.

La buena calidad de frutos de guayaba es aquella que presenta un buen aspecto general del producto, con leves defectos tales como raspaduras, rozaduras, costras, manchas o quemaduras de sol, siempre y cuando no afecten la calidad y la conservación y que cumple con un proceso de selección riguroso. (NMX-FF-040-SCFI-2002)

Una vez que los frutos se cosechan, existen gran cantidad de factores que interactúan con los frutos, ocasionando manifestaciones en dichos frutos. Una de las vías para mantener las características de calidad de los productos es interviniendo de manera que dichos factores no provoquen daños en el producto. Estos daños son ocasionados en su mayoría por las operaciones de cosecha, almacenamiento y transporte. El problema más grande radica en detectarlos, puesto que no son visibles al momento en que ocurren.

Existen muchas causas que hacen que aparezcan los daños, estos, dependen directamente de la carga a la que es sometido el producto. De la necesidad por conocer la resistencia de los productos a los daños, nace la

reología, ciencia, rama de la Física que estudia la deformación y el flujo, trata principalmente sobre la determinación de las propiedades físico mecánicas de los productos agrícolas.

Los principales causantes de los daños en los frutos agrícolas, pueden ser térmicos, biológicos físicos y mecánicos, para el caso de daños mecánicos, estos pueden dividirse de la siguiente manera:

- Impacto, que ocurre durante la cosecha y las siguientes operaciones de manipulación cuando un fruto se golpea contra una superficie. Muchas veces estos golpes resultan de los golpes en los contenedores o en los empaques.
- Compresión, al igual que el anterior provoca magulladuras o fracturas que se manifiestan generalmente entre frutos al meterlo al contenedor, o por cargas excesivas cuando se transporta a granel sometándolo a presión excesiva.
- Abrasión, producto del rozamiento entre los frutos y que se manifiesta con el levantamiento, separación o remoción de la epidermis.
- Por vibración, la causa del daño se debe a la repetitiva fatiga a la que se somete al material, teniendo como resultado la ruptura en el fruto.

Para el caso de la guayaba, los daños mecánicos son muy determinantes en la calidad del producto, daños que en ocasiones es imposible detectarlos a

simple vista, pero a medida que el fruto vaya terminando su vida de anaquel se obtiene pérdida de calidad que repercute en cuestiones económicas.

En muchas ocasiones dichos daños se producen en el momento de la cosecha, el transporte o el almacenamiento. La figura 1 ilustra las características principales del guayabo y se puede apreciar las superficies sobre las cuales los frutos caen al momento de la cosecha, dependiendo de la superficie será la cantidad y forma del daño que se pueda tener.



Figura 1. Producción de Guayaba en Zumpahuacan, estado de México

Debido a esto es importante estudiar las propiedades mecánicas de los frutos los cuales se definen como aquellas que se relacionan con el comportamiento de los materiales cuando se aplican fuerzas: características de esfuerzo-deformación bajo cargas estáticas y dinámicas. (Villaseñor, 2005)

También es importante el estudio del cambio fisiológico del fruto de guayaba cuando es sometido a fuerzas, de manera particular la respiración y la producción de etileno, pues estas variables se relacionan con la vida de anaquel que pueda tener el producto.

Es importante conocer el comportamiento de un fruto al estar expuesto a cargas externas que se convierten en daños mecánicos, dichos análisis buscan un modelo de comportamiento característico que permita tener información para el diseño de empaques principalmente y de esta manera disminuir las pérdidas económicas.

Dichos análisis son complejos por los parámetros iniciales propias de los frutos agrícolas, por esta razón se ha recurrido al uso de paquetes de computo que nos permita realizar tales cálculos y que nos muestre de manera grafica el comportamiento del producto al ser sometido a una carga externa.

Dado el planteamiento anterior, el presente proyecto busca mediante las técnicas y los elementos necesarios, conocer las características de los frutos de guayaba al ser sometidos a una fuerza de compresión o de impacto, la

relación entre los aspectos fisiológicos y los daños, la pérdida de peso que se tiene en los frutos y la simulación de la distribución de los esfuerzos en los frutos después de la cosecha.

1.1 Objetivo General

Análisis de comportamiento mecánico y su relación con los procesos fisiológicos en el fruto de guayaba

1.2 Objetivos Específicos

1. Determinar las propiedades mecánicas de frutos de Guayaba: bajo compresión, carga de compresión máxima, deformación porcentual y modulo de Young.
2. Determinar la tasa de respiración y la producción de etileno provocada por la acción de la aplicación de fuerzas de compresión o impacto y contrastar para obtener la relación entre el daño y las propiedades fisiológicas.
3. Determinar pérdidas de peso durante el almacenamiento después de la aplicación de la fuerza de compresión y del impacto

1.3 Hipótesis

1. Los frutos de guayaba de diferentes variedades sometidos a compresión o impacto, dependiendo de la posición en que se ubiquen, presentan diferencias en cuanto a sus características mecánicas
2. Los frutos de Guayaba incrementan su tasa de respiración y de producción de etileno así como pérdida de peso, a medida que se incrementa la carga aplicada en compresión e impacto.

2. REVISION DE LITERATURA

Una vez que los productos agrícolas están listos para cosecharse, se inician varios procesos tales como la cosecha, el transporte, empaque, el almacenamiento y transporte a los centros de distribución o consumo. Estos procesos se caracterizan por la excesiva manipulación de los productos, empacados o a granel al momento de llegar al consumidor presentan ciertos daños producto de la suma de todos los factores externos que inciden de manera directa en nuestro producto.

La presente revisión de literatura explica estos procesos y la importancia que representan para la investigación aquí realizada. Presentamos la importancia del fruto de Guayaba, sus principales características, las propiedades mecánicas, la importancia de los daños y sus características, así como la importancia económica.

2.1 Importancia nacional y mundial de la producción de Guayaba (Psidium Guajava L.)

La guayaba (*Psidium guajava* L.) es un cultivo originario de América y actualmente se encuentra muy difundido en todo el mundo, pertenece a la familia de las Myrtáceas, frondoso que alcanza de 5 a 6 metros de altura como promedio, pero si se maneja adecuadamente con podas, no sobrepasa los 3 m. Los tallos cuando están tiernos son angulosos. Las hojas nacen en pares, de color verde pálido, de forma alargada, terminan en punta aguda con

una longitud que oscila entre 10 y 20 cm., con 8 cm. de ancho; posee pelos finos y suaves en ambos lados, con una nervadura central y varias secundarias que resaltan a simple vista. Estas variedades empiezan a producir a los pocos meses; desde que aparece la flor hasta la cosecha se tardan solo 4 meses.

El fruto es ovalado, carnoso con semillas en la pulpa, diámetro de 4 a 8 cm. y un peso que en dependencia de la variedad oscila entre 50 y 500 gramos, y un pH de 4.1-5.4, con una densidad promedio de 1.88 g/cm³. Es un fruto amarillo y la pulpa de color blanco, crema o rosa, y cuyo tiempo de producción desde la floración hasta la cosecha va de 100-150 días. Los frutos amarillos son cosechados para el consumo nacional, mientras que los de color verde intenso son cosechados para exportar. Normalmente la cosecha es de manera manual, depositándolos en cartones corrugados o en bolsas que no evitan por completo los daños.

Tienen potencial para la elaboración de pectinas y aceites con sus semillas. El potencial industrial deriva de sus aptitudes para pulpas, puré, polvo para reconstituir como néctar, mermeladas, jaleas y dulce. El jugo de guayaba se utiliza principalmente en jugos y néctares, también existe demanda en la industria de alimentos para bebés.

La temperatura optima 8-10° C para guayabas verde-maduras y parcialmente maduras (vida potencial de almacenamiento igual a dos o tres semanas) y

de 5-8° C para guayabas completamente maduras (vida potencial de almacenamiento igual a una semana) (KADER, 2002).

Las principales acciones a favor de este producto radican en alargar la vida poscosecha hasta 30 días para apoyar las estrategias de comercialización, aplicar procesos de preenfriado del fruto, desarrollo de acciones de extensión para aplicar los resultados de investigaciones en el manejo en fresco como para el uso industrial y estar atentos a las oportunidades de mercado. En el mercado existen cajas con 12, 15, 24 frutos, (KADER ,2002).

En la actualidad, la producción comercial se ha extendido a diversas regiones y países del mundo, destacando Estados Unidos, Australia, Filipinas, India, Sudáfrica, Venezuela, Brasil, Egipto, Tailandia e Indonesia, (ASERCA,1997).

A nivel nacional, la guayaba se produce de manera comercial en 16 estados, aunque se considera que existe producción silvestre no contabilizada en por lo menos otras 11 entidades del país. De cualquier forma, cabe señalar que el cultivo de la guayaba se concentra en tres estados: Aguascalientes, Zacatecas y Michoacán, los que durante el periodo de 1990-1997 han contribuido con el 90% de la superficie cosechada a nivel nacional y con el 94 por ciento de la producción total del país.

Es un fruto climatérico cuya curva características se presentan dentro de los primeros cinco o seis días de cosecha. Es en este periodo cuando se sufren los cambios más severos. (KADAM, S.S.; SALUNKHE, D.K., 1998)

La guayaba es un fruto tropical importante en aspectos económicos y en aspectos nutricionales. La producción mundial de guayaba es de alrededor de 1.2 millones de toneladas, la India y Pakistán aportan el 50%, México produce el 25% y el resto lo aportan otros países como Colombia, Egipto y Brasil.

En México la producción de guayaba es del orden de las 300 mil toneladas anuales; destacando por su aportación los Estados de: Michoacán 37%, Aguascalientes 35%, Zacatecas 21% y el 7% restante, lo aportan el Estado de México, Jalisco y Querétaro. Siendo el valor de la producción del orden de los 1200 millones de pesos. (México, Gaceta del senado, 2007)

La producción nacional de guayaba durante los últimos cinco años ha sido del orden de las 192 mil toneladas anuales en promedio. Se tiene contemplada una demanda por cadenas comerciales estadounidenses de 22 mil toneladas para 2008; asimismo, se abrirían nuevos mercados y se mejoraría el precio de la guayaba. (La jornada, 2008)

Por la perecibilidad del producto y su delicadeza para el manejo, tanto productores como expertos estiman que la merma física del producto en la cosecha y la comercialización son del orden del 20% (ASERCA, 1996)

El consumo per cápita es de 2.3 kilogramos. Cabe señalar que la disponibilidad del producto en el mercado es casi todo el año, la producción se concentra en los meses de agosto a marzo, siendo los meses de mayo y junio los de menor oferta. La mayoría de las familias lo consumen en fresco como fruta de mesa o para refrescos caseros. Esto significa que cerca del 87% de la producción nacional se consume directamente en fresco, de los cuales el 65% se concentra en la central de abastos de México, 20% en la de Guadalajara, 10% en Monterrey y el 5% restante en otros centros.

La comercialización de la guayaba se realiza a pie de la huerta a los intermediarios quienes con transporte propio recogen la fruta para trasladarla a su destino, cuando el volumen es pequeño la entrega se hace directa y se traslada en un vehículo pequeño y después es el intermediario quien acude a Sanidad Vegetal a gestionar el certificado sanitario de la fruta para proceder al envío. Las ventas a industriales y tiendas de autoservicio se realizan también a través de los intermediarios. Se ha generalizado la idea de que la industria solo consume fruta de segunda calidad, que es la de menor precio y es poco importante la apariencia, lo cierto es que para el caso de guayaba enlatada, entera o en mitades, se requiere de fruta de la mas alta calidad, de mejor apariencia y de tamaño homogéneo.

La posibilidad de eficientar la producción nacional de guayaba en los próximos años, deberá estar basada en tres estrategias de mediano y largo plazo. 1) Incremento de la productividad 2) la ampliación de la superficie

cosechada 3) la reducción de las mermas que por la magnitud es un aspecto que debe considerarse para un plazo más inmediato, este aspecto esta muy ligado al establecimiento de un programa de capacitación de manejo poscosecha tendiente a manipular con técnicas adecuadas a esta fruta delicada y dirigido a los productores a nivel nacional con el objetivo de reducir mermas de cosecha y manejo durante la comercialización.



Figura 2. Grafico que representa la producción de Guayaba en México, clasificados por principales estados productores, fuente: GACETA DEL SENADO DE LA REPUBLICA, 2007

La información estadística disponible en relación con los costos de producción es poco sistemática y no permite hacer un análisis de la evolución del nivel y

estructura de éstos, sobre todo en las principales regiones productoras del país.

Cuadro 1. Porcentaje de costos de las principales labores de cultivo en la producción de Guayaba en México, datos en por ciento, fuente: SAGARPA, 1998.

COSTO TOTAL	100
LABORES DE CULTIVO	9.9
RIEGO Y DRENAJE	24.3
FERTILIZACION	17.6
CONTROL DE PLAGAS Y ENFERMEDADES	12.8
COSECHA	11.5
SELECCIÓN Y EMPAQUE	2.9
EMPAQUE Y ENVASES	20.9

Como en el caso de otros frutales de producción nacional, la oferta de guayaba se concentra en unos cuantos meses, aunque en el mercado nacional existe disponibilidad de la fruta durante todo el año. Entre los meses de septiembre y enero se concentra alrededor del 70 por ciento de la producción nacional. El restante 30 por ciento se distribuye del mes de

febrero a agosto, siendo los meses de mayo y junio los de menor disponibilidad del producto.

En términos regionales, el periodo de mayor oferta corresponde al de cosecha en los estados de Aguascalientes y Zacatecas, aunque en las principales zonas de producción se han identificado acciones para prolongar la disponibilidad del producto a lo largo de todo el año.

El producto desde que es cosechado hasta que se consume atraviesa por diferentes procesos de transporte, empackado, almacenamiento y hasta que se consume por el comprador final.

La calidad del fruto esta en dependencia de la cosecha, la mayoría de los países productores realiza hoy en día de forma manual la cosecha del producto, cuando se ha realizado de forma mecánica por ejemplo usando la vibración para desprender el fruto, se ha observado un incremento en los daños mecánicos.

La cosecha mecánica puede reducir o aumentar el costo de la cosecha, todo depende de las labores adicionales que se deben hacer para preparar al cultivo a la mecanización. Según algunos datos la mecanización en la cosecha ha hecho, al momento, que exista una diferencia del 30-60% de los costos con relación a la cosecha manual. (*Shewfelt, 1993*)

Los avances tecnológicos (robots) deben realizar una cosecha de forma similar a la del humano teniendo en cuenta el color, tamaño, la forma y otros factores que se consideren necesarios ya sea físicos o biológicos. Hasta el momento la cosecha manual es la más barata y efectiva, aun cuando realizar la cosecha manual presenta otros problemas de índole social como la contratación de personal, seguros, etc., la cosecha de tipo mecánica ha buscado en los últimos años de manera general la satisfacción procurando con esto, estudios de ergonomía y de seguridad laboral. El proceso de cosecha, de forma manual o mecánica debe cubrir los siguientes procesos: (1) detección del fruto, (2) dirección del sistema o de la mano (3) movimiento de cosecha con aplicación de la fuerza necesaria para desprender (4) depósito del fruto en el contenedor.

Para el caso de la detección esta se va a realizar de forma visual, cuando la detección es por color, la búsqueda es en poco tiempo, que cuando se busca por forma o tamaño, para dirigir el sistema de corte. La cosecha propia, esta en función de la sección del tacto y el depositado de la velocidad y distancia del depósito.

2.2 Propiedades Físicas y Mecánicas de los productos agrícolas

En el estudio de las propiedades de granos, semillas, frutos y vegetales es importante el estudio de las propiedades mecánicas que se relacionan con los daños y calidad de frutos.

Cuando se analiza el producto o material con respecto a ciertas normas o estándares la propiedad física se convierte en un elemento importante.

La relación entre los productos agrícolas y sus propiedades físicas, data desde hace 1940, con los trabajos de Gorianchky en 1940, el estudio de las propiedades físicas de los productos agrícolas consiste en enfocar el producto vegetal como cualquier otro material, es decir, como un cuerpo físico que posee propiedades, tanto mecánicas como ópticas o acústicas (que forman parte de las mecánicas). (*Ruiz-Altisent, M., 2006*)

2.2.1 Propiedades físicas

Algunas características físicas: La forma, el tamaño, el volumen, el área superficial, la densidad, el color y la apariencia, son parámetros utilizados en la ingeniería para estos productos. (*Mohsenin, 1970*)

La forma y el tamaño, son inseparables en un objeto físico y necesario para describirlos. Las medidas de algunos ejes son suficientes para poder describirlo, algunas formas para definirlos de manera estándar son: redonda, aproximada a esfera; oblada, plana en el tronco y termina en ápice; oblonga, diámetro vertical más grande que el horizontal; cónica, gradual decremento

hacia el ápice; ovada, en forma de huevo; ovovada, con forma de huevo invertido; elíptica, aproximada a elipse; truncada, terminales cuadradas o planas; desigual, una mitad más larga que la otra; regular, sección aproximada a un círculo.

La redondez: es un índice que indica aproximación a una forma redonda, la formula para calcularla es la siguiente:

$$\text{Redondez} = \text{Ap/Ac}$$

Donde:

Ap - Es el área proyectada más larga de un objeto en posición de descanso.

Ac - Es el área del círculo circunscrito.

El concepto de esfericidad descansa sobre la igualdad isoperimétrica de una esfera.

$$\text{Esfericidad} = \text{Di/Dc}$$

Donde:

Di - Es el diámetro del mayor círculo inscrito en el área proyectada.

Dc - Es el diámetro del menor círculo circunscrito en el área proyectada

La densidad de los sólidos se define como la masa del sólido dividida entre el volumen del sólido, para el caso del fruto de guayaba, la densidad obtenida es de 1.88 g/cm^3

2.2.2 Propiedades Mecánicas

El estudio de las propiedades mecánicas en los frutos cobra vital importancia al obtener información referente a su comportamiento en el proceso de recolección y manipulación manual o mecánica de los mismos. Los productos se ven sometidos a cargas cuya respuesta será dependiente de sus características.

Según Villaseñor, las aplicaciones de las propiedades mecánicas se reflejan en caracterización del material, el momento adecuado para la cosecha, la cosecha selectiva, el método óptimo de cosecha, la separación de materia indeseable, el procesamiento mecánico, la evaluación y control de textura y calidad, y los daños en la colecta, manejo y almacenaje.

Se denomina esfuerzo a la fuerza por unidad de área.

$$\sigma = P / A$$

Donde:

σ = Esfuerzo (Pa)

P= fuerza (N)

A= área (N/m^2)

Al aplicarle una fuerza a un cuerpo, este sufre una deformación. La deformación se puede definir como el cociente entre el alargamiento y la longitud inicial.

$$\varepsilon = \delta / L$$

Donde:

ε = deformación

δ = alargamiento

L= longitud inicial

Obsérvese que la deformación es adimensional. Para el ejemplo de una barra que es sometida a cargas externas, si la barra esta sometida a tracción, la deformación se llama de deformación de tracción, caso contrario será, deformación de compresión. Después de realizar pruebas de compresión o tracción se obtiene la curva característica del material que nos indicara sobre propiedades y comportamiento mecánico del material, la figura cuatro nos muestra el comportamiento típico de un material al aplicarle una fuerza de compresión.

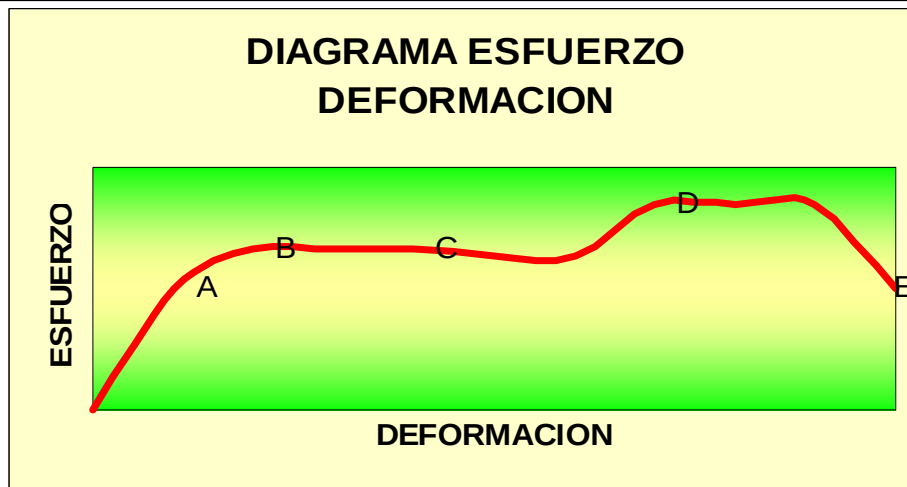


Figura 3. Diagrama Esfuerzo-Deformación de un cuerpo al aplicarle compresión

Desde el punto 0 hasta el punto A la deformación es proporcional al esfuerzo, el punto A es el límite de proporcionalidad, al aumentar la carga la deformación crece mas rápidamente, la curva tiene una pendiente mas pequeña hasta llegar al punto B en el que la curva es casi horizontal hasta C que se conoce como punto de fluencia, el segmento BC es el espacio donde el material sufre los cambios en estructura y cuya causa es un incremento en la resistencia a la deformación en futuras cargas aplicadas; un alargamiento adicional requiere un incremento en la carga y el diagrama toma una pendiente positiva hasta D que es el valor máximo, para después llegar al punto E que es el punto de fractura.

La figura 4 muestra el comportamiento de un material biológico al aplicarles cargas de compresión.



Figura 4. Curva de esfuerzo-deformación de un material biológico, LE, límite elástico, B, punto de biocedencia y R, punto de ruptura.

Para el caso de un material biológico según Mohsenin (1970), el punto denominado LE es el límite elástico hasta donde la deformación es proporcional al esfuerzo, el denominado punto B, dentro del diagrama fuerza-deformación, es el punto de biocedencia en el cual ocurre un incremento en la deformación con un decrecimiento o ningún cambio en el esfuerzo. La presencia de este punto indica que hay una ruptura celular en la estructura interna del material. El término biocedencia indica la falla de algún elemento estructural del material en ensayo.

El punto de biocedencia corresponde a fallas en la microestructura, mientras que el punto de ruptura R, corresponde a fallas en la macroestructura de la muestra (magulladuras, cortes, agrietamientos, fracturas, etc.) (Germán V. B., 2003)

Cuando en el diagrama de esfuerzo deformación se toma en cuenta el tiempo, y los materiales son cargados durante largos periodos, algunos, desarrollan

deformaciones unitarias adicionales y se dice que fluyen plásticamente, aun cuando la carga no cambie, un material puede por ejemplo, alargarse. Los materiales biológicos fluyen a temperatura ambiente, a este comportamiento del material se le llama flujo plástico.

Se denomina módulo de elasticidad a la razón entre el incremento de esfuerzo y el cambio correspondiente a la deformación unitaria. Si el esfuerzo es una tensión o una compresión, el módulo se denomina módulo de Young y tiene el mismo valor para una tensión que para una compresión. Tanto el módulo de Young como el límite elástico, son naturalmente distintos para las diversas sustancias. El hecho de que la variación de deformación unitaria sea directamente proporcional a la variación de esfuerzo, siempre que no se sobrepase el límite elástico, se conoce como ley de Hooke, (Martínez-Azuaga, 1997)

La Reología es la ciencia del flujo que estudia la deformación de un cuerpo sometido a esfuerzos externos. Algunas de las aplicaciones de la reología se pueden resumir de la siguiente manera: control de calidad de los alimentos, estudio de la textura y consistencia de productos alimenticios, producción de pegamentos, pinturas y medicamentos, caracterización de metales, productos biológicos.

2.3 Pruebas mecánicas

A nivel ingeniería es importante conocer el comportamiento de los materiales al someterlos a fuerzas externas. En muchos de los materiales que se

emplean se realizan test o pruebas mecánicas sometiendo a los productos a dichas fuerzas e ir analizando el comportamiento. Existen normas para realizar pruebas a los productos que se han ido delimitando a través del tiempo.

Se ensayan los materiales vegetales con los mismos modelos y teorías utilizados para cualquier otro material de la ingeniería, pero con la especificidad propia del producto vegetal. (*Ruiz-Altisent, M., 2006*)

A nivel internacional estos estudios han sido de vital importancia sobre todo en la determinación de cuantificación de daños encaminado a cuestiones de calidad de los frutos agrícolas. La American Society of Agricultural Engineers, (ASAE), de Estados Unidos, ha dedicado un grupo importante en la determinación de propiedades mecánicas de productos agrícolas, una de las normas importantes es la ASAE S368.4 DEC00 que trata sobre la prueba de compresión de productos agrícolas y que servirá en la prueba que se realizara en este trabajo. Existen pruebas en diferentes frutos, por ejemplo, en Colombia, existen determinación de propiedades físicas y mecánicas de papa, el Departamento de Ingeniería Rural de la Escuela de Ingenieros Agrónomos de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) en hortalizas y en hojas de tabaco, en México, existen algunos trabajos sobre propiedades físicas de piña, cítricos, papaya, zarzamora y en frutos de Melón, que combina la características mecánicas con la fisiología, realizada por Villaseñor P. en 2005.

Para el caso de productos agrícolas existen pocos estudios sobre el comportamiento de los materiales, dichas pruebas nos sirven para determinar datos importantes que serán útiles en la toma de decisiones, se estudia casi siempre el comportamiento al someter a un fruto a compresión y su importancia radica en que los daños mecánicos en un material biológico son producto de cargas compresivas y ha sido esta problemática, probablemente, una de las principales razones para coleccionar más datos para ensayos de compresión que para los ensayos de tensión (Mohsenin, 1970).

Algunos de las pruebas que se realizan son:

Prueba de compresión donde es posible determinar la resistencia a la compresión (N m^{-2}) del material.

Prueba de penetración es un método destructivo a partir del cual se mide la fuerza necesaria para pinchar la piel, indicando por tanto la "resistencia" de la piel. (German, V. 2004).

Prueba de corte: conocer la estructura del material para entender su comportamiento cuando es sometido a pruebas.

En la prueba Creep una carga inicial es aplicada a un material, el objetivo es determinar la deformación continua. Existen tres secciones de, en el segmento I, la deformación aumenta, en el segmento marcado con II, el crecimiento de la deformación es casi constante, en el segmento III, la deformación aumenta hasta llegar a F, donde ocurre la fractura del material.

Se usa para estudiar el comportamiento de los productos viscoelásticos, en función del tiempo. (Sitkei, 1986, citado por Villaseñor, 2005).

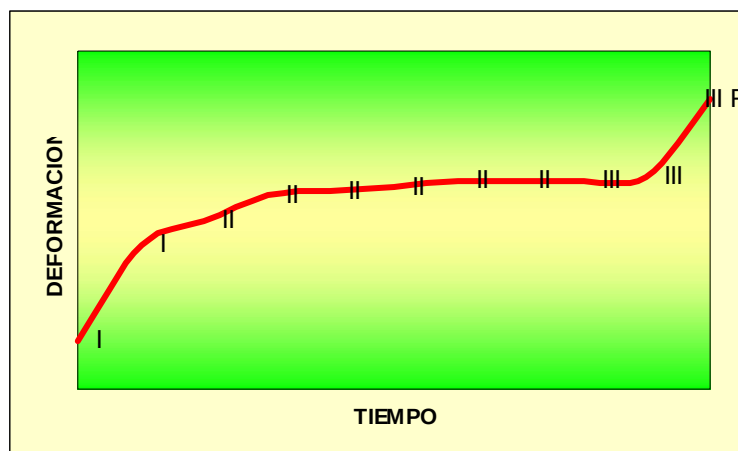


Figura 5. Curva característica de la prueba Creep,

2.4 Daños mecánicos

Una vez que los frutos se cosechan, existen gran cantidad de factores que interactúan con los frutos, ocasionando manifestaciones en dichos frutos. Una de las vías para mantener las características de calidad de los productos es interviniendo de manera que dichos factores no provoquen daños en el producto. Estos daños son ocasionados en su mayoría por las operaciones de cosecha, almacenamiento y transporte. El problema más grande radica en detectarlos, puesto que no son visibles al momento en que ocurren.

Las operaciones poscosecha se relacionan con operaciones que implican impacto circunstancia que ocasiona el magullamiento de la pulpa. El impacto es la causa más importante de daños en frutas. La excesiva compresión de la misma manera. Un daño mecánico es la falla del producto bajo deformación

excesiva provocada por la aplicación de una fuerza constante, oscilante o puntual y cuyas variaciones se observan a diferentes intervalos.

La mecanización de las operaciones, también produce daños y se reflejan en la calidad del producto dado que es el inicio de un deterioro completo del mismo. Algunas posibilidades de reducir los daños son: diseño adecuado de los elementos manipuladores de las maquinas, desarrollo de especies con calidad mejorada o la realización del transporte en un estado biológico del producto tal que pueda resistir el daño (Zambrano, 1996).

2.4.1 Formas de daños

No existen normas para establecer las dimensiones de los daños en los frutos agrícolas. Las formas son diferentes dado que los productos agrícolas se pueden destinar a la industria o al consumo en fresco. Podemos diferenciar: Abrasión, magullamiento, agrietamiento, corte, punción, división, ruptura, distorsión, son manifestaciones de los daños en los frutos agrícolas. La detección como se ha mencionado representa un problema. Como se menciona en la introducción de la presente investigación las principales causas del daño pueden ser el impacto, la compresión, la abrasión y la vibración; los primeros dos representan los estudiados para el caso del fruto de guayaba.

2.4.2 Impacto económico de los daños

Los costos directos en las pérdidas en frutas y hortalizas incluyen las pérdidas de fruto cuando la pulpa es desbastada y se incrementan las labores para remover la sección dañada o magullada. Los costos indirectos son en la baja calidad de los productos y en la tardanza en el procesamiento.

2.4.3 Determinación de los factores que influyen en la susceptibilidad de los daños mecánicos

La sensibilidad a los daños mecánicos está influenciado por numerosos factores. Podemos dividirlo en parámetros relacionados con el estado físico del fruto (temperatura, contenido de humedad, madurez) y en parámetros relacionados con la carga (estática, dinámica, oscilante).

De acuerdo al tipo de interacción con sus alrededores, los daños mecánicos que puede sufrir un producto agrícola se clasifican de tres formas: por fricción, por impacto o por compresión. La fricción resulta del movimiento del producto contra objetos adyacentes, dando lugar a una abrasión superficial. El impacto se refiere al choque entre frutos o contra las paredes o piso del contenedor del producto, sobre todo cuando no hay restricción de movimiento vertical. La compresión se presenta debido a la presión que ejercen frutos u objetos en capas superiores, principalmente cuando el producto se transporta a granel. Estos tipos de daño pueden generarse durante la transportación del producto

por carretera, ya sea de forma individual o combinada. En la generación del daño, tiene influencia el tipo de empaque, el tipo de vehículo, las acciones de conducción y el estado superficial de la carretera, que son la fuente de la vibración que sufre el producto.

De manera concluyente, se ha establecido que el transporte de los productos agrícolas es una fuente potencial de daño a los mismos, cuya severidad depende de la intensidad y duración de la vibración y otras cargas combinadas que se producen durante el transporte.

El precio de un producto agrícola está asociado en gran medida con su disponibilidad y su presentación. La disponibilidad depende de la producción obtenida a través de las cosechas, mientras que la presentación visual y la percepción de su estado físico es un factor de mayor influencia para su comercialización.

De una manera general, se ha descrito que el manejo rudo de los productos agrícolas afecta su proceso fisiológico, produciendo un incremento en la tasa metabólica y en los niveles de producción de etileno, formando parte, ambos factores, del proceso de maduración. Además, la ruptura de los tejidos externos de los frutos proporciona sitios de entrada a los microorganismos causantes de la putrefacción, lo cual disminuye la vida de presentación de los mismos

Además de la manifestación visual de la alteración física de un producto dañado (apariencia y color), se presentan otros cambios en sus cualidades comestibles, que se basan en mediciones de ciertos parámetros que forman parte de un análisis de perfil de textura. El análisis de perfil de textura trata de obtener y medir las características que se presentan cuando una persona muerde y mastica algún vegetal, como dureza, resortividad, coherencia masticabilidad, gomosidad, elasticidad y compresión, todas ellas encaminadas a una cuantificación de la sensación producida cuando un alimento es comido e ingerido. Aunque un estudio de comestibilidad requeriría de un análisis sensorial, el análisis de perfil de textura es esencialmente el resultado de la medición indirecta de ciertas propiedades mecánicas de los frutos y vegetales, a través de las cuales se obtienen indicadores de las características involucradas.

Para el caso de los daños por vibración es importante el diseño de los empaques que busquen amortiguar las fuerza externas y con ellos protegerlos, estos parámetros también deben tomarse en cuenta en los vehículos que transportan dichos frutos, existen normas que determinan algunas dimensiones de contenedores, todo ello buscando y procurando una mejor calidad en los mismos.

Algunos estudios en Pensylvania en Frutas de Manzana indican que las perdidas por daños mecánicos son hasta del 28%. Otros estudios citados por

Mohsenin (1970), indican una pérdida del 10-12%. Daños mecánicos que son productos de las fuerzas a la que son sometidos los productos agrícolas.

Para detectar este tipo de daños en los frutos se requiere de técnicas e instrumentos, actualmente el método utilizado es descriptivo, por ejemplo una forma de realizar tal detección es mediante los cambios en coloración que provocan. Para el caso de daños por impacto, Timofeev (1956) ha descrito un método para determinarlos en frutas y vegetales. Otra manera de describirlos es medirlos en términos de respiración, usualmente en unidades de volumen de CO₂ por unidad de peso de producto por unidad de tiempo. (Mohsenin, 1970)

2.5 Aspectos fisiológicos de poscosecha en los productos agrícolas: Respiración y producción de etileno.

La calidad del fruto se considera de acuerdo a su textura, color sabor, limpieza exterior y tamaño. Los frutos de Guayaba, se clasifican de acuerdo a una norma, que para el caso de México es la: [NMX-FF-040-SCFI-2002](#), en el caso del consumo de fruta fresca. Se estima que alrededor del 94% de la superficie cultivada con Guayaba es de riego, principalmente por bombeo, ya se que se trata de diversos terrenos con ciertos grados de inclinación, lo cual encarece los gastos de producción de manera significativa. Se recomienda que la cosecha de guayaba se realice en el momento de cambio de coloración de color verde a amarillo con firmeza, con un índice químico con 12° Brix o

mayores o cuando la fuerza de separación del fruto es menor a 39 Newton. Algunas pruebas de cosecha mecánica que se han hecho principalmente en Hawai no han obtenido resultados satisfactorios por lo que toda la fruta cosechada se ha destinado a la industria, algunos estudios muestran que la pérdida por acción mecánica va del orden del 12% de la producción total. Uno de los índices de cosecha es el patrón de respiración, la mayoría de los autores afirman que este tipo de frutos presenta un patrón típico de los frutos climatéricos. (*Wills, R. B. 1981*)

Algunos cambios metabólicos se observan cuando una pequeña cima de producción de etileno coincide con el principio del cambio del color del fruto, para el caso del fruto los cambios se dan desde la polinización de la flor en forma y tamaño, inicia con un fruto cuyo crecimiento en diámetro y longitud son proporcionales, hasta llegar a la etapa final en donde el crecimiento en longitud supera al diámetro, logrando un fruto ovalado desde los 111 días de la polinización. (*Díaz, 2002*)

Los empaques persiguen varios objetivos: 1. ordenar las unidades para su manejo 2. Proteger el producto durante su almacenamiento y comercialización además deben cumplir: resistencia mecánica suficiente para que este apilado el material sin productos químicos, que cumplan las exigencias del mercado, que permita una fluidez de los gases, que el recipiente proteja del agua, fácil de abrir y cerrar, presentable, reciclable y de bajo costo. Además debe proteger contra cortes por compresión, impactos y vibraciones.

Cuadro 2. Tabla de susceptibilidad a lesiones mecánicas de diferentes frutos

x= visible, y=no visible z=ambos

Fruta	Compresión	Impacto	Vibración
Melón	x	z	z
Uva	y	z	x
Pera	y	z	x
Fresa	x	z	y
Manzana	x	x	z
Guayaba	x	x	<i>No hay datos</i>

Las vibraciones generan abrasión variando en intensidad desde el frotamiento hasta la pérdida de la piel y la pulpa, en ocasiones los frutos adquieren coloración parda por oxidación. Estas lesiones conducen a infecciones, incrementan la actividad respiratoria y por tanto la velocidad de deterioro y pérdida de producto disponible. Algunos empaques son diseñados para absorber energía, sin embargo realizar esto, aumenta los costos. (Salunke, D.K, et al 1998)

La guayaba cuenta con un periodo de vida de anaquel de 5 a 7 días lo que limita su comercialización en mercados extranjeros (EE. UU, Europa,

Canadá). El consumo de guayaba mexicano es principalmente como producto fresco. (López, 2006)

Después de la revisión de literatura y considerando:

1. Que el estudio de las propiedades físicas es de vital importancia en la determinación de la calidad de los frutos.
2. Que la calidad de los frutos es determinante en los precios y en la aceptación de frutos para exportación.
3. Que existen pocos trabajos que relacione las propiedades mecánicas y la actividad fisiológica de los productos agrícolas.
4. Que los aspectos fisiológicos de producción de etileno y tasa de respiración on métodos para determinar la cantidad de daños en los productos agrícolas
5. Que cerca del 85% de la producción de Guayaba se consume en fresco y por el manejo poscosecha se adquieren daños mecánicos en mayor cantidad.

Se concluye la necesidad de determinar las condiciones fisiológicas de comportamiento de un fruto al ser sometido a una fuerza que genera un daño y de esta manera tener acceso a datos precisos al momento de diseñar un empaque o de someterlos a transporte, almacenamiento y/o fuerzas externas.

3. MATERIALES Y METODOS

Las pruebas mecánicas se realizaron en el laboratorio de Materiales del Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola y las pruebas fisiológicas en el laboratorio de usos múltiples del departamento de Fitotecnia, ambos en la Universidad Autónoma Chapingo, con una maquina universal de ensayos mecánicos, modelo 4469, figura 6, con velocidad de cruceta de 15mm por minuto y celda de carga de 50 KN, y con un cromatógrafo de gases Varian Star modelo 3400, figura 7.

3.1 Metodología de prueba para frutos de guayaba sometidos a compresión

Para la realización de la presente investigación se emplearon frutos de Guayaba de una parcela comercial en Zumpahuacan, estado de México. Se muestrearon dos parcelas diferentes una con frutos de la Variedad Calvillo (v1) y otra con frutos criollos (v2).



Figura 6. Cromatógrafo de Gases Varian Star

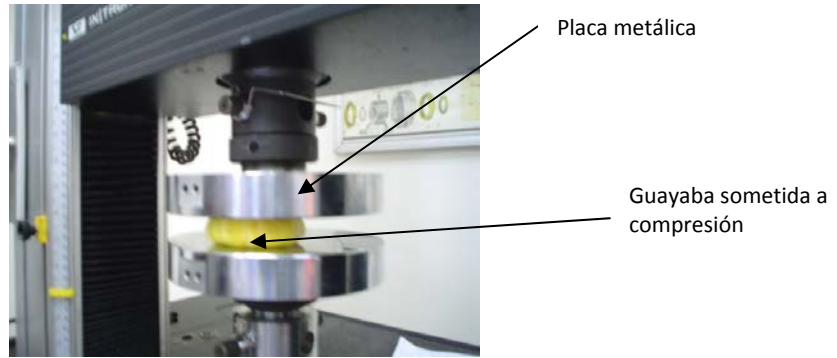


Figura 7. Máquina universal de ensayos mecánicos comprimiendo una guayaba

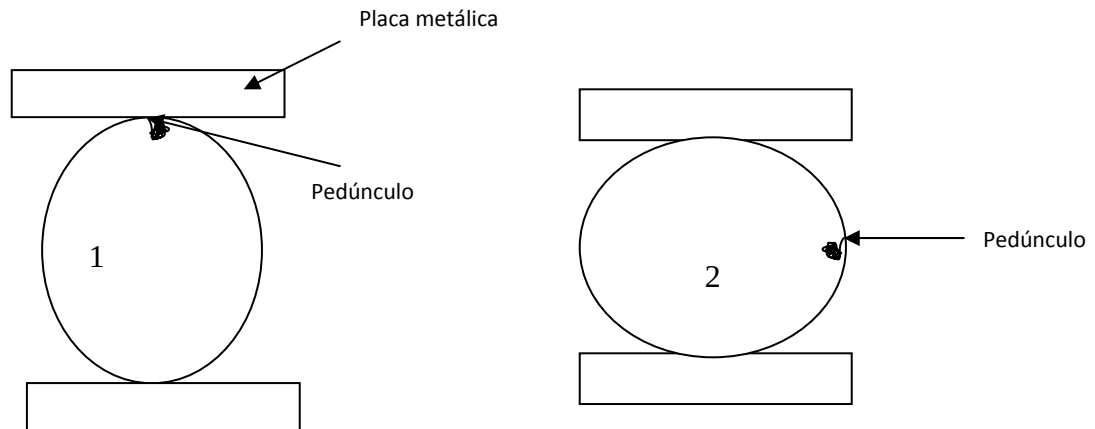


Figura 8. Posiciones de los frutos para someterlos a compresión vertical (1) y horizontal (2).

El diseño empleado corresponde a un arreglo 2x2x3 con los factores: Variedades: Calvillo (v1) y Criolla (v2), posición del fruto al momento de someterlos a compresión, de forma vertical (p1) y horizontal o descanso natural (p2) y distancias de desplazamiento de la cruceta de la maquina de Ensayos mecánicos, al limite elástico (d1), al punto de biocedencia (d2, y al punto de ruptura (d3); distancias que en dependencia de la posición del fruto,

se establecieron con pruebas preliminares obteniendo una curva esfuerzo deformación tal y como se ilustra.

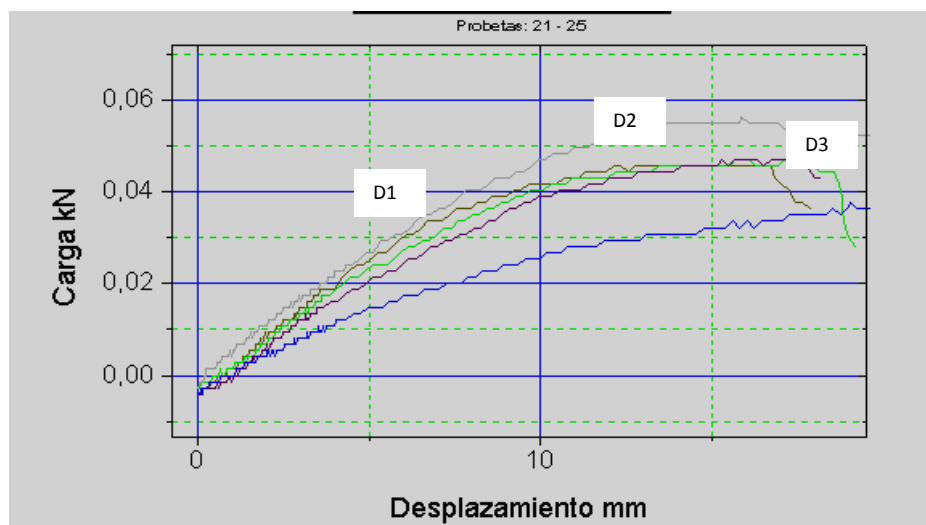


Figura 9. Gráfico Carga-Desplazamiento de frutos de guayaba de cinco muestras sometidas a compresión generados por el software de la maquina universal de ensayos mecánicos, D1 corresponde al punto de limite elástico, D2 a punto de biocedencia y D3 a punto de ruptura

Se realizo el diseño para la prueba de compresión con 10 tratamientos y 5 repeticiones, como sigue:

Tratamiento 1: Cv1d1p1. Para frutos de la variedad Calvillo, en distancia de límite elástico y posición vertical

Tratamiento 2: Cv1d2p1. Para frutos de la variedad Calvillo, en distancia de punto de biocedencia y posición vertical

Tratamiento 3: Cv1d3p1. Para frutos de la variedad Calvillo, en distancia de ruptura y posición vertical.

Tratamiento 4: Cv1d1p2. Para frutos de la variedad Calvillo, en distancia de límite elástico y posición horizontal

Tratamiento 5: Cvd2p2. Para frutos de la variedad Calvillo, en distancia de punto de biocedencia y posición horizontal

Tratamiento 6: Cv1d3p2. Para frutos de la variedad Calvillo, en distancia de punto de ruptura y posición horizontal

Tratamiento 7: Cv2d1p1. Para frutos de la variedad Criolla, en distancia de límite elástico y posición vertical.

Tratamiento 8: Cv2d2p1. Para frutos de la variedad Criolla, en distancia de punto de biocedencia y posición vertical.

Tratamiento 9: Cv2d3p1. Para frutos de la variedad Criolla, en distancia de ruptura, y posición vertical.

Tratamiento 10: Cv2d1p2. Para frutos de la variedad Criolla, en distancia de límite elástico y posición horizontal.

Tratamiento 11: Cv2d2p2. Para frutos de la variedad Criolla, en distancia de punto de biocedencia y posición horizontal

Tratamiento 12: Cv2d3p2. Para frutos de la variedad Criolla, en distancia de ruptura, y posición horizontal

Testigo 1: v1. Frutos de variedad Calvillo sin aplicarle fuerzas externas

Testigo 2: v2. Frutos de variedad Criolla sin aplicarle fuerzas externas

Para determinar las distancias de cruceta de límite elástico y punto de biocedencia se hicieron pruebas preliminares con los mismos frutos de guayaba quienes físicamente se procuró que fueran homogéneas arrojando

los siguientes datos, para el caso de frutos de la variedad Calvillo la distancia a límite elástico para la posición corresponde vertical a 12.5mm y horizontal a 10.00mm, a punto de biocedencia para la misma variedad corresponde a 17mm y 13mm para posición vertical y horizontal respectivamente.

Para los frutos Criollos se observo que para el caso de límite elástico para posición vertical y horizontal fue de 9.8mm y 12mm respectivamente, mientras que para el punto de biocedencia las distancias fueron 12.20mm y 14mm.



Figura 10. Muestra de frutos de guayaba que fueron seleccionados de manera homogénea.

Para el caso de los frutos cuyo tratamiento se refiere a puntos de ruptura no se hicieron mediciones dado que se llegó al daño total del fruto, y por tanto termina su vida fisiológica.

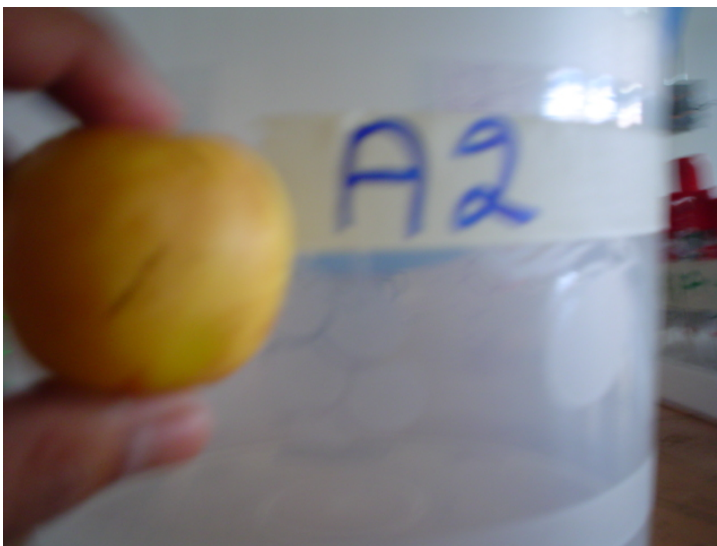
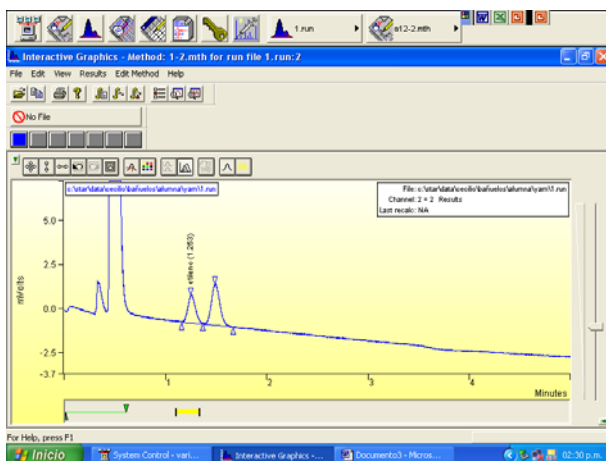


Figura 11. Recipiente hermético para toma de muestras para medición.

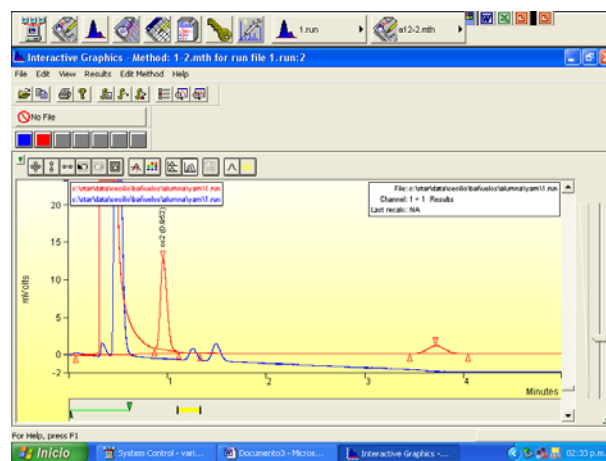
En el estudio mecánico, los datos instantáneos que obtuvimos se refieren a la carga máxima (kN), porcentaje de deformación (%), modulo de Young (MPa) para cada tratamiento y para su respectiva repetición.

Una vez que se ha determinado la distancia a la que los frutos serán sometidos a compresión respetando los puntos característicos, se acomodó un fruto de guayaba sobre la base de la maquina universal de ensayos mecánicos y se inicio el proceso de compresión a una velocidad de 15mm/min., deteniéndose al llegar a la distancia programa, después de analizar todas los tratamientos con sus respectivas repeticiones, el software de la maquina diseñado para tal fin nos arroja los datos de carga máxima, porcentaje de deformación y modulo de Young, datos que se procesan posteriormente para encontrar la información de interés.

En el estudio fisiológico se empleo el método utilizado por Villaseñor (2005), que consiste en colocar frutos de peso y volumen conocido en recipientes con igual volumen conocido, cerrados herméticamente, (figura 11) durante una hora y posteriormente tomar una lectura de 1 mL de aire del espacio de la parte de arriba del recipiente hermético a través de un orificio en la tapa del recipiente diseñado para tal fin, y luego inyectarla al cromatógrafo de gases, con un tiempo de 5 minutos por muestra y como resultado se obtiene un cromatograma como se ilustra en la figura 12 y posteriormente, con ayuda del software de la maquina se calcula el área y la cantidad de CO₂ y etileno que resulta de las muestras, (figura 13) .



a)



b)

Figura 12. Pantallas que muestra la forma de la curva para a) CO₂ y b) etileno después de la lectura realizada por el cromatógrafo de gases,

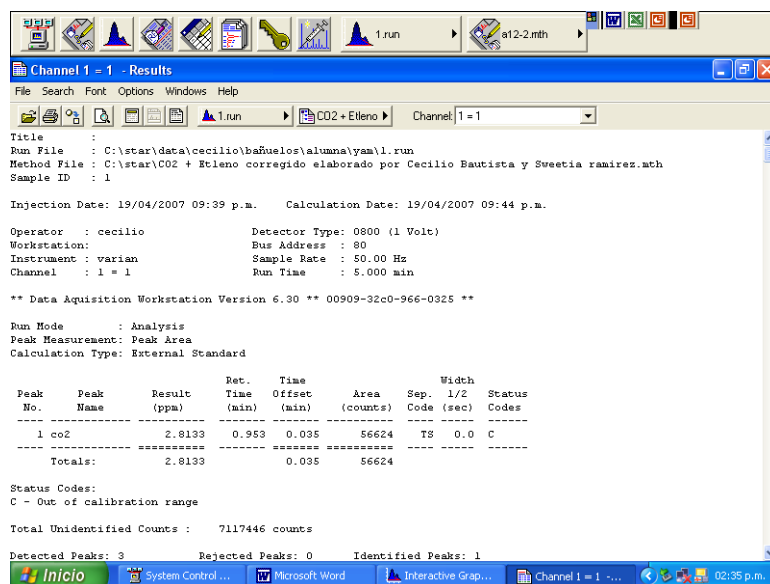


Figura 13. Pantalla del software que indica el área bajo la curva para determinar la cantidad de CO₂ y etileno.

También se determinaron las pérdidas de peso en los frutos después del sometimiento a los daños mecánicos mediante una balanza digital, durante cuatro días de almacenamiento y calculando el porcentaje de pérdida de peso con base en el peso inicial. Una vez obtenido los datos obtenidos en el ensayo mecánico y en la medida de variables fisiológicas se analizaron estadísticamente mediante el programa SAS versión 6.12, con las pruebas de Tukey, con un alpha de 0.05.

3.2 Metodología de prueba para frutos de guayaba sometidos a impacto

La prueba para impacto consiste en someter a los frutos de guayaba a un golpe, dejándolos caer desde la altura de 70 cm., que es la distancia promedio a la que un cosechador la deja caer en sus recipiente de madera o

de plástico, garantizando que los frutos cayeran de forma horizontal o vertical pudiéndolos guiar, pero dicho procedimiento no es necesario debido a que se garantizo la posición al dejarlos caer de esa altura

El diseño experimental empleado es el arreglo factorial $2 \times 2 \times 2$. El primer factor es la variedad con dos opciones variedad Calvillo (v1) y variedad Criolla (v2) el segundo factor es la superficie a la que se sometió a impacto el fruto posición vertical (v1) y posición horizontal (v2) el tercer factor corresponde a la superficie de impacto m1 es plástico y m2 es madera. Se obtuvieron los siguientes tratamientos:

1. p1m1v1.- posición vertical, superficie de plástico, variedad Calvillo
2. p1m2v1.- posición vertical, superficie de Madera, variedad Calvillo
3. p2m1v1.- posición horizontal, superficie de plástico, variedad Calvillo
4. p2m2v1.- posición horizontal, superficie de Madera, variedad Calvillo
5. p1m1v2.- posición vertical, superficie de plástico, variedad Criolla
6. p1m2v2.- posición vertical, superficie de Madera, variedad Criolla
7. p2m1v2.- posición horizontal, superficie de plástico, variedad Criolla
8. p2m2v2.- posición horizontal, superficie de madera, variedad Criolla
9. t1 .- testigo de la variedad Calvillo
10. t2.- testigo de la variedad Criolla

Cada unidad experimental (un fruto) fue evaluado con cinco repeticiones.

La medición de las variables de CO₂ y etileno y pérdidas de peso fueron de la misma manera que para compresión

4. RESULTADOS Y DISCUSION

Una vez que los frutos de guayaba fueron sometidos a compresión e impacto y que se realizaron las pruebas y mediciones según lo descrito en el apartado anterior, se tuvieron datos de carga máxima, porcentaje de deformación y modulo de Young, perdidas de peso, producción de CO₂ y etileno los cuales se analizan y comparan enseguida.

4.1 Frutos sometidos a compresión

La prueba de compresión realizada a frutos de guayaba se realizó siguiendo las instrucciones que para tal fin existen y se procesó la información mediante el software *Instron IX series* para obtener los gráficos y los datos que se presentan.

4.1.1 Carga de compresión

Los datos que se obtuvieron en las pruebas de compresión, corresponden a las dos variedades de frutos de guayaba que se emplearon, a los tres puntos característicos y a dos posiciones del fruto.

El siguiente cuadro muestra las medias de las cargas soportadas por tratamiento de frutos de guayaba sometidos a compresión:

Cuadro 3. Medias de las cargas soportadas por las guayabas, VAR= variedad, POS= posición del fruto al someterlo a la compresión, DIS= punto característico ns= no significativo.

		CARGA (N)	
		VERTICAL	HORIZONTAL
CALVILLO	LIMITE ELASTICO	36,7	52,88
	BIOCEDENCIA	42,16	46,72
	RUPTURA	37,32	54,24
CRIOLLA	LIMITE ELASTICO	33,04	55,04
	BIOCEDENCIA	53,44	47,78
	RUPTURA	46,72	47,78
significancia			
VAR		Ns	
DIS		Ns	
VAR*DIS		Ns	
POS		0.01	
VAR*POS		Ns	
DIS*POS		0.05	
VAR*DIS*POS		Ns	

ns, 0.05,0.01,0.001: NO SIGNIFICATIVO, VALORES DE ALPHA

Existen diferencias significativas entre las dos variedades, los datos indican que la variedad Criolla soporta una mayor carga en el punto de límite elástico y en posición horizontal, con respecto a la variedad Calvillo. La variedad Calvillo en el punto de límite elástico y posición vertical presenta la menor carga soportada. La media de 45.01 N para la variedad Calvillo y media de 47.83 N para frutos criollos; se puede observar que para ambos es la posición

horizontal es la que mayor soporta carga de compresión tal como se muestra en el cuadro anterior.

Se observa que en el punto de biocedencia es donde se soporta una mayor carga, esto tiene explicación con base en el diagrama esfuerzo-deformación de la figura 5, el cual nos indica que los valores mas altos corresponde al de biocedencia, hasta que se presenta otro pico en la ruptura y cae la línea.

La siguiente figura de manera ilustrativa muestra los valores de carga en Newtons, soportada por los frutos de guayaba en los diferentes puntos característicos.

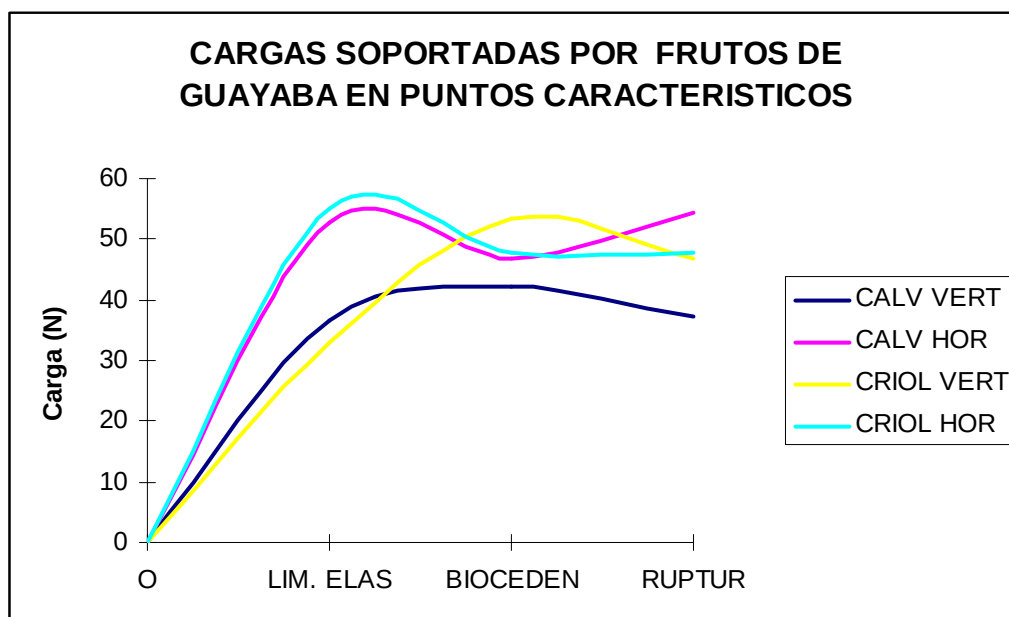


Figura 14. Cargas soportadas por los frutos de guayaba sometidos a compresión para los puntos característicos: limite elástico, punto de biocedencia y ruptura en dos diferentes posiciones horizontal y vertical en frutos de la variedad Calvillo y criollos.

4.1.2 Porcentaje de deformación

Después de realizar las pruebas de compresión en los frutos de guayaba se obtuvieron los datos de porcentaje de deformación a través del software de la maquina universal de ensayos mecánicos, el siguiente cuadro muestra las medias de los tratamientos sometidos a compresión:

Cuadro 4. Medias de los efectos de los factores variedades y posiciones de cruceta sobre la deformación, en frutos de Guayaba, expresados en porcentaje. VAR= variedad, POS= posición del fruto al someterlo a la compresión, DIS= punto característico ns= no significativo.

		DEFORMACION (%)	
		VERTICAL	HORIZONTAL
CALVILLO	LIMITE ELASTICO	25.014	32.552
	BIOCEDENCIA	34.022	39.332
	RUPTURA	25.054	40.646
CRIOLLA	LIMITE ELASTICO	24.574	35.032
	BIOCEDENCIA	30.54	43.516
	RUPTURA	30.028	41.22
significancia			
VAR		0.001	
DIS		0.001	
VAR*DIS		0.05	
POS		0.001	
VAR*POS		0.05	
DIS*POS		0.001	
VAR*DIS*POS		0.001	

ns, 0.05,0.01,0.001: NO SIGNIFICATIVO, VALORES DE ALPHA

De acuerdo a los datos anteriores podemos ver que la variedad Criolla en posición horizontal se deforma en mayor proporción que los de la variedad Calvillo para la misma posición y para el mismo punto característico, existen diferencias significativas en cuanto a la posición del fruto observándose una mayor deformación en la posición horizontal.

Si existen diferencias significativas de deformación con un $\alpha=0.05$ entre las variedades Calvillo y Criolla sometidas a compresión mientras que para la variedad Calvillo existe una media de 32.77%, para la variedad Criolla del 34.15%. Se puede observar que existe una mayor deformación en el punto de biocedencia, siendo en la posición horizontal donde se observa la mayor deformación con una media de 37.028%

4.1.3 Modulo de Young

El siguiente cuadro muestra las medias de los módulos de Young, obtenidos de las pruebas de los frutos sometidos a compresión:

Cuadro 5. Medias de los efectos de los factores variedades y posiciones de cruceta sobre el modulo de Young, en frutos de Guayaba sometidos a compresión, datos en MPa. VAR= variedad, POS= posición del fruto al someterlo a la compresión, DIS= punto característico ns= no significativo.

MODULO DE YOUNG (MPa)		VERTICAL	HORIZONTAL
CALVILLO	LIMITE ELASTICO	0.055116	0.2596
	BIOCEDENCIA	0.69356	0.3099
	RUPTURA	0.27388	0.32208
CRIOLLA	LIMITE ELASTICO	0.35766	0.33514
	BIOCEDENCIA	0.45552	0.33276
	RUPTURA	0.51508	0.22456
significancia			
VAR		ns	
DIS		ns	
VAR*DIS		ns	
POS		0.001	
VAR*POS		ns	
DIS*POS		ns	
VAR*DIS*POS		0.05	

ns, 0.05,0.01,0.001: NO SIGNIFICATIVO, VALORES DE ALPHA

De donde se observa que los valores mayores en el modulo de Young, corresponde a la variedad Calvillo en comparación con la variedad Criolla en donde no existen diferencias significativas con una $\alpha = 0.05$

Existe diferencia significativa considerando la posición del fruto, obteniendo la posición vertical la mayor resistencia en la variedad Calvillo.

En tanto que para la posición vertical de los dos variedades de frutos calculando las medias tenemos un valor de 0.47448 y para la posición horizontal un valor de 0.29729 considerando la posición del fruto observamos

que se tienen diferencias significativas entre las dos variables, según prueba de Tukey con $\alpha = 0.05$

Por tanto estos frutos en cualquier variedad presentan una mayor rigidez en el tejido cuando son sometidos a daños en posición vertical y por ende son más resistentes a la deformación.

4.1.4 Producción de CO₂

El siguiente cuadro muestra las medias de la producción de de CO₂ para los tratamientos por día en que se realizó el experimento. Sobresalen la producción de frutos criollos, en la distancia de límite elástico, y en la posición horizontal, y variedad Calvillo para puntos característicos de límite elástico y punto de biocedencia en la posición horizontal.

Cuadro 6. Medias de producción de CO₂ de los diferentes tratamientos de frutos de guayaba sometidos a compresión (mL CO₂ /Kg* h)

TRATAMIENTO	DÍA 1	DÍA 2	DÍA 3	DÍA 4
Cv1d1p1	129,75	144,29	126,98	95,42
Cv1d2p1	120,07	152,43	118,23	98,42
Cv1d1p2	137,53	214,99	113,90	113,18
Cv1d2p2	129,41	115,33	120,47	104,04
Cv2d1p1	114,25	129,15	104,49	130,63
Cv2d2p1	110,38	117,32	94,15	120,10
Cv2d1p2	163,75	136,54	140,36	158,74
Cv2d2p2	134,38	156,47	115,33	172,69
Cv1	102,11	110,00	85,89	89,24
Cv2	103,06	109,05	114,20	97,51

Dicha producción de CO₂ representan valores por debajo de lo reportado por López Enríquez,(2005) lo cual se puede justificar debido a que los frutos que analizamos recibieron pocos daños. El grafico siguiente ilustra las líneas de comportamiento en la producción de CO₂ para los diferentes tratamientos.

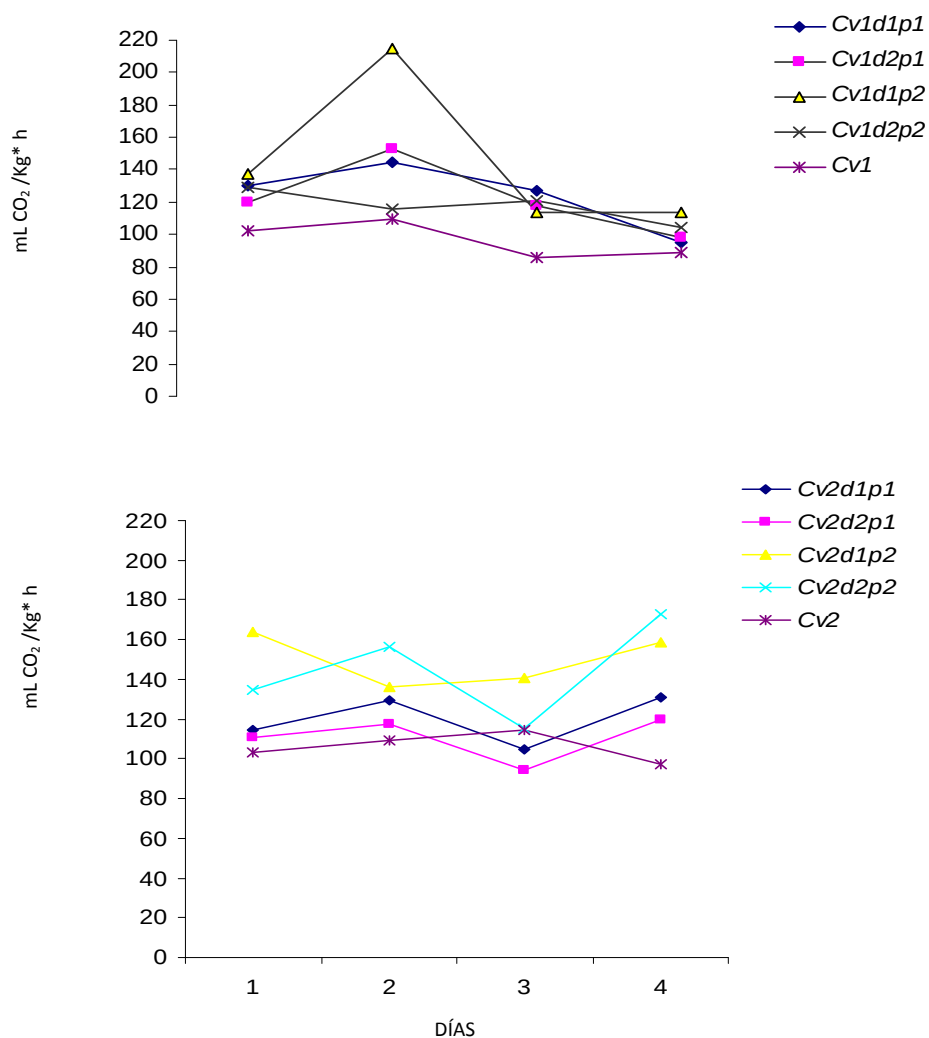


Figura 15. Producción de CO₂ en frutos de Guayaba en las variedades Calvillo (v1) y Criolla (v2) sometidos a compresión en la posición vertical (p1) y horizontal (p2) en tres distancias de cruceta en limite elástico (d1), punto de biocedencia (d2) y ruptura (d3)

4.1.5 Producción de etileno

El siguiente grafico ilustra el comportamiento para la producción de etileno en los frutos para los cuatro días por tratamiento, al igual que el grafico anterior de la tasa de respiración se muestra una baja producción en el tratamiento de los frutos testigo, con esto se comprueba que los frutos sometidos a daños mecánicos incrementan su actividad fisiológica.

Cuadro 7. Medias de producción de etileno de los diferentes tratamientos de frutos de guayaba sometidos a compresión.

TRATAMIENTO	DÍA 1	DÍA 2	DÍA 3	DÍA 4
Cv1d1p1	1,5240	1,7292	1,6505	1,7471
Cv1d2p1	1,4329	1,5491	2,1919	1,7607
Cv1d1p2	1,4848	1,4522	1,6131	1,5797
Cv1d2p2	1,7275	1,8345	1,9764	1,9629
Cv2d1p1	1,8835	2,4794	2,1875	2,275
Cv2d2p1	1,9640	2,3249	3,2859	2,3694
Cv2d1p2	2,1787	2,505	2,8118	2,6968
Cv2d2p2	2,3023	2,213	2,4229	2,5761
Cv1	0,8874	0,9083	0,7948	0,7757
Cv2	1,1622	1,4661	1,1912	1,1706

Al igual que la producción de CO₂, los valores de etileno representan valores por debajo de lo reportado por Lopez Enriquez,(2005) lo cual se puede justificar debido a que los frutos que analizamos recibieron pocos daños.

La figura siguiente ilustra la producción de etileno en frutos de guayaba.

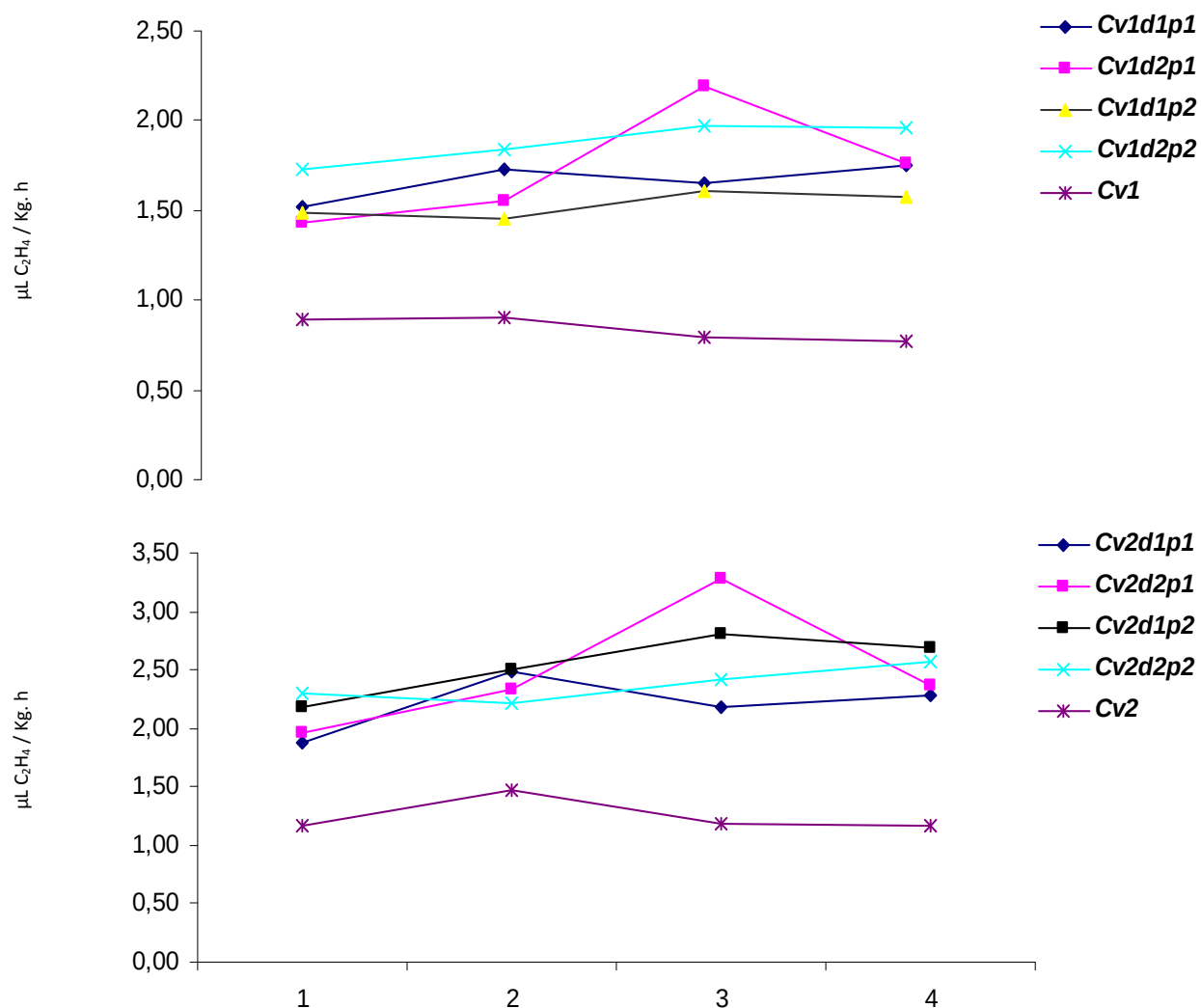


Figura 16. Producción de etileno en frutos de Guayaba en las variedades Calvillo (v1) y Criolla (v2) sometidos a compresión en la posición vertical (p1) y horizontal (p2) en tres distancias de cruceta en limite elástico (d1), punto de biocedencia (d2)

Se observó que para el día uno la mayor producción de etileno fue para los frutos de la variedad Criolla y específicamente para la distancia al punto de biocedencia y en la posición horizontal, contrario a la menor producción de la

variedad Calvillo para la distancia de cruceta en punto de biocedencia y en la posición vertical.

La información obtenida de las medias de los tratamientos de frutos de Guayaba sometidos a compresión para el primer día; revela que existen diferencias estadísticas según prueba de Tukey con α de 0.05, 0.01, 0.001, para todos los tratamientos.

Para el día segundo la producción de etileno es estadísticamente significativo en donde se observa que la variedad Criolla también sobresale sobre la variedad Calvillo y sobre la posición horizontal, obteniendo valores de hasta 2.505 mL etileno

4.1.6 Pérdida de peso

El grafico siguiente ilustra la perdida de peso para frutos de la variedad Calvillo durante tres días que se tomaron datos para los diferentes tratamientos al someter a los frutos a compresión.

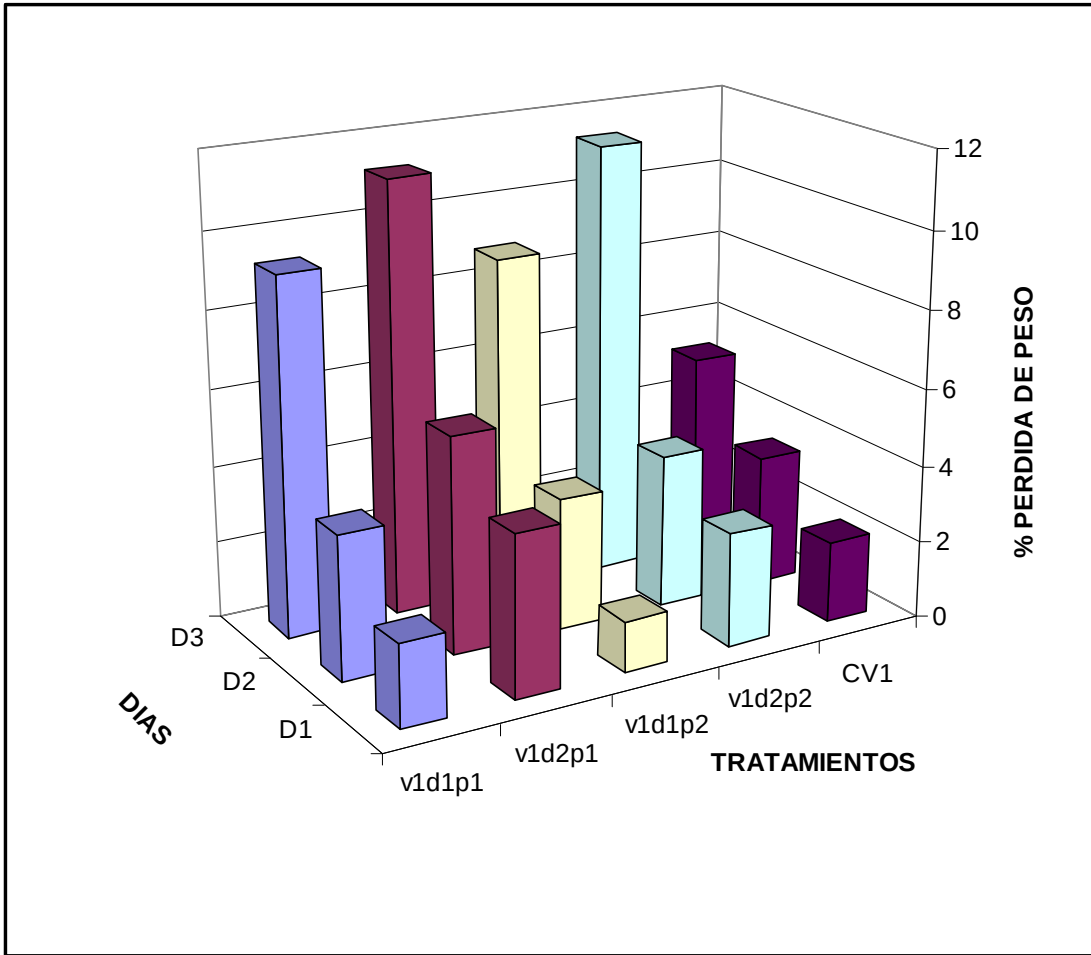


Figura 17. Perdida de humedad para frutos de Guayaba de la variedad Calvillo sometidos a compresión en dos posiciones expresados en porcentaje.

Se observa en el grafico anterior perdida mayor a 11% para la posición horizontal y en el punto de biocedencia.

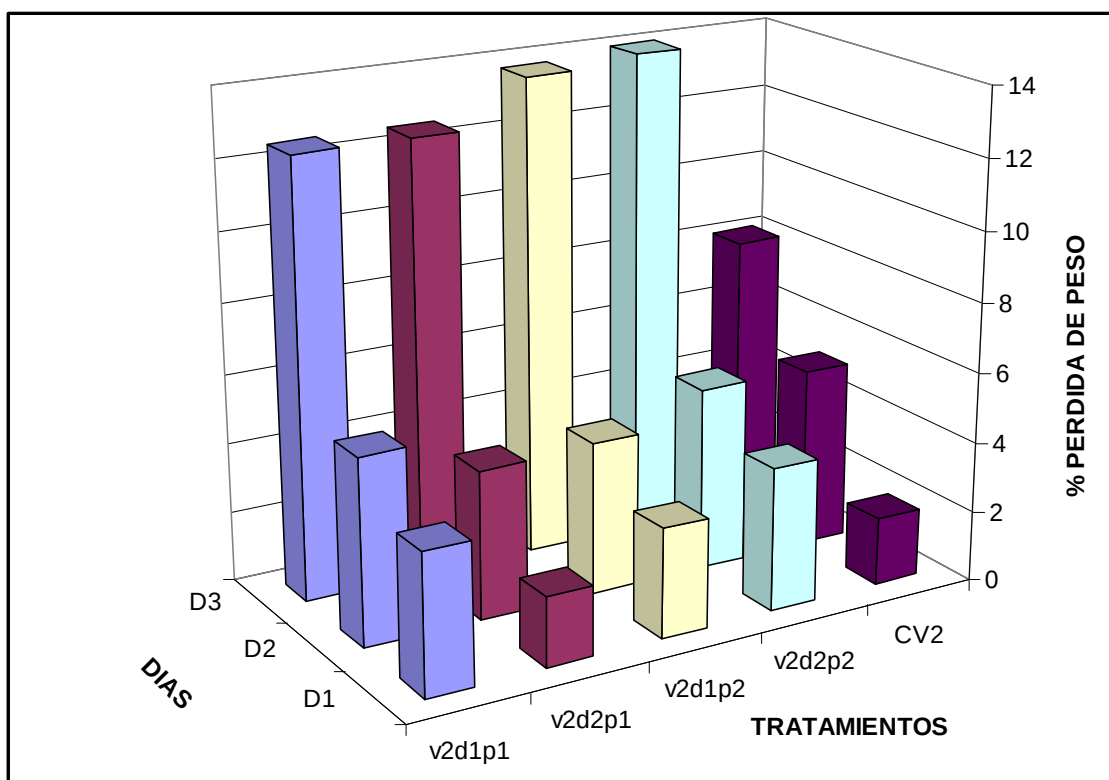


Figura 18. Pérdida de humedad para frutos de guayaba criollos sometidos a compresión en dos posiciones expresados en porcentaje.

Se observa en el gráfico anterior pérdida mayor de 13% para la posición horizontal y al punto de biocedencia.

4.1.7 Simulación de esfuerzos mediante el software Ansys Workbench®

La máquina universal de ensayos mecánicos nos permitió someter a compresión a los frutos de guayaba a fin de obtener las curvas características y los datos necesarios para posteriormente simular el comportamiento mediante el uso del Software Ansys Workbench®.

Las guayabas fueron virtualmente sometidas a compresión, previo a esto se modelaron las estructuras y elementos necesarios y se realizó la importación de modelos de un software a otro garantizando las condiciones necesarias. Posteriormente se ingresaron los datos necesarios a fin de modelar el comportamiento de los materiales.

Las siguientes figuras ilustran los modelos y los resultados obtenidos al aplicarle una fuerza de compresión.

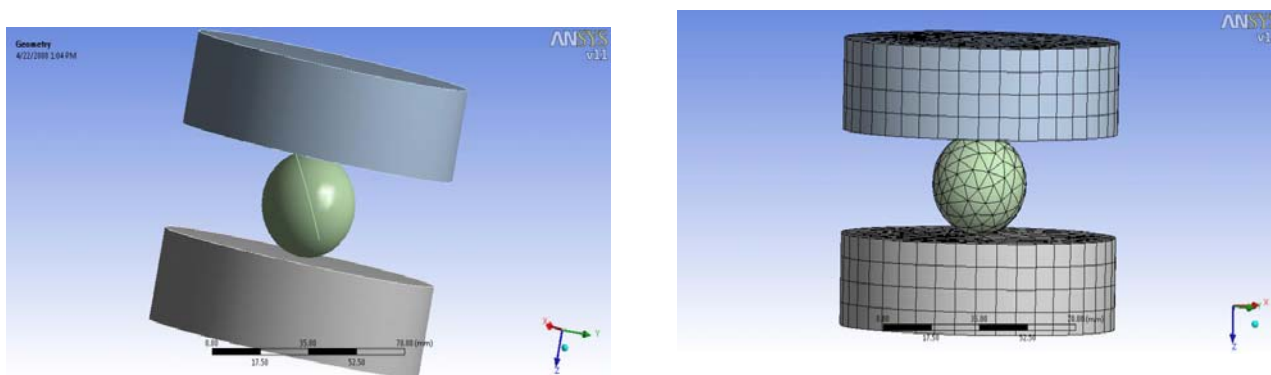


Figura 19. Modelo diseñado con el programa Inventor 10.0 ® y utilizado para las pruebas de compresión en el programa Ansys Workbench®, muestra los ejes y el enmallado definido por el programa.

En la figura siguiente se definen superficies fijas que son las que no tienen movimiento en ningún momento del proceso, las superficies con movimiento y las superficies que se verán afectadas con las fuerzas aplicadas, así como las superficies que están en fricción a fin de determinar lo que ocurre en un momento determinado con este arreglo de modelos.

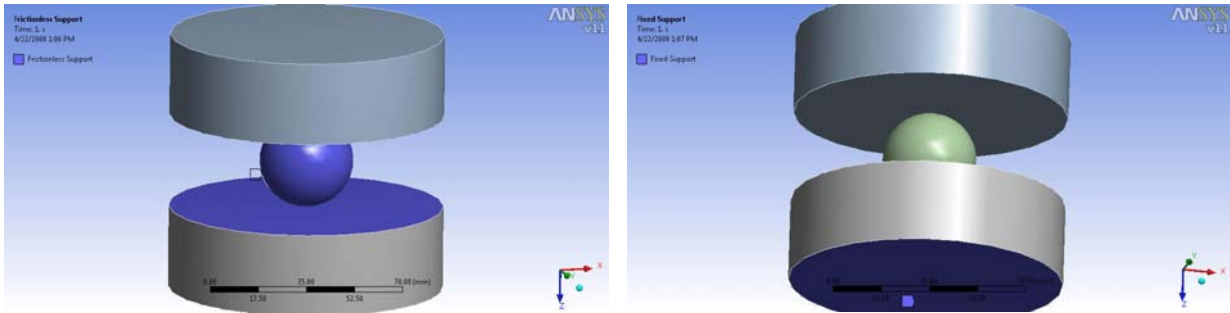


Figura 20. Vista de las superficies de las placas y del fruto sometidas a fricción, parámetros iniciales empleados, se puede apreciar las bases de las placas y el fruto, vistas desde el eje Y. Se puede apreciar la parte de la placa inferior que corresponde a la parte fija de la estructura.

Toda vez que los parámetros iniciales han sido definidos por el usuario es importante señalarle al programa el análisis y los cálculos que se requieren. El análisis de esfuerzo así como la escala e intensidad de los esfuerzos se pueden resumir en la figura siguiente que muestra la manera en que se manifiestan en el fruto. Cabe mencionar que para el caso de los esfuerzos estos se concentran en mayor intensidad en la zona de contacto con la placa tal y como se muestra en los respectivos colores rojo, naranja y amarillo.

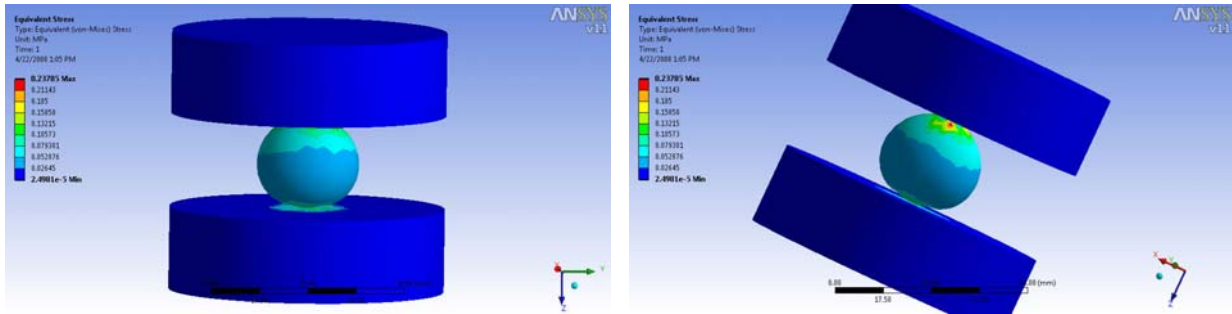


Figura 21. Vista exterior del modelo del fruto que muestra la intensidad del esfuerzo al ser sometido a compresión en dirección del eje Z, apreciando la distribución en la parte del contacto entre el fruto y la placa superior.

Para el caso de la deformación se aprecia que se concentran en mayor intensidad en la zona central del fruto que coincide con la zona en donde el fruto presentaba fractura y de donde de manera inicial falla el fruto para cualquiera de las dos posiciones vertical y horizontal.

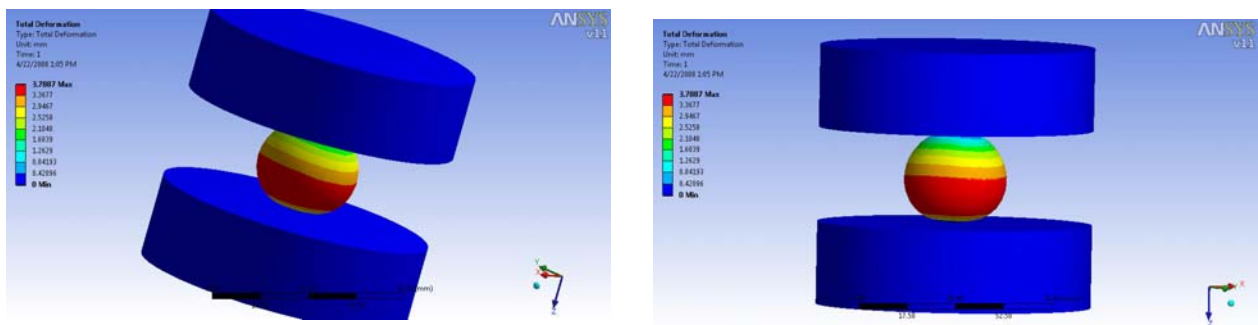


Figura 22. Vista del modelo de las placas y del fruto de guayaba que muestra la intensidad de la deformación y las zonas donde se concentran.

4.2 Frutos sometidos a impacto

4.2.1 Producción de CO₂

Medias de la producción de CO₂ (mL CO₂ / kg·h) para los distintos tratamientos, en el primer día:

Cuadro 8. Medias de producción de CO₂ de los diferentes tratamientos de frutos de Guayaba sometidos a impacto.

TRATAMIENTO	DÍA 1	DÍA 2	DÍA 3	DÍA 4
lp1m1v1	78,55	103,73	93,36	73,13
lp1m2v1	95,67	73,63	63,67	47,13
lp2m1v1	104,23	96,76	79,04	81,08
lp2m2v1	64,29	81,16	70,74	57,66
lp1m1v2	62,89	51,40	61,86	67,80
lp1m2v2	49,90	80,72	85,64	86,55
lp2m1v2	96,79	96,13	97,76	86,52
lp2m2v2	103,51	104,16	93,98	86,98
lv1	52,20	74,05	59,10	52,00
lv2	56,30	64,10	52,20	58,70

De donde se puede observar que existe una pronunciada tasa de respiración de manera similar entre los tratamientos tres y ocho que corresponden a las dos variedades y para la misma posición, de forma horizontal, según prueba de Tukey no existen diferencias estadísticas relevantes con alpha de 0.05 en la producción de CO₂ para frutos de Guayaba en el primer día.

Para el día dos, coinciden los valores pronunciados con medias con diferencia estadística para alpha= 0.05 entre los tratamientos ocho, uno y tres con relación a los tratamientos seis dos y cinco, encontrándose una mayor producción en los tratamientos con posición horizontal del fruto.

En el día tres y cuatro incrementa la producción de CO₂ en los tratamientos de la variedad Criolla con relación a los de la variedad Criolla, pero no se registran diferencias estadísticas significativas con $\alpha = 0.05$, 0.01 y 0.1 .

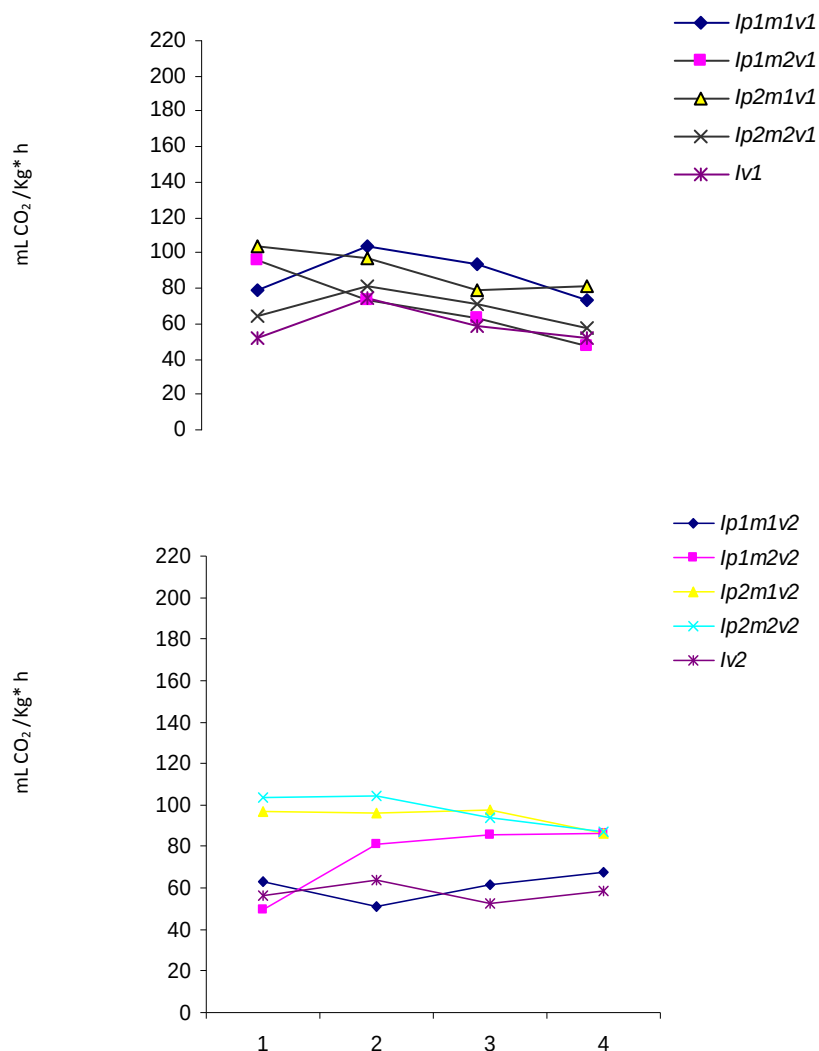


Figura 23. Producción de CO₂ en frutos de Guayaba en las variedades Calvillo (v1) y Criolla (v2) sometidos a impacto en la posición vertical (p1) y horizontal (p2) en dos superficies de contacto, plástico (m1) y madera (m2).

4.2.2 Producción de etileno

Cuadro 9. Medias de producción de etileno de los diferentes tratamientos de frutos de guayaba sometidos a impacto.

TRATAMIENTO	DÍA 1	DÍA 2	DÍA 3	DÍA 4
lp1m1v1	0,8348	0,9789	0,6709	0,5959
lp1m2v1	1,2789	1,4158	1,7902	1,3161
lp2m1v1	1,4626	1,3131	2,0169	0,3037
lp2m2v1	1,0758	1,2448	2,4699	1,2720
lp1m1v2	1,7100	2,0451	1,6327	2,1744
lp1m2v2	0,4011	1,5232	1,4497	1,8071
lp2m1v2	0,8176	2,2650	2,3300	2,8428
lp2m2v2	1,5605	1,9480	1,9454	2,2254
lv1	0,5718	0,8826	0,5000	0,4700
lv2	0,9045	1,1326	0,9193	0,5318

Los valores mas altos los obtuvieron los frutos de la variedad Criolla, para el primer y segundo día el tratamiento siete que corresponde a la posición horizontal y superficie de plástico, en tanto que el testigo observaba valores cercanos a 1 $\mu\text{L C}_2\text{H}_4$ / Kg. h, para los siguientes días, para el tercer día el valor mas alto corresponde al tratamiento cuatro que es superficie de madera, posición horizontal y variedad Calvillo, superando los valores del tratamiento siete en 2 décimas. El día último se observa un incremento significativo del tratamiento siete de igual manera.

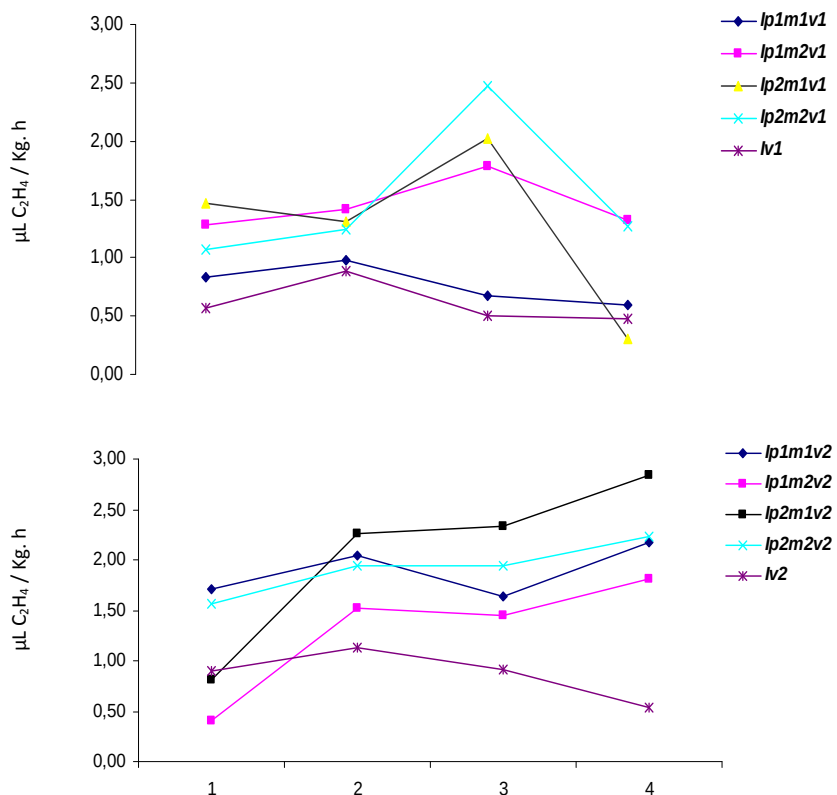


Figura 24. Producción de etileno en frutos de Guayaba en las variedades Calvillo (v1) y Criolla (v2) sometidos a impacto en la posición vertical (p1) y horizontal (p2) en dos superficies de contacto, plástico (m1) y madera (m2).

La producción de etileno se observó un incremento significativo con un $\alpha=0.05$ durante los días de evaluación con relación al fruto testigo.

4.2.3 Pérdida de peso

Para la variedad Calvillo se observa una mayor pérdida de peso en los frutos sometidos a impacto en plástico en relación con los sometidos a impacto en madera, quienes representan menor pérdida de peso para la posición vertical. Los frutos sometidos a impacto en la posición vertical en plástico representan en términos porcentuales la mayor pérdida de humedad con valores de más de 9%.

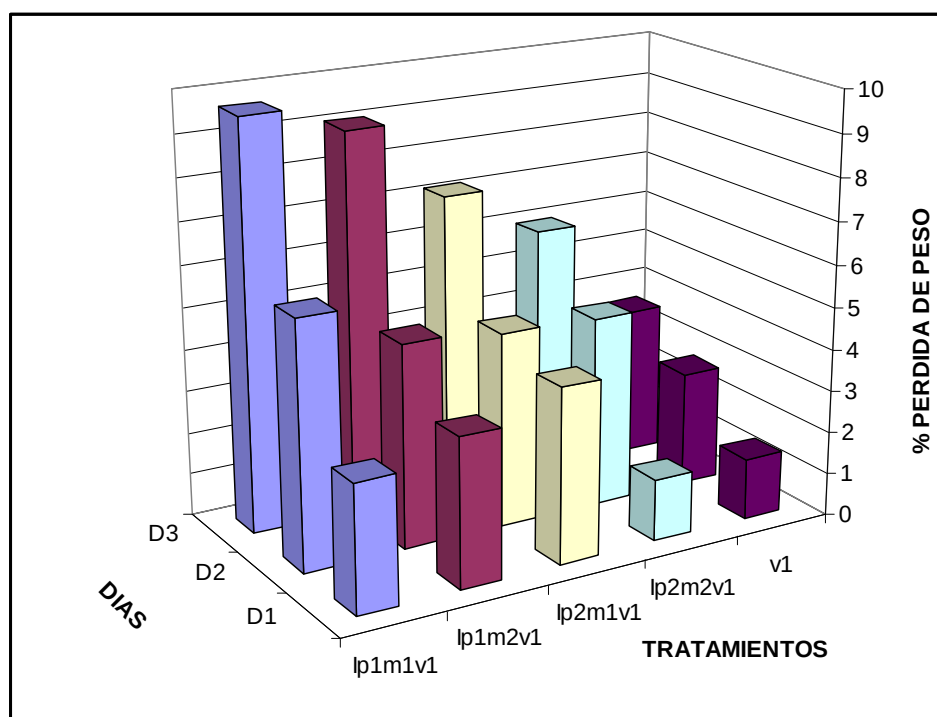


Figura 25. Pérdidas de peso en frutos de guayaba (*Psidium Guajava L*) de la variedad Calvillo sometidos a impacto en dos diferentes materiales (m1) plástico y (m2) madera, en dos diferentes posiciones (p1) vertical y (p2) horizontal.

Para la variedad Criolla se observa una mayor pérdida de peso en los frutos sometidos a impacto en plástico en posición vertical en relación con los sometidos a impacto en plástico en posición horizontal, quienes representan menor pérdida. Los frutos sometidos a impacto en la posición vertical en plástico representan en términos porcentuales la mayor pérdida de humedad con valores de hasta 8% con relación al fruto testigo.

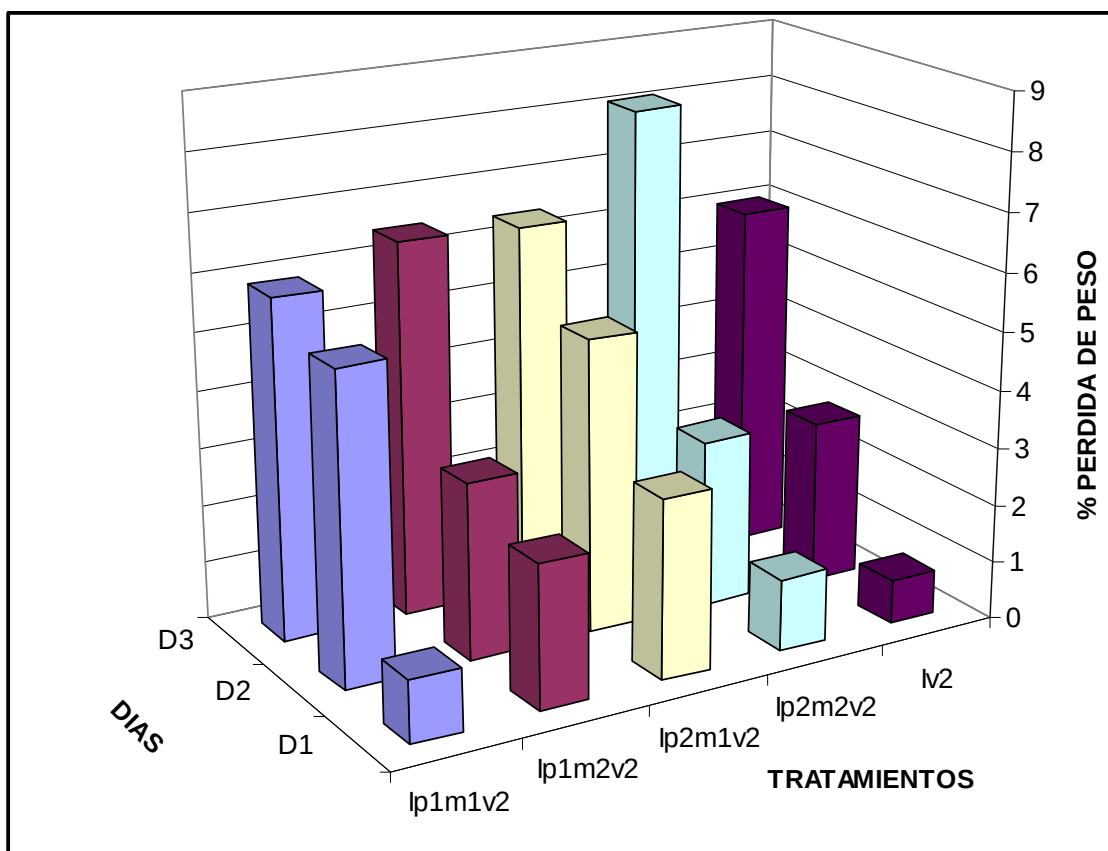


Figura 26. Pérdidas de peso en frutos de guayaba (*Psidium Guava L*) criollos sometidos a impacto en dos diferentes materiales (m1) plástico y (m2) madera, en dos diferentes posiciones (p1) vertical y (p2) horizontal.

La pérdida de peso que se refleja en los gráficos anteriores se debe a la pérdida de agua por transpiración por la situación de estrés al que es sometido el fruto. (Barreiro, 2001, citado por Villaseñor)

Conclusiones

Se analizaron frutos de guayaba Calvillo y Criollas para determinar el comportamiento mecánico y su relación con los procesos fisiológicos, también se determinaron pérdidas de peso en compresión e impacto.

La reacción fisiológica y pérdida de peso se acelera en frutos de guayaba, al incrementar la carga de compresión

Las mayores pérdidas de peso se dan en los productos sometidos a compresión en el punto característico de biocedencia aproximadamente 6% en relación con los frutos sometidos a compresión en el punto característico de límite elástico, debido a que es mayor el daño ocasionado.

Los frutos de guayaba sometidos a compresión en la posición vertical reportan menor carga de compresión soportada para alcanzar los puntos característicos de límite elástico, punto de biocedencia y ruptura, lo que ocasionará mayores daños y rápida pérdida de peso en hasta 10% en comparación con los frutos colocados en la posición horizontal.

Los frutos de guayaba, transportados o manejados de manera horizontal nos permitirán minimizar los daños y alargar la vida del producto.

Para el caso de impacto la reacción fisiológica, genera pérdidas de peso en frutos colocados de forma horizontal de hasta 5% en comparación a los frutos probados en forma vertical.

Se recomienda que la cosecha se realice utilizando recipientes de madera lo que garantiza que las pérdidas sean menores, dado que se reporta alrededor de 7% de diferencia en pérdida de peso con relación a los recipientes de plástico y a que la madera permite amortiguar los golpes y por ende minimizar los daños.

BIBLIOGRAFIA

1. ASERCA, Estudios del mercado mundial de la guayaba , revista claridades agropecuarias. P. 3-14 (14),1996
2. Adsule, R.N.; Desphande, S.S.; Sathe, S.K. French bean. In: Kadam, S.S.; Salunkhe, D.K. (editores). Handbook of vegetable science and technology: Production, composition, storage and processing. New York, 1998.
3. AVI Pub. Postharvest biology and handling of fruits and vegetables symposium. USA, 1975.
4. Coletto, J.M. Crecimiento y desarrollo de las especies frutales, Agroguía, Edit. Mundi Prensa, Madrid España, 1989.
5. Díaz D.H., Fisiología de árboles frutales. Agt. Editor, México D. F. 2002.
6. Fabela M.J.G., J. R. Hernández J., D. Vázquez V.,A. Lozano G. Vibracion durante el transporte y su efecto en perecederos. Enfoque introductorio. Publicación Técnica No. 188 Sanfandila, Qro. 2002, Instituto Mexicano del transporte
7. Fitz, R. E., 1995, Calculo de esfuerzos en un órgano subsolador. Tesis profesional, Universidad Autónoma Chapingo
8. González, A.I, Esfuerzos cortantes y de tensión paralelos en la fibra de madera tropical de crecimiento rápido, 2004, Revista Ingeniería

- Agropecuaria, Enero-Abril, Vol. 8. Num. 001, Universidad Autónoma de Yucatán. pp. 22-32
9. German. V. Determinación de las características físicas y propiedades mecánicas de papa cultivada en Colombia, Colombia, 2004
10. Hilario, V.O., 2002, Análisis de compresión e impacto en frutos de papaya Variedad maradol roja. Tesis profesional, Universidad Autónoma Chapingo.
11. Herrera A., J. Guardia, Manual técnico de conservación de frutos. Edit. Mundi prensa, Madrid España, 1992.
12. J. Gus, Commercial fruit processing. Second Edition. AVI pub. USA, 1986
13. Kader, A.A. Departament of pomology, University of california, Davis CA 95616, 2002, Guayaba , recomendaciones para mantener la calidad poscosecha traducido por Clara Pelayo, Depto de biotecnología de la universidad autónoma Metropolitana. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, México, D.F.
14. Lopez-Enriquez, Mercado-Silva, Cambios fisiológicos y de calidad en guayaba minimamente procesada, Univ. Autónoma de Querétaro, 2005.
15. Manesco, T. Estudio de las tensiones en válvulas biplanas tipo mariposa, Revista facultad de ingeniería, Universidad de Antioquia, diciembre, num. 30, Medellín, Colombia, pp. 109-124
16. Mata, A. Rodriguez, Cultivo y producción del Guayabo, UAAAN, Edit. Trillas, Mexico, D.F. 1990.

17. Mohsenin, N., Physical properties of plant and animal materials. New York: Gordon and Breach Science Publisher, 1970, p.587-593.
18. Salunke, D.K. Kadam, S.S. Handbook of fruit science and technology. Production, composition, storage and Technology. USA, 1998, Edit. Board
19. Silvestre, P.P., 1998, Elemento finito para ingeniería eléctrica. Edit. Noriega, Ed. primera, 236 pp.
20. Villaseñor, P.C., 2005, Análisis físico y mecánico de frutos de melón, México. Tesis de grado, Colegio de posgraduados.
21. Vladimir, B.P., 1993, Determinación de las propiedades físico mecánicas de los vástagos de piña cayena lisa en condiciones de México. Agromec, La habana Cuba.
22. Wills, R.B. Lee, F.H., D. Graham, Postharvest an introduction to the physiology and handling of fruit and vegetables. Westport Coon, Australia, 1981 (pp. 126-136)
23. Zambrano, M.J., 1996, Determinación de las propiedades físico mecánicas de la piña, Tesis profesional, Universidad Autónoma Chapingo.
24. Zeledón, R. W. F, 1994, El estudio de la Guayaba en Cañas, Guanacaste, Costa Rica. Instituto Tecnológico.
25. *Web Determinación del módulo de Young- Patricia Martínez y Marcelo Azuaga*
http://www.fisicarecreativa.com/informes/infor_mecanica/young97.pdf