



UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO
CAMPUS LOMA BONITA

**COMPORTAMIENTO FISICOQUÍMICO Y FISIOLÓGICO DE DOS
VARIETADES DE FRUTOS DE PIÑA (*Ananas comosus* L.)
SOMETIDOS A DAÑOS MECÁNICOS**

**TESIS
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN PRODUCCIÓN Y PROCESAMIENTO AGRÍCOLA**

PRESENTA:

ROLANDO VIVEROS JIMENÉZ

DIRECTOR:

DR. JOSÉ ANTONIO YAM TZEC

LOMA BONITA, OAXACA.

2024



UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

OFICIO	DEP/2024/020
ASUNTO	Autorización de impresión de tesis

San Juan Bautista Tuxtepec, Oaxaca, a 24 de abril de 2024

M. EN C. HÉCTOR LÓPEZ ARJONA
VICE-RECTOR ACADÉMICO
UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN

Sirva la presente para informarle que, el jurado evaluador del examen para obtener el grado de **Maestro en Producción y Procesamiento Agrícola** del IAT, **Rolando Viveros Jiménez**, con número de **Matrícula 21180005**, ha autorizado la impresión del manuscrito que lleva por título "**Comportamiento fisicoquímico y fisiológico de dos variedades de frutos de piña (*Ananas comosus* L.) Sometidos a daños mecánicos**", para su posterior presentación y defensa por el sustentante.

Agradezco su atención y quedo a sus órdenes para cualquier duda o aclaración.



Atentamente
terra uberrima, mens aperta
Bou Lo-tama, chí jí jú



Dr. José Abad Zavaleta
Jefe de la División de Estudios de Posgrado

- C.c.p. Dr. José Antonio Yam Tzec- Director de tesis.
- C.c.p. Dra. Ana Rosa Ramírez Seañez- Coordinadora de la Maestría en Producción y Procesamiento Agrícola.
- C.c.p. M. E. Yesenia Barrientos Arenal - Jefa del Departamento de Servicios Escolares.
- C.c.p. Archivo.

CAMPUS TUXTEPEC
C. Circuito central No. 200, Col. Parque Industrial.
C.P. 38301, Tuxtepec, Oax.
Tel. 01(287)8759240

www.unpa.edu.mx

CAMPUS LOMA BONITA
Av. Ferrocarril S/N, Ciudad universitaria.
C.P. 68400, Loma Bonita, Oax.
Tel. 01(281)8729230



UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

OFICIO	DEP/2024/021
ASUNTO	Jurado para examen de grado

San Juan Bautista Tuxtepec, Oaxaca, a 24 de abril de 2024

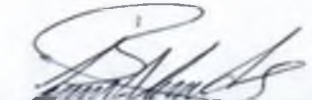
IAT. ROLANDO VIVEROS JIMÉNEZ
MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN Y PROCESAMIENTO AGRÍCOLA
UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN

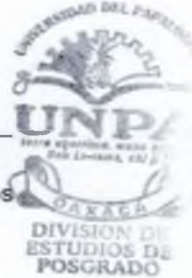
Por este medio le informo que el jurado de su examen para obtener el grado de **Maestro en Producción y Procesamiento Agrícola** estará integrado por los siguientes investigadores.


Profesor Investigador	Jurado de Examen
Dra. Maribel Reyes Osornio	Presidente
Dr. José Antonio Yam Tzec	Vocal
Dr. José Orbelin Gutiérrez Hernández	Secretario
Dr. Ana Rosa Ramírez Seañez	Primer Suplente
Dr. Hipólito Hernández Hernández	Segundo Suplente

Sin más por el momento, le envío saludos cordiales.

Atentamente
terra uberrima, mens aperta
Bau Lo-tama, chí jí jú


Dr. José Abad Zavaleta
Jefe de la división de estudios
de posgrado.




M. en C. Héctor López Arjona
Vicerrector Académico
Vo. Bo.



C.c.p. Dr. José Antonio Yam Tzec – Director de tesis.
C.c.p. Dra. Ana Rosa Ramírez Seañez – Coordinadora de la Maestría en Producción y Procesamiento Agrícola.
C.c.p. M. E. Yesenia Barrientos Arenal – Jefa del Departamento de Servicios Escolares.
C.c.p. Archivo.

CAMPUS TUXTEPEC
C. Circuito central No. 200, Col. Parque Industrial.
C.P. 68301, Tuxtepec, Oax.
Tel. 01(287)8759240

www.unpa.edu.mx

CAMPUS LOMA BONITA
Av. Ferrocarril S/N, Ciudad universitaria.
C.P. 68400, Loma Bonita, Oax.
Tel. 01(281)8729230

HOJA DE ORIGINALIDAD

El presente trabajo no ha sido aceptado o empleado para el otorgamiento de título o grado diferente o adicional al actual. La tesis es resultado de las investigaciones del autor, excepto donde se indican las fuentes de información consultadas. El autor otorga su consentimiento a la **Universidad del Papaloapan** para la reproducción del documento con el fin del intercambio bibliotecario siempre y cuando se indique la fuente.

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico a **Dios**, quien como guía siempre estuvo presente en mi camino, dándome salud y fuerza para continuar con mis metas trazadas, fortaleciendo mi corazón e iluminando mi mente permitiéndome culminar mi posgrado profesional.

Dedico este proyecto especialmente a mi abuelita **Marcela Castro Vera**

Con todo cariño y amor que siempre estuvo cuidándome y apoyándome en cada momento de mi vida y ahora en cielo me ilumina para seguir adelante con mis proyectos gracias por todo.,13/11/1935 – 04/07/2023.

A mis padres **Mateo Viveros Castro y Marina Jiménez Del Ángel**

Por darme la oportunidad de desarrollarme profesionalmente, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años que estuvieron apoyándome pese a las adversidades e inconvenientes que se presentaron, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy.

A mis abuelitos **Macario Jiménez Garrido y Rosa María Del Ángel Barrios**

Por estar siempre apoyándome y creyendo en mí en cada momento de mi vida, les agradezco por estar conmigo en esta etapa de mi vida.

A mis hermanos **Mateo Viveros Jiménez y Monserrat Viveros Jiménez**

Por siempre apoyarme en cada momento de mi vida, les agradezco de corazón por estar para mí cuando lo necesite, les estaré agradecido.

A mi familia en general, por ser parte primordial en mi vida, gracias por creer en mí y por su apoyo.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi alma mater la **UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN**, por ser mi casa de estudios durante todos estos años, por permitirme formarme en sus aulas, compartiendo ilusiones y anhelos y darme la oportunidad de realizarme profesionalmente.

Mi agradecimiento al **Consejo Nacional de Humanidades Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT)** por fomentar la investigación científica en México a través de su programa de becas para estudiantes de posgrado.

A mis **PROFESORES**, de antemano gracias porque a lo largo de todo el posgrado, me formaron profesionalmente y todo lo que aprendí, lo debo a ellos.

A mis **COMPAÑEROS** de escuela, José Mauricio, Eduardo y los demás compañeros de la maestría gracias por su apoyo.

Al **Dr. José Antonio Yam Tzec**, por la asesoría que me brindo en la realización de la tesis, por la amistad, por los conocimientos y experiencias académicas transmitidos, así como profesionales y personales vividos, de ante mano gracias por todo.

Al **Dr. José Orbelin Gutiérrez Hernández**, por la asesoría que me brindo en la realización de la tesis, por la amistad, por los conocimientos y experiencias académicas transmitidos, de ante mano gracias por todo.

A la **Dra. Maribel Reyes Osornio**, por la asesoría brindada y revisión de tesis, por los conocimientos profesionales y personales transmitidos.

Al **Dr. Rogelio Enrique Palacios Torres**, por sus conocimientos profesionales y personales transmitidos en sus clases y por los momentos divertidos que pasamos con la comunidad agrícola, de ante mano gracias por todo.

A la **Dra. Ana Rosa Ramírez Seañez**, por las enseñanzas transmitidas en sus clases y por las asesorías, también gracias por su amistad y momentos divertidos que pasamos con la comunidad agrícola, de ante mano muchas gracias por todo.

Al **Dr. Hipólito Hernández Hernández**, por todos los conocimientos transmitidos y experiencias en sus clases, también gracias por su amistad y los momentos divertidos que pasamos con la comunidad agrícola.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	I
AGRADECIMIENTOS	II
RESUMEN	VII
ABSTRACT	IX
INTRODUCCIÓN	1
MARCO TEÓRICO	3
Origen de la planta de piña	3
Importancia del cultivo de piña en el mundo	3
Importancia del cultivo de piña en México	4
Clasificación Taxonómica	5
DESCRIPCIÓN BOTÁNICA	5
Raíz	5
Tallo	6
Hojas	6
Pedúnculo	6
Flor	6
Fruto	7
Semilla o vástago	7
REQUERIMIENTOS CLIMÁTICOS	7
Precipitación	7
Temperatura	8
Luminosidad	8
Humedad relativa	8
REQUERIMIENTOS EDÁFICOS	9
Suelo	9
pH	9
Pendiente	9
MANEJO AGRONÓMICO DEL CULTIVO DE PIÑA	10
Preparación del terreno	10
Siembra	11
Densidad de siembra	11
Control de malezas	11

Inducción floral	12
Fertilización	12
PLAGAS Y ENFERMEDADES	12
Plagas	12
Plagas del suelo	13
Plagas en la planta	13
Plagas en fruto	13
Enfermedades	14
DAÑOS MECÁNICOS	15
ANTECEDENTES	18
HIPÓTESIS	20
OBJETIVOS	21
Objetivo general	21
Objetivos específicos	21
MATERIALES Y MÉTODOS	22
Caracterización física y fisicoquímico de los frutos	22
Frutos de piña sometidas a compresión con una fuerza de 300 N	23
Metodología para la compresión	23
Metodología para impacto	24
RESULTADOS	25
DISCUSIÓN	51
CONCLUSIONES	56
LITERATURA CITADA	57
ANEXOS	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Caracterización bioquímica en frutos de piña de dos variedades Cayena lisa y MD-2, en los cuatro estados de madurez comercial (1-Sazona, 2- ¼, 3- ¾ y 4-madura), DMS = (P < 0.05).....	25
Figura 2. Peso de frutos de piña de dos variedades Cayena lisa y MD-2 en los cuatro estados de madurez comercial (1-Sazona, 2- ¼, 3- ¾ y 4-madura), DMS = (P < 0.05).....	27
Figura 3. Dimensión de los frutos de piña de dos variedades Cayena lisa y MD-2 en los cuatro estados de madurez comercial (1-Sazona, 2- ¼, 3- ¾ y 4-madura), DMS = (P < 0.05).	30
Figura 4. Caracterización física en frutos de piña de dos variedades Cayena lisa y MD-2 en los cuatro estados de madurez comercial (1-Sazona, 2- ¼, 3- ¾ y 4-madura), DMS = (P < 0.05).....	32
Figura 5. Caracterizaciones químicas en frutos de piña de dos variedades Cayena lisa y MD-2 en los cuatro estados de madurez comercial (1-Sazona, 2- ¼, 3- ¾ y 4-madura), DMS = (P < 0.05).....	34
Figura 6. Caracterizaciones químicas en frutos de piña de dos variedades Cayena lisa y MD-2 en los cuatro estados de madurez comercial (1-Sazona, 2- ¼, 3- ¾ y 4-madura), DMS = (P < 0.05).....	36
Figura 7. Curvas de fuerza-tiempo en frutos de piña variedad Cayena Lisa en estado de madurez Sazona en A) posición vertical y B) horizontal.	38
Figura 8. Curvas de fuerza-tiempo en frutos de piña variedad MD-2 en estado de madurez 1/4 en A) posición vertical y B) horizontal.	39

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 2. Pérdida de peso, etileno (C ₂ H ₄) y tasa de respiración (CO ₂), sometidos a impacto según la variedad.	40
Cuadro 3. Pérdida de peso, concentración de etileno (C ₂ H ₄) y tasa de respiración (CO ₂), sometidos a impacto según la superficie.	41
Cuadro 4. Pérdida de peso, etileno (C ₂ H ₄) y tasa de respiración (CO ₂), sometidos a impacto según la posición.	42
Cuadro 5. Obtención de la pérdida de peso, etileno (C ₂ H ₄) y tasa de respiración (CO ₂), sometidos a compresión según la variedad.	43
Cuadro 6. Obtención de la pérdida de peso, etileno (C ₂ H ₄) y tasa de respiración (CO ₂), sometidos a compresión según la fuerza.	44
Cuadro 7. Porcentaje de pérdida de peso por día de frutos de piña sometidos a compresión. Comparación entre tratamientos.	45
Cuadro 8. Producción de etileno [ppm] por cada de frutos de piña sometidos a compresión. Comparación entre tratamientos.	46
Cuadro 9. Tasa de respiración [mL CO ₂ /kg-1 h-1] por día de frutos de piña sometidos a compresión. Comparación entre tratamientos.	47
Cuadro 10. Porcentaje de pérdida de peso [%] por día de frutos de piña sometidos a impacto. Comparación entre tratamientos.	48
Cuadro 11. Producción de etileno [ppm] por día de frutos de piña sometidos a impacto. Comparación entre tratamientos.	49
Cuadro 12. Tasa de respiración [mL CO ₂ /kg-1 h-1] por día de frutos de piña sometidos a impacto. Comparación entre tratamientos.	50

RESUMEN

El presente trabajo se realizó en las instalaciones de la Universidad del Papaloapan, Loma Bonita, Oaxaca, México. De la caracterización físico-química de dos variedades de fruto de piña (Cayena Lisa y MD-2); determinados en cuatro estados de maduración (sazona, un cuarto, tres cuartos y madura), se encontró que los niveles de sacarosa y fructosa son de 19 y 17 % respectivamente, mientras que en la concentración de pH 3.7 no se encontró diferencia significativa entre las dos variedades. Con relación a los daños mecánicos de los frutos provocados por compresión estática, se concluye que, a mayor tiempo de sometimiento de compresión, hay un mayor daño físico- mecánico en la piña, completamente madura de la variedad MD-2. Para los frutos de piña sometidos a impacto, la variedad MD-2 es significativamente mayor ($p < 0.05$; $r^2=0.59$) en el porcentaje de pérdida de peso 2.66 % y producción de etileno 39.86 ppm, mientras que la variedad cayena lisa presentó una mayor ($p < 0.05$; $r^2=0.31$) de tasa de respiración de 36.53 mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹. En los frutos de piña sometidos a compresión según la posición horizontal, presentó los valores más altos en porcentaje de pérdida de peso, y para la posición vertical se reportó con una mayor ($p < 0.05$; $r^2=0.61$) en la producción de CO₂ de 39.43 mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹. Referente al valor de la fuerza N aplicada, no se mostraron diferencias significativas, es decir, de 0 a 400 N los frutos presentan el mismo daño.

Palabras clave: compresión, impacto, tasa de respiración, producción de etileno.

ABSTRACT

This work was carried out at the facilities of the Universidad del Papaloapan, Loma Bonita, Oaxaca, Mexico. From the physical-chemical characterization of two varieties of pineapple fruit (Cayena Smooth and MD-2); determined in four stages of ripening (season, one quarter, three quarters and ripe), it was found that the levels of sucrose and fructose are 19 and 17 % respectively, while at the pH 3.7 concentration no significant difference was found. In relation to the mechanical damage of the fruits caused by static compression, it is concluded that, the longer the time of compression, there is greater physical-mechanical damage in the fully mature pineapple of the MD-2 variety. For pineapple fruits subjected to impact, the MD-2 variety has a significantly higher ($p < 0.05$; $r^2=$) percentage of weight loss 2.66 % and ethylene production 39.86 ppm, while the smooth cayenne variety presented a greater significance ($p < 0.05$; $r^2=$) respiration rate of 36.53 mL CO₂/kg⁻¹ h⁻¹. In the pineapple fruits subjected to compression according to the horizontal position, it presented the highest values in percentage of weight loss, and for the vertical position it resulted with a greater significance ($p < 0.05$; $r^2=$) in the CO₂ production of 39.43 mL CO₂/kg⁻¹ h⁻¹. Regarding the value of the force N applied, no significant differences were shown, that is, from 0 to 400 N the fruits present the same damage.

Keywords: compression, impact, respiration rate, ethylene production.

INTRODUCCIÓN

La piña (*Ananas comosus* L.) es cultivada principalmente en el trópico húmedo en México, cultivo que puede adaptarse hasta una altitud máxima de 800 msnm (Santoyo y Martínez, 2011). A nivel mundial, respecto a la producción de los frutales tropicales, la piña es considerada en el segundo lugar en orden de importancia, teniendo una producción a nivel mundial en el año 2022 de 29.3 millones de toneladas (FAO, 2022). México, ocupa el noveno lugar como productor de piña a nivel mundial con una producción de 1 millón 209 toneladas de fruta representando el 1.9% del área mundial con alrededor de 32,331.50 hectáreas (SADER, 2021). La producción de piña está concentrada en la región de la cuenca del Papaloapan, donde se obtiene más del 80% de la producción nacional para el consumo en fresco, agroindustrial y exportación (Uriza-Ávila *et al.*, 2018). Durante el proceso de cosecha y postcosecha los frutos de piña sufren daños mecánicos provocando cambios en la presentación y reducción en la vida de anaquel. En el momento que el fruto es desprendido de la planta, se vuelve susceptible a factores externos e internos que conducen a la pérdida de calidad. Un camino para mantener las características de calidad en los frutos es minimizar los daños mecánicos que ocurren durante la cosecha, transporte y selección del fruto (Villaseñor *et al.*, 2006). Los daños mecánicos de frutos en la cosecha y postcosecha, representan pérdidas significativas durante la distribución y comercialización afectando la apariencia externa, es un importante atributo de calidad de las frutas siendo el factor principal de rechazo por los consumidores (López *et al.*, 2011). Las pérdidas postcosecha

alcanzan cantidades importantes según los índices estimados hasta un 30 % o más de la producción como consecuencia de los daños mecánicos más comunes.

A medida que los frutos sufren daños ocurre un aumento en la liberación de CO₂, ya que las células al punto dañado incrementan su respiración y la liberación de etileno acelerando el proceso de maduración y senescencia que disminuye la calidad y vida útil del fruto (López *et al.*, 2011). Las propiedades mecánicas, como la deformación, el esfuerzo, la fuerza de compresión, el límite elástico y el módulo de elasticidad, se han empleado para definir la respuesta de un fruto ante la acción de una fuerza compresiva o tensión, para las propiedades fisiológicas.

Por lo que en el presente trabajo se obtuvo el comportamiento mecánico, fisicoquímico y fisiológico de los frutos de piña sometidos a daños mecánicos que permiten proponer soluciones para alargar la vida de anaquel del producto

MARCO TEÓRICO

Origen de la planta de piña

La piña (*Ananas comosus* L.) es originaria del sur de Brasil y Paraguay, área en la que se producen los parientes silvestres. Según registros, la piña fue domesticada por los indígenas y trasladada por ellos a través del Centro y Sudamérica a México, mucho antes de la llegada de los europeos (Cerrato, 2013).

El cultivo de piña se distingue por poseer tanto cualidades organolépticas, así como contenido de vitaminas A, B, C; cualidades que permitieron que el fruto de piña sea altamente demandado en los mercados acelerando su dispersión y adaptabilidad en diferentes lugares (Uriza-Ávila *et al.*, 2018).

Importancia del cultivo de piña en el mundo

El auge de la piña en Hawái, a finales del siglo XIX, provocó una alta demanda del clon en otras regiones y países interesados en su siembra, obtención y proceso industrial por lo que se dispersó durante las primeras décadas del siglo XX, a países como: Taiwán, Filipinas, México, Cuba y Haití (Uriza-Ávila *et al.*, 2018).

El cultivar de piña se encuentra en el segundo lugar a nivel mundial en producción de frutales tropicales, solo superado por el mango, la producción integra alrededor de 87 países, siendo los primeros países productores Costa Rica, Brasil, Filipinas, China, Tailandia, Indonesia, India, Nigeria, México y Ghana (Uriza-Ávila *et al.*, 2018).

Los principales países productores de piña (en toneladas) son: Indonesia 3,203,775.15, Filipinas 2,914,424.68, Costa Rica 2,909,750, China 2,767,459, Brasil 2,363,729, de producción anual (FAO, 2022).

La fruta de piña ha tenido un incremento en los mercados debido a la demanda de consumo por alimentos saludables y alto contenido de fibra, vitaminas C, B1, B6, ácido fólico y minerales como el potasio, principalmente se le conoce por ser una fruta diurética que contribuye a la eliminación de toxinas por medio de la orina (Cerrato, 2013).

Importancia del cultivo de piña en México

México es el noveno productor de piña a nivel mundial con una producción de un millón 209 toneladas de fruta representando el 1.9% del área mundial con alrededor de 32,331.50 hectáreas (SADER, 2020).

La piña como cultivo comercial en México surge y se desarrolla a inicios del siglo pasado, se mantiene concentrado en la Cuenca Baja del Papaloapan, de donde se obtiene más del 80 % de la producción nacional, a principios de este siglo, el sistema productivo piña empezó a transformarse por la conjunción de dos factores fundamentales: la llegada de la variedad MD2 y el desarrollo tecnológico de producción para su aprovechamiento (Uriza-Ávila *et al.*, 2018). La producción de este cultivo en México se destina para el consumo en fresco (nacional y de exportación) o para la industrialización como jugo o en conservas, del total de la producción de fruta fresca al año, el 70 % se destina al mercado fresco nacional, 20

% a la industria procesadora y 10 % al mercado fresco de exportación a EE UU (Uriza-Ávila *et al.*, 2018).

Clasificación Taxonómica

Tabla 1. Clasificación taxonómica del cultivo de piña (SIOVM, 2015).

Reino:	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Bromeliales
Familia	Bromeliaceae
Género	<i>Ananas</i> Mill.
Especie	<i>comosus</i> L.

DESCRIPCIÓN BOTÁNICA

Raíz

El crecimiento de la planta de piña se asocia a dos tipos de raíces que son las del suelo y las axilares o adventicias. Las raíces nacen del tallo rizomatozo que penetra en el suelo. La raíz principal (tallo) no profundiza más de 60 cm, las verdaderas raíces son fibrosas, individuales y crecen entre 20 y 40 cm en dirección horizontal. No obstante, en suelos bien aireados algunas raíces pueden penetrar hasta una profundidad de 90 cm y el sistema radicular de una planta puede alcanzar una extensión de 1.80 m, si la distancia de plantación lo permite (Bartholomew *et al.*, 2003).

Tallo

La planta de piña presenta un tallo con una forma de maza, con longitudes promedio de 25-50 cm y con una anchura en la base entre 2 a 5 cm, en la parte superior. Los nodos pueden ser reflejados por las cicatrices que las hojas van dejando después de desprenderse del tallo (Bartholomew *et al.*, 2003).

Hojas

Las hojas son variables entre variedades, pero generalmente alrededor de 40 a 80, pueden alcanzar más de 1.6 metros de longitud y 7 cm de ancho, con los ápices cortos y erguidos, son localizadas en espiral sobre el tallo, los márgenes de las hojas suelen ser espinosos, no obstante, algunos cultivares son parcial o totalmente inermes (Bartholomew *et al.*, 2003).

Pedúnculo

El pedúnculo es la prolongación del tallo que se desarrolla cuando la planta llega al punto máximo de su crecimiento vegetativo, se presenta debido a un engrosamiento del tallo, en su meristemo terminal y como una función de dar sostén al fruto (Uriza-Ávila *et al.*, 2018).

Flor

Las flores son hermafroditas, con tres sépalos, tres pétalos, seis estambres en dos verticilos y un pistilo tricarpelado, la inflorescencia se compone mínimo de 50 a más de 200 flores individuales, estando ubicadas alrededor del eje central en filotaxia,

los pétalos tienen un color blanco en la base azul violeta en la punta (Bartholomew *et al.*, 2003).

Fruto

Cada planta produce un solo fruto, de forma cilíndrica y una sola corona, la piña es un fruto múltiple, donde cada florecilla da origen a un fruto individual llamado baya, cuando las flores de la inflorescencia han sido fecundadas se produce la soldadura de las bayas resultantes, el número de frutos individuales está altamente relacionado con el peso del fruto. El fruto es partenocarpio, es decir, se desarrolla sin que ocurra fecundación, por lo cual no hay formación de semillas (Uriza-Ávila *et al.*, 2018).

Semilla o vástago

Existen tres tipos de material vegetativo, ideales para la reproducción de la planta como son las coronas (parte superior del fruto), gallos (se desarrollan a partir de las yemas axilares) y clavos (se originan en las yemas axilares del tallo), se diferencian en su vigor, crecimiento, longitud del ciclo y susceptibilidad a la floración (Uriza-Ávila *et al.*, 2018).

REQUERIMIENTOS CLIMÁTICOS

Precipitación

La precipitación requerida es de 1,000 a 1,800 mm, bien distribuidos, en lugares donde ocurren más de tres meses con un promedio de 60 mm de lluvia, se aminora

la probabilidad de obtener cosechas de calidad durante todo el año (Uriza-Avila, 2011).

Temperatura

La temperatura media anual promedio es de 24 a 25°C con valores extremos que no bajen menos de los 20°C y no superen los 35°C (Uriza, 2011).

Luminosidad

La luminosidad promedio para el cultivo de piña oscila de 1200 a 1500 h/año, teniendo una reacción marcada en el crecimiento vegetativo, rendimiento, calidad y coloración de los frutos, cuando la luminosidad es inferior al promedio las hojas se alargan, permanecen erguidas y manifiestan una coloración verde oscuro, en cambio cuando la luminosidad es alta, en los frutos puede provocar quemaduras (Uriza-Ávila *et al.*, 2018).

Humedad relativa

La humedad relativa debe oscilar en promedio del 70 % beneficiando a las plantas y los frutos de piña ya que menores al 50 % pueden provocar la ruptura y el agrietamiento de los frutos durante el periodo de maduración (Uriza-Ávila *et al.*, 2018).

REQUERIMIENTOS EDÁFICOS

Suelo

La piña se cultiva en una amplia variedad de suelos, desde los que tienen alto contenido orgánico, suelos originados de cenizas volcánicas, hasta suelos arenosos, los suelos idóneos para el crecimiento de la piña son ácidos, las texturas optimas son arcillo-arenosas, areno-arcillosas y arenosas con una textura media con un 70 % de arena, 20 % limo y 10 % arcilla (Uriza-Ávila *et al.*, 2018).

pH

El rango óptimo de pH es de 4.5 a 5.5, el cultivar puede presentar deficiencias en su desarrollo con un pH superior a 5.6, por lo contrario, cuando son inferiores al promedio puede presentar problemas con el manganeso y aluminio este último a medida que el pH del suelo disminuye causa quemaduras en las partes más tiernas de las raíces e interviene en la absorción de fósforo, calcio, magnesio y potasio, (Uriza-Ávila *et al.*, 2018).

Pendiente

El porcentaje promedio de la pendiente para que se pueda sembrar son inferiores al 6% y superiores a esta se debe de aplicar prácticas estrictas de control de la erosión que abordan el uso de camas con pendiente, drenes y canales de desagüe (Uriza, 2011).

MANEJO AGRONÓMICO DEL CULTIVO DE PIÑA

Preparación del terreno

Se inicia con una trituración del cultivo anterior y malezas con chapeadoras, posteriormente dependiendo de la compactación del suelo se realizan una o dos pases con rastras de discos, previo al rastreo se recomienda dar un pase con subsolador para aumentar la capacidad de drenaje en épocas de lluvias y por último el pase de la rastra para el trasplante (Uriza-Ávila *et al.*, 2018).

Así mismo Uriza-Ávila *et al.*, (2018). Mencionan que la nivelación no siempre debe hacerse buscando un plano horizontal, por lo que deberá llevar a cabo con respecto a la pendiente, que prevalece en el área agrícola, las pendientes mayores ya sea por su topografía y elevación natural tendrán mayores valores de erosión y disminución en la fertilidad, y en las zonas donde la pendiente es inferior al nivel topográfico del terreno, hay problemas de encharcamiento de agua.

Las acciones presiembra de mejoramiento del suelo son parte integral de programas de nutrición y fertilización del cultivar de piña, la incorporación de *Crotalaria juncea* como abono verde y los restos de malezas o del cultivo anterior, así como el encalado dolomítico para enmendar el pH (Cuadro 1), (Uriza-Ávila *et al.*, 2018).

Cuadro 1. Dosis por hectárea de cal dolomítica a aplicar en presiembra de piña, según pH de la muestra de suelo antes de iniciar la plantación (Zetina *et al.*, 2005).

pH del suelo	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
Dosis de cal Dolomítica (t ha ⁻¹)	3.0	2.5	2.0	1.5	0.5

Siembra

Se utilizan los tres tipos de material vegetativo, corona (parte superior del fruto): su época de plantación puede comprender todo el año, son más utilizados cuando hay que evitar floraciones prematuras, gallos (se desarrollan a partir de las yemas axilares): su época de plantación puede comprender todo el año, clavos (se originan en las yemas axilares del tallo): son más vigorosas y por lo tanto su crecimiento es más rápido que los anteriores tipos de material, pero son más susceptibles a floraciones prematuras (Uriza-Ávila *et al.*, 2018).

Densidad de siembra

Las densidades que se manejan para el cultivo de piña varían de 30,000, 40,000, 45,000, 50,000, 60,000, 65,000, 70,000 plantas ha⁻¹, dependiendo del destino de la cosecha y entre más incremento en número de plantas por hectárea disminuye el peso promedio del fruto (Uriza, 2011).

Control de malezas

Para el control de malezas en el cultivo de piña, se basa en aplicaciones de herbicidas químicos pre y post emergentes, complementadas con deshierbes manuales necesarios los primeros tres meses (Uriza, 2011).

Inducción floral

La inducción floral en piña tiene muchas ventajas, como, reducir el ciclo del cultivo, uniformizar el periodo cosecha y programar la fecha para la producción de acuerdo a las necesidades del mercado y del productor, los compuestos más usados para la inducción floral son el carburo de calcio y gas etileno (Uriza, 2011).

Fertilización

Las dosis de fertilización deben ser distribuidas antes de la inducción floral en cuatro o cinco aplicaciones sólidas y de 12 a 15 aplicaciones líquidas, una hectárea en promedio necesita 450 kg de N, 40 kg de P, 500 Kg de K, 200 kg de calcio, 125 kg de Mg y 115 kg de S, además de 6 kg de Mn, 10 kg de Fe, 0.6 kg de Cu, 0.9 kg de Zn, 1.0 kg de Bo y 1.0 kg de Mo (Uriza–Ávila *et al.*, 2018).

PLAGAS Y ENFERMEDADES

Plagas

El cultivo de piña en México es afectado por diferentes plagas y enfermedades que se describen a continuación, las que más provocan una reducción en la producción y calidad de la fruta, y las que comprometen su inocuidad por el uso frecuente, y en ocasiones excesivo, de plaguicidas químicos y otros insumos para controlarlas durante el ciclo del cultivo (Rebolledo *et al.*, 2011).

Plagas del suelo

Nematodos, *Meloidogyne sp*, *Helicotylenchus sp*, *Pratilenchus sp*, *Tylenchorhynchus sp* y *Criconemoides sp*, los daños se centran en las raíces subterráneas y adventicias (Monge, 2018).

Sinfilidos: *Scutigerella Sakimurai* Scheller, el daño lo hacen en las secciones más jóvenes de las raíces, afectando la absorción de nutrientes y el crecimiento de estas (Monge, 2018).

Plagas en la planta

Piojo harinoso: *Dysmicoccus brevipes* Cockerell y *Dysmicoccus neobrevipes* Beardsley, transmisoras de los virus de la marchitez PMWaV-1, PMWaV-2 y PMWaV-3.

Acaro rojo: *Dolichotetranychus floridanus* Banks, los daños lo hacen en las plantas jóvenes y recién sembradas, ocasionando heridas a las hojas en su superficie principalmente en la base no clorótica.

Trips: *Thrips tabaci* Linderman, los daños indirectos son ocasionados al transmitir patógenos como el virus del tomate TSWV. (Uriza-Ávila *et al.*, 2018).

Plagas en fruto

Picudo negro (*Metamasius callizona* Chevrolat), conocido en su estado larval como el barrenador del tallo y fruto ocasiona grandes daños en las plantaciones, el daño del adulto es en las hojas causando una raspadura profunda acuosa secándose y tornándose de color café (Rodríguez, 2010).

Tecla (*Thecla basilides* Geyer), insecto que daña la inflorescencia del cultivo, depositando sus huevecillos que al eclosionar la larva penetra al fruto, afectándolo físicamente (Monge, 2018).

Gusano soldado (*Elaphria nucicolora* Gueneé), el daño lo hacen las larvas raspando y comiendo la superficie de la cascara de las frutas, en la pulpa el daño es idéntico a un golpe provocando una oxidación del tejido (Monge, 2018).

Enfermedades

Los principales microorganismos que provocan enfermedades y ocasionan alteraciones en la raíz, tallo, follaje y fruto, están asociados a factores externos como: heridas o quemaduras por agroquímicos, temperaturas muy altas o bajas, exceso por lluvias, sequías prolongadas, labores en campo, plagas, concentraciones altas de fertilizantes. Las enfermedades con más presencia en el cultivo de piña son: *Fusarium oxysporu* Schlecht, este hongo puede sobrevivir en hijos, frutas, corona, residuos vegetales y en el suelo, esta enfermedad tiene un avance lento, se observa una pérdida del color verde en el follaje y tallo y estos pueden presentar necrosis (Monge, 2018).

Erwinia chrysanthemi Burkh, es una bacteria que produce una pudrición maloliente de color café claro, comienza en la base de las hojas centrales y estas se desprenden con facilidad al tirar de ellas (Monge, 2018).

Phytophthora cinnamomi Hardham, este hongo es favorecido por la alta humedad y es transportado por el agua de esorrentía o de salpique, tiene más incidencia sobre todo después del forzamiento, en particular cuando hay apertura floral, el follaje

presenta clorosis con avance lento hasta que mueren las puntas de las hojas apicales (Monge, 2018).

La marchitez roja provocada por el piojo harinoso asociado al daño indirecto transmitiendo virosis, PMWaV1, PMWaV-2 y PMWaV-3, enfermedad con más presencia en el mundo (Ochoa-Martínez *et al.*, 2016).

DAÑOS MECÁNICOS

En el cultivar de piña, desde que los hijuelos se siembran hasta que los frutos se cosechan, pasan entre 14 y 18 meses, según las técnicas de manejo del cultivo, la madurez se determina por los días después de la floración o por el color de la cáscara, que cambia de un verde oscuro a un verde claro y después a un amarillo anaranjado, dependiendo de la variedad (Uriza-Ávila *et al.*, 2018). Durante el proceso de cosecha y postcosecha los frutos de piña sufren daños mecánicos provocando cambios en la presentación y reducción en la vida de anaquel. En el momento en que el fruto es desprendido de la planta, se vuelve susceptible a factores externos e internos que conducen a la pérdida de calidad, un camino para mantener las características de calidad en los frutos es minimizar los daños mecánicos que ocurren durante la cosecha, transporte y selección del fruto (Villaseñor *et al.*, 2006). Los daños mecánicos son el resultado de una excesiva fuerza durante la cosecha, ocasionando daños mecánicos, siendo los más comunes durante la cosecha y postcosecha los impactos y compresión (magulladuras), las fricciones (rozaduras) y las punciones (cortaduras) (Polat *et al.*, 2012). Los daños mecánicos aceleran el proceso de maduración, conducen a la senescencia,

disminuyen días a madurez de consumo, aumentan la deshidratación del fruto y provocan la pudrición y pérdida del valor nutrimental (Berry *et al.*, 2017). Los daños mecánicos no solo presentan un problema de apariencia externa y pérdida de calidad de los frutos, sino que también originan alteraciones internas que influyen en el comportamiento fisiológico de estos (Navarrete *et al.*, 2013).

Victoria-Escamilla *et al.*, (2013) mencionan que, en frutos con algún tipo de daño físico, también presenta aumento en la intensidad respiratoria, lo cual se puede relacionar con la disminución de la vida útil del fruto. Los cambios fisiológicos que se presentan en el proceso de maduración, en postcosecha los frutos están influenciados por el estado de madurez para la cosecha, por las condiciones climáticas predominantes en el cultivo, por las condiciones de manejo y almacenamiento postcosecha (Wills *et al.*, 2007).

En los frutos, el inicio de la maduración después de la recolección oportuna, está acompañado por un aumento en la intensidad respiratoria y en la producción de etileno, alcanzando su máximo valor cuando el fruto está completamente maduro y disminuyendo durante la senescencia (Kays y Paull, 2004). El etileno también es responsable de acelerar la senescencia, por lo que su concentración en el fruto afecta directamente la calidad (Ramírez, 2007). El etileno es la hormona encargada de regular diferentes procesos durante la maduración y senescencia en frutos debido a que estimula la expresión de genes que codifican para las enzimas relacionadas con los cambios durante la maduración y senescencia (Balaguera *et al.* 2014; Rodríguez *et al.*, 2011). El etileno tiene un papel doble en la postcosecha, por un lado, ocasiona que los frutos adquieran características organolépticas

óptimas para su consumo, pero también es responsable de la senescencia de los tejidos, generando efectos desfavorables en la calidad (Bapat *et al.*, 2010).

La transpiración es otro factor natural de las frutas, siendo la razón de la pérdida de peso de los frutos durante la maduración en postcosecha, la pérdida de agua libre es una de las principales causas de deterioro, ya que se originan pérdidas cuantitativas directas, así como pérdidas cualitativas y cualitativas directas como el aspecto, pérdida de brillo y de turgencia, cambios en su textura y consistencia de las frutas, los daños mecánicos aceleran la pérdida de agua (Kays y Paull, 2004). Para procesos de cosecha y postcosecha, las propiedades mecánicas de las frutas y vegetales resultantes de los ensayos mecánicos son importantes para la adopción, diseño y optimización de sistemas de empaque, transporte, manejo del producto y control de daño mecánico (Mohsenin, 1970).

ANTECEDENTES

Negrín et al., (2013), mencionan el comportamiento mecánico de dos variedades de mango (*Mangifera Indica* L.) bajo diferentes compresiones axiales, la variedad Tommy Atkins, en el módulo de elasticidad presentó un decrecimiento en función del avance de la maduración en comparación con la variedad Keitt, posiblemente ocasionado por la estructura de la pulpa.

Ghaffari et al., (2015), en su investigación de las propiedades físicas, mecánicas y químicas del fruto de tomate (*Lycopersicon esculentum* P. Mill.) relacionadas con el daño mecánico y modelos de mallugaduras, los tomates fueron impactados una, dos y tres veces a tres niveles de energía (0.125, 0.25 y 0.51J) para estudiar el comportamiento de la textura del tomate.

López et al., (2011), dan a conocer que las propiedades mecánicas y respuesta fisiológica de frutos de chicozapote (*Manilkara zapota* L.) bajo compresión axial tienen efecto en la producción de etileno y la velocidad de respiración se incrementa por la carga aplicada lo que acelero la senescencia de los frutos de chicozapote.

Martínez et al., (2017), dan a conocer que las propiedades físico-mecánicas y simulación por computadora del daño por impacto en guayaba (*Psidium guajava* L.), resultado que el tejido de los frutos que recibe un esfuerzo mecánico, ya sea por carga estática o dinámica puede tener daño estructural permanente dependiendo la intensidad del esfuerzo.

Herrera et al., (2017), evaluaron las proporciones de daños mecánicos y su efecto en calidad postcosecha de aguacate Hass (*Persea americana* Mill), concluyeron que los daños mecánicos disminuyeron la calidad de los frutos en madurez de consumo, las fricciones y punciones fueron las que más afectaron la calidad, disminuyendo los días a madurez de consumo.

Piña et al., (2018), evaluaron la vida postcosecha de frutos de jiotilla (*Escontria chiotilla* F.A.C. Weber ex K. Schum.) Rose.), sometidos a golpeo, obteniendo efectos negativos en los frutos, como disminución del peso y firmeza en los frutos de jiotilla cosechados, los parámetros de color en los frutos no fueron modificados por el golpe, pero si se modificó con los días después de cosecha.

Arrázola et al., (2021), analizaron las propiedades mecánicas y simulación de la firmeza con elementos finitos en papaya (*Carica papaya* L.), en el cual las respuestas mecánicas de los frutos de papaya fueron afectadas por la maduración donde hubo mayor daño mecánico causado por el impacto de fruta a fruta de los liches resistencia con el menor tiempo de postcosecha.

Pathare y Al-Dairi, (2022), describen el efecto del daño sobre las características de la calidad del banano (*Mussa paradisiaca* L.) durante el almacenamiento a corto plazo, evaluando el daño por mallugaduras y temperatura de almacenamiento con pruebas de impacto a tres alturas diferentes (10, 30, y 50cm), los resultados mostraron que la tasa de respiración y la tasa de producción de etileno aumentaron a medida que aumenta la altura de caída.

Liu et al., (2023), en su estudio dan a conocer la predicción del daño mecánico interno en la compresión de la piña (*Ananas comosus* L.), mediante el método de elementos finitos basados en las leyes de Hooke y Hertz y como resultado cuando se aplica una fuerza de compresión a la fruta, el tejido sufría daños mecánicos.

HIPÓTESIS

Los frutos de piña sometidos a daños mecánicos modifican sus características fisicoquímicas, incrementan su tasa de respiración y de producción de etileno, así como la pérdida de peso; dependiendo de la posición en que se ubiquen o de la carga aplicada.

OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar el comportamiento mecánico, fisicoquímico y fisiológico de dos variedades de piña sometidas a daños mecánicos.

Objetivos específicos

1. Caracterización física y físico-química de los frutos de piña en dos variedades para sus cuatro estados de madurez (Sazona, $\frac{1}{4}$, $\frac{3}{4}$ y madura).
2. Propiedades físico-químicas (pH, % de acidez, sacarosa, fructosa) de las dos variedades de piña (Cayena y MD-2) en cuatro estados de maduración (Sazona, $\frac{1}{4}$, $\frac{3}{4}$ y madura) sometidas a compresión estática.
3. Determinar las características esfuerzo-deformación de los frutos de piña sometidos a compresión.
4. Obtener la tasa de respiración y de producción de etileno de los frutos sometidos a compresión e impacto.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en el laboratorio Químico-Biológico de la Universidad del Papaloapan campus Loma Bonita Oaxaca, con una altitud media de 25 msnm, coordenadas 18° 06' 25'' LN y 95° 52' 50'' LW con precipitaciones anuales de 1845.2 mm y con una temperatura anual promedio de 25 °C (Sánchez *et al.*, 2015).

Caracterización física y fisicoquímico de los frutos

Para los frutos de piña variedad Cayena lisa y MD-2 se midieron los siguientes parámetros: peso total, peso de la corona, peso de la cascara, peso del fruto, peso comestible + corazón, peso del corazón, longitud total, longitud de corona, longitud del fruto, longitud del corazón, diámetro del fruto, diámetro de ojo, diámetro de corazón, número de hojas de la corona y número de ojos, los pesos se tomaron con una báscula (Rhino®) con 2 gramos de precisión, y los diámetros con un vernier digital (Truper®).

El potencial de hidrógeno (pH), fructosa y sólidos solubles (°Brix), se determinaron tomando una porción del jugo de los frutos y colocándolo en el potenciómetro digital (HANNA®) y refractómetro digital (PR-101ATAGO PALETE), respectivamente. El porcentaje de acidez titulable se obtuvo de acuerdo con la metodología de la AOAC (2000), para ello se utilizó 20 mL de jugo del fruto depositado en un matraz Erlenmeyer y se adiciono dos gotas de fenolftaleína (1%), posteriormente se tituló con hidróxido de sodio (0.1 N) hasta obtener una coloración rosácea persistente y los datos se expresaron como porcentaje de ácido cítrico.

Frutos de piña sometidas a compresión con una fuerza de 300 N

Se utilizaron 96 frutos, 48 para la variedad MD-2 y 48 frutos variedad Cayena lisa, con 12 frutos para cada estado de madurez comercial (Sazona, $\frac{1}{4}$, $\frac{3}{4}$ y completamente madura). Se procedió con el primer estado de madurez (Sazona) de la variedad MD-2 y Cayena lisa donde a cada fruto se le sometió a un peso de 300 N, posteriormente en el laboratorio químico biológico de la universidad se realizaron análisis de acidez titulable, pH, sacarosa y fructosa cada tres horas a tres frutos de piña seleccionados al azar.

Metodología para la compresión

Se recolectaron 27 frutos de la variedad MD-2 en estado de madurez ($\frac{1}{4}$) y 27 frutos de la variedad Cayena lisa en estado de madurez (sazona), se sometieron a compresión con un dinamómetro digital a dos diferentes fuerzas (300 N y 400 N), en posición horizontal.

Los frutos con los daños sometido a compresión se colocaron en recipientes cerrados herméticamente con volumen conocido según la metodología de Mendoza-Wilson y Báez-Sañudo, (2000).

Para la medición de los gases de CO₂ y el etileno con una jeringa (DL MÉDICA) se tomó una muestra de 1 mL y se cuantificó con un medidor portable de CO₂ y con un detector de gas etileno portátil BH-90A respectivamente.

Metodología para impacto

Se recolectaron 27 frutos de la variedad MD-2 en estado de madurez ($\frac{1}{4}$) y 27 frutos de la variedad Cayena lisa en estado de madurez (sazona), después los frutos se sometieron a una caída libre de tres metros y medio en una superficie de madera y suelo, posteriormente se colocaron los frutos en recipientes cerrados herméticamente con volumen de 10 L. (Mendoza-Wilson y Báez-Sañudo, 2000), posteriormente se tomó una muestra de 1 mL con una jeringa (DL MÉDICA) cada 24 horas por siete días y se cuantificó CO₂ y etileno.

Análisis estadístico

Los datos fueron analizados con el programa SAS (Statistical Analysis System Inc) versión 9.4M7. 2020. Para la comparación de medias, de las variables en estudio, se utilizó la prueba de Tukey ($P < 0.05$).

RESULTADOS

Efectos de la caracterización de azúcares, CE y pH de los frutos de piña en dos variedades para los cuatro estados de madurez (Sazona, $\frac{1}{4}$, $\frac{3}{4}$ y madura), Figura 1 y 2, se presentan los resultados de los análisis de las propiedades químicas de las dos variedades.

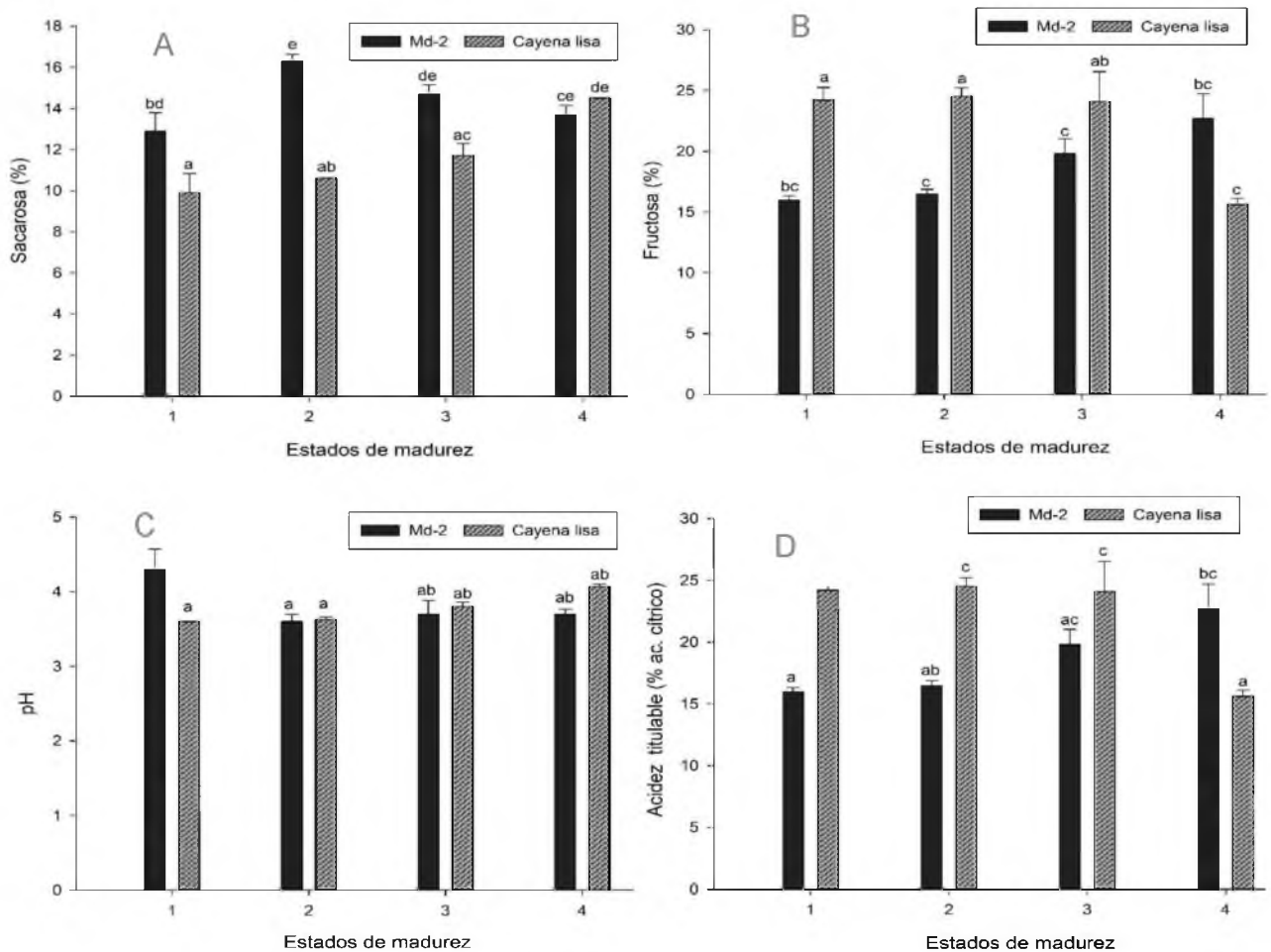


Figura 1. Caracterización bioquímica en frutos de piña de dos variedades Cayena lisa y MD-2, en los cuatro estados de madurez comercial (1-Sazona, 2- $\frac{1}{4}$, 3- $\frac{3}{4}$ y 4-madura), DMS = ($P < 0.05$).

El contenido de sacarosa (%) para la variedad MD-2 reportó medias con el valor mayor con diferencia significativa ($p < 0.05$; $r^2=0.87$) de 14.40 % en comparación con la variedad Cayena lisa con 11.67 %; con relación a los estados de madurez, el estado de madurez 4 (madura) resultó con los niveles mayores de sacarosa con 14.07 % (figura 1A).

En el contenido de fructosa (%), el mayor promedio con diferencia significativa ($p < 0.05$; $r^2=0.87$) lo tuvo la variedad MD-2 presentó el 13.76 %. Con relación a los estados de madurez, la completamente madura resultó con la media más alta de fructuosa de 13.78 % (figura 1B).

El comportamiento del pH entre las variedades de piña MD-2 y Cayena Lisa no mostraron diferencias significativas entre medias ($p < 0.05$; $r^2=0.$), posteriormente en los cuatro estados de madurez tampoco presentó diferencias significativas (figura 1C).

La acidez titulable (%) para las variedades MD-2 y cayena lisa, presentó el menor valor de 22.13 % ($p < 0.05$; $r^2=0.80$), la cayena lisa, por otro lado, no mostró diferencias significativas (figura 1D).

Evaluación del peso de los componentes de los frutos de piña en dos variedades para los cuatro estados de madurez (Sazona, ¼, ¾, y madura).

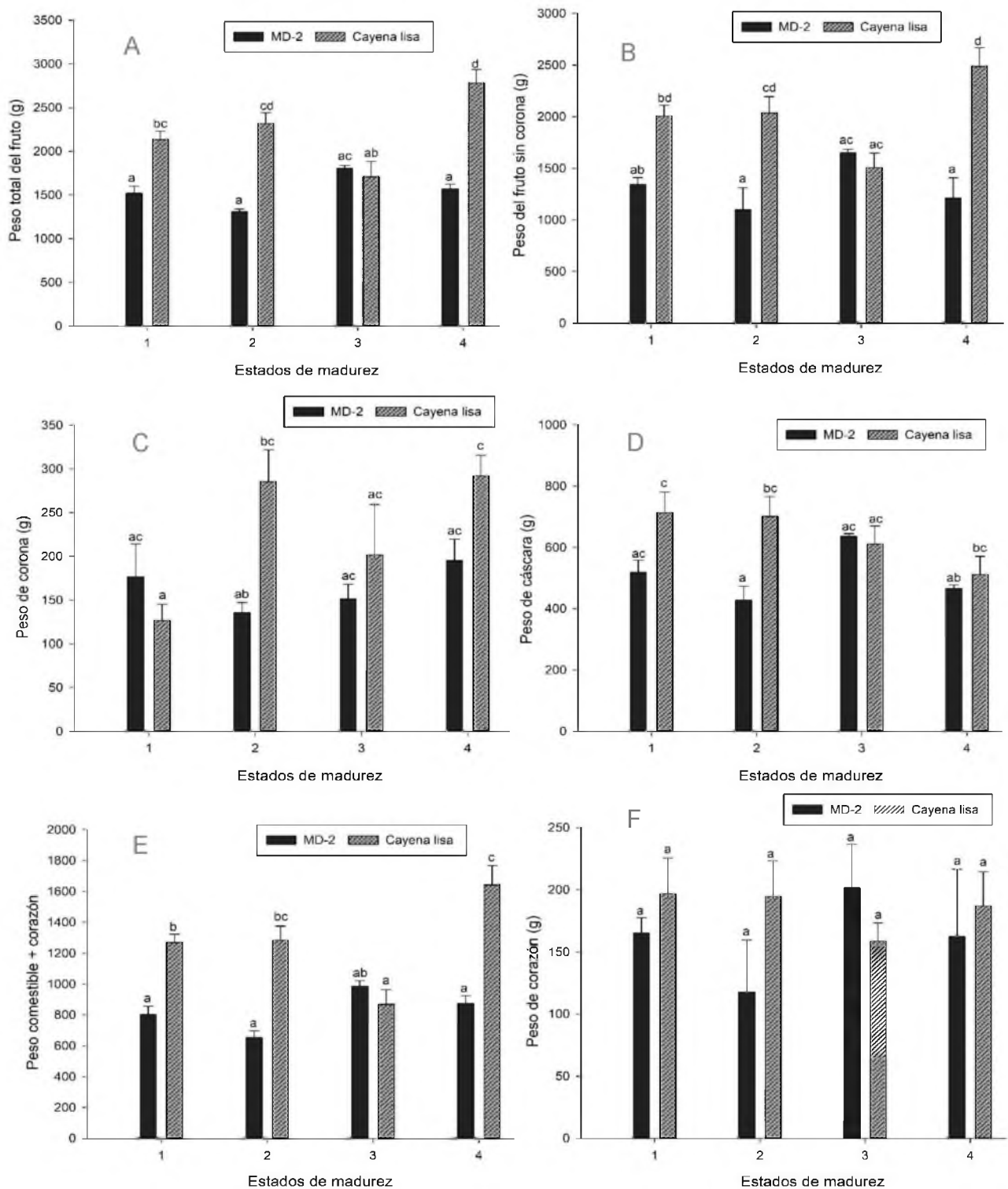


Figura 2. Peso de frutos de piña de dos variedades Cayena lisa y MD-2 en los cuatro estados de madurez comercial (1-Sazona, 2- ¼, 3- ¾ y 4-madura), DMS = (P < 0.05).

Del contenido peso total del fruto (g), la variedad cayena presentó un mayor promedio con diferencia significativa ($p < 0.05$; $r^2=0.90$) de 2,233.33 g. El estado de madurez 4 en la variedad Cayena Lisa resultó con el peso más alto 2,174.17 g en contraste con los estados de madurez 1, 2 y 3 de (1,826, 1,813 y 1,756.17 g respectivamente) (figura 2A).

De los datos obtenidos de peso del fruto sin corona (g), la variedad Cayena lisa reportó el mayor promedio con diferencia significativa de 2,012.58 g de. Con relación a los cuatro estados de madurez, no mostraron diferencias significativas (figura 2B).

El peso de las coronas (g), la variedad cayena lisa reportó el mayor promedio con diferencia significativa ($p < 0.05$; $r^2=0.64$) de 226.50 g. Con relación a los estados de madurez, el estado de madurez 4 se mostró con los valores más altos 243.67 g (figura 2C).

De los resultados sobre el contenido del peso de cáscara (g), el mayor promedio con diferencia significativa ($p < 0.05$; $r^2=0.68$) lo tuvo la variedad cayena lisa, reportó 677.17 g. Con relación a los cuatro estados de madurez, no se mostraron diferencias significativas (figura 2D).

El peso comestible + corazón (g) y estados de madurez la variedad Cayena lisa mostró el mayor promedio con diferencia significativa ($p < 0.05$; $r^2=0.89$) de 1,266.75 g, (figura 2E).

Para el peso de corazón (g) entre las variedades MD-2 y Cayena lisa, así como los cuatro estados de madurez no se reportaron diferencias entre las medias (figura 2F).

Evaluación de la longitud de los frutos de piña en dos variedades para los cuatro estados de madurez (Sazona, ¼, ¾ y madura).

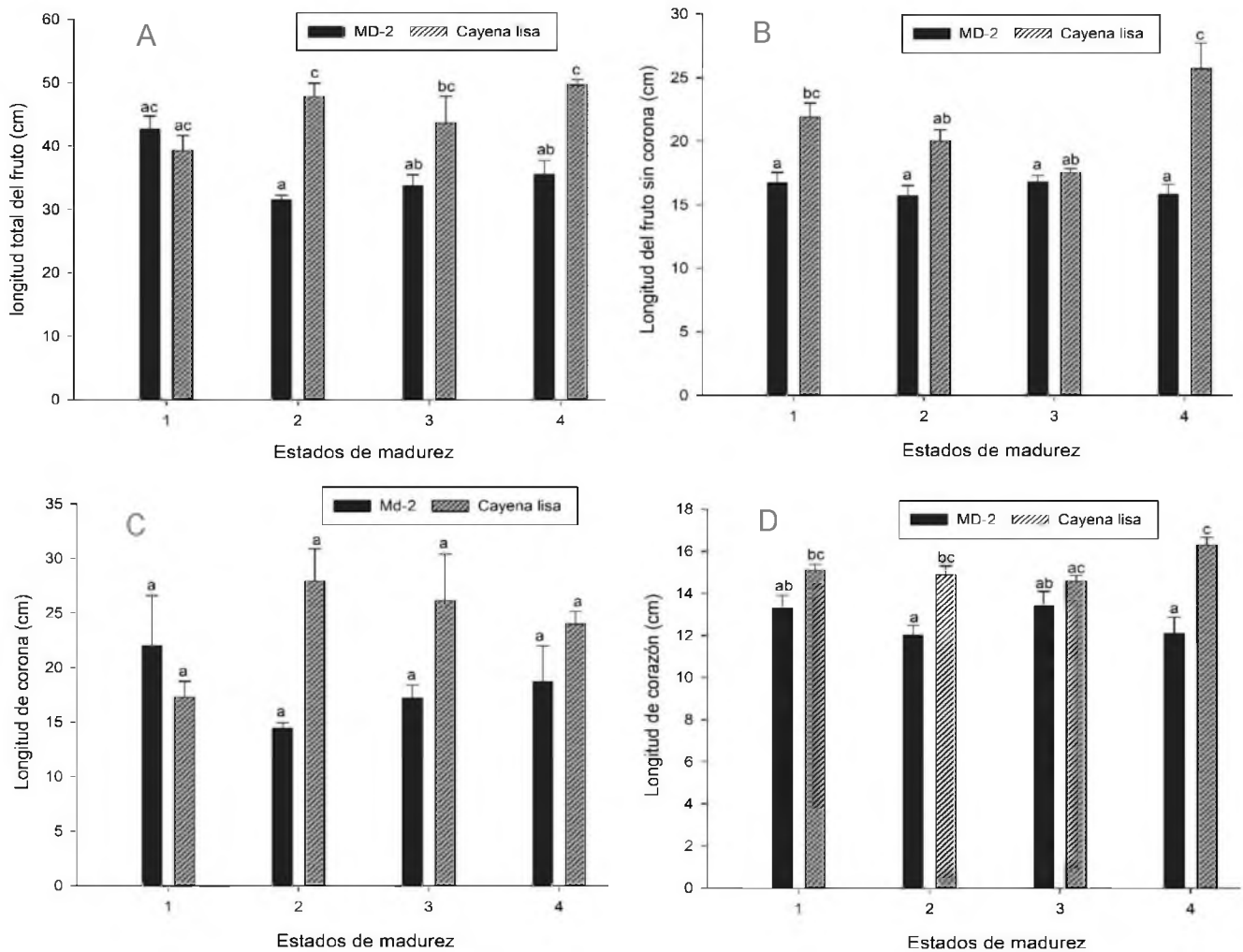


Figura 3. Dimensión de los frutos de piña de dos variedades Cayena lisa y MD-2 en los cuatro estados de madurez comercial (1-Sazona, 2- ¼, 3- ¾ y 4-madura), DMS = (P < 0.05).

La longitud total de los frutos (cm), entre las variedades MD-2 y Cayena lisa no presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$; $r^2=0.78$). Con relación a los cuatro estados de madurez tampoco mostraron diferencias significativas (figura 3A).

En la variable longitud del fruto sin corona (cm), la variedad Cayena lisa presentó el mayor promedio ($p < 0.05$; $r^2=0.84$) de 21.28 cm. En relación a la madurez, el estado 4 resultó con el valor más alto de 27.3 cm (figura 3B).

En la longitud de corona (cm), la variedad Cayena lisa presentó el valor más alto con diferencia significativa ($p < 0.05$; $r^2=0.55$) de 23.83 cm. Pero en relación a los cuatro estados de madurez, no se presentaron diferencias significativas (figura 3C).

De la longitud del corazón (cm), el mayor promedio con diferencia significativa ($p < 0.05$; $r^2=0.78$) de 15.23 cm, lo tuvo la variedad Cayena lisa, y en relación a los cuatro estados de madurez, no se mostraron diferencias significativas (figura 3D).

Comportamiento de los efectos de la caracterización física de los frutos de piña en dos variedades para los cuatro estados de madurez (Sazona, ¼, ¾ y madura).

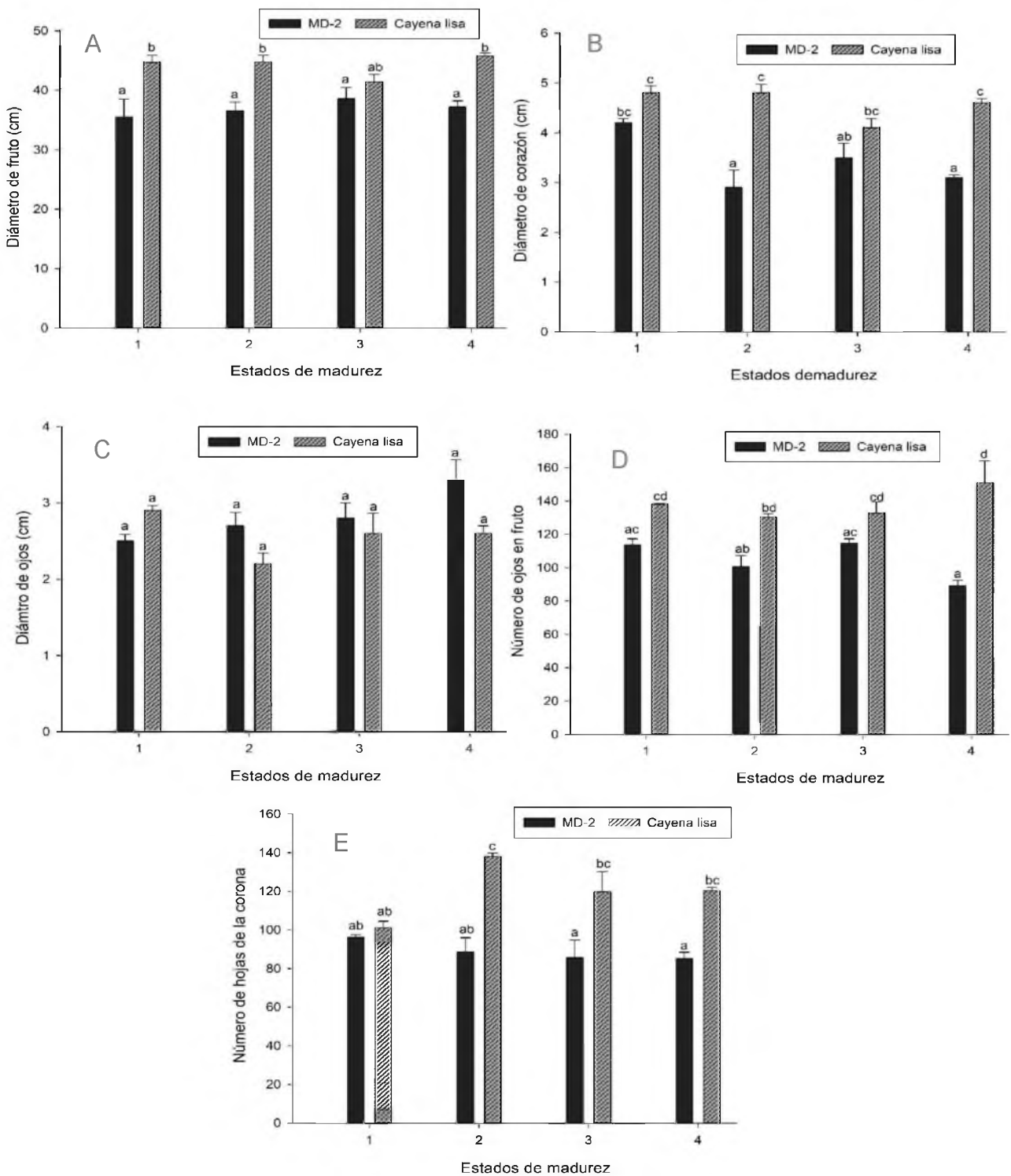


Figura 4. Caracterización física en frutos de piña de dos variedades Cayena lisa y MD-2 en los cuatro estados de madurez comercial (1-Sazona, 2- ¼, 3- ¾ y 4- madura), DMS = (P < 0.05).

La variedad Cayena lisa para la variable diámetro de frutos presentó la mayor diferencia significativa ($p < 0.05$; $r^2=0.72$) de 44.17 cm para los cuatro estados de madurez, no se encontró diferencias significativas (figura 4A). En el diámetro de corazón (cm), los frutos de la variedad Cayena lisa resultó con el valor más alto con diferencia significativa ($p < 0.05$; $r^2=0.86$) de 4.58 cm. Con relación a los estados de madurez, el estado de madurez 4 resultó con valor más alto de 4.47 cm (figura 4B).

El diámetro de los ojos de frutos de piña de las variedades MD-2 y Cayena lisa no presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$; $r^2=0.41$). Con relación a los cuatro estados de madurez tampoco se presentó diferencias significativas (figura 4C).

El número de ojos en los frutos, la variedad Cayena lisa reportó la mayor media con diferencia significativa ($p < 0.05$; $r^2=0.83$) de 138. Con relación a los cuatro estados de madurez, no hubo diferencias significativas (figura 4D).

Del número de hojas de la corona, la variedad Cayena lisa mostró los valores más bajos con diferencia significativa ($p < 0.05$; $r^2=0.79$) de 119.75. En relación a los cuatro estados de madurez, no mostraron diferencias significativas (figura 4E).

Uno de los objetivos de esta investigación fue determinar el comportamiento del contenido de acidez titulable, pH, sacarosa y fructosa al someter a compresión estática cuatro estados de maduración de piña de la variedad MD-2 y Cayena lisa.

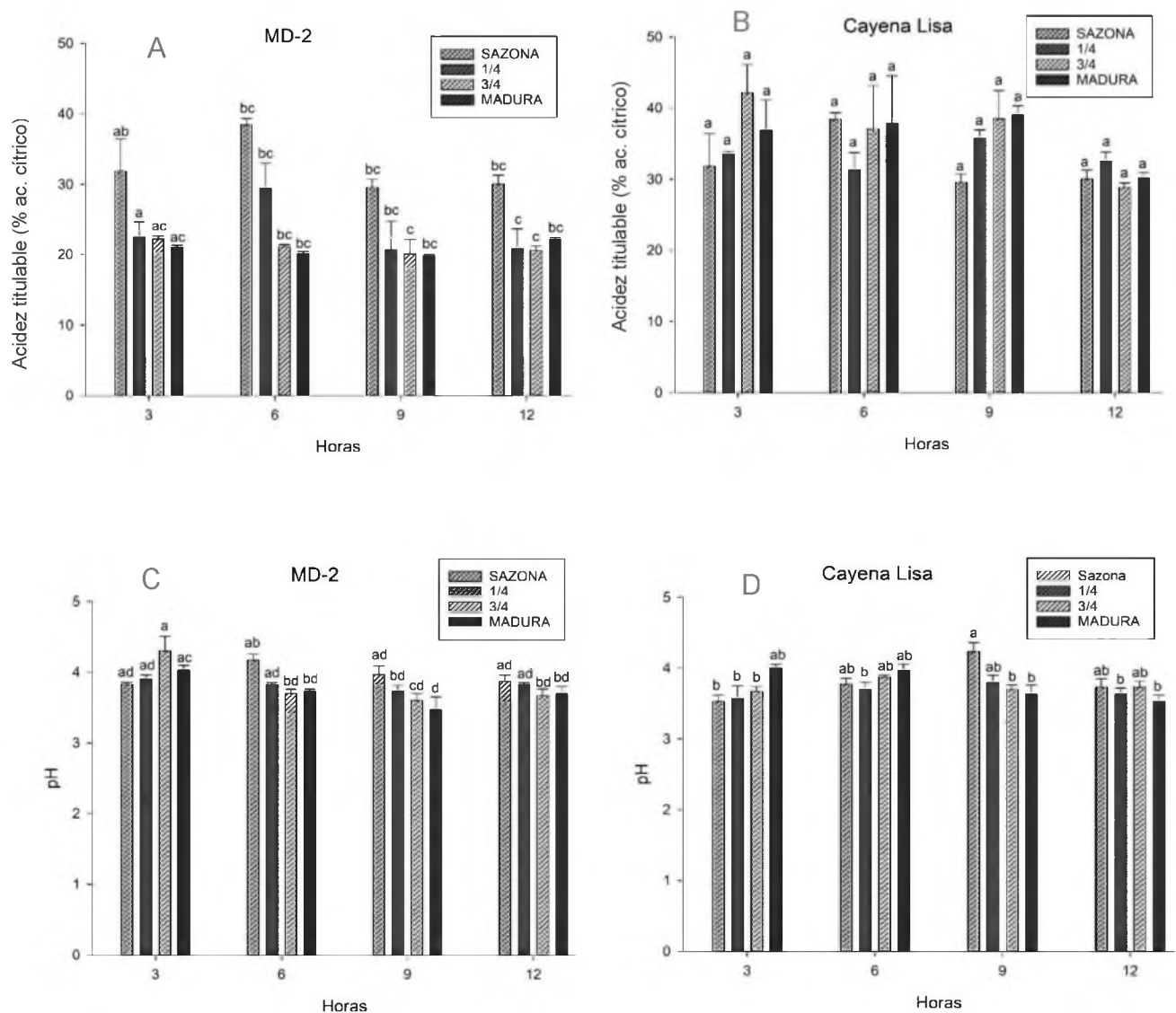


Figura 5. Caracterizaciones químicas en frutos de piña de dos variedades Cayena lisa y MD-2 en los cuatro estados de madurez comercial (1-Sazona, 2- 1/4, 3- 3/4 y 4-madura), DMS = (P < 0.05).

El contenido de acidez titulable en las dos variedades con sus respectivos cuatro estados de madurez fisiológica, con respecto a las 12 h, la variedad MD-2 presentó un valor de 34.58 mL ($p < 0.05$; $r^2=0.41$) (figura 5A y 5B).

El pH en las dos variedades con sus respectivos cuatro estados de madurez fisiológica., con respecto a las 12 h., donde las variedades Cayena lisa y MD-2 no presentaron diferencia significativa ($p < 0.05$; $r^2=0.03$) de 3.83 y 3.75 % respectivamente por lo cual se puede observar que no presentaron diferencias significativas (figura 5C y 5D).

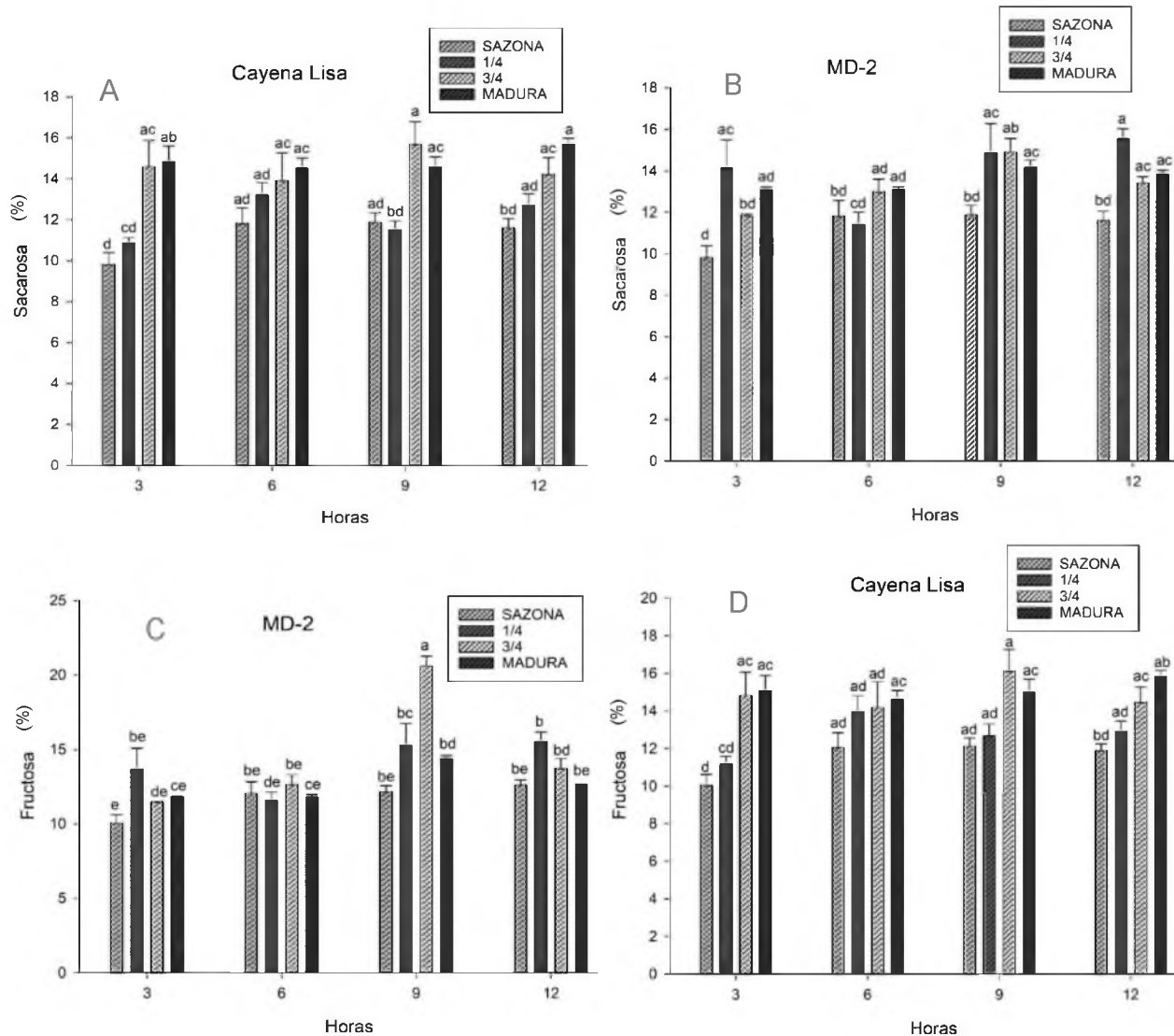


Figura 6. Caracterizaciones químicas en frutos de piña de dos variedades Cayena lisa y MD-2 en los cuatro estados de madurez comercial (1-Sazona, 2- 1/4, 3- 3/4 y 4-madura), DMS = (P < 0.05).

El contenido de sacarosa en las dos variedades con sus respectivos cuatro estados de madurez fisiológica con respecto a las 12 h., la variedad MD-2 y la variedad Cayena lisa no presentaron diferencia significativa ($p < 0.05$; $r^2=80.7$) con el 13.20 y 13.02 % respectivamente (figura 6 A y B).

El contenido de fructosa en los frutos de piña en las dos variedades con sus respectivos cuatro estados de madurez fisiológica a las 12 h., la variedad Cayena lisa presentó un valor de 13.55 % ($p < 0.05$; $r^2=85$) y la variedad MD-2 13.24 % (figura 6C y 6D).

Esfuerzo-deformación de los frutos de piña MD-2 y Cayena lisa, o curva de caracterización se realizó en dos posiciones vertical y horizontal en estados de madurez comercial Sazona y $\frac{1}{4}$ madura, figura 7 y 8, estuvieron sometidos a una fuerza de (300 N) con el instrumento Digital Push Pull Force Gauge HF-500 N, hasta obtener las curvas de fuerza-tiempo.

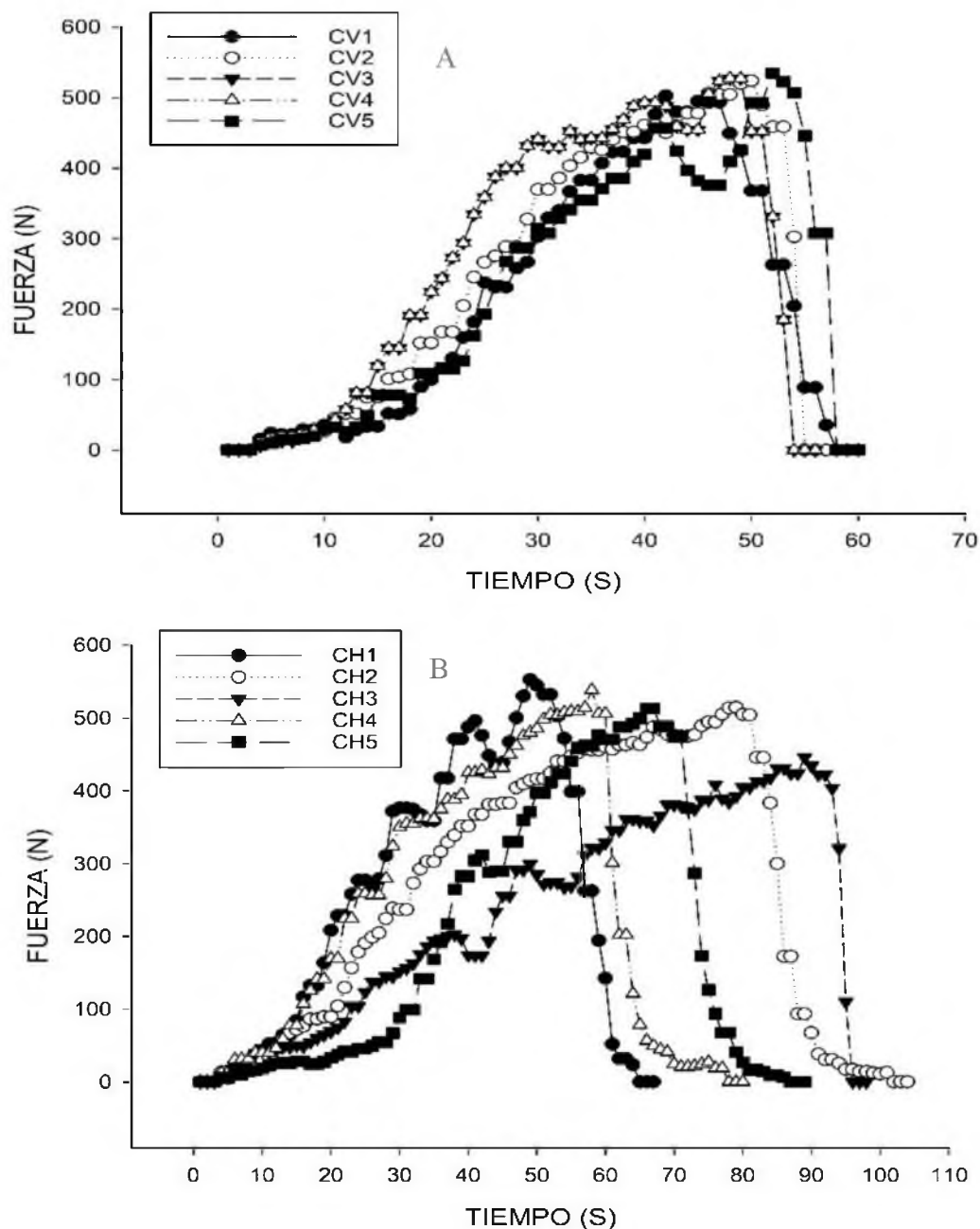


Figura 7. Curvas de fuerza-tiempo en frutos de piña variedad Cayena Lisa en estado de madurez Sazona en **A)** posición vertical y **B)** horizontal.

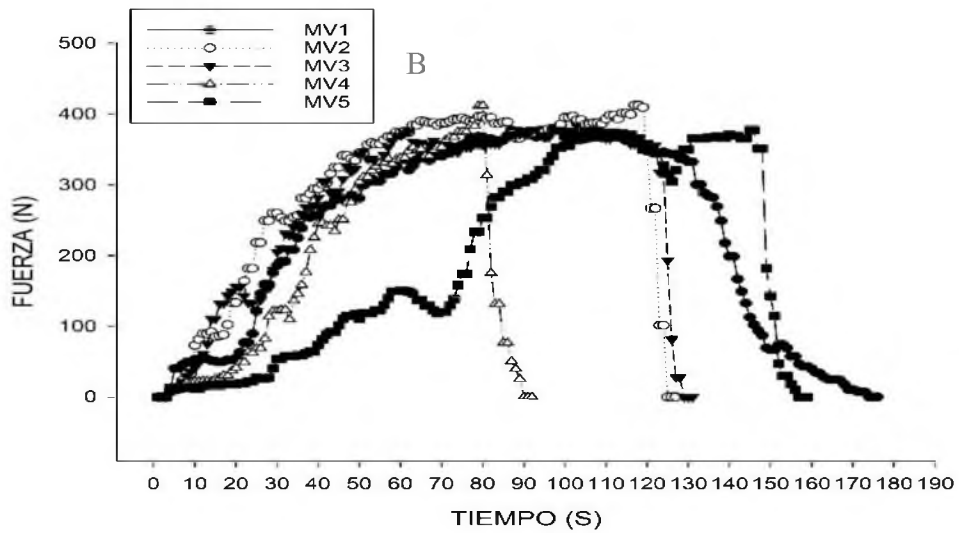
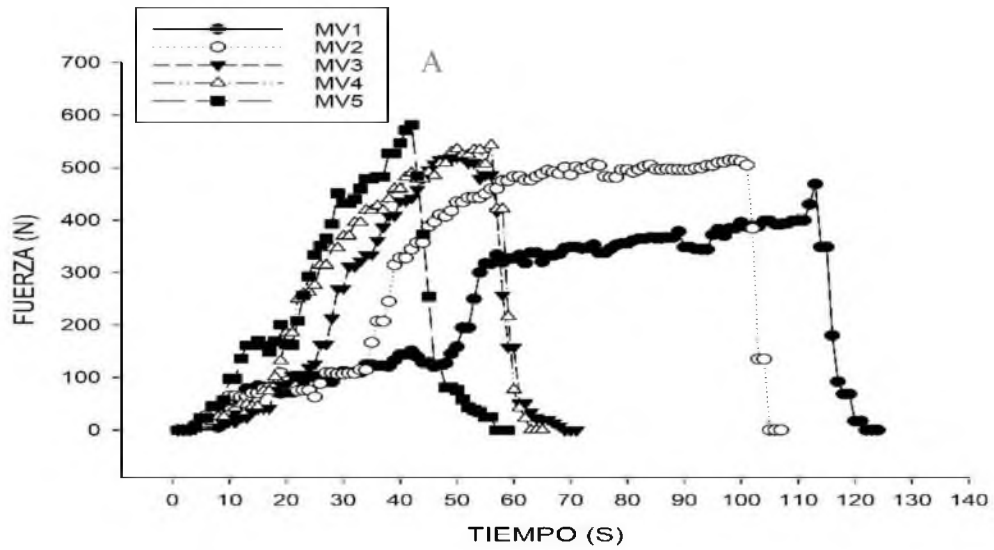


Figura 8. Curvas de fuerza-tiempo en frutos de piña variedad MD-2 en estado de madurez 1/4 en **A)** posición vertical y **B)** horizontal.

A continuación, se presentan los resultados de porcentaje (%) pérdida de peso, tasa de respiración y de producción de etileno de frutos de piña sometidos a impacto y compresión, se observa la obtención de la tasa de respiración y de producción de etileno, de los frutos de piña variedad Cayena lisa y MD-2 sometidos a impacto y compresión.

Cuadro 2. Pérdida de peso, etileno (C₂H₄) y tasa de respiración (CO₂), sometidos a impacto según la variedad.

Variedad	% Pérdida de peso	Etileno [ppm]	CO ₂ [mL kg ⁻¹ .h ⁻¹]
Cayena Lisa	1.07b	16.69b	36.53a
MD-2	2.66a	39.86a	31.06b

Letras minúsculas diferentes entre columnas indican diferencia significativa de acuerdo con la prueba de medias Tukey ($p \leq 0.05$).

Se muestran los resultados entre las variedades donde la MD-2 presentó mayor valor de pérdida de peso [%] y etileno en [ppm] con diferencia significativa ($p < 0.05$; $r^2=0.59$ y $r^2=0.20$) con valores de (2.66 y 39.86 %) respectivamente, sin embargo, la variedad Cayena lisa obtuvo mayor producción de CO₂ de ($p < 0.05$; $r^2=0.31$) 36.53 mL CO₂ kg⁻¹.h⁻¹ en comparación con la MD-2 (cuadro 2).

Cuadro 3. Pérdida de peso, concentración de etileno (C₂H₄) y tasa de respiración (CO₂), sometidos a impacto según la superficie.

Superficie	% Pérdida de peso	Etileno [ppm]	CO ₂ [mL kg ⁻¹ h ⁻¹]
Madera	2.01a	27.96a	32.84a
suelo	1.72b	28.58a	34.75a

Letras minúsculas diferentes entre columnas indican diferencia significativa de acuerdo con la prueba de medias Tukey ($p \leq 0.05$).

Se encontró que al someterlo al impacto en la superficie suelo obtuvo mayor concentración de etileno con diferencia significativa ($p < 0.05$; $r^2=0.31$) [ppm] ($p < 0.05$; $r^2=0.20$) y CO₂ de 28.58 y 34.75 mL CO₂ kg⁻¹.h⁻¹ respectivamente, sin embargo, no se obtuvo diferencias significativas con la superficie madera (cuadro 3).

Cuadro 4. Pérdida de peso, etileno (C₂H₄) y tasa de respiración (CO₂), sometidos a impacto según la posición.

Posición	% Pérdida de peso	Etileno [ppm]	CO ₂ [mL kg ⁻¹ .h ⁻¹]
Horizontal	2.05a	28.55a	28.16b
Vertical	1.68b	28.01a	39.43a

Letras minúsculas diferentes entre columnas indican diferencia significativa de acuerdo con la prueba de medias Tukey ($p \leq 0.05$).

De acuerdo a los resultados, la posición horizontal presentó diferencia significativa ($p < 0.05$; $r^2=0.50$) de 0.37 % pérdida de peso, para la producción de etileno no hubo diferencias significativas ($p < 0.05$; $r^2=0.31$) entre las posiciones, sin embargo, la posición vertical presentó diferencia significativa con respecto a la posición horizontal en producción de CO₂ con una media ($p < 0.05$; $r^2=0.68$) de 39.43 mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ (cuadro 4).

Tasa de respiración y de producción de etileno de los frutos de piña variedad Cayena lisa y MD-2 sometidos a compresión con respecto a la variedad y la fuerza (N), cuadro 5 y 6.

Cuadro 5. Obtención de la pérdida de peso, etileno (C₂H₄) y tasa de respiración (CO₂), sometidos a compresión según la variedad.

Variedad	% Pérdida de peso	Etileno [ppm]	CO ₂ [mL kg ⁻¹ .h ⁻¹]
Cayena lisa	0.55b	17.53a	46.93a
MD-2	1.88a	17.32a	39.63b

Letras minúsculas diferentes entre columnas indican diferencia significativa de acuerdo con la prueba de medias Tukey ($p \leq 0.05$).

Con respecto a la variedad MD-2, presentó una diferencia significativa ($p < 0.05$; $r^2=0.30$) de 1.33 % para la pérdida de peso. La variable etileno no presentó diferencias significativas entre las variedades, sin embargo, para la tasa de respiración CO₂ la variedad Cayena lisa presentó diferencias significativas ($p < 0.05$; $r^2=0.70$) con diferencia de 7.3 mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ (cuadro 5).

Cuadro 6. Obtención de la pérdida de peso, etileno (C₂H₄) y tasa de respiración (CO₂), sometidos a compresión según la fuerza.

Fuerza (N)	% Pérdida de peso	Etileno [ppm]	CO ₂ [mL kg ⁻¹ h ⁻¹]
0	1.03.a	16.40a	40.36b
300	1.42a	17.04a	44.74a
400	1.12a	18.87a	44.95a

Letras minúsculas diferentes entre columnas indican diferencia significativa de acuerdo con la prueba de medias Tukey ($p \leq 0.05$).

El % de pérdida de peso y etileno no mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$; $r^2=0.70$) entre tratamientos sin embargo a fuerzas de compresión sometidas de 300 y 400 N resultaron con más tasa de respiración de (44.74 y 44.95 mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹) respectivamente en comparación con la fuerza 0 N (cuadro 6).

COMPRESIÓN

El porcentaje de pérdida de peso, producción de etileno [ppm] y tasa de respiración [mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹] a una compresión de 300 N y 400 N durante 6 días seguidos en frutos de piña variedad MD-2 y Cayena lisa.

Cuadro 7. Porcentaje de pérdida de peso por día de frutos de piña sometidos a compresión. Comparación entre tratamientos.

Tratamiento	Días en (%)					
	1	2	3	4	5	6
T1 (v1,FO)	0.16 b	0.21 b	0.21 b	0.22 b	1.61 a	0.42 a
T2 (v1,F300)	0.17 b	0.37 b	0.35 b	0.22 b	1.76 a	0.59 a
T3 (v1,F400)	0.21 b	0.29 b	0.57 b	0.20 b	1.68 a	0.71 a
T4 (v2,FO)	3.88 a	0.51 b	2.10 a	0.56 a	2.00 a	0.46 a
T5 (v2,F300)	3.01 a	6.64 a	1.89 a	0.49 a	2.05 a	0.45 a
T6 (v2,F400)	3.88 a	0.31 b	2.12 a	0.58 a	2.34 a	0.53 a

v1=variedad cayena lisa, v2=variedad MD-2, F0= fuerza 0 N, F300= fuerza 300 N, F400= fuerza 400 N. Letras minúsculas diferentes entre columnas indican diferencia significativa de acuerdo con la prueba de medias Tukey ($p \leq 0.05$).

De los datos analizados, el Tratamiento 5 en el día 2 presentó la mayor pérdida de peso con una diferencia significativa ($p < 0.05$; $r^2=0.30$) de 6.64 % esto se debe a que las piñas resultaron con mayor deformidad y ruptura en la cáscara en comparación con los otros tratamientos, por otro lado, los tratamientos T1 y T2 presentaron la menor pérdida con un 0.16 y 0.17 % respectivamente para el día 1, debido a que los frutos presentaron mayor resistencia a las compresiones (cuadro 7).

Cuadro 8. Producción de etileno por cada de frutos de piña sometidos a compresión. Comparación entre tratamientos.

Tratamiento	Días en [ppm]					
	1	2	3	4	5	6
T1 (v1,F0)	16.80 a	17.69 c	21.52 a	11.23 c	18.68 a	11.01 b
T2 (v1,F300)	18.40 a	19.11 c	23.51 a	13.43 b	19.78 a	13.83 a
T3 (v1,F400)	18.36 a	19.25 c	26.67 a	14.67 b	21.09 a	14.96 a
T4 (v2,F0)	7.85 b	34.80 a	12.54 a	24.26 a	15.24 a	5.16 d
T5 (v2,F300)	8.70 b	29.22 b	12.50 a	24.57 a	20.10 a	5.62 cd
T6 (v2,F400)	9.41 b	29.30 b	23.16 a	24.86 a	17.86 a	6.61 c

v1=variedad cayena lisa, v2=variedad MD-2, F0= fuerza 0 N, F300= fuerza 300 N, F400= fuerza 400 N. Letras minúsculas diferentes entre columnas indican diferencia significativa de acuerdo con la prueba de medias Tukey ($p \leq 0.05$).

Muestra los resultados, el Tratamiento 4 resultó con la mayor diferencia significativa ($p < 0.05$; $r^2=0.39$) en producción de 34.80 ppm en el día 2 en comparación con el día 6 reportando el nivel más bajo 5.16 ppm debido a que los primeros días hay más etileno producido por las fuerzas aplicadas en los frutos (cuadro 8).

Cuadro 9. Tasa de respiración por día de frutos de piña sometidos a compresión. Comparación entre tratamientos.

Tratamiento	Días en [mL CO ₂ kg ⁻¹ h ⁻¹]					
	1	2	3	4	5	6
T1 (v1,F0)	27.05 ab	44.25 a	69.74 ab	37.74 c	47.34 b	23.19 bc
T2 (v1,F300)	31.14 a	47.63 a	75.90 a	56.47 ab	50.31 ab	29.06 ab
T3 (v1,F400)	35.57 a	52.70 a	81.28 a	58.43 a	59.14 a	33.24 a
T4 (v2,F0)	33.54 b	62.79 a	54.0 bc	41.53 bc	39.92 c	21.23 c
T5 (v2,F300)	32.80 a	65.21 a	64.25 ac	41.97 bc	31.76 c	23.62 bc
T6 (v2,F400)	26.44 ab	52.59 a	48.82 c	32.63 c	34.69 c	23.41 bc

v1=variedad cayena lisa, v2=variedad MD-2, F0= fuerza 0 N, F300= fuerza 300 N, F400= fuerza 400 N. Letras minúsculas diferentes entre columnas indican diferencia significativa de acuerdo con la prueba de medias Tukey ($p \leq 0.05$).

De los resultados obtenidos, el Tratamiento 3 presentó el mayor valor de pérdida de tasa de respiración con una diferencia significativa ($p < 0.05$; $r^2=0.70$) de 81.28 mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ en el día 3, en comparación con el T4 en el día 3 resultando la menor tasa de respiración de 20.54 mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹, esto se debe a que los frutos entre más días sometidos a compactación de fuerzas menor producción de etileno produce hasta llegar a la senescencia (cuadro 9).

IMPACTO DE DOS VARIEDADES DE PIÑA

Cuadro 10. Porcentaje de pérdida de peso por día de frutos de piña sometidos a impacto. Comparación entre tratamientos.

Tratamiento	Días en (%)					
	1	2	3	4	5	6
T1 (v1p1s1)	2.10 de	0.51 d	1.37 c	0.52 b	1.27 ab	0.75 cd
T2 (v1p2s1)	1.98 e	0.80 d	1.10 c	0.69 b	1.21 ac	0.68 cd
T3 (v1p1s2)	1.47 e	1.25 cd	1.20 c	1.11 b	1.00 bc	0.67 cd
T4 (v1p2s2)	1.81 e	1.28 cd	1.05 c	0.83 b	0.58 c	0.39 d
T5 (v2p1s1)	6.14 a	2.95 ab	2.40 ab	2.36 a	1.59 ab	3.21 a
T6 (v2p2s1)	4.89 ab	2.08 bc	2.44 ab	2.95 a	1.44 ab	2.74 a
T7 (v2p1s1)	4.56 bc	3.45 a	2.52 a	2.87 a	1.88 a	1.96 b
T8 (v2p2s2)	3.35 cd	1.94 c	1.73 bc	1.29 b	1.84 a	1.20 c

v1=variedad cayena lisa, v2=variedad MD-2 p1=posición horizontal, p2=posición vertical, s1=superficie suelo, s2=superficie madera. Letras minúsculas diferentes entre columnas indican diferencia significativa de acuerdo con la prueba de medias Tukey ($p \leq 0.05$).

De los datos analizados el T5 y T6 resultaron con valores altos con diferencia significativa ($p < 0.05$; $r^2=0.59$) en pérdida de peso en el día 1 de 6.14 y 4.89 % respectivamente debido al impacto al que se sometieron, encontrándose diferencia significativa, en comparación con T4 en el día 6 con un valor de 0.39 % (cuadro 10).

Cuadro 11. Producción de etileno por día de frutos de piña sometidos a impacto. Comparación entre tratamientos.

Tratamiento	Días en ppm					
	1	2	3	4	5	6
T1 (v1p1s1)	7.93 bc	9.49 b	25.21 bc	25.76 ac	15.66 b	25.63 a
T2 (v1p2s1)	7.00 bc	7.49 b	12.83 c	23.73 bc	16.53 b	13.14 a
T3 (v1p1s2)	1.65 c	10.09 b	32.56 b	31.83 ac	18.18 b	22.43 a
T4 (v1p2s2)	7.87 bc	15.39 b	17.83 bc	22.74 ac	17.96 b	11.60 a
T5 (v2p1s1)	12.80 a	64.68 a	15.38 c	31.37 ac	26.16 ab	20.44 a
T6 (v2p2s1)	70.80 a	62.24 a	50.95 a	35.05 ac	26.56 ab	64.33 a
T7 (v2p1s1)	74.29 a	69.29 a	58.77 a	41.46 a	25.20 ab	18.83 a
T8 (v2p2s2)	13.14 b	65.30 a	18.06 bc	39.16 ab	31.71 a	20.61 a

v1=variedad cayena lisa, v2=variedad MD-2 p1=posición horizontal, p2=posición vertical, s1=superficie suelo, s2=superficie madera. Letras minúsculas diferentes entre columnas indican diferencia significativa de acuerdo con la prueba de medias Tukey ($p \leq 0.05$).

De los resultados de producción de etileno el T6 y T7 resultan con las mayores concentraciones con diferencia significativa ($p < 0.05$; $r^2=0.20$) en el día uno de 70.80 y 74.29 ppm respectivamente, esto se debe a que el impacto a estos frutos tuvo menor resistencia en comparación con el T3 que presentó la menor producción de etileno con 1.65 ppm en el mismo día (cuadro 11).

Cuadro 12. Tasa de respiración por día de frutos de piña sometidos a impacto. Comparación entre tratamientos.

Tratamiento	Días en [mL CO ₂ kg ⁻¹ h ⁻¹]					
	1	2	3	4	5	6
T1 (v1p1s1)	24.42 bc	30.55 b	44.72 a	51.35 a	31.92 bc	31.83 a
T2 (v1p2s1)	40.29 ab	34.70 ab	40.66 ab	50.50 a	35.16 ab	26.01 a
T3 (v1p1s2)	22.55 bc	31.47 b	41.68 ab	49.34 a	35.23 ab	21.85 a
T4 (v1p2s2)	28.48 bc	36.79 ab	44.36 a	50.02 a	47.51 a	26.45 a
T5 (v2p1s1)	11.92 c	13.81 c	27.00 b	27.22 c	21.29 c	20.34 a
T6 (v2p2s1)	41.51 ab	36.38 ab	36.79 ab	45.28 ab	37.43 ab	28.04 a
T7 (v2p1s1)	12.06 c	15.06 c	30.74 ab	29.87 bc	22.01 c	28.67 a
T8 (v2p2s2)	51.76 a	44.08 a	44.79 a	52.94 a	38.62 ab	27.73 a

v1=variedad cayena lisa, v2=variedad MD-2 p1=posición horizontal, p2=posición vertical, s1=superficie suelo, s2=superficie madera. Letras minúsculas diferentes entre columnas indican diferencia significativa de acuerdo con la prueba de medias Tukey ($p \leq 0.05$).

La mayor producción de la tasa de respiración con diferencia significativa ($p < 0.05$; $r^2=0.31$), en el día 4 se mostró en los tratamientos T8, T4, T2 y T1 (52.94, 50.50, 51.35 y 50.02 mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ respectivamente) en comparación con el primer día para los tratamientos T5 y T7 con (11.92 y 12.06 mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹) (cuadro 12).

DISCUSIÓN

La caracterización fisicoquímica de los frutos de piña de las variedades Cayena lisa y MD-2 permitió identificar y reconocer sus diferencias, estos resultados concuerdan en algunos casos y difieren en otros, con estudios realizados por diferentes autores.

Variables bioquímicas

Los valores en concentraciones de azúcares varían de acuerdo a las características de producción, estado de madurez y variedades, en esta investigación se reportan los resultados donde se obtuvieron unas medias de 13.76 % en la variedad Cayena lisa y 14.40 % en MD-2, similares resultados mencionados por Godoy *et al.*, (2017), donde obtuvieron 15.28 % en el contenido de °Brix en frutos completamente maduros, en la influencia del índice de madurez en la calidad de la piña (*Ananas comosus* L. Merr) mínimamente procesada, así mismo Rojas (2014) en la caracterización fisicoquímica de frutos de piña variedad Cayena lisa presentó promedios de 13 % °Brix, resultados menores a los obtenidos, en general el contenido de azúcar de cada variedad depende de las prácticas culturales, las condiciones geográficas y climatológicas (De Ancos *et al.*, 2017).

El pH puede variar de acuerdo a las variedades y condiciones de cultivo de piña, principalmente de suelo, los resultados de esta investigación muestran en la variedad MD-2 una media de 4.2 % y para la variedad Cayena lisa 3.8 %; Chowdhury *et al.*, (2022) muestran resultados similares en las propiedades fisicoquímicas en frutos de piña, para las variedades Giant kew y Honey con promedios de pH 4.36 % y 4.35 % respectivamente; Para la variedad Cayena lisa,

Rojas, (2014) reportó promedios de pH 4.72 %; Martínez, (2023) muestra en el manejo integrado de nutrientes en el cultivo de piña bajo condiciones de agricultura protegida un pH promedio menor al nuestro de 3.90 % en frutos de piña variedad MD-2, Ancos *et al.*, (2017) reportan un análisis en la composición y nutrición de la piña, en el manual de tecnología de la piña: producción, ciencia postcosecha, procesamiento y nutrición, los valores de pH oscilan entre 3.9 % y 5.0 % para frutos de piña. Así mismo Morales *et al.*, (2001) en la caracterización de la maduración del fruto de piña nativa (*Ananas comosus* L. Merrill) CV. India, reportan el comportamiento el pH en los frutos con un promedio de 3.83 %, Villalba et al, (2005), realizaron análisis de medias en la caracterización físico-química de frutas de piña de la zona del SINU para su agroindustrialización con un pH promedio de 3.23 %, estos valores son muy similares a los obtenidos en la presente investigación.

Características físicas

Los resultados de peso de los frutos obtenidos de la variedad MD-2 reportó un promedio de 1,551.3 g y la variedad Cayena lisa con una media más alta de 2,233.33 g, con respecto a la variedad MD-2, Martínez, (2023) con el manejo integrado de nutrientes bajo condiciones de agricultura protegida obtuvo un promedio inferior en el peso total de frutos de 1,094.2 g, y una media en el peso de las coronas de frutos de piñas de 410 g este siendo superior al peso reportado por esta investigación con una media de 226.50 g para la variedad Cayena lisa; para la variable longitud de corona se reportó la variedad cayena lisa con 23.83 cm y en la variedad MD-2 18.4 cm, similares resultados reportados por Rodríguez, (2022) en

la caracterización de frutos de piña para el diseño de un mecanismo para la separación del fruto (*Ananas comosus*), obtuvo en longitud de corona para la variedad MD-2 una media de 18.4 cm.

Tasa de respiración, producción de etileno y pérdida de peso

La obtención de las características de tasa de respiración y de producción de etileno en frutos de piña sometidos a impacto y compresión desempeñan un papel importante para la madurez fisiológica, transporte y comercialización del producto. los frutos de piña de la variedad MD-2 y Cayena lisa fueron sometidos a impacto y compresión significando un aumento en el % de pérdida de peso de 6.14 y 6.64 % respectivamente. Godoy *et al.*, (2017) reportan para la variedad de piña Española Roja, a medida que el tiempo fue transcurriendo el porcentaje de pérdida de peso en los frutos fue aumentando en promedio desde 0.17 hasta un 0.48 % al final de la evaluación. Morales *et al.*, (2001) en la caracterización de la maduración del fruto de piña nativa (*Ananas comosus* L. Merrill) CV. India, los frutos presentaron un promedio en la pérdida de peso del 12 %, estos resultados se obtuvieron sin haber sometido los frutos a presión, por lo que resultan menores a los nuestros.

Los frutos de piña fueron sometidos a compresión e impacto lo que provocó un aumento en la tasa de respiración conforme van pasando los días de 81.28 y 52.94 mL CO₂ kg⁻¹h⁻¹, esta investigación difiere con los resultados que Morales *et al.*, (2001) obtuvo en la caracterización de la maduración del fruto de piña nativa (*Ananas comosus* L. Merrill) CV. India, reportan que, durante la maduración de los frutos de piña nativa para la intensidad respiratoria, no existe diferencias significativas en el

transcurso del tiempo, los resultados encontrados en dicha investigación oscilan entre los valores de 9.66 y 10.41 mg CO₂ kg⁻¹h⁻¹ y Paull y Chen, (2014), reportan los valores promedio de intensidad respiratoria en frutos de piña, en los cuales la producción de CO₂ varía entre 4 - 16 mg CO₂ kg⁻¹h⁻¹. Por otro lado, Villaseñor *et al.*, (2006) reportan en el comportamiento mecánico y fisiológico de frutos de melón bajo compresión axial, que se registraron incrementos significativos en la producción de etileno y velocidad de producción de CO₂ al aumentar la deformación por la carga aplicada y con estado de madurez avanzado del fruto. Caso similar sucedió en sandías, al ser sometidas a una compresión estática de un peso de 58.8 N durante una hora, después de 11 horas hubo un incremento en la intensidad respiratoria para los frutos dañados (Durigan *et al.*, 2007) y otros casos similares donde se observa el incremento de la respiración de diversos frutos al ser sometidos a daños mecánicos, en chicozapote (*Manilkara zapota* L.) (López *et al.*, 2011), cítricos (naranjas, limas, mandarinas) (Montero *et al.*, 2011), mango (*Mangifera Indica* L) (Negrín *et al.*, 2013), durazno (*Prunus pérsica* L.) (Escamilla *et al.*, 2013), tomate (*Lycopersicon esculentum* P. Mill.) (Ghaffari *et al.*, 2015), guayaba (*Psidium guajava* L.) (Martínez *et al.*, 2017), aguacate Hass (*Persea americana* Mill) (Herrera *et al.*, 2017), jiotilla (*Escontria chiotilla*) (Piña *et al.*, 2018), liches (*Litchi chinensis* Sonn) (Wang *et al.*, 2018), papaya (*Carica papaya* L.) (Arrázola *et al.*, 2021), banano (*Mussa paradisiaca* L.) (Pathare y Al-Dairi, 2022).

Liu *et al.*, (2023), dan a conocer la compresión de frutos de piña mediante la predicción del daño mecánico interno con el método de elementos finitos basados en las leyes de Hooke y Hertz reportan, que la piña colocada horizontalmente cuyo número permitido de piñas apilables debe ser menor de ocho, de lo contrario, la

fuerza máxima permitida de la fruta apilada sobre la más baja alcanzará la ruptura de la pulpa, lo que me puede indicar incrementos en la pérdida de peso y en la respiración se dieron por la ruptura de pulpa.

CONCLUSIONES

1. De la caracterización físico-química de dos variedades de fruto de piña (Cayena Lisa y MD-2) determinados en cuatro estados de maduración (sazona, un cuarto, tres cuartos y madura), se encontró que los niveles de sacarosa y fructosa es mayor en la variedad MD-2 con un valor 19 y 17 % respectivamente, mientras que en la concentración de pH 3.7 no se encontró diferencia significativa.
2. Con relación a los daños mecánicos de los frutos provocados por compresión estática, se concluye que a mayor tiempo de sometimiento de compresión hay un mayor daño físico- mecánico en la piña completamente madura en la variedad MD-2 que en la Cayena lisa en el mismo estado de madurez.
3. Para los frutos de piña sometidos a impacto en suelo y madera, la variedad MD-2 resultó con más porcentaje de pérdida de peso y producción de etileno, mientras que la variedad cayena lisa presentó la mayor tasa de respiración.
4. En los frutos de piña sometidos a compresión vertical, la variedad cayena lisa presentó los valores altos en producción de etileno 28.55 ppm y en la tasa de respiración 39.43 mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹, mientras que el porcentaje de pérdida de peso se manifestó en la variedad MD-2 obteniendo un valor de 1.68 %.
5. Por lo tanto, el estudio del análisis fisicoquímico y daños mecánicos en los frutos de piña variedad Cayena Lisa y MD-2 en los cuatro estados de madurez, nos permitirá proponer alternativas para reducir los daños ocasionados durante la manipulación en la cosecha y postcosecha.

LITERATURA CITADA

- Arrázola, G., Villadiego, F., & Alvis, A. (2021). Mechanical properties and simulation of finite element firmness in Carica papaya L. Tainung F1 cultivated on the high Sinu (Cordoba-Colombia). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 15(1), 9.
<https://doi.org/10.17584/rcch.2021v15i1.10809>
- Balaguera, L., H., E., Salamanca-Gutiérrez, F., A., García, J., C., & Herrera-Arévalo, A. (2014). Etileno y retardantes de la maduración en la postcosecha de productos agrícolas. Una revisión. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 8(2), 302-313.
- Bapat, V., A., Trivedi, P., K., Ghosh, A., Sane, V., A., Ganapathi, T., R., y Nath, P. (2010). Maduración de frutos carnosos: visión molecular y el papel del etileno. *Avances en biotecnología*, 28 (1), 94-107.
- Bartholomew, D., P., Paul, R., E., and Rohrbach K., G. (2003). The pineapple: botany, production and uses. University of Hawaii at Mano a Honolulu.
- Cerrato, I. (2013). Panorama Mundial De La Piña 1–10. Consultado 05/02/24.
<https://studylib.es/doc/7873765/panorama-mundial-de-la-pi%C3%B1a>
- Chia, K., S., Abdul, R., H., & Abdul., R., R. (2012). Neural network and principal component regression in non-destructive soluble solids content assessment: a comparison. *Journal of Zhejiang University Science B*, 13, 145-151.
- Chowdhury, T., Akbar, G., W., & Absar, N. (2022). Physicochemical properties and sensory attributes of homemade bakery products from two local varieties of pineapple compared with the locally available market products in Bangladesh. *Asian Food Science Journal*, 92-101. [DOI: 10.9734/AFSJ/2022/v21i1030479](https://doi.org/10.9734/AFSJ/2022/v21i1030479)

CIBIOGEM-CONABIO, P., G. (2012). Sistema de Información de Organismos Vivos Modificados (SIOVM). Retrieved 10.01.

De Ancos, B., Sánchez, M., C., & Adolfo, G. (2017). Pineapple composition and nutrition. Handbook of pineapple technology: production, postharvest science, processing and nutrition.

<https://doi.org/10.1002/9781118967355.ch12>

De la Cruz, M., & García, H.S., (2005). Pineapple Post-harvest Operations [Archivo PDF]. <https://www.fao.org/3/ax438e/ax438e.pdf>.

Durigan, M., F., B., & Mattiuz, B., H. (2007). Injúrias mecânicas e seus efeitos na qualidade de melancias armazenadas em condição ambiente. *Horticultura Brasileira*, 25, 296-300.

Escamilla, V., M., G., Chávez, F., S., H., Mendoza, R., Y., Y., Molina, G., J., N., & Sangerman, J., D., M., (2013). Diseño, fabricación y evaluación del prototipo de simulación de esfuerzos dinámicos en durazno (*Prunus persica*). *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 4(6), 933-945.

FAO. (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2022. Production Indices. Consultado 05/02/24.

<https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>

Ghaffari, H., Ghassemzadeh, H., R., Sadeghi, M., & Alijani, S. (2015). Some physical, mechanical and chemical properties of tomato fruit related to mechanical damage and bruising models. In *Biological Forum* Vol. 7, No. 2, pp. 712-718. Research Trend.

- Godoy, Y., Rojas, B., de Camacaro, M., E., P., Giménez, A., Petit, J., D., & Alvarado, G., P. (2017). Influencia del índice de madurez en la calidad de la piña (*Ananas comosus* L. Merr) mínimamente procesada. *Agroindustria, Sociedad y Ambiente*, 1(8), 36-47.
- Herrera, G., J., A., Venegas G., E., y Madrigal H., L. (2017). Proporciones de daños mecánicos y su efecto en calidad poscosecha de aguacate 'Hass'. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8(SPE19), 3897-3909.
<https://doi.org/10.29312/remexca.v0i19.659>
- Kays, S., J., & Paull. R., E., (2004). Postharvest biology. Exxon Press, Athens, GA.
- Liu, W., Liu, T., Zeng, T., Ma, R., Cheng, Y., Zheng, Y., & Qi, L. (2023). Prediction of internal mechanical damage in pineapple compression using finite element method based on Hooke's and Hertz's laws. *Scientia Horticulturae*, 308, 111592.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111592>
- López, A., P., Perea, C., A., V., Vázquez, A., C., Fajardo, D., M., R., Tejacal, I., A., & León, M., T., C. (2009). Comportamiento mecánico y fisiológico de frutos de zapote mamey [*Pouteria sapota* (Jacq.) HE Moore & Stearn] bajo compresión. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 1(2).
[doi: 10.5154/r.inaqbi.2010.02.002](https://doi.org/10.5154/r.inaqbi.2010.02.002)
- López, B., V., Villaseñor, P., C., A., & Pérez, L., A. (2011). Propiedades mecánicas y respuesta fisiológica de frutos de chicozapote bajo compresión axial. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 20(3), 73-80.
- Lu, X., H., Sun, D., Q., Wu, Q., S., Liu, S., H., & Sun, G., M. (2014). Physico-chemical properties, antioxidant activity and mineral contents of pineapple genotypes grown in China. *Molecules*, 19(6), 8518-8532.

<https://doi.org/10.3390/molecules19068518>

- Martínez, C., J. (2023). Manejo integrado de nutrientes en el cultivo de piña bajo dos condiciones de agricultura. [Tesis de Ingeniería, Universidad del Papaloapan Campus Loma Bonita Oaxaca].
- Martínez, M., H., Pérez, L., A., del Rosario V., O., M., y Valle, G., S. (2017). Propiedades físico-mecánicas y simulación por computadora del daño por impacto en guayaba (*Psidium guajava* L.).
- Mohsenin, N., N. (1970). Physical properties of plant and animal Materials. Vol. I. Structure, Physical Characteristics and Mechanical Properties. Gordon and Breach Science Publishers. New York. 721 p.
- Monge-Muñoz, M. (2018). Guía para la identificación de las principales plagas y enfermedades en el cultivo de piña. [Archivo PDF] <https://hdl.handle.net/10669/80287>
- Morales, M., Soledad, H., y Cabezas, M., Barrera., J., Martínez., O. (2001). caracterización de la maduración de frutos de piña nativa (*Ananas comosus* L. Merrill) CV. INDIA. *Agronomía Colombiana*, 18(1-2), 7-13.
- Negrín, H., L., I., Barros, B., R., Da Silva, D., A., C., Figueiredo, N., A., y Cárdenas, O., N. (2013). Comportamiento mecánico de dos variedades de mango (*Mangifera Indica*) bajo compresión axial. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 22(2), 11-15.
- Ochoa-Martínez, D., L., Uriza, Á., D., E., Rojas, M., R., I., and Rodríguez, M., D. (2016). Detection of pineapple mealybug wilt-associated virus 1 and 3 in México. *Revista Mexicana de Fitopatología*. 34(2), 131–141.

<https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.1601-1>

Official Methods of Analysis., (2000). 17th Ed., AOAC International, Gaithersburg, MD, Method. 996.06

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).

(2018). Las principales frutas tropicales. Análisis del mercado 2022.

Recuperado 05 de febrero de 2024 de

<https://www.fao.org/3/cc7108es/cc7108es.pdf>

Pathare, P., B., & Al-Dairi, M. (2022). Effect of mechanical damage on the quality characteristics of banana fruits during short-term storage. *Discover Food*, 2(1), 4. Disponible: <https://link.springer.com/article/10.1007/s44187-022-00007-7> | <https://doi.org/10.1007/s44187-022-00007-7>

Paull, R., E., & Chen, C., C. (2014). Pineapple: postharvest quality-maintenance guidelines. *Fruit, Nut, and Beverage Crops*, 2, 1-6.

https://www.ctahr.hawaii.edu/oc/freepubs/pdf/F_N-32.pdf

Perea, C., A., V., Franco, S., H., C., Veloz, C., S., Zazueta, A., S., Palencia, L., L., L., & Gómez, L., H., H. (2006). Comportamiento mecánico y fisiológico de frutos de melón (*Cucumis melo* L.) bajo compresión axial. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 29(2), 157-157.

Piña, M., M., Hernández, T., A., Bañuelos, B., C., Frías, A., A., De La Cruz, G., G., y Negrete, P., M. (2018). Vida postcosecha de frutos de jiotilla sometidos a golpeo.

<http://hdl.handle.net/11191/8302>

Polat, R., Aktas, T., E., y Ikinçi, A. (2012). Propiedades mecánicas seleccionadas y susceptibilidad a magulladuras de frutos de nectarina. *Revista internacional de propiedades alimentarias*, 15 (6), 1369-1380.

- Ramírez, F. (2007). Cosecha y acondicionamiento de frutas para la comercialización. In *Memorias Primer Simposio Colombiano sobre Producción, Agroindustria y Comercialización de Frutas Tropicales. Palmira, Colombia* (pp. 136-149).
- Rebolledo, M., A., Uriza A., D., E., del Ángel, P., A., L., Rebolledo M., L., y Zetina L., R. (2011). La piña y su cultivo en México: Cayena Lisa y MD2. México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- Rodríguez, H., L., A. (2022). Diseño de un mecanismo para la separación del fruto de piña (*Ananas comosus*). [Tesis de Ingeniería, Universidad del Papaloapan Campus Loma Bonita Oaxaca].
- Rodríguez, R., J., M. (2010). Biología y distribución espacial del picudo (*Metamasius* spp.) (Coleoptera: Curculionidae) en plantación comercial de piña (*Ananas comosus*) (L.) Merr. [Tesis de Ingeniería, Instituto Tecnológico De Costa Rica Sede Regional San Carlos]. <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/2748>
- Rojas, S., M., L. (2015). Irradiación UVC y tiempo de almacenamiento en características fisicoquímicas, recuento de mohos y levaduras en *Ananas comosus* VAR. Cayena Lisa, mínimamente procesada. *Cientifi-k*, 2(1), 47-61.
- SADER. (secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural). (2020). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Disponible en: <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/crece-16-2-produccion-de-pina-en-mexico-durante-2020> Consultado: 20/01/2022.
- SADER. (Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural). (2021). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Disponible en: <https://www.gob.mx/agricultura>. Consultado: 20/08/2023.
- Sánchez, M., Ahuja, S., y Acevedo, R. (2015). Producción de Piña Cayena Lisa y

MD-2 (*Ananas comosus* L.) en condiciones de Loma Bonita, Oaxaca. *Manual TI*, 100.

Santoyo, J., A., y Martínez, C., O. (2011). Paquete tecnológico para la producción de piña en el sur de Sinaloa. Fundación Produce Sinaloa, Rosario, México.

Uriza, A., D., E. (2011). Paquete Tecnológico Piña MD2 (*Ananas comosus* var. *comosus*): Establecimiento y mantenimiento. Centro de Investigación Regional Golfo Centro-Campo.

Uriza-Ávila, D., E., Torres-Ávila, A., Aguilar-Ávila, J., Santoyo-Cortés, V., H., Zetina-Lezama, R., y Rebolledo-Martínez, A. (2018). La piña mexicana frente al reto de la innovación. Avances y retos en la gestión de la innovación. Colección Trópico Húmedo. Chapingo, Estado de México. México: UACH.

Victoria-Escamilla, M., G., Chávez, F., S., H., Mendoza, R., Y., Y., Molina, G., J., N., y San German, J., D., M. (2013). Diseño, fabricación y evaluación del prototipo de simulación de esfuerzos dinámicos en durazno (*Prunus persica*). *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 4(6), 933-945.

Villalba, M., Yepes, I., M., y Paternina, G., S., A. (2006). Caracterización fisicoquímica de frutas de la zona del Sinú para su agroindustrialización. *Temas agrarios*, 11(1), 15-23.

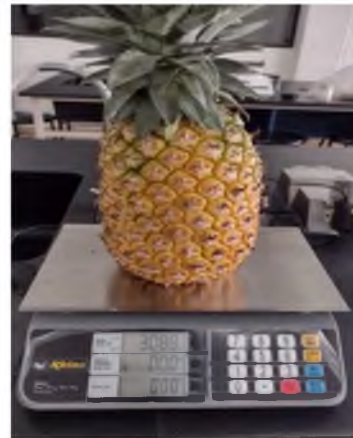
Villaseñor, C., A., P., Franco, S., H., C., Veloz, C., S., Zazueta, A., S., Palencia, L., L., L., & Gómez, L., H., H. (2006). Comportamiento mecánico y fisiológico de frutos de melón (*Cucumis melo* L.) bajo compresión axial. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 29(2), 157-162.

- Wang, W., Yang, Z., Lu, H., & Fu, H. (2018). Mechanical damage caused by fruit-to-fruit impact of litchis. *IFAC-PapersOnLine*, 51(17), 532-535.
<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.154>
- Wills, R., B., H., McGlasson, W., B., Graham, D., y Joyce, D., C. (2007). Postcosecha: una introducción a la fisiología y manejo de frutas, hortalizas y ornamentales. CABI.
- Zetina, L., R., Rebolledo M., A., and Uriza A., D. (2005). Soil Characterization of Pineapple Producing Regions of Mexico. *Acta Hort. (ISHS)*. 666, 51–58.
- Zhang, L., Jiang, L., Shi, Y., Luo, H., Kang, R., & Yu, Z. (2012). Post-harvest 1-methylcyclopropene and ethephon treatments differently modify protein profiles of peach fruit during ripening. *Food research international*, 48(2), 609-619.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.05.022>

ANEXOS

Evidencia fotográfica del trabajo realizado a lo largo del experimento

Análisis físico de los frutos de piña en la variedad Cayena lisa y MD-2 en los cuatro estados de madurez comercial.







Frutos de piña sometidos a compresión estática a 30 Kg.



Frutos de piña sometidos a fuerzas de 300 y 400 N.





LA
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
CHAPINGO



Otorga la presente

CONSTANCIA

a: **ROLANDO VIVEROS JIMENEZ**

Por su participación como
PONENTE

en la modalidad Oral del trabajo titulado

DAÑOS MECÁNICOS EN FRUTOS DE PIÑA DE LA VARIEDAD CAYENA Y MD-2 Y SU RELACION CON LAS CARACTERÍSTICAS FISICO-QUIMICAS

cuyos autores son:

Rolando Viveros Jiménez, José Antonio Yam Tzec, José Orbelin Gutiérrez Hernández, Carlina Antonio Estrada, Maribel Reyes Osorio

Chapingo, Estado de México, del 03 al 08 de octubre de 2023.

Dra. Rosaura Reyes Canchola
Presidenta



1er Simposio

Avances en la Investigación Básica y Aplicada en el Agro Mexicano



LA UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN

Otorga la presente

CONSTANCIA

a: Rolando Viveros Jiménez

Por su participación como

P O N E N T E

En modalidad ORAL con el trabajo titulado:

Tasa de respiración de frutos de piña sometidos a compresión


cuyos autores son:


Rolando Viveros Jiménez, José Yam-Tzec, J. Orbelin Gutierrez-Hernandez, Maribel Reyes-Osornio

Loma Bonita, Oaxaca, Mexico, 14 Y 15 de Marzo de 2024




M.C. Héctor López Arjona
Vice-Rector Académico


Dr. José Antonio Yam Tzec
Jefe de carrera y presidente del Comité Organizador





RECONOCIMIENTO

A: Rolando Viveros Jiménez.

Por haber participado en el **FORO AGRO-UNPA 2024** en el cultivo de **PIÑA**, celebrado en la ciudad de Loma Bonita, Oaxaca el día 15 días del mes de febrero del 2024.


M.C. Hector López Arjona
Vice-Rector Académico




L.Z. Juan Lorenzo Francisco
Coordinador de Promoción del
Desarrollo



LA UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN

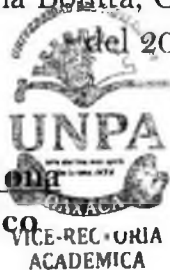
Otorgan el presente

RECONOCIMIENTO

A: Rolando Viveros Jiménez.

Por haber participado en el **FORO AGRO-UNPA 2024** en el cultivo de Chile, celebrado en la ciudad de Loma Bonita, Oaxaca el día 16 días del mes de febrero del 2024.

M.C. Héctor López Arjona
Vice-Rector Académico



L.Z. Juan Lorenzo Franciso
Coordinador de Promoción del Desarrollo