

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

POSGRADO EN INGENIERÍA AGRÍCOLA Y USO INTEGRAL DEL
AGUA

COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE LOS FRUTOS DE ZAPOTE
NEGRO (*Diospyros nigra* (J.F.Gmel.) Perr. & Perr.) EN POSTCOSECHA

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTOR EN INGENIERÍA AGRÍCOLA Y USO INTEGRAL DEL AGUA

PRESENTA:

GUADALUPE OLMEDO OBRERO



APROBADA



DIRECTOR DE TESIS:

DR. CARLOS A. VILLASEÑOR PEREA

Chapingo, Estado de México, Noviembre 2023

COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE LOS FRUTOS DE ZAPOTE NEGRO (*Diospyros nigra* (J.F.Gmel.) Perr. & Perr.) EN POSTCOSECHA

Tesis realizada por **Guadalupe Olmedo Obrero**, bajo la dirección del Comité asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN INGENIERÍA AGRÍCOLA Y USO INTEGRAL DEL AGUA

DIRECTOR:



Dr. Carlos A. Villaseñor Perea

ASESOR:



Dr. Arturo Mancera Rico

ASESOR:



Dr. Gilberto de Jesús López Canteñs

LECTOR EXTERNO ASESOR:



Dr. Frédéric Thalasso Siret

Agradecimientos

A la Universidad Autónoma Chapingo y al Posgrado de Ingeniería Agrícola que me brindaron la oportunidad de continuar mis estudios de posgrado.

A cada directivo por su trabajo y por su gestión para que los estudiantes tengamos las condiciones adecuadas, a cada docente por compartir sus conocimientos, a cada trabajador de la Universidad por su valioso apoyo para que tengamos las condiciones ideales para poder estudiar.

Al Consejo Nacional de Humanidades Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) México por el apoyo obtenido a través de la Beca No. 714055 durante esta etapa de mis estudios de posgrado.

A mis asesores por la generosidad de compartir su conocimiento.

A mis seres queridos por su apoyo incondicional sobre todo en los momentos difíciles.

A mis seres queridos que ya no están físicamente pero siguen inspirando.

Al creador por el regalo de esta vida.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

INFORMACIÓN BIOGRÁFICA



Información personal

Nombre:	Guadalupe Olmedo Obrero
Fecha de nacimiento:	24 de abril
Lugar de nacimiento:	Distrito Federal, México
Educación:	Ingeniería en Biotecnología, Instituto Politécnico Nacional Maestría en Biotecnología, Universidad Autónoma Metropolitana- Iztapalapa

RESUMEN GENERAL¹

COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE LOS FRUTOS DE ZAPOTE NEGRO (*Diospyros nigra* (J.F.Gmel.) Perr. & Perr.) EN POSTCOSECHA

TESIS

Los frutos de Zapote negro (*Diospyros nigra* (J.F.Gmel.) Perr. & Perr.) han enfrentado limitaciones en su comercialización. Por lo tanto, este estudio se enfoca en caracterizar las propiedades mecánicas de los frutos de Zapote negro en su estado de poscosecha, justo después de la cosecha. Además, se examina cómo estas propiedades cambian a lo largo del tiempo durante el almacenamiento, tanto en condiciones ambientales ($18.5\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ y HR de $43.7\text{ \%} \pm 3.9\text{ \%}$) como en condiciones de refrigeración comercial ($3.6\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ y HR de $44\text{ \%} \pm 6\text{ \%}$). El estudio también incluye la creación de modelos matemáticos que estiman el peso de los frutos basándose en sus propiedades geométricas.

Palabras clave: Zapote negro, *Diospyros nigra*, propiedades mecánicas

¹ Tesis de Doctorado en Ingeniería, Posgrado en Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua, Universidad Autónoma Chapingo.

Autor: Guadalupe Olmedo Obrero

Director: Dr. Carlos A. Villaseñor Perea

GENERAL ABSTRACT¹

MECHANICAL BEHAVIOR OF BLACK SAPOTE (*Diospyros nigra* (J.F.Gmel.) Perr. & Perr.) FRUITS IN POST-HARVEST

THESIS

The fruits of Black Sapote (*Diospyros nigra* (J.F.Gmel.) Perr. & Perr.) have faced limitations in their commercialization. Therefore, this study focuses on characterizing the mechanical properties of Black sapote fruits in their post-harvest state, immediately after harvesting. Furthermore, it examines how these properties change over time during storage, both under ambient conditions ($18.5\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $43.7\% \pm 3.9\%$ RH) and under commercial refrigeration conditions ($3.6\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $44\% \pm 6\%$ RH). The study also includes the development of mathematical models that estimate the weight of the fruits based on their geometric properties.

Keywords: Black sapote, *Diospyros nigra*, mechanical properties

¹ Doctoral thesis, Postgraduate in Agricultural Engineering and Integrated Use of Water, Universidad Autónoma Chapingo.

Author: Guadalupe Olmedo

Obrero

Advisor: Dr. Carlos A. Villaseñor

Perea

Índice General

Agradecimientos.....	3
Conflicto de intereses.....	3
RESUMEN GENERAL ¹	5
GENERAL ABSTRACT ¹	6
Índice de Cuadros.....	11
Índice de Figuras	12
1. Introducción general	15
1.1. Antecedentes	15
1.2. Justificación.....	17
1.3. Objetivos	17
1.3.1. Objetivo general	17
1.3.2. Objetivos específicos	17
1.4. Hipótesis	17
1.5. Estructura general de la tesis.....	18
2. REVISIÓN DE LITERATURA	19
2.1. Taxonomía del zapote negro.....	19
2.2. Composición del zapote negro	20
2.3. Producción y consumo del zapote negro	20
2.4. Importancia de los daños postcosecha	23
2.5. Frutos climatéricos	24
2.6. Referencias	25
3. FRUTAS DE ZAPOTE, UNA REVISIÓN BIBLIOMÉTRICA.....	32
3.1. Introducción.....	32
3.2. Materiales y Métodos	33

3.3.	Resultados y Discusión	33
3.4.	Conclusiones.....	34
3.5.	Literatura Citada.....	35
4.	SCIENTIFIC PRODUCTION ON THE BLACK SAPOTE (DIOSPYROS NIGRA (J.F.GMEL.) PERR. & PERR.); A BIBLIOMETRIC ANALYSIS	36
4.1.	Abstract.	37
4.2.	Keywords.....	38
4.3.	Introduction.....	38
4.4.	Materials and methods	40
4.5.	Results and discussion.....	42
4.6.	Conclusions.....	54
4.7.	Acknowledgements	55
4.8.	Conflicto de intereses.....	56
4.9.	References.....	56
5.	Modelado de masa de frutos a partir de sus atributos geométricos, una revisión bibliométrica	62
5.1.	Keywords:.....	62
5.2.	Introducción.....	62
5.3.	Materiales y Métodos	63
5.4.	Resultados y Discusión	63
5.5.	Conclusiones.....	65
5.6.	Literatura Citada.....	65
6.	CHARACTERIZATION OF PHYSICAL PROPERTIES AND MODELING OF THE MASS BY GEOMETRICAL ATTRIBUTES OF BLACK SAPOTE (Diospyros nigra (J.F.Gmel.) Perr. & Perr.) FROM THE STATE OF HIDALGO, MEXICO.....	66
6.1.	ABSTRACT	66
6.2.	Keywords.....	67

6.3.	INTRODUCTION.....	67
6.4.	MATERIALS AND METHODS.....	69
6.5.	RESULTS AND DISCUSSION	77
6.6.	CONCLUSIONS	86
6.7.	ACKNOWLEDGMENTS	86
6.8.	CONFLICT OF INTEREST	87
	The authors declare that they have no conflict of interest of any kind.	87
6.9.	REFERENCES.....	87
7.	CAMBIOS FÍSICO-MECÁNICOS RELACIONADOS CON LA CALIDAD DE LOS FRUTOS DE ZAPOTE NEGRO (DIOSPYROS NIGRA (J.F.GMEL.) PERR. & PERR.) DURANTE EL ALMACENAMIENTO A TEMPERATURA AMBIENTE Y EN FRÍO.....	92
7.1.	Abstract.....	92
7.2.	Introducción.....	93
7.3.	Keywords.....	94
7.4.	Material y métodos	95
7.5.	Resultados y discusión.....	100
7.6.	Conclusiones.....	117
7.7.	Agradecimientos.....	118
7.8.	Conclicto de intereses	118
	Los autores declaran no tener algún tipo de conflicto de intereses..	118
7.9.	Referencias	118
8.	CALIDAD DE LOS FRUTOS DE ZAPOTE NEGRO (DIOSPYROS NIGRA (J.F.GMEL.) PERR. & PERR.) BASADA EN SUS CARACTERÍSTICAS COLORIMÉTRICAS	121
8.1.	Abstract.....	121
8.2.	Introducción.....	122
8.3.	Keywords.....	125
8.4.	Metodología.....	125

8.5.	Resultados	130
8.6.	Conclusiones.....	136
8.7.	Agradecimientos.....	136
8.8.	Conflicto de intereses.....	137
	Los autores declaran no tener algún tipo de conflicto de intereses..	137
8.9.	Referencias	137
9.	Conclusión general.....	141

Índice de Cuadros

Table 4.1. Inclusion and exclusion criteria for retrieving the dataset.	41
Table 4.2. H-index of main authors of publications related to Black sapote.	44
Table 4.3. 10 Most Cited Documents Globally on the Black sapote	52
Table 6.1. Rectangular chromatic coordinates and color palette of black sapote.	77
Table 6.2. Black sapote fruit dimensions.	79
Table 6.3. Models, their coefficients and the SSEs of the modeling of the black sapote fruit mass.	80
Table 6.4. Values obtained for the mechanical properties of black sapote fruits.	83
Cuadro 7.1. Dimensiones de los frutos de Zapote negro	100
Cuadro 7.2. Coordenadas cromáticas rectangulares y paleta de colores de epicarpio de frutos de Zapote negro almacenados a temperatura ambiente ($3^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$).	109
Cuadro 7.3. Coordenadas cromáticas rectangulares y paleta de colores de mesocarpio de frutos de Zapote negro almacenados a temperatura ambiente ($17^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$).	109
Cuadro 8.1. Porcentaje de varianza explicado por los componentes principales.	132
Cuadro 8.2. Porcentaje de varianza explicado por los componentes principales.	133

Índice de Figuras

Figura 2.1. Producción de Zapote negro en México de 1999 a 2022.....	23
Figura 3.1. Gráfico de producción científica a través del tiempo de los cinco principales autores relativos al estudio de los zapotes.	34
Figure 4.1. Scientific mapping workflow.	40
Figure 4.2. Number of articles published annually on Black sapote.	43
Figure 4.3. Number of citations per year about Black sapote.....	43
Figure 4.4. Lotka's Law for Authors on Topics Relating to the Black sapote	45
Figure 4.5. The authors' production over time on the Black sapote. The size of the circle represents the number of papers, and the shade of the color represents the total citations (TC) per year.	46
Figure 4. 6. Distribution of the scientific production on the Black sapote.....	47
Figure 4.7. Collaboration Index, Intra-Country (SCP) and Inter-Country (CCM).	48
Figure 4.8. Word TreeMap of high-frequency keywords on the Black sapote ..	49
Figure 4.9. Multiple Correspondence Analysis (MCA) of high-frequency keywords on the Black sapote.	50
Figure 4.10. Tree dendrogram from the analysis of hierarchical clusters of keywords on the Black sapote.	51
Figure 4.11. Dynamic view of authors' keywords over time.....	53
Figure 4.12. Authors, countries, and topics of study related to the Black sapote. The height of the box indicates its production or productivity, the higher the box, the higher the output. The thickness of the line indicates its level of correlation; the thicker, the greater the correlation.....	54
Figura 5.1. Producción científica por autor a través del tiempo.....	64
Figura 5.2. Principales áreas estudiadas sobre el modelado de masas.	64
Figure 6.1. Length (L), width (W) and thickness (T) dimensions of the black sapote (Diospyros nigra (J.F.Gmel.) Perr. & Perr.) fruit.	71
Figure 6.2. Compression test (A) sample (B) INSTRON machine attached to the computer.	76

Figure 6.3. Graph of the distributions of mass (M), length (L), thickness (T) and width (W) of black sapote fruits.	78
Figure 6.4. Quadratic mass model of black sapote fruits based on (A) Vellip and (B) W.....	82
Figure 6.5. Compression test after application of load to a black sapote fruit. .	83
Figure 6.6. Graph Compression test (A) Compression load – Extension (B) Instantaneous compressive stress- Hencky's strain.....	85
Figura 7.1. Dimensiones largo (L), ancho (W) y grosor (T) de los frutos.....	96
de Zapote negro.....	96
Figura 7.2. Ensayo de compresión a) Muestra b) Máquina INSTRON acoplada a la computadora.	99
Figura. 7.3. Gráfico de las distribuciones de masa (M), largo (L), grosor (T) y ancho (W) de los frutos empleados de Zapote negro.	101
Figura 7.4. Efecto sobre el contenido de humedad de los frutos de Zapote negro por la aplicación de las diferentes temperaturas empleadas para el almacenamiento y por el tiempo de almacenamiento.	102
Figura 7.5. Pérdida de peso de los frutos de Zapote negro a través del tiempo de almacenamiento con las diferentes temperaturas empleadas.	103
Figura 7.6. Valores de pH de los frutos de Zapote negro a través del tiempo de almacenamiento con las diferentes temperaturas empleadas.	104
Figura 7.7. Gráfico de valores de los sólidos solubles totales (°Brix) de los frutos de Zapote negro a través del tiempo de almacenamiento con las diferentes temperaturas empleadas.....	105
Figura 7.8. Acidez de los frutos de Zapote negro a través del tiempo de almacenamiento con las diferentes temperaturas empleadas.	106
Figura 7.9. Fuerza de penetración en los frutos de Zapote negro a través del tiempo de almacenamiento con las diferentes temperaturas empleadas.	107
Figura 7.10. Evolución del color de epicarpio de frutos de Zapote negro.....	110
Figura 7. 11. Evolución del color del mesocarpio de frutos de Zapote negro.	110
Figura 7.12. Ensayo de compresión después de aplicar la carga a un fruto de Zapote negro.....	112

Figura 7.13. Gráfica de un ensayo de compresión a) Carga de compresión-Extensión por compresión b) Esfuerzo instantáneo de compresión -Deformación de Hencky.....	113
Figura 7.14. Gráfico del efecto el módulo de elasticidad aparente de los frutos de Zapote negro por la aplicación de las diferentes temperaturas empleadas para el almacenamiento y por el tiempo de almacenamiento.	114
Figura 7.15. Gráfico del efecto en la máxima carga de compresión de los frutos de Zapote negro por la aplicación de las diferentes temperaturas empleadas para el almacenamiento y por el tiempo de almacenamiento.	115
Figura 7.16. Gráfico del efecto de la máxima Deformación de Hencky de los frutos de Zapote negro por la aplicación de las diferentes temperaturas empleadas para el almacenamiento a través del tiempo de almacenamiento.	116
Figura 8.1. Ensayo de compresión a) Muestra b) Máquina INSTRON acoplada a la computadora.	129
Figura 8.2. Matriz de correlación de Pearson para variables colorimétricas fisicoquímicas y mecánicas así como del estado de maduración de los frutos de Zapote negro.....	131
Figura 8.3. Aporte de la varianza de los primeros 10 componentes principales.	133
Figura 8.4. Puntuaciones de las variables analizadas en función del primer y segundo componente principal (PC1 y PC2).	135

1. Introducción general

1.1. Antecedentes

El Zapote negro (*Diospyros nigra* (J.F.Gmel.) Perr. & Perr.) pertenece a la familia Ebenaceae y Género: Diospyros, es originario de Mesoamérica (desde México hasta Costa Rica) aunque anteriormente se creyó originario de Asia y su consumo se ha realizado desde los Mayas y Aztecas (Morton, 1987; SAGARPA, 2023). Se ha reportado que los frutos del Zapote negro contienen importantes nutrientes como calcio, hierro y fósforo (Morton, 1987; Muñoz de Chávez, 1996), luteína y vitaminas C y E (Morton, 1987; Muñoz de Chávez *et al.*, 1996; Corral-Aguayo *et al.*, 2008; Yahia E.M. *et al.*, 2011; Moo-Huchin *et al.*, 2014), además de diversos compuestos fenólicos (Corral-Aguayo *et al.*, 2008; Yahia E.M. *et al.*, 2011; Moo-Huchin *et al.*, 2014), en consecuencia cuenta con un gran potencial nutracéutico y agroindustrial.

El estudio de las características físicas en las frutas y sus relaciones, es necesario para el diseño, desarrollo y optimización de diversos equipos adecuados para la cosecha, el procesamiento poscosecha y el manejo de materiales. (Ashtiani *et al.*, 2014; Jaiswal *et al.*, 2017), por lo que la determinación de la masa, la longitud, el ancho, el grosor, el volumen y las áreas proyectadas de las frutas, son importantes en los sistemas de calibrado utilizados para clasificar las frutas, lo cual es substancial para la comercialización ya que las frutas con peso similar y forma uniforme tienen una alta aceptación por parte del consumidor en el mercado (Panda *et al.*, 2020).

Por otro lado, se sabe que las frutas son productos altamente perecederos por su arquitectura e intensa actividad metabólica; el deterioro de estas ha provocado que los agricultores pierdan hasta un 40% del valor de sus frutas y verduras antes de que lleguen al consumidor (Kitinoja *et al.*, 2011). Durante los procesos de transferencia y almacenamiento, las frutas se magullan debido a la

presión que ejercen sobre ellas las cargas pesadas, dichos daños reducen la calidad del producto y aumentan la tasa de desperdicio (Akbarnejad *et al.*, 2017; Jahanbakhshi *et al.*, 2018). Debido a esto, es importante estudiar las propiedades mecánicas de los frutos, las 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-Perea *et al.*, 2006), por lo que es necesario determinar las propiedades físico-mecánicas de cada fruta en particular, debido a la estrecha relación entre estas propiedades con su grado de susceptibilidad a los diferentes tipos de daño mecánico. En este sentido la American Society of Agricultural Engineers (ASAE) de Estados Unidos ha dedicado un grupo importante a la determinación de propiedades mecánicas de productos agrícolas (Yam Tzec *et al.*, 2010). Entre las normas desarrolladas está la ASAE S368.4 DEC00 (ASAE, 2005) que trata sobre la prueba de compresión de productos agrícolas y que ha servido de base a las pruebas en el presente estudio.

Asimismo, en los procesos poscosecha de las frutas, se considera a la temperatura de almacenamiento como el factor ambiental más importante para conservar la calidad de estas, debido a su efecto sobre el control de procesos biológicos y enzimáticos (Hong *et al.* 2013). En el caso del Zapote negro, este se ha reportado que tiene un proceso de maduración con comportamiento climatérico (Arellano-Gómez *et al.*, 2005), así que se cosecha la fruta antes de su maduración y, a pesar del amplio uso de bajas temperaturas en la conservación de frutas, no se sabe acerca de los efectos del almacenamiento en frío sobre las propiedades físicas y mecánicas del Zapote negro (*Diospyros nigra* (J.F.Gmel.) Perr. & Perr.).

1.2. Justificación

De acuerdo al Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), la producción del Zapote negro en México ha estado decaendo, ya que en el año 2000 reporta una producción de 21385 Toneladas por año y para el año 2022 se reportó una producción de 13636 Toneladas por año (SIAP, 2023), lo que representó una disminución de la producción del 36.2%.

Además, los estudios científicos realizados sobre este fruto, son escasos y enfocados principalmente a la caracterización de los compuestos presentes en el mesocarpio y en el epicarpio, en particular sus compuestos antioxidantes y los estudios para el manejo postcosecha son escasos, por lo que se hace necesario disponer información que apoye e incentive a los productores a cultivar y aprovechar este fruto endémico que contiene importantes nutrientes.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar las propiedades mecánicas de los frutos de Zapote negro en postcosecha

1.3.2. Objetivos específicos

Conocer el estado del arte del Zapote negro

Determinar las propiedades mecánicas de los frutos de Zapote negro recién cosechado

Monitorear las propiedades mecánicas de los frutos de Zapote negro almacenado en temperatura de refrigeración comercial.

1.4. Hipótesis

La caracterización de las propiedades mecánicas de los frutos de Zapote negro recién cosechado; el conocimiento del comportamiento de estas características

al almacenarlo en refrigeración comercial ayudará al manejo postcosecha para incentivar el cultivo de esta especie endémica rica en compuestos nutraceuticos.

1.5. Estructura genera de la tesis

La tesis está compuesta por nueve capítulos que siguen un orden cronológico de la investigación, conteniendo los artículos derivados de la misma. El primer capítulo presenta una introducción general, justificación, hipótesis y objetivos derivados del problema de investigación. En el capítulo 2 se presenta una revisión de literatura sobre el Zapote negro, en el capítulo 3 se realiza una revisión sistemática de la literatura y análisis bibliométrico referente a la investigación de las frutas de Zapotes, este trabajo fue presentado en formato de exposición oral en el Congreso Internacional de Ciencias Agronómicas (CINCA) en 2021. En el capítulo 4 se desarrolla una revisión sistemática de la literatura con un análisis bibliométrico que muestra una descripción general de la investigación realizada al Zapote negro, esta información se presentó en formato de artículo, se envió a la revista *Acta Agrícola y Pecuaria* el 26 de octubre de 2023. Asimismo, en el capítulo 5 se desarrolla una revisión sistemática de la literatura con un análisis bibliométrico que muestra una descripción general de la investigación realizada relativa a la aplicación del modelado de masa en frutos, esta información se presentó en formato de exposición oral en el Congreso Internacional de Ciencias Agronómicas (CINCA) en 2023. Posteriormente en el Capítulo 6 se presenta un artículo sobre la caracterización de las propiedades físicas y mecánicas de los frutos de Zapote negro recién cosechados y se propuso un modelo para estimar la masa de los frutos en función de las características geométricas de estos, este artículo se encuentra en evaluación en la revista *Agrociencia*. En el Capítulo 7 se presenta un artículo donde se determina el efecto del almacenamiento a temperatura de refrigeración comercial de los frutos de Zapote negro. En el capítulo 8 se presenta un artículo donde se explora la factibilidad de emplear la medición de

color de los frutos para determinar el estado de maduración así como de algunas propiedades físico-químicas y mecánicas de los mismos. Finalmente en el capítulo 9 se presenta una conclusión general del estudio realizado.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Taxonomía del zapote negro

El Zapote negro cuyo nombre científico, de acuerdo a *The World Flora Online* (WFO) (2023), es *Diospyros nigra* (JFGmel.) Perr. y Perr., su clasificación es la siguiente:

Reino: Plantae

Orden: Ericales Bercht. y J. Presl

Familia: Ebenaceae Gürke

Género: Diospiros L.

Especie: *Diospyros nigra* (JFGmel.) Perr. y Perr.

El Zapote negro tiene los siguientes sinónimos (WFO, 2023):

- *Diospyros digyna* Jacq.
- *Diospyros edulis* Lodd. ex Sweet
- *Diospyros nigra* Blanco
- *Diospyros obtusifolia* Kunth
- *Diospyros obtusifolia* Willd.
- *Diospyros pauciflora* C.B.Rob.
- *Diospyros sapota* Roxb.
- *Diospyros sapotanigera* DC.
- *Diospyros tliltzapotl* Sessé & Moc.
- *Sapota nigra* J.F.Gmel.

Es una especie arbórea con frutos comestibles, es un árbol perennifolio que crece entre 8 y 35 m de altura, tiene una corteza acanalada, fisurada a

escamosa, de color oscuro; con hojas espaciadas a lo largo de las ramas, oblongo-elípticas o lanceolado-elípticas, coriáceas o subcoriáceas y con flores con de color blanco (WFO, 2023).

Por su parte, los nombres comunes que se han empleado para este fruto son: zapote negro, zapote, zapote prieto, *totocuitlatzapotl*, guayabota, zapote de mico, *ébanom* y *Tauch* o *tauch-ya* (en maya), *Muneque* y *Tiltzapot* (en Náhuatl), *Bomuza phonomurza* (en Otomí), *Tsitseke* (en Totonaca). El Zapote negro es originario de Meso América (desde México hasta Costa Rica) aunque anteriormente se creyó originario de Asia (Basurto, 2016; CONAFORT, 2023; Morton, 1987; SAGARPA, 2023).

2.2. Composición del zapote negro

El Zapote negro contienen una gran cantidad de nutrientes tales como calcio, fósforo y hierro (Morton, 1987; Muñoz de Chávez, 1996), luteína y vitaminas C y E (Corral-Aguayo *et al.*, 2008; Morton, 1987; Moo-Huchin *et al.*, 2014; Muñoz de Chávez, 1996; Yahia E.M. *et al.*, 2011), además de diversos compuestos fenólicos (Corral-Aguayo *et al.*, 2008; Yahia *et al.*, 2011; Moo-Huchin *et al.*, 2014), en consecuencia cuenta con un gran potencial nutracéutico y agroindustrial.

2.3. Producción y consumo del zapote negro

El consumo de los frutos de zapote negro se ha realizado desde la época prehispánica, de hecho, el nombre zapote proviene del idioma náhuatl (sapote = "tiltzapotl"; "tilli" significa negro y "tzapotl" significa zapote) (Urbina M., 1903). Actualmente se ha reportado que el fruto es aprovechado para comer directamente en fresco o, a través de la elaboración de diferentes postres como helados, panes, entre otros etc. (Niembro *et al.*, 2010). Es así que se han

realizado algunas propuestas para el procesamiento y aprovechamiento del fruto, así, en el internet se pueden encontrar diversas recetas informales para la elaboración de diversos postres a partir de los frutos de Zapote negro tales como helados, paletas de hielo, gelatinas, mermeladas y panes. En 2002 Jiménez Núñez desarrolló cuatro formulaciones de postres a partir de la pulpa de la fruta: Coulis, Mermelada, Mousse y Sorbete, encontrando que la mermelada de Zapote negro fue la más aceptada por el consumidor en cuanto a su sabor y apariencia por lo que tiene el potencial para ser industrializado. Posteriormente en 2011, Lazcano Hernández *et al* reportaron el desarrollo de una formulación de mermelada de Zapote negro con jugo de naranja (*Citrus aurantium*) la cual se reportó con sabor y aspecto agradable, de buena textura además, de bajo en costo y que cumple con los requerimientos fisicoquímicos, microbiológicos y sensoriales de una marca comercial, por lo que se presenta como una alternativa viable tecnológica y comercialmente para la aplicación del Zapote negro. Más tarde, Del Juncal (2016) microencapsuló jugo de zapote negro para su incorporación en un yogur natural con una adecuada protección a los compuestos fenólicos y conservación de la actividad antioxidante del zapote negro a partir de microcápsulas obtenidas de almidón de arroz fosfatado mediante secado por aspersión.

Asimismo, se han documentado diversos usos y aplicaciones al Zapote negro, Morton (1987) señala que su madera la cual es de color amarillento y compacta, es adecuada para la elaboración de armarios. Además al Zapote negro se le ha considerado como un remedio natural para diversas afecciones, por ejemplo en Filipinas se usa la corteza triturada y las hojas se aplican como una cataplasma ampollosa; en Yucatán, México se emplea la decocción de la hoja como astringente y se toma internamente como una febrífuga, además de que se realizan preparaciones contra la lepra, la tiña y la picazón en la piel (Morton, 1987), también es usado para sanar infecciones de garganta y como diurético, además el aceite de sus semillas se usa para estimular el crecimiento del

cabello. (SAGARPA, 2023). Los Zapotes negros inmaduros, son muy astringentes, irritantes, cáusticos y amargos, de acuerdo a Morton (1987) se han utilizado como veneno para peces en Filipinas. Sin embargo no existe evidencia de estudios científicos que validen los usos reportados. En contraste existe un estudio realizado por García-Solís *et al.* (2009) en el cual se determinó que no existe evidencia significativa que los extractos de Zapote negro presenten capacidad para inhibir la proliferación de células cancerígenas.

Adicionalmente se ha reportado una aplicación tecnológica que consiste en aprovechar el contenido de los compuestos antioxidantes presentes en el Zapote negro para lograr sintetizar de manera ecológica y eficaz nanopartículas de hierro cercano a cerivalente (empleadas para degradar largas cadenas de carbón, y convertirlas en compuestos sencillos, con aplicación por ejemplo de la biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos cuyos compuestos tienen cadenas largas de carbono) utilizando el extracto del Zapote negro y de Capulí (*Prunussalicifolia*) (Avilés Cercado *et al.*, 2017).

Sin embargo, a pesar de las diversas propuestas de procesamiento y de ser reportado como un gran contenido de nutrientes (Yahia E.M., 2011) y con una gran potencial nutracéutico y agroindustrial, la producción generada en México no ha incrementado desde que se tiene registro de 1999 a 2022 (SIAP, 2023) sino que ha disminuido, en particular para el año 2022 se reporta un 36.24% menos producción de lo reportado en el 2000 (Figura 2.1), debido en parte, al color de la fruta, el Zapote negro debe su nombre al color oscuro de la pulpa de la fruta, lo que lo hace desagradable a algunos consumidores a pesar de su sabor dulce y propiedades nutricionales, incluso ha sido empleado en un estudio como fruta control de “mal aspecto” para investigar sesgos cognitivos relativos a los alimentos (Dibbets *et al.*, 2021), además los frutos presenta alta perecibilidad, lo cual ha representado una limitación para su comercialización fuera de las regiones de producción.

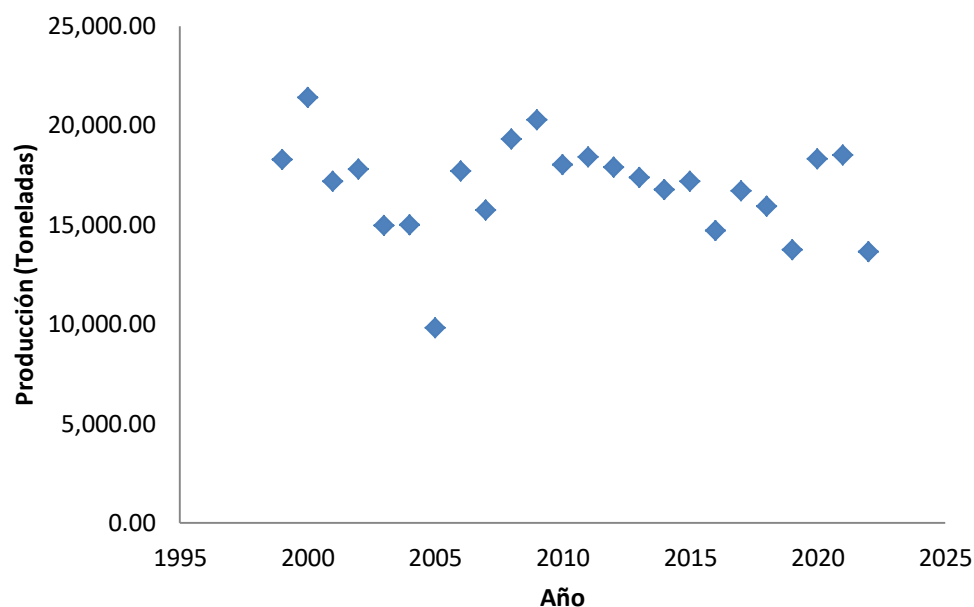


Figura 2.1. Producción de Zapote negro en México de 1999 a 2022.

2.4. Importancia de los daños postcosecha

Es conocido que las frutas son altamente perecederas debido a su estructura y actividad metabólica intensa. El deterioro de las frutas ha llevado a que los agricultores pierdan hasta un 40% del valor de sus productos antes de que lleguen al consumidor (KitinojaL., 2011). Por lo tanto, es crucial analizar las propiedades físico-mecánicas específicas de cada tipo de fruta, ya que estas propiedades están estrechamente relacionadas con su susceptibilidad a diferentes tipos de daño mecánico. Pech *et al.* (2013) sostienen que la implementación de tecnologías apropiadas para mantener la calidad depende de la comprensión de la estructura, fisiología y transformaciones metabólicas de cada fruta en particular. En este sentido, es necesario conocer mejor las características físicas del fruto de Zapote negro, con el fin de tener un mejor manejo poscosecha.

En otro sentido, los daños mecánicos causados por impacto, compresión y corte tienen efectos perjudiciales en los frutos, ya que pueden alterar las reacciones bioquímicas del producto, afectando su coloración, sabor y vida útil (Pantastico, 1979). Además de esto, reducen la longevidad del producto y disminuyen su valor comercial (Durigan *et al.*, 2005). Estos daños mecánicos a menudo resultan en la ruptura de las células de la epidermis, desencadenando reacciones enzimáticas que conducen a la formación de agregados de color marrón, los cuales son responsables de la depreciación del producto (Samim y Banks, 1993; Radi *et al.*, 1997).

La prueba de compresión uniaxial se utiliza ampliamente para determinar las propiedades esfuerzo-deformación de alimentos blandos y materiales biológicos en general. Además, existen otras pruebas como el análisis del perfil de textura (TPA) y el esfuerzo de relajación, que se basan en la prueba de compresión (Álvarez y Canet, 1998; Canet *et al.*, 2005). El equipo más comúnmente empleado para estudiar los efectos de las fuerzas de compresión es la "Máquina de pruebas Universal Instron" (Ballinger *et al.*, 1973; Chen *et al.*, 1987; Jamieson *et al.*, 2002).

La velocidad a la cual se lleva a cabo la prueba de compresión es de suma importancia y debe ser elegida considerando la sensibilidad de los frutos a la relación carga-deformación. En un contexto específico, Villaseñor-Perea, C. A. *et al.* (2006) mencionó una velocidad de 50 mm/min para la compresión de frutos de melón. En el caso de muestras cilíndricas de papa, se han reportado velocidades de 50, 100, 200 y 400 mm/min (Canet *et al.*, 2005).

2.5 Frutos climatéricos

Desde el punto de vista fisiológico, los frutos son clasificados en climatéricos, aquellos que experimentan un aumento en la respiración y la síntesis de etileno al inicio de la madurez de consumo; y frutos no climatéricos, que carecen de

este aumento (Lelièvre *et al.*, 1997). Asimismo, los frutos climatéricos son aquellos que pueden madurar no sólo adheridos a la planta, sino también después de la cosecha, cuando son cortados en la etapa pre climatérica, como la manzana (*Malus domestica*), el tomate (*Solanum lycopersicum*) y el plátano (*Musa spp.*).

Por otra parte el Zapote negro al ser un fruto climatérico, el factor que limita el tiempo de almacenamiento, es su ablandamiento ya que este tipo de frutos alcanza más pronto la senescencia (Fernández-Trujillo *et al.*, 2007; Obando-Ulloa *et al.*, 2008) en vista de que la respiración está acompañada por un aumento similar en los niveles de etileno, que coordina y sincroniza el proceso de maduración (Omboki *et al.*, 2015).

2.6 Referencias

- Álvarez, M. D y Canet, W. (1998). Rheological characterization of fresh and cooked potato tissues (cv Monalis). *Journal of food Science* 207: 55-65.
- Arellano-Gómez, L.A., Saucedo-Veloz, C., Arévalo-Galarza, L. (2005). Biochemical and physiological changes during ripening of black sapote fruit (*Diospyros digyna* Jacq.) [Cambios bioquímicos y fisiológicos durante la maduración de frutos de zapote negro (*Diospyros digyna* Jacq.)]. *Agrociencia* 39(2): 173-781.
- ASAE (Standards, engineering practices and data adopted by the American Society of Agricultural Engineers). (2005). Standard S368.4 DEC00: Compression test of food materials of convex shape. American Society of Agricultural Engineers, USA. St. Joseph Michigan. pp. 600-608.
- Ashtiani, S-HM, Motie, JB, Emadi, B, Aghkhani, M-H. (2014). Models for predicting the mass of lime fruits by some engineering properties. *Journal of Food Science and Technology*; 51(11): 3411-3417. <https://doi.org/10.1007/>

- Akbarnejad, A.; Azadbakht, M. & Asghari, A. (2017). Studies of the selected mechanical properties of banana (Cavendish Var.). International Journal of Fruit Science, 17(1), 93–101.
<https://doi.org/10.1080/15538362.2016.1259083>
- Avilés Cercado, Eddie Albert y Mendieta Cortez, Steev Geovanny. (2017). Tesis: Síntesis de nanopartículas de hierro cerovalente a partir de extractos frutales con propiedades reductoras. “*Prunusserotina subsp*”. Capulí y “*Diospyros digyna*”. Universidad de Guayaquil. Recuperado el 12 de octubre de 2023 de:
<http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/21618/1/401-1270%20-%20Sintesis%20de%20nanopartículas%20de%20hierro%20cerovalente%20a%20partir%20de%20extractos%20frutales.pdf>.
- Ballinger, W.E., J. Kushman, L., Hamann D. D. (1973). Factors affecting the firmness of highbush blueberries. Journal of the American Society of Horticultural Science 98:583- 587
- Basurto Peña, Francisco. (2016). Diospyros nigra. Red Temática Productos Forestales no Maderables. Recuperado el 09 de octubre de 2023, de <http://red-pfnm.org.mx/species/species/diospyros-nigra-48>.
- Canet, W., Álvarez, M. D. & Fernández, C. (2005). Optimization of lowtemperature blanching for retention of potato firmness: effect of previous storage time on compression properties. European food research and technology 221: 423-433.
- Chen, P., Ruiz, M., Lu, F., Kader A.A. (1987). Study of impact and compression damage on Asian pears. Transactions of the ASAE 30:1193- 1197
- CONAFORT (Comisión Nacional Forestal) (2003). *Diospyros digyna* Jacq. SIRE: CONABIO-SEMARNAT. Paquetes tecnológicos. México. 4p. Recuperado el 09 de octubre de 2023, de <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/917Diospyros%20digyna.pdf>.

- Corral-Aguayo, R.D., Yahia, E.M., Carrillo-Lopez, A., González-Aguilar, G. (2008). Correlation between some nutritional components and the total antioxidant capacity measured with six different assays in eight horticultural crops. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(22): 10498-10504.
- Dibbets, P., Borger, L., Nederkoor, C. (2021). Filthy fruit! Confirmation bias and novel food. *Appetite* 167(105607).
<https://doi.org/10.1016/j.appet.2021.105607>
- Del Juncal Guzmán, Diana. (2016). Tesis: Microencapsulación de polifenoles contenidos en jugo de Zapote negro (*Diospyros digyna Jacq.*) utilizando almidones modificados de arroz mediante secado por aspersión para su incorporación en un yogur natural. Universidad Veracruzana. Recuperado el 27 de octubre de 2023, de <https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/123456789/42615/DelJuncalGuzmanDiana.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Durigan, B. M. F., Mattiuz, B-H., Durigan, J. F. (2005). Injúrias mecânicas na qualidade pós-colheita de lima ácida 'tahiti' armazenada sob condição ambiente. *Revista Brasileira Fruticultura Jaboticabal* 27: 369-372.
- Fernández-Trujillo, J. P., Obando, J., Martínez, J. A., Alarcón, A. L., Eduardo, I., Arús, P. and Monforte, A. J. (2007). Mapping fruit susceptibility to postharvest physiological disorders and decay using a collection of near-isogenic lines of melon. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 132(5):739-748.
- García-Solís, P., Yahia, E.M., Morales-Tlalpan, V., Díaz-Muñoz, M. (2009). Screening of antiproliferative effect of aqueous extracts of plant foods consumed in Mexico on the breast cancer cell line MCF-7. *Int J Food Sci Nutr.*; 60(Suppl 6):32–46.
<https://doi.org/10.1080/09637480802312922>
- Hong K., Xu H., Wang J., Zhang L., Hu H., Jia Z., Gu H., He Q., Gong D. (2013). Quality changes and internal browning developments of summer

- pineapple fruit during storage at different temperatures. *Scientia Horticulturae* 151:68-74.
- Jahanbakhshi, A., Abbaspour-Gilandeh and Gundoshmian, TM. (2018). Determination of physical and mechanical properties of carrot in order to reduce waste during harvesting and post-harvesting. *Food Sci. Nutr.*, 6(7), 1898-1903. <https://doi.org/10.1002/fsn3.760>
- Jaiswal, S.G., Dole, B.R., Satpathy, S.K. and Naik, S.N. (2017). Physical attributes and modelling of trans-himalayan seabuckthorn berrie. *Curr. Res. Nutr. Food Sci.*, 5(3), 391–397. <https://dx.doi.org/10.12944/CRNFSJ.5.3.25>
- Jamieson, A.R., Forney, C.F., Richards, K.U.K.G., Hietaranta, T., Linna, M.M., Palonen, P., Parikka, P. (2002). Strawberry fruit characteristics that contribute to postharvest postharvest quality. *Acta Horticulturae*, v.567, p.723-726
- Jiménez Núñez. (2002). Tesis: Aprovechamiento de Frutas Exóticas a través de Nuevos Productos: Un Estudio sobre Pulpa de Zapote Negro. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. Recuperado el 10 de octubre de 2023, de: https://repositorio.tec.mx/bitstream/handle/11285/567409/DocsTec_934.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Kitinoja, L., Saran, S., Roy, S.K. and Kader, A.A. (2011). Postharvest technology for developing countries: Challenges and opportunities in research, outreach and advocacy. *J. Sci. Food Agric.*, 91(4), 597–603. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4295>
- Lazcano Hernández, Martin; Dávila Márquez, Rosa Maria, Maciel Rodriguez, Mario y Acevez Cruz, Ivet. (2011). Nota Tecnica: Desarrollo de un producto a base de Zapote negro (*Diospyros Digyna*) Jugo De Naranja (*Citrus Aurantium*). *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável Grupo Verde de Agricultura Alternativa (Gvaa)*. Vol 6. No. 5.

- Issn 1981-8203. Recuperado el 17 de octubre de 2023, de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7446490>.
- Lelièvre, J. M., Latché, A., Jones, B., Bouzayen, M. and Pech, J. C. (1997). Ethylene and fruit ripening. *Physiol. Plantarum*. 101: 727-739.
- Moo-Huchin, V.M., Estrada-Mota, I., Estrada-León, R., Cuevas-Glory, L., Ortiz-Vázquez, E., De Lourdes Vargas y Vargas, M., Betancur-Ancona, D., Sauri-Duch E. (2014). Determination of some physicochemical characteristics, bioactive compounds and antioxidant activity of tropical fruits from Yucatan, Mexico. *Food Chemistry*. 152: 508-515.
- Morton, J. (1987). Black sapote. In: *Fruits of warm climates*. Miami, FL. P. 416-418. Recuperado el 8 de octubre de 2023, de [wysiwyg://170/http://www.hort.purdue.edu/newcrop/morton/black_sapote.html](http://www.hort.purdue.edu/newcrop/morton/black_sapote.html).
- Muñoz de Chávez, Miriam, Chávez Villasana, Adolfo, Roldán Amaro, José Antonio, Ledesma Solano, José Angel, Mendoza Martínez, Eduardo, Pérez-Gil Romo, Fernando; Hernández Cordero, Sonia Lizet; Chaparro Flores, Alejandra Guadalupe. (1996). *Tablas de Valor Nutritivo de los Alimentos de Mayor Consumo en México*. Editorial Pax, México.
- Niembro, R. A., Vázquez, T. M., & Sánchez, S. O. (2010). *Arboles de Veracruz 100 especies para la reforestación estratégica*. Recuperado el 8 de julio de 2020, de https://www.sev.gob.mx/servicios/publicaciones/colec_veracruzsigloXXI/ArbolesVeracruz100especies.pdf
- Obando-Ulloa, J. M., Moreno, E., García-Mas, J., Nicolai, B., Lammertyn, J., Monforte, A. J. and Fernández-Trujillo, J. P. (2008). Climacteric or non-climacteric behavior in melon fruit: Aroma volatiles. *Postharvest Biol. Technol.* 49(1):27-37.
- Omboki, R. B., Wu, W., Xie, X. and Mamadou, G. (2015). Ripening genetics of the tomato fruit. *Inter. J. Agric. Crop Sci.* 8(4):567-572.

- Panda ,G., Vivek, K., and Mishra, S. (2020). Physical Characterization and Mass Modeling of Kendu (*Diospyros melanoxylon* Roxb.). *Fruit. Int. J. Fruit Sci.*, 20(sup3) <https://doi.org/10.1080/15538362.2020.1851339>
- Pantastico, E.R.B. (1979). Fisiología de la postrecolección, manejo y utilización de frutas y hortalizas tropicales y subtropicales. Compañía Editorial Continental, México. 663 p.
- Pech, J. C., Purgatto, E., Girardi, C. L., Rombaldi, C. V. and Latché, A. (2013). Current challenges in postharvest biology of fruit ripening. *Current Agric. Sci. Technol.* 19(1-18)
- Radi, M., Mahrouz M., Jaouad A. (1997). Phenolic composition, browning susceptibility, and carotenoid content of several apricot cultivars at maturity. *HortScience*, Alexandria 32: 1087-1091.
- SAGARPA. (2023). Anuario estadístico de la producción agrícola. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Recuperado el 20 de octubre de 2023, de www.sagarpa.com.gob.
- Samim, W., H. Banks, N. (1993). Colour changes in bruised apple fruit tissue. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, Wellington 21: 367- 72.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2023). Cierre de la producción agrícola. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Anuario estadístico de la producción agrícola. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Recuperado el 20 de octubre de 2023, de <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>.
- Urbina, M. (1903). Los zapotes de Hernández. *Anales Mus. Nac. Méx.* 7:209-234.
- Yahia, E.M., Gutierrez-Orozco, F., Leon, C.A.D. (2011). Phytochemical and antioxidant characterization of the fruit of black sapote (*Diospyros digyna* Jacq.). *Food Research International* 44(7): 2210- 2216.
- Yam Tzec, J. A., Villaseñor-Perea, C. A., Romantchik, E., Escobar, M. y Peña, M. A. (2010). Una revisión sobre la importancia del fruto de Guayaba (*Psidium guajava* L.) y sus principales características en la postcosecha.

Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 19(4): 74- 82.

http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542010000400012

Villaseñor-Perea, C.A., Chávez-Franco, S.H., Saucedo-Veloz, C., Salazar-Zazueta, A., Landois-Palencia, L.L., Hernández-Gómez, L.H. (2006). Comportamiento mecánico y fisiológico de frutos de melón (*Cucumis melo* L.) bajo compresión axial. *Rev. Fitotec. Mexic.* 29, 157–162.

WFO (The World Flora Online). (2023). *Diospyros nigra* (JFGmel.) Perr. & Perr. Recuperado el 30 de octubre de 2023, de <http://www.worldfloraonline.org/taxon/wfo-0000649408>.

3. FRUTAS DE ZAPOTE, UNA REVISIÓN BIBLIOMÉTRICA

Olmedo O. G¹; Pérez L.A. ²; Villaseñor P. C.A. ¹; Mancera R. A. ³; De la Cruz E. ⁴; Venegas O. MDR¹

¹Posgrado de Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua. Universidad Autónoma Chapingo, Carretera México-Texcoco km 38.5. 56230. Chapingo, Estado de México.²Posgrado en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria. Universidad Autónoma Chapingo, Carretera México-Texcoco km 38.5. 56230. Chapingo, Estado de México.³Posgrado de Tecnología de Granos y Semillas, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calzada Antonio Narro No. 1923, Col. Buenavista. 25315. Saltillo, Coahuila.⁴Departamento de Agrobiotecnología, Universidad Tecnológica de la Huasteca Hidalguense, Huejutla, Hidalgo, México.

Correo-e: cvillasenorp@chapingo.mx

3.1. Introducción

Los zapotes son frutas tropicales consumidas principalmente en Asia, México y América Central; según la variedad, su pulpa puede ser amarilla, blanca, negra o rojiza. En México las principales variedades de zapote que se cultivan, de acuerdo al Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2021), son el amarillo, negro, blanco, chicozapote, y el mamey; su producción reportada (en Toneladas por año) del zapote mamey (*Pouteria sapota*) es de 16306.16 y 21806.42 para 2009 y 2019 respectivamente y una producción total del resto de los demás zapotes cultivados en México de 20272.12 y 13723.84 para 2009 y 2019 respectivamente (SIAP, 2021), mostrando que sólo el zapote mamey tuvo un incremento del 33.7% en su producción y por el contrario, el resto de los zapotes tuvieron un decremento del 32.3% en su producción, esto a

pesar de que muchos zapotes son frutos endémicos del país y de tener importantes propiedades nutricionales debido a su alto contenido de vitaminas, así como presencia de diversos compuestos antioxidantes (Moo-Huchin et al, 2014).

Se plantearon las siguientes preguntas: ¿Cuáles zapotes son los más estudiados a nivel mundial?, ¿En qué países se ha investigado sobre los zapotes? y ¿Qué tema es el más investigado relacionado con los zapotes?; por lo que para poder dar respuestas, se realizó un análisis bibliométrico, ya que este permite la construcción de una red de correlaciones entre los documentos publicados, midiendo el impacto de cada contribución dentro del campo de investigación examinado, a partir de la análisis de las palabras clave (Ellegaard & Wallin, 2015).

3.2. Materiales y Métodos

Se buscó en la base de datos SCOPUS con 11 combinaciones de palabras claves las cuales corresponden a los nombres científicos de 11 frutos de zapotes (*Manilkara zapota*, *Pouteria campechiana*, *Pouteria sapota*, *Pouteria viridis*, *Casimiroa edulis*, *Couepia polyandra*, *Quararibea cordata*, *Diospyros digyna*, *Diospyros texana*, *Diospyros kaki* y *Diospyros Xolocotzii*), se delimitó la fuente a “article research”; la búsqueda arrojó 1885 artículos y después de una revisión quedaron 1614 artículos, los cuales se procesaron con la aplicación Biblioshiny del ambiente de programación R (versión 3.6.2) para extraer la información necesaria para dar respuesta a las preguntas de investigación planteadas.

3.3. Resultados y Discusión

Los frutos de zapote han sido estudiados desde 1903 a la fecha, en promedio se han publicado 10.8 artículos por año en 626 diferentes fuentes, siendo Japón el país que más desarrollo de investigaciones a nivel mundial ha realizado

(18.33%) y China el país con mayor número de citas sobre el tema (23.26%); es de hacer notar que México se encuentra en el 6to lugar de producción científica en el tema (7.2%), a pesar de tener diversos zapotes endémicos. Los zapotes de los cuales se han realizado más estudios son *Diospyros kaki* (616 reportes) seguido de *Manilkara zapota* (335 reportes) y el *Pouteria sapota* (196 reportes). Asimismo, los temas de mayor tendencia sobre los zapotes, son relativos a los “extractos de sus plantas” y a sus compuestos “antioxidantes”. Asimismo, en la figura 3.1 se muestra la producción de los cinco principales autores del tema, todos han trabajado sobre el zapote *Diospyros kaki* y se observa que son autores que han estado estudiando el tema de manera sistemática y sostenida a través del tiempo y no solo de manera transitoria.

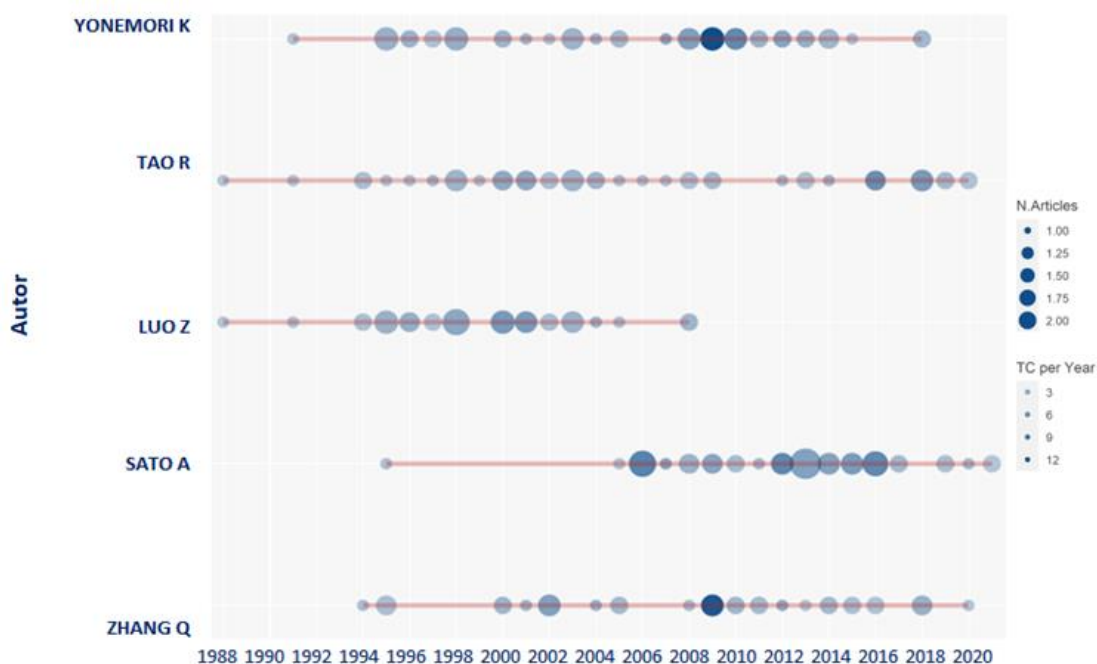


Figura 3.1. Gráfico de producción científica a través del tiempo de los cinco principales autores relativos al estudio de los zapotes.

3.4. Conclusiones

El zapote *Diospyros kaki* es originario de Asia por lo que ha sido estudiado intensa y sistemáticamente por China, Japón e India principalmente, no así el caso de los zapotes endémicos de Centro América y México donde se han estudiado en menor cantidad sus zapotes endémicos, enfocándose principalmente al zapote *Manilkara zapota* dejando en segundo lugar al zapote *Pouteria sapota*, a pesar de ser este último el más comercializado en México, y con escasos estudios del resto de los zapotes endémicos de la región, lo que puede haber contribuido a que en México se cultiven cada vez en menor cantidad, a pequeña escala, y que no hayan llegado a ser frutas importantes en el mercado nacional, a pesar de que se reportan con presencia de sustancias bioactivas que tienen propiedades funcionales, por lo que representan un nicho de oportunidad para innovar.

3.5. Literatura Citada

- Ellegaard, O., & Wallin, J. A. (2015). The bibliometric analysis of scholarly production: How great is the impact? *Scientometrics*, 105(3), 1809–1831.
- Moo-Huchin, V. M., Estrada-Mota, I., Estrada-León, R., Cuevas-Glory, L., Ortiz-Vázquez, E., Vargas y Vargas, M. L., Betancur-Ancona, D., & Sauri-Duch, E. (2014). Determination of some physicochemical characteristics, bioactive compounds and antioxidant activity of tropical fruits from Yucatan, Mexico. *Food Chemistry*, 152, 508-515.
- SIAP. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Cierre de la producción agrícola. (2021). Anuario estadístico de la producción agrícola. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>. Consultado el 14 de junio de 2021.

4. SCIENTIFIC PRODUCTION ON THE BLACK SAPOTE (*Diospyros Nigra* (J.F.Gmel.) Perr. & Perr.); A BIBLIOMETRIC ANALYSIS

**Producción científica sobre el Zapote negro (*Diospyros nigra* (J.F.Gmel.)
Perr. & Perr.); un análisis bibliométrico**

Guadalupe Olmedo-Obrero¹, Carlos Alberto Villaseñor-Perea^{1*}, Cynthia Serna-Abascal², Arturo Mancera-Rico³, Emigdio De la Cruz-De la Cruz⁴, Gilberto de Jesús López-Canteñs⁵, María del Rosario Venegas-Ordoñez⁵

¹Graduate Degree in Agricultural Engineering and Integral Use of Water from the Universidad Autónoma Chapingo, 56230, Texcoco, Mexico

golmedoo19a@gmail.com, ([https:// orcid.org/0000-0002-4757-6176](https://orcid.org/0000-0002-4757-6176)); cvillasenorp@chapingo.mx, (<https://orcid.org/0000-0002-7404-022X>)

²Colegio de Estudios Científicos y Tecnológicos (CECyTE) del estado de Puebla, Plantel Xicotepec, Puebla, México

cynthia_serna_abascal@hotmail.com, (<https://orcid.org/0000-0002-1708-754X>)

³Department of Plant Breeding, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, Mexico

mncrarico@gmail.com, (<https://orcid.org/0000-0001-7559-1608>)

⁴Department of Agrobiotechnology, Universidad Tecnológica de la Huasteca Hidalguense, Huejutla, Hidalgo, Mexico

emigdio.delacruz@uthh.edu.mx, (<https://orcid.org/0000-0003-0836-4389>)

⁵Department of Agricultural Mechanical Engineering, Universidad Autónoma Chapingo, 56230, Texcoco, Mexico

alelopez10@hotmail.com, (<https://orcid.org/0000-0002-7789-5880>); rosario_venegas@hotmail.com, (<https://orcid.org/0000-0002-8056-8071>)

*✉ Carlos Villaseñor-Perea; Department of Agricultural Mechanical Engineering, Universidad Autónoma Chapingo, 56230, Texcoco, Mexico; Phone:+ 52 (595) 952 1569 (55) 215000, extension: 1629; cvillasenorp@chapingo.mx

4.1. Abstract.

This study examines the research landscape related to the Black sapote (*Diospyros nigra* (J.F.Gmel.) Perr. & Perr.), an endemic fruit from Mesoamerica with important nutritional properties due to its high content of vitamins E and C, as well as the presence of various antioxidant compounds; however, in Mexico the production of this fruit has decreased. Therefore, this article makes an exhaustive review of what has been published to have an overview of the global situation on the current state of the art regarding the Black sapote, for which a retrospective descriptive analysis of the articles published between 1998 and September 2023 was carried out. The study focused on research trends, academic production, the countries that have studied it, and the thematic focus of the scientific publications of the Black sapote. A bibliometric approach was applied using the Scopus® database and bibliometric and graphical visualization tools from Biblioshiny package (R) to analyze the data. A total of 28 peer-reviewed articles were retrieved from the Scopus® database and bibliometric analysis showed the following elements: the first article on Black sapote was published in 1998, which implies the scientific beginning of its study; Moo-Huchin *et al.* (2014) research is noteworthy for being the most frequently cited among the examined documents with a central focus on investigating the antioxidant capacity of fruit extracts. Mexico has the highest number of scientific productions and citations; therefore, it has been the most relevant country in the study of the Black sapote. From the rest of Mesoamerican countries where the Black sapote also originates, only Costa Rica has a publication on the subject. In addition, the results also showed that there is no continuity of study by the authors on the topic and most of the authors have published only one scientific paper on the topic. Keywords such as "antioxidants" and "plant extract"

were trending keywords and there is little research on crop management, post-harvest management and value-adding techniques to encourage production and consumption.

4.2. Keywords.

Diospyros nigra; Black sapote; Bibliometric analysis.

4.3. Introduction

The Black sapote (*Diospyros nigra* (J.F.Gmel.) Perr. & Perr.) belongs to the kingdom Plantae, phylum Manilkara, class Equisetopsida, order Ericales, family Ebenaceae and Genus Diospyros. It is native to Mesoamerica (from Mexico to Costa Rica) although it was previously believed to originate in Asia; its consumption has a historical legacy, dating back to the time of the Maya and Aztecs (Morton, 1987; SAGARPA, 2023). They contain nutrients such as calcium, phosphorus, and iron (Morton, 1987; Muñoz de Chávez, 1996), lutein, and vitamins C and E (Morton, 1987; Muñoz de Chávez, 1996; Corral-Aguayo *et al.*, 2008; Yahia E.M. *et al.*, 2011; Moo-Huchin *et al.*, 2014), as well as various phenolic compounds (Corral-Aguayo *et al.*, 2008; Yahia E.M. *et al.*, 2011; Moo-Huchin *et al.*, 2014). Consequently, it has great nutraceutical and agro-industrial potential. Black sapote owes its name to the dark color of the fruit's pulp, which makes it unpleasant to some consumers despite its sweet flavor and nutritional properties. It has even been used in a study as a "bad-looking" control fruit for investigate cognitive biases related to food (Dibbets *et al.*, 2021). As for its production, in Mexico, there has been a notable decline. In the year 2000, a production of 21,385 tons per year was recorded, while in 2022, a production of 13,636 tons per year was reported (SIAP, 2023). This represents a substantial decrease in production, amounting to a 36.2% reduction.

Bibliometrics is an objective approach for analyzing literature and extracting information to assess scientific research. It focuses on the extrinsic attributes of scientific literature, examining the structural distribution, quantitative

relationships, and patterns of variation within these materials (Bornmann *et al.*, 2018). Bibliometric studies have stood out for representing a useful tool to analyze the evolution of disciplines based on intellectual and social contributions and conceptual structure (Zupic & Čater, 2015), which is why bibliometric mapping has recently been applied in different disciplines, to identify most notable publications, publication outlets, prolific scholars, research topics as well as trends in the respective fields where it has been applied.

In bibliometrics, hierarchical graphical structures are employed to illustrate the interconnections among concepts organically, aiding in a deeper comprehension of cognitive structures. Cluster analysis is one such representation that relies on the frequency of concurrent occurrences of two keywords, employing statistical methods to simplify the intricate relationships within the keyword network, thereby categorizing them into distinct, relatively small groups. According to Aria & Cuccurullo (2017), this analysis allows the creation of a graphical representation of the network of relationships between concepts, based on keywords. Multiple correspondence analysis (MCA) is another graphical representation employed in bibliometrics, an approach that compresses large data with multiple variables into a low-dimensional space to form an intuitive, two-dimensional (or three-dimensional) graph that employs the distance of the plane to reflect the similarity between keywords. If the keywords get close to the central point, it indicates that they have received a great deal of attention in recent years; the closer to the edge, the narrower the topic of study, or the transition to other topics.

Bibliometrix of R programming (version 4.1.2) (R Core Team, 2017), is an open source software that provides a set of tools to perform quantitative research for bibliometric analysis of scientific publications (Aria & Cuccurullo, 2017). Bibliometrix contains a web interface application (Biblioshiny) to help users without coding skills perform bibliometric analysis and allows the import of

data from Scopus® or Web of Science® databases in BibTex, CSV or Plain Text format.

The aim of the present study was to use bibliometric analysis to meticulously and completely map the general knowledge framework of the research of Black sapote from a global perspective, as well as to examine the dynamics of the development of its study, in order to objectively reveal the research situation of the Black sapote (*Diospyros nigra* (J.F.Gmel.) Perr. & Perr.), and to have a scientific reference for the future research on the Black sapote (*Diospyros nigra* (J.F.Gmel.) Perr. & Perr.).

4.4. Materials and methods

The standard bibliometric analysis process comprises five key steps: study design, data collection, analysis, visualization, and interpretation (Zupic & Čater, 2015), as depicted in Figure 4.1, which has been employed in the current study.

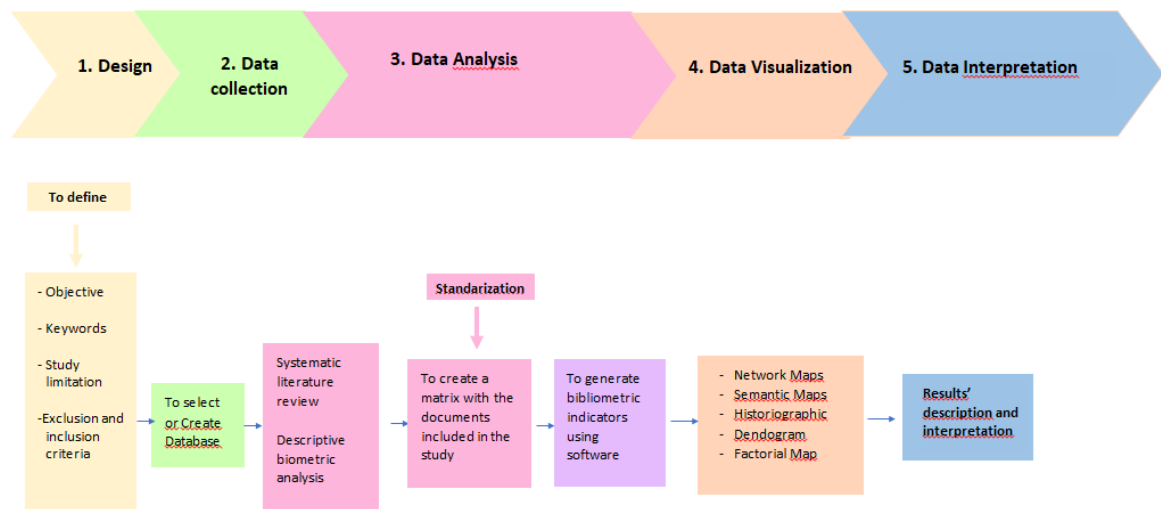


Figure 4.1. Scientific mapping workflow.

For the design stage of the study, the following questions were posed:

- How has the history of publications and citations developed?

- Who are the researchers with the highest number of scientific reports?
- Which countries are studying the Black sapote?
- What are the main currents of research on the Black sapote?
- What is the focus and direction of the research on the Black sapote?

The bibliographic search stage was carried out by downloading the articles available on the Scopus® platform, as it is the largest database of peer-reviewed journals and applies rigorous selection criteria (Heradio *et al.*, 2016). The document type used was "Article", the search method was "by title" and the language selection was "all languages". The search formula was: (TITLE-ABS-KEY (diospyros AND digyna) OR TITLE-ABS-KEY (diospyros AND nigra) OR TITLE-ABS-KEY (black AND sapote)) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE, "ar")) . Table 4.1 shows the debugging of documents that were last searched on October 15, 2023.

Table 4.1. Inclusion and exclusion criteria for retrieving the dataset.

	Criterion	Number of documents
Inclusion	(TITLE-ABS-KEY (diospyros AND digyna) OR TITLE-ABS-KEY (diospyros AND nigra) OR TITLE-ABS-KEY (black AND sapote)) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar"))	65
Exclusion	Article	54
Exclusion	Studies that focus on the Black sapote as an object of study	28

From the 28 documents, an Excel database was created in CSV format in which the information corresponding to the articles was recorded. The record of each article was made up of the following data: authors, title of the article, year of publication, source, citations, DOI, website, affiliation of the authors, country

corresponding to the first author of the article, abstract, author's keywords, references, correspondence address, sponsors, references, publisher, ISSN, ISBN, EID, CODEN, PubMed ID, type of document and language of publication. The mapping technique for this study was executed utilizing the Biblioshiny web interface within the Bibliometrix software, a component of the R programming environment (version 4.1.2) (R Core Team, 2017).

For keyword analysis, multiple correspondence analysis (MCA) and the hierarchical clustering method were used; for which each keyword grouped as a class is first treated and then the groups with the highest degree of similarity are combined to form a new large group. Subsequently, the new cluster is merged with the cluster with the highest degree of similarity. The fusion is repeated in this way until all the individuals are grouped together. Finally, the entire classification system forms a tree dendrogram. The cognitive force of this mapping is useful for capturing the conceptual substrate of topics and understanding how they are connected and related (Liu, 2004).

4.5. Results and discussion

Distribution of annual documents

The analysis shows a scarce scientific production in the period analyzed (1998-September 2023), with only 28 documents published on the Black sapote (*Diospyros nigra* (J.F.Gmel.) Perr. & Perr.), published in 26 different sources, with an average publication of 1.3 articles per year (figure 4.2). In 10 different years (1999, 2001, 2003, 2004, 2008, 2009, 2012, 2013, 2016 and 2018) there were no publications made. This shows that the Black sapote (*Diospyros nigra* (J.F.Gmel.) Perr. & Perr.) has not caught the attention of most academics, with three being the maximum number of publications per year in 2022.

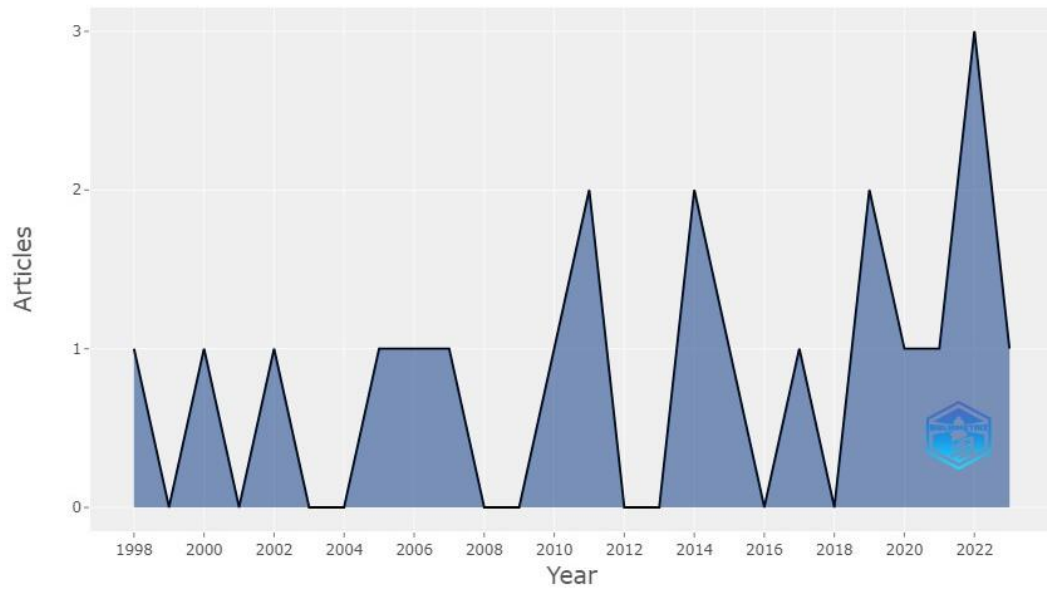


Figure 4.2. Number of articles published annually on Black sapote.

Figure 4.3 shows the average number of citations per year, which peaks in 2008, for which an average of 8 citations have been referenced, and in 2014 and 2020, with the highest number of citations (9 and 7 on average, respectively).

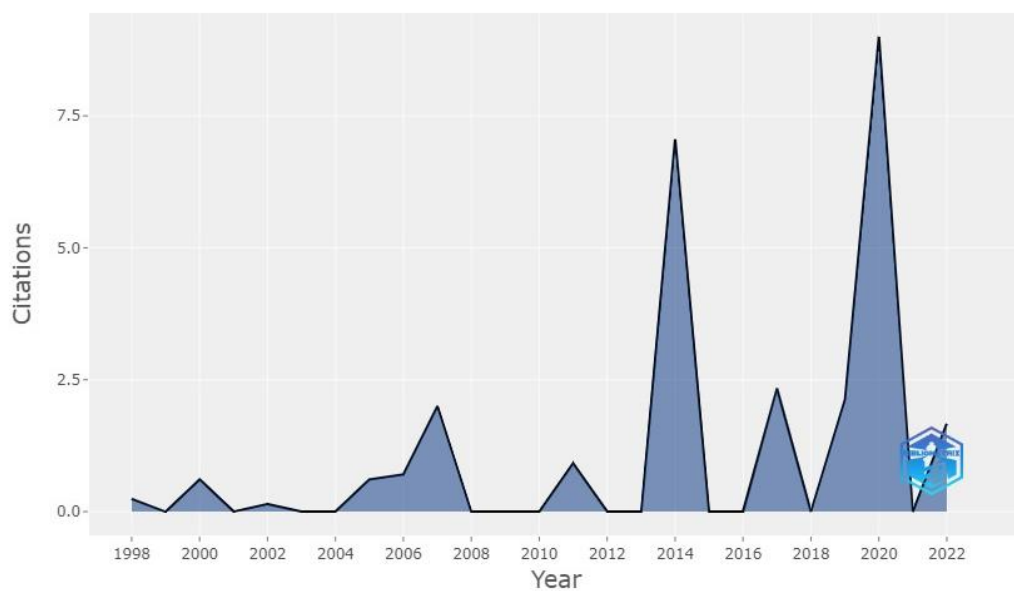


Figure 4.3. Number of citations per year about Black sapote.

Regarding the participation of authors according to the number of published papers, Table 4.2 shows the most productive authors on the subject; five authors with the highest number of publications related to the topic were included, for which the H-index was used, which estimates the significance and impact of a scientist's accumulation (Hirsch, 2005). It can be observed that authors Sauri-Duch E. and Cuevas-Glory L. both possess an H-index of two, each having two publications. Meanwhile, authors Betancur-Ancona D., De Lourdes Vargas y Vargas, and Moo-Huchin V.M. hold an H-index of one, with each of them contributing a single publication.

Table 4.2. H-index of main authors of publications related to Black sapote.

Author	H_index	Total		Year of first publication
		Citations	Total Posts	
Cuevas-Glory L.	2	127	2	2014
Sauri-Duch E.	2	127	2	2014
Betancur-Ancona D.	1	121	1	2014
By Lourdes Vargas y				2014
Vargas M	1	121	1	2014
Moo-Huchin V.M.	1	121	1	2014

Similarly, the Lotka model (Figure 4.4) was adjusted, resulting in a coefficient of determination $R^2 = 0.9246$. This analysis reveals that among the total of 116 authors involved in publications on the subject, 95 authors have contributed to just one document, 11 authors have multiple publications, 9 authors have three published articles, and only 1 author has four published articles. Thus, it is observed that a small number of authors concentrate the largest volume of scientific production on Black sapote, while most of them register little productivity in relation to the subject. The model used in this analysis has provided insights into identifying the leading researchers who spearhead

investigations in this field. In this case, author Sauri-Duch E. emerges as the most prolific contributor to the subject matter.

Figure 4.5 illustrates the temporal production of the top 10 authors, revealing that these authors have published articles in at most two different years. For instance, the author Sauri-Duch E., who has contributed to these publications, only published in one year, specifically 2014. This phenomenon is commonly referred to as the "Matthew Effect" in scientific production (Merton *et al.*, 1968). It suggests that a select group of specialized authors concentrate the dissemination of information, while a substantial number of authors contribute only sporadically, with relatively few publications on the topic of Black sapote.

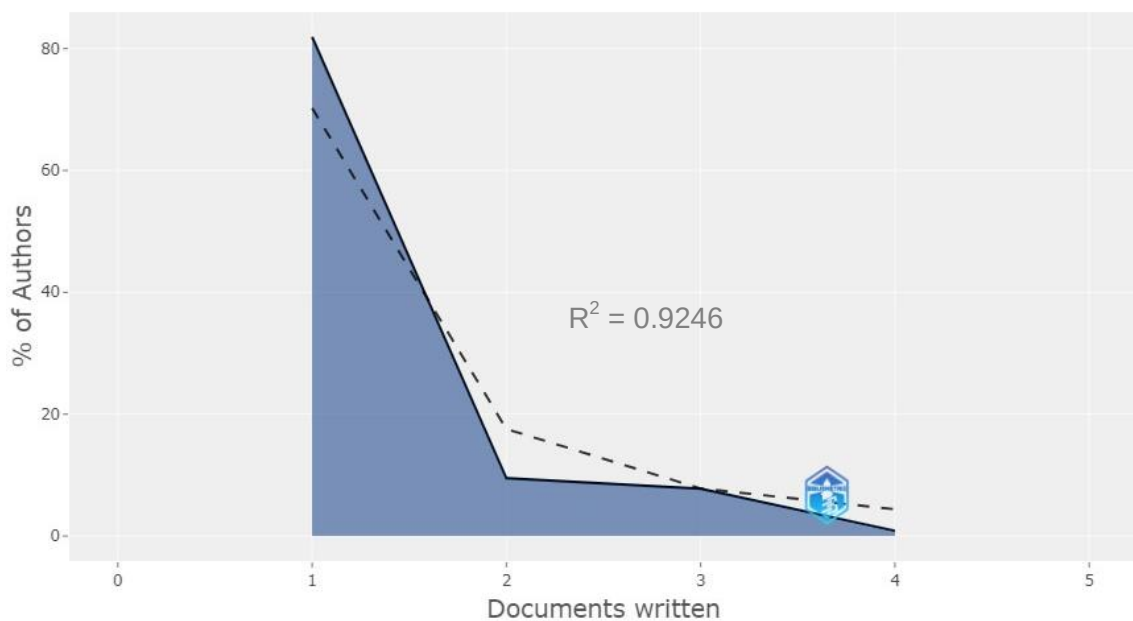


Figure 4.4. Lotka's Law for Authors on Topics Relating to the Black sapote

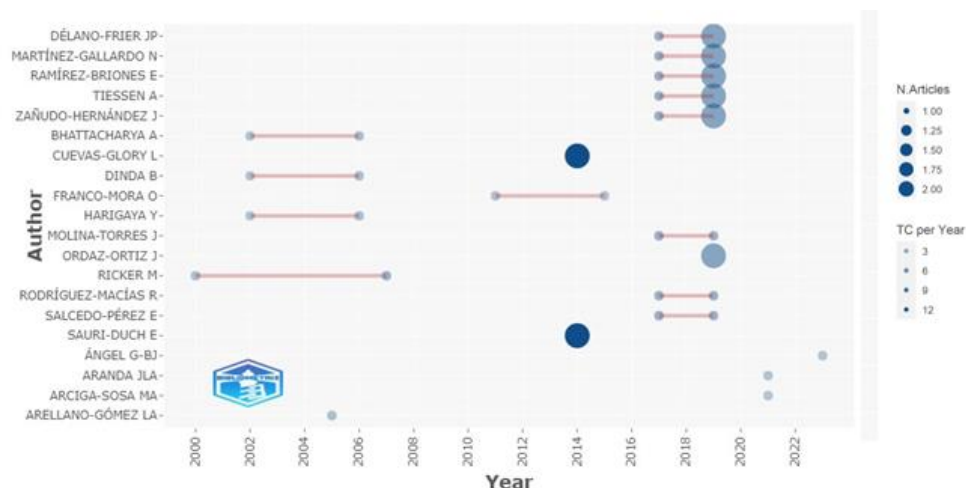


Figure 4.5. The authors' production over time on the Black sapote. The size of the circle represents the number of papers, and the shade of the color represents the total citations (TC) per year.

Analysis of the characteristics of the research regions

The publication of articles in different countries may reflect to some extent the importance and influence of the country. In the case of the Black sapote only nine countries have published between 1998 and September 2023, as can be seen in Figure 4.6 (the blue color in the figure represents the countries that have published and the intensity of the blue color represents the number of these documents); there are three Asian countries (India, China, and Japan), one country in Europe (Italy), two countries in Mesoamerica (Mexico and Costa Rica), and three countries in the rest of the Americas (USA, Brazil, and Cuba). Likewise, the number of publications is shown, as well as the number of citations by country, noting that Mexico contributes the largest number of both documents and citations on the subject, playing a leading role in the study of the Black sapote with 70.5% of the total of publications and 92.4% of total citations. The reason may be related to Mexico's historical relationship with the fruits of the Black sapote since it has been reported that this fruit has been consumed since pre-hispanic times. In fact, the name *zapote* comes from the Nahuatl language

(zapote = "tliltzapotl"; "tilli" means black and "tzapotl" means sapote) (Urbina M., 1903). However, the rest of the Latin American countries that have published on the topic have only 4.9% of the citations. It is worth noting that, in addition to Mexico, the countries where the black sapote also originates: Guatemala, Belize, Honduras, El Salvador, Nicaragua and Costa Rica, only Costa Rica has a publication on the subject. This indicates that it is necessary to promote the production and collaboration of scientific research on the Black sapote.

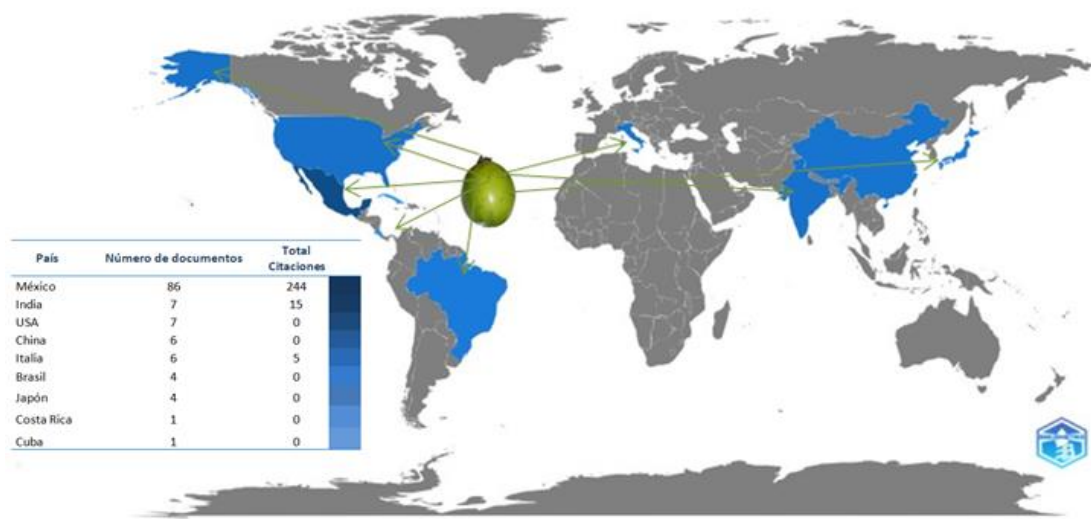


Figure 4. 6. Distribution of the scientific production on the Black sapote.

Figure 4.7 shows the index of intra-country (SCP - green) and inter-country (CCM - orange), the study determined that the number of articles carried out in inter-country collaboration is six and intra-country collaboration is 18. Mexico and India have had collaborations with each other and the rest of the countries have focused mainly on independent research. It is evident that in Mexico, there is not only a higher production of research articles on the subject, but also a willingness among Mexican researchers to engage in international collaborations. However, it's noteworthy that these collaborations initiated by Mexico have not extended to the countries where Black sapote originates. This

presents an area of opportunity to initiate collaborative research endeavors with these source countries.

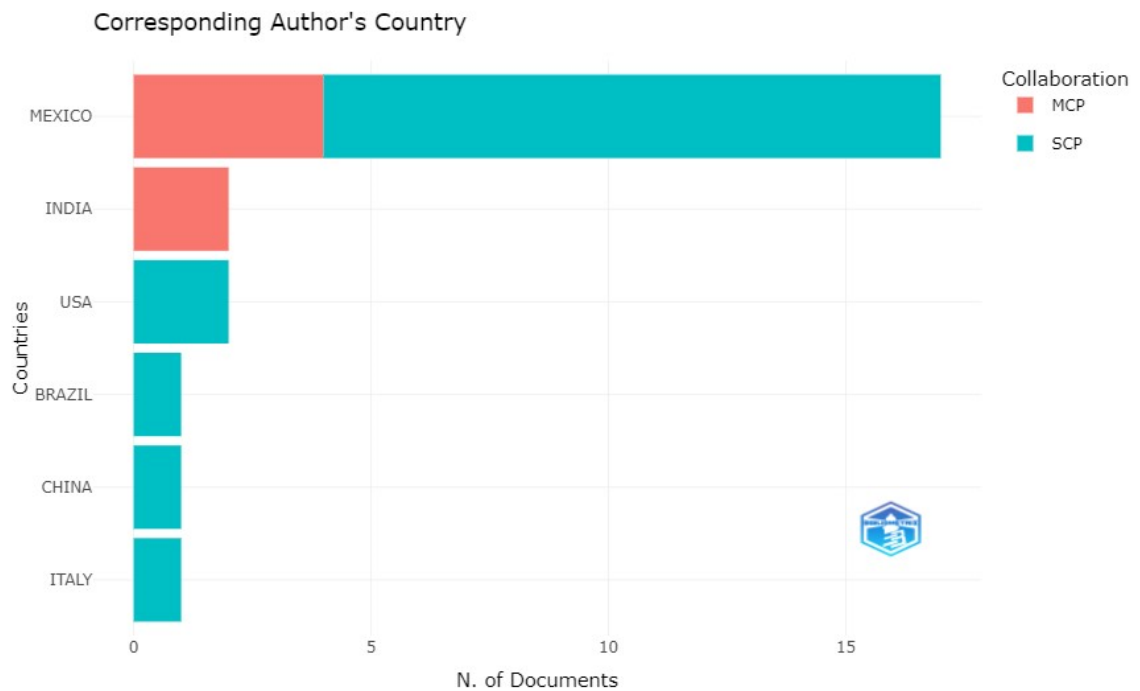


Figure 4.7. Collaboration Index, Intra-Country (SCP) and Inter-Country (CCM).

Keyword analysis

Keywords have the main objective of providing quick access to scientific works and are highly effective in bibliometric analysis when investigating the knowledge structure of scientific fields (Romero and Portillo, 2019). The analysis of keywords such as cluster analysis and multiple correspondence analysis in the article reflects the topic and writing direction of the articles on the study of the Black sapote in a concise and intuitive way. The high frequency keywords of the research works are shown in Figure 4.8, it is observed that the field of elucidation of the components of the ripe fruit has been of interest and widely studied. Thanks to these studies, it is known that the sapodilla fruit contains minerals such as calcium (Morton, 1987; Yahia, *et al.*, 2011), vitamins such as

ascorbic acid (Arellano-Gómez *et al.*, 2005; Corral-Aguayo *et al.*, 2008; Yahia, *et al.*, 2011; Moo-Huchin, *et al.* 2014; Morton, 1987;), vitamin A (Moo-Huchin, *et al.* 2017), thiamine, niacin and riboflavin (Morton, 1987); volatile compounds (Pino. *et al.*, 2014); phenolic compounds both in the fruit (Arellano-Gómez *et al.*, 2005; Moo-Huchin, *et al.* 2014; Moo-Huchin, *et al.* 2017; Morton, 1987;) and in the fruit peel (Can-Cauich *et al.* 2017). Moreover, it is well-established that plant extracts exhibit antifungal properties (Surapuram V. *et al.*, 2014).

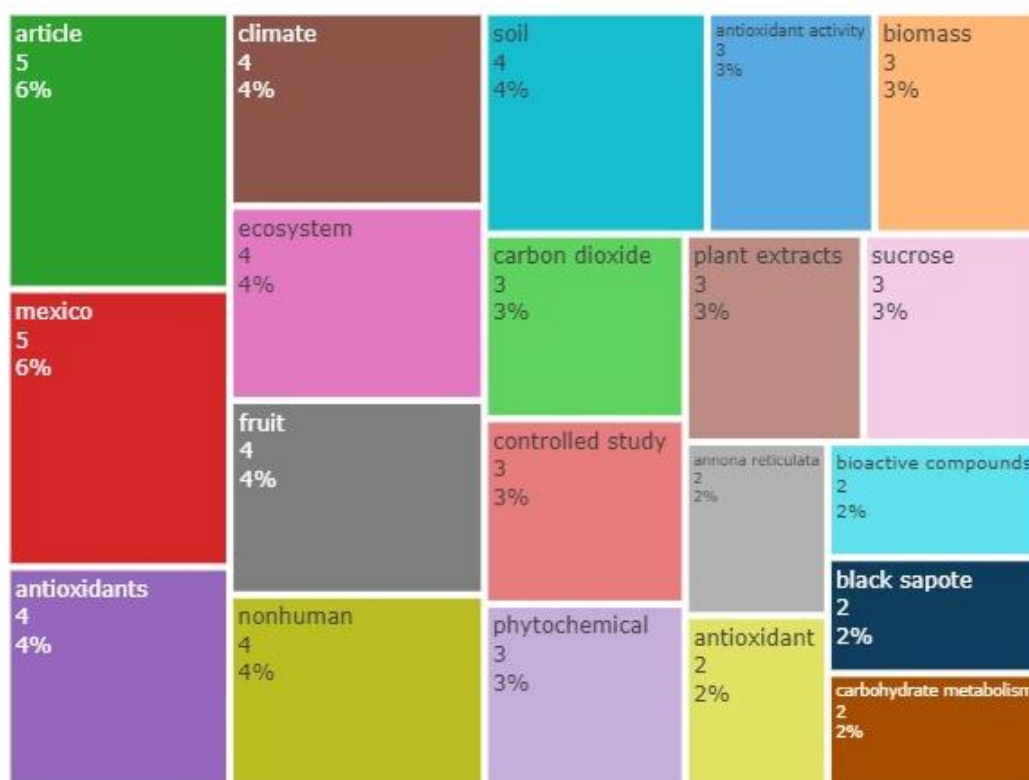


Figure 4.8. Word TreeMap of high-frequency keywords on the Black sapote

Figure 4.9 shows the hierarchical structures developed in the present study. The concentration of concepts can be observed, specifically related to the research to elucidate the nutritional components of the Black sapote, research related to

the "antioxidants", "carotenoids" and "phenols" present in the Black sapote can be observed.

Figure 4.10 shows the relationship between the keywords in the study of the Black sapote, where two categories are observed. The primary cluster analysis category pertains to the nutritional components of Black sapote, particularly focusing on the ripe fruit, as well as components found in other parts of the Black sapote tree, including the peels and leaves. This category encompasses the presence of phenols, antioxidants, and beta-carotene. The second cluster category encompasses aspects related to the soil and climate conditions that influence the growth and development of Black sapote.

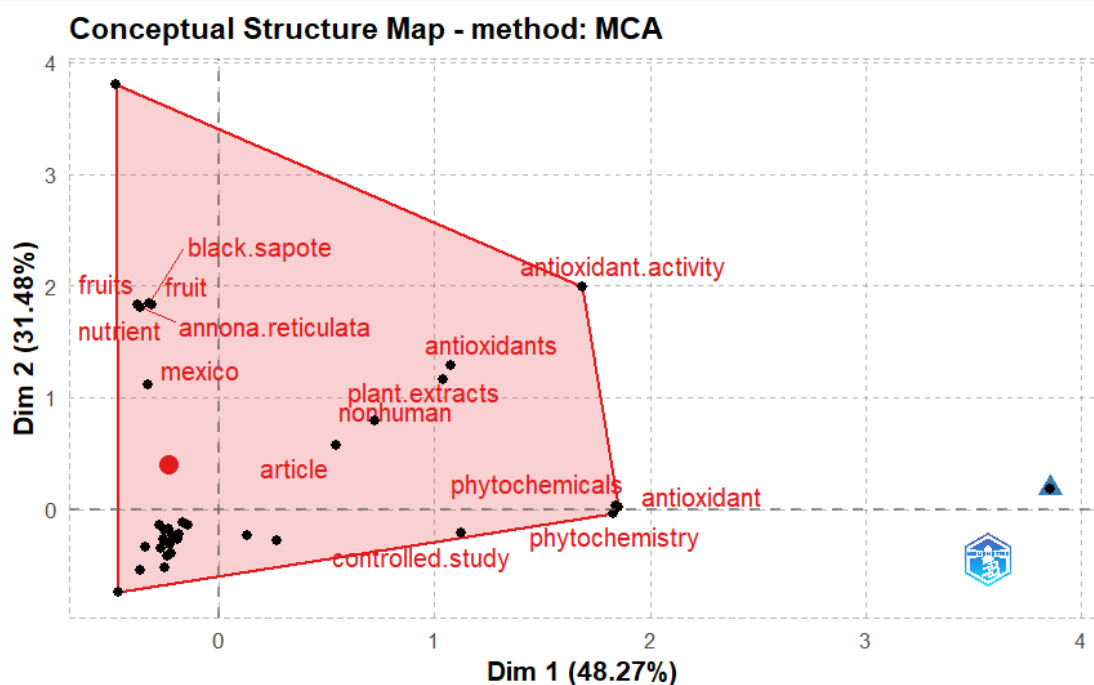


Figure 4.9. Multiple Correspondence Analysis (MCA) of high-frequency keywords on the Black sapote.

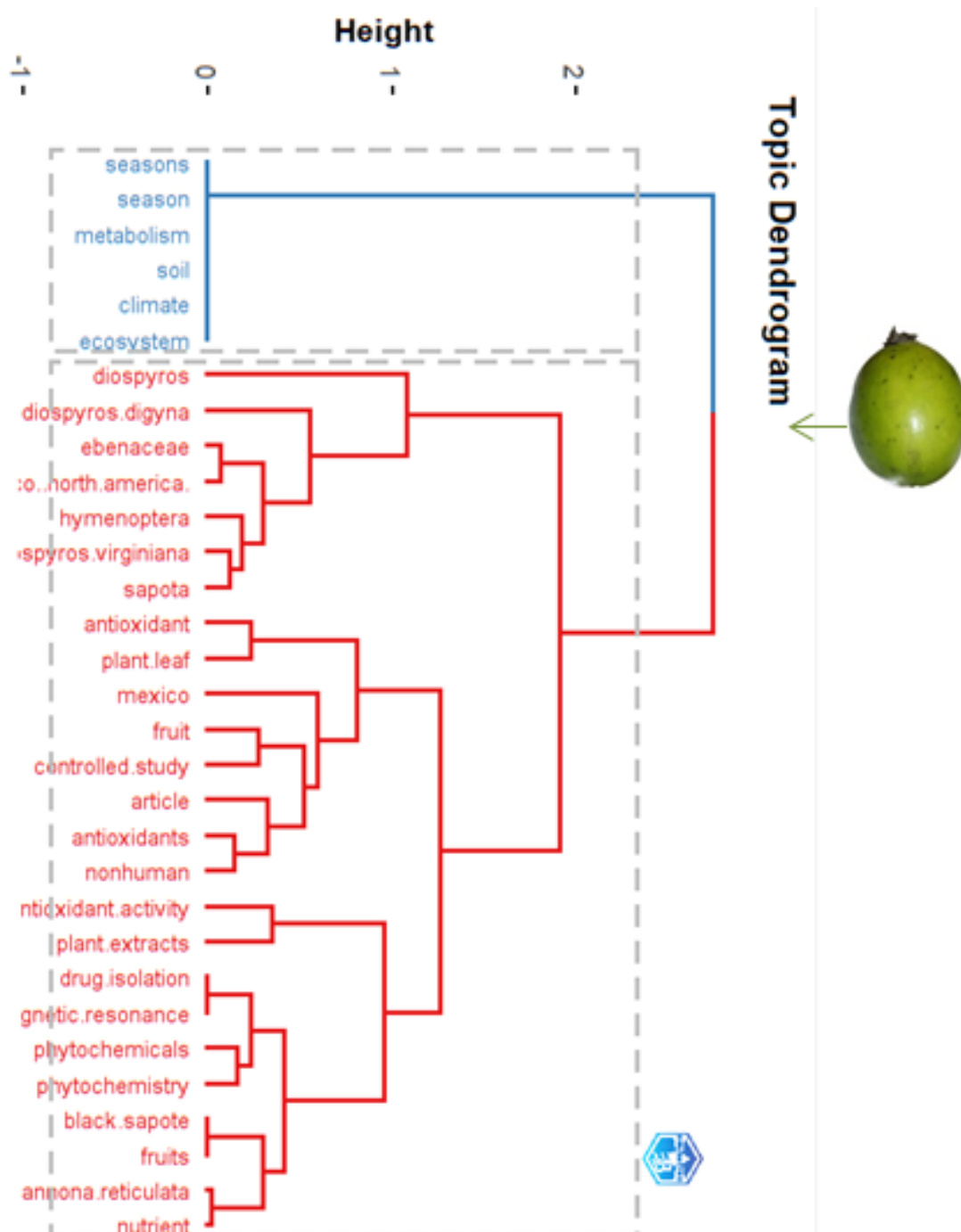


Figure 4.10. Tree dendrogram from the analysis of hierarchical clusters of keywords on the Black sapote.

Table 4.3 shows the 10 most cited documents, the total number of citations, citations per year as well as the topic of study of the document. It is shown that

the document with the most citations is the one published by Moo Huchin VM, *et al.* (2014) in which the main subject of the study is the measurement of the antioxidant capacity of fruit extracts. The study and isolation of antioxidant compounds is also the most cited document. This is the focus of study of three other documents on this list.

Table 4.3. 10 Most Cited Documents Globally on the Black sapote

Document	Theme	Total Citations	Total citations per year	Reference
MOO-HUCHIN VM, 2014, FOOD CHEM	Determination of the antioxidant capacity of fruit extracts	121	12.1	Moo-Huchin <i>et al.</i> , 2014,
RICKER M, 2007, CAN J FOR RES	Effect of CO ₂ on growth	32	1.9	Ricker <i>et al.</i> , 2007
PELÁEZ-CID AA, 2020, CHIN J CHEM ENG	Synthesis of activated carbons	27	6.8	Peláez-Cid <i>et al.</i> , 2020
YAHIA EM, 2011, FOOD RES INT	Characterization of antioxidants	1	1.4	Yahia <i>et al.</i> , 2011
RICKER M, 2000, FOR ECOL MANAGE	Growth Prediction Models	14	0.6	Ricker <i>et al.</i> , 2000
RAMÍREZ-BRIONES E, 2017, PLOS ONE	Study of natural growth habitats	14	2	Ramírez-Briones <i>et al.</i> , 2017
DINDA B, 2006, CHEM PHARM BULL	Isolation of compounds in leaves and stems	12	0.7	Dinda B. <i>et al.</i> , 2006
ARELLANO-GÓMEZ LA, 2005, AGROCIENCIA	Biochemical and physiological changes during maturation of fruits	11	0.6	Arellano Gómez L. <i>et al.</i> , 2005
RAMÍREZ-BRIONES E, 2019, PLANTS	Study of metabolite diversity in leaves	9	1.8	Ramírez Briones E. <i>et al.</i> ,

				2019
RAMÍREZ- BRIONES E, 2019, J SCI FOOD AGRIC	Study of the metabolomic, chemical and antioxidant profiles of fruits	8	1.6	Ramírez Briones E. <i>et al.</i> , 2019

Likewise, Figure 4.11 shows a dynamic of the top 10 keywords most used by the authors. The words "Antioxidants" and "Climate" are the words that have shown a growth trend up to 2022.

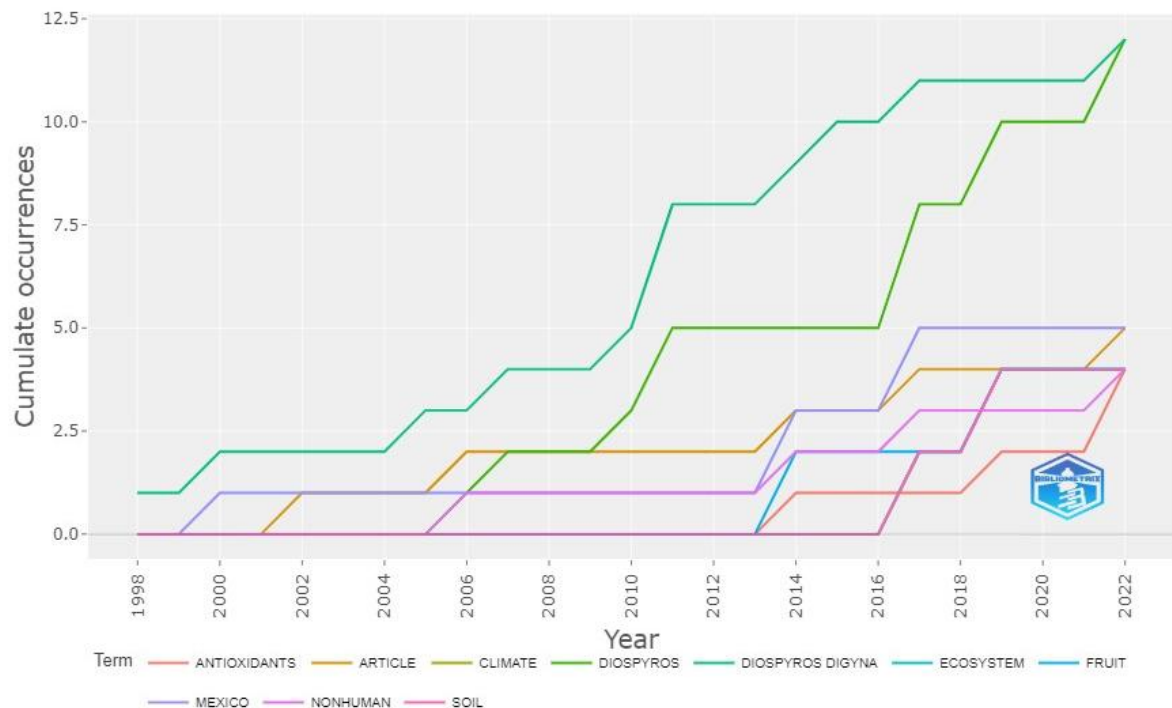


Figure 4.11. Dynamic view of authors' keywords over time.

Finally, Figure 4.12 shows a representation of the relationship of the 10 most prolific scholars in relation to their countries and specific areas of interest in the study of the Black sapote. This figure is a three-field diagram of article contributions from countries, authors, and topics within the Black sapote field. The left column shows the names of the scholars, the middle column

represents the countries active on the topic, and the right column represents the keywords most used by the authors. It can be observed that Mexico has the affiliations of the main authors, in addition, "antioxidant activity" has been the most studied topic.

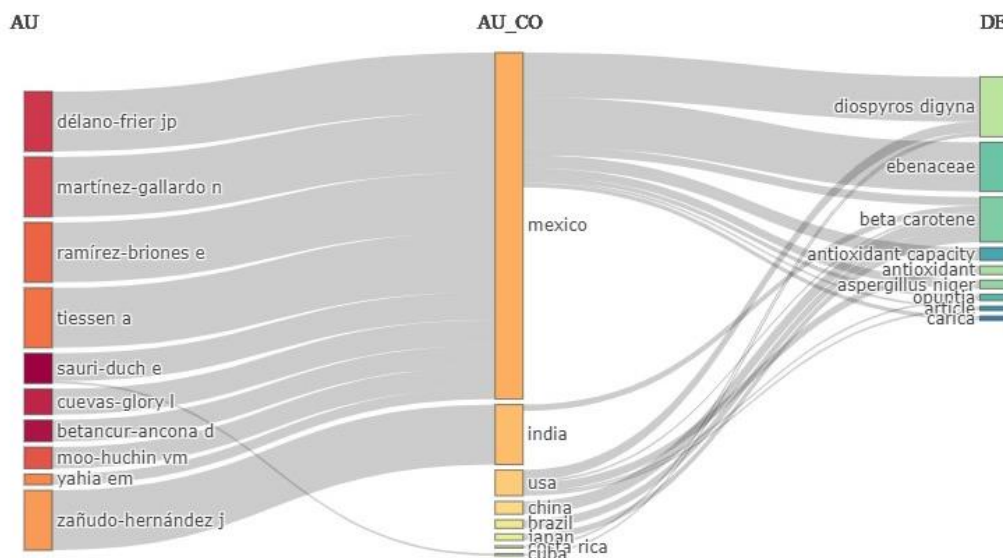


Figure 4.12. Authors, countries, and topics of study related to the Black sapote. The height of the box indicates its production or productivity, the higher the box, the higher the output. The thickness of the line indicates its level of correlation; the thicker, the greater the correlation.

4.6. Conclusions

The bibliometric research carried out on the Black sapote (*Diospyros nigra* (J.F.Gmel.) Perr. & Perr.) has the following characteristics:

1. From the perspective of the publication trend, the number of documents on the Black Sapote is scarce with a negative trend.
2. Mexico is positioned as the most influential on the subject. The analysis showed that in Mesoamerican countries, where the Black sapote also

originates, as well as Mexico, there is little or no production of scientific literature on the subject.

3. The most frequent keywords are "antioxidants" and "plant extracts". It is concluded from the analysis of high-frequency keywords that the elucidation of the chemical components of the Black sapote has been the topic of greatest interest by the researchers.
4. Most of the authors have published only one article on the subject, with four being the maximum number of publications on the subject by the same author.
5. The work published by the author Moo-Huchin *et al.* in 2014 stands out as the most cited work among the documents analyzed whose central theme is the study of the antioxidant capacity of fruit extracts.

Similarly, the results reveal that there is a scarcity of scientific studies pertaining to fruit cultivation practices, post-harvest management, and the creation of value-added products derived from this fruit. Notably, the dark color of the fruit, while it possesses a pleasant flavor, may deter some consumers. This limited research in crop management could potentially be a contributing factor to the decline in production. It underscores the importance of promoting both national and regional research to provide producers with valuable insights for enhanced management. Furthermore, there is a paucity of research focusing on adding value to the fruit to stimulate increased consumption. In general, the study of the Black sapote (*Diospyros nigra* (J.F. Gmel.) Perr. & Perr.) continues to represent an opportunity to innovate and take advantage of this important endemic crop.

4.7. Acknowledgements

The authors thank the National Council of Humanities, Sciences and Technologies (CONAHCYT) for the scholarship (90726) provided to the first author.

4.8. Conflicto de intereses

The authors declare that they have no conflict of interest of any kind.

4.9. References

- Arellano-Gómez, L.A., Saucedo-Veloz, C., Arévalo-Galarza, L. (2005). Biochemical and physiological changes during ripening of black sapote fruit (*Diospyros digyna* Jacq.) [Cambios bioquímicos y fisiológicos durante la maduración de frutos de zapote negro (*Diospyros digyna* Jacq.). *Agrociencia* 39(2): 173-781.
- Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017). Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, 11(4), 959–975. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>
- Bornmann, L., Marx, W. (2018). Critical rationalism and the search for standard (field-normalized) indicators in bibliometrics. *J. Informetr.*, 12, 598–604
- Castañeda-Vildózol, A., Franco-Mora, O., Lomelí-Flores, J.R., Váldez-Carrasco, R., Rodríguez-Leyva E., Nava-Díaz, E. (2015). Nuevos Huéspedes e Incidencia Natural de un Parasitoide de Huevos de *Chlorocoris distinctus* Signore (Hemiptera: Pentatomidae) en México. *Southwestern Entomologist*, 40(1), 217-222
- Can-Cauich, C. A.; Sauri-Duch, E.; Betancur-Ancona, D.; Chel-Guerrero, L.; Gonzalez-Aguilar, G. A.; Cuevas-Glory, L. F.; Pérez-´ Pacheco, E.; Moo-Huchin, V. M. (2017). Tropical fruit peel powders as functional ingredients: Evaluation of their bioactive compounds and antioxidant activity. *J. Funct. Foods*, 37, 501–506
- Corral-Aguayo, R. D., Yahia E. M., Carrillo-Lopez A., and González-Aguilar, G. (2008). Correlation between some nutritional components and the total antioxidant capacity measured with six different assays in eight horticultural crops, *J. Agric. Food Chem.*, 56 (22), 10498–10504, <https://doi.org/10.1021/jf801983r>
- García-Sols, P., Yahia, E.M., Morales-Tlalpan, V., Díaz-Muñoz, M. (2009).

- Screening of antiproliferative effect of aqueous extracts of plant foods consumed in Me´xico on the breast cancer cell line MCF-7, *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 60(S6): 32-46. DOI: <https://doi.org/10.1080/09637480802312922>
- Dinda, B., Das, S.K., Bhattacharya, A., De, U.C., Harigaya, Y. (2002). Chemical constituents of *Diospyros nigra*. *J. Indian Chem. Soc.*, 79, 553-54.
- Dinda, B., Bhattacharya, A., De, U.C., Arima, S., Takayanagi, H., & Harigaya, Y. (2006). Antimicrobial C-glucoside from aerial parts of *Diospyros nigra*. *Chemical & pharmaceutical bulletin*, 54 5, 679-81.
- Ding, Y. (2011). Scientific collaboration and endorsement: Network analysis of coauthorship and citation networks. *J. Informetr*, 5, 187–203.
- Dibbets, P., Borger, L., Nederkoor, C. (2021). Filthy fruit! Confirmation bias and novel food. *Appetite* 167(105607). <https://doi.org/10.1016/j.appet.2021.105607>
- Farías-Chagoya, H.A., Ballesteros-Almanza, M.L., Aranda, J.L.A., Arciga-Sosa, M.A. (2021).Número cromosómico de dos especies mexicanas del género *Diospyros*, Zapote Prieto (Ebenaceae). *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 44 (4): 683 - 685
- Heradio, R., De La Torre, L., Galan, D., Cabrerizo, F. J., Herrera-Viedma, E., & Dormido, S. (2016). Virtual and remote labs in education: A bibliometric analysis. *Computers in Education*, 98, 14–38.
- Jiménez-González, O., González-Pérez, J., Mejía-Garibay, B., López-Malo, A., Guerrero-Beltrán, J.Á. (2023). Caramel colour pigments from black sapote (*Diospyros digyna*): Obtention and food application. *Sustainable Food Technol.* 1, 555–566
- Liu, X. (2004). Using concept mapping for assessing and promoting relational conceptual change in science. *Science Education*, 88(3), 373–396. <https://doi.org/10.1002/sce.10127>
- Mannino, G., Serio, G., Gaglio, R., Busetta, G., La Rosa, L., Lauria, A., Settanni, L., Gentile, C. (2022). Phytochemical Profile and Antioxidant,

- Antiproliferative, and Antimicrobial Properties of *Rubus idaeus* Seed Powder. *Foods*. 11(17):2605. doi: 10.3390/foods11172605.
- Merino-Sánchez, Liliana, Romero-Luna, Haydee Eliza, García-Barradas, Oscar, Mendoza-López, María Remedios, & Jiménez-Fernández, Maribel. (2022). Physicochemical and antioxidant changes of black sapote (*Diospyros digyna*, Ebenaceae) during on-tree fruit development. *Acta botánica mexicana*, (129), e2032. <https://doi.org/10.21829/abm129.2022.2032>
- Mickelbart, M. V., and Marler, T. E. (1998). Growth, gas exchange, and mineral relations of black sapote (*Diospyros digyna* Jacq.) as influenced by salinity. *Sci. Hortic. (Amsterdam)* 72 (2), 103–110. doi: 10.1016/S0304-4238(97) 00095-2
- Morton, J.F. (1987). *Black Sapote Fruits of warm climates*, Miami, F.L.
- Muñoz de Chávez, Miriam, Chávez Villasana, Adolfo, Roldán Amaro, José Antonio, Ledesma Solano, José Angel, Mendoza Martínez, Eduardo, Pérez-Gil Romo, Fernando; Hernández Cordero, Sonia Lizet; Chaparro Flores, Alejandra Guadalupe. (1996). *Tablas de Valor Nutritivo de los Alimentos de Mayor Consumo en México*. Editorial Pax, México.
- Moo-Huchin, V. M., Gonzalez-Aguilar, G. A., Moo-Huchin, M., Ortiz-Vazquez, E., Cuevas-Glory, L., Sauri-Duch, E., Betancur-Ancona, D. (2017). Carotenoid composition and antioxidant activity of extracts from tropical fruits. *Chiang Mai J. Sci.*, 44 (2), 605–616.
- Moo-Huchin, V. M., Estrada-Mota, I., Estrada-León, R., Cuevas-Glory, L., Ortiz-Vazquez, E., Vargas, M. de L. V., Betancur-´ Ancona, D., Sauri-Duch, E. (2014). Determination of some physicochemical characteristics, bioactive compounds and antioxidant activity of tropical fruits from Yucatan, Mexico, *Food Chem.*, 152, 508–515, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.12.013>
- Pelaez-Cid, A. A., Romero-Hernaández, V., Herrera-González, A. M., Bautista-Hernandez, A., Coreño-Alonso, O. (2020). Synthesis of activated carbons

- from black sapote seeds, characterization and application in the elimination of heavy metals and textile dyes. *Chin. J. Chem. Eng.* 28 (2), 613–623.
- Pino, J. A., Ortiz-Vazquez, E., Sauri-Duch, E., Cuevas-Glory, L. (2014). Characterization of aroma-active compounds in black sapote (*Diospyros digyna* Jacq.). *Acta Aliment.*, 43 (4), 547–552.
- Provance, M. C., García-Ruíz, I., Thommes, C. and Ross-Ibarra, J. (2013). Population genetics and ethnobotany of cultivated *Diospyros riojae* Gómez Pompa (Ebenaceae), an endangered fruit crop from Mexico. *Genet. Resour. Crop Evol.* 60: 2171–2182.
- R CORE TEAM, R. (2017). A language and environment for statistical computing, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, Available: <https://www.R-project.org/>
- Ramírez-Briones, E., Rodríguez-Macías, R., Salcedo-Pérez, E., Ramírez-Chávez, E., Molina-Torres, J., Tiessen, A., Ordaz-Ortiz, J., Martínez-Gallardo, N., Délano-Frier, J.P., Zañudo-Hernández, J. (2019) Seasonal Changes in the Metabolic Profiles and Biological Activity in Leaves of *Diospyros digyna* and *D. rekoi* "Zapote" Trees. *Plants (Basel)*. 8(11):449. doi: 10.3390/plants8110449. PMID: 31731430
- Ramírez-Briones, E., Rodríguez-Macías, R., Salcedo-Pérez, E., Martínez-Gallard, N., Tiessen A., Molina-Torres, J., Délano-Frier, J.P., Zañudo-Hernández, J. (2017). Seasonal variation in non-structural carbohydrates, sucrolytic activity and secondary metabolites in deciduous and perennial *Diospyros* species sampled in Western Mexico. *PLoS ONE* 12(10): e0187235. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0187235>
- Ricke, M., Gutiérrez-García, G., Daly, D.C. (2007). Modeling long-term tree growth curves in response to warming climate: Test cases from a subtropical mountain forest and a tropical rainforest in Mexico. *Canadian Journal of Forest Research*, 37: 977-989. <https://doi.org/10.1139/X06-304>

- Ricker, M., Siebe, C., Silvia, Sánchez B., Shimada,, K., Larson, B.C., Martínez-Ramos, M., Montagnini, F. (2000). Optimising seedling management: *Pouteria sapota*, *Diospyros digyna*, and *Cedrela odorata* in a Mexican rainforest, *Forest Ecology and Management*, 139: 63-67. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(99\)00335-7](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(99)00335-7)
- Romero, L., & Portillo-Salido, E. (2019). Trends in sigma-1 receptor research: A 25-year bibliometric analysis. *Frontiers in Pharmacology*, 10(MAY), 1–17. <https://doi.org/10.3389/fphar.2019.00564>
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). (2023). Anuario estadístico de la producción agrícola Recuperado el 15 de octubre de 2023, de www.sagarpa.com.gob .
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2023). Estadísticas de los cultivos. Recuperado el 15 de octubre de 2023, de <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> .
- Surapuram, V., Setzer, W. N., McFeeters, R. L., McFeeters, H. (2014) Antifungal activity of plant extracts against *Aspergillus niger* and *Rhizopus stolonifer*. *Nat. Prod. Commun*, 9 (11), 1603.
- Torres, I. y Arizaga, S. (2014). “Nota sobre nuevas localidades de poblaciones silvestres del zapote prieto (*Diospyros xolocotzii*, Ebenaceae), especie amenazada del occidente de México”, *Acta Botánica Mexicana*, Vol. 107, págs. 19-26.
- Urbina, M., (1903). Los zapotes de Hernández. *Anales Del Instituto Nacional De Antropología E Historia*, 1(7), 209–234.
- Xin-Xin, X. Wang, H.X., Chen, D.J., Ke, X.R., Zhu, Z.X., Wang, H.F. (2022). Complete plastome sequence from a cultivar of *Diospyros nigra* (J.F.Gmel.) M.R. Almeida (Ebenaceae): a nutritious fruit tree with high economic value cultivated in Hainan province, China. *Mitochondrial DNA B Resour.* 7(5):789-790. doi: 10.1080/23802359.2022.2072243
- Yahia, E.M., Gutierrez-Orozco, F., Leon C.A.D. (2011). Phytochemical and antioxidant characterization of the fruit of black sapote (*Diospyros digyna*

Jacq.). Food Research International. 44: 2210-2216.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.11.025>

Zupic, I., & Čater, T. (2015). Bibliometric methods in management and organization. Organizational Research Methods, 18(3), 42.

5. Modelado de masa de frutos a partir de sus atributos geométricos, una revisión bibliométrica

Olmedo O. G.¹; Villaseñor P. C.A.¹; Mancera R. A.²; De la Cruz
DLC. E.³; Cynthia S. A.¹; López C. GDJ⁴; Venegas O. MDR⁴

¹Posgrado de Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua, Universidad Autónoma Chapingo, Carretera México-Texcoco km 38.5. 56230. Chapingo, Estado de México. ²Posgrado de Tecnología de Granos y Semillas, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calzada Antonio Narro No. 1923, Col. Buenavista. 25315. Saltillo, Coahuila. ³Departamento de Agrobiotecnología, Universidad Tecnológica de la Huasteca Hidalguense, Huejutla, Hidalgo, México. ⁴Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo, Carretera México-Texcoco km 38.5. 56230. Chapingo, Estado de México.

correo-e: cvillasenorp@chapingo.mx

5.1. Keywords:

Modelado de masas, propiedades geométricas

5.2. Introducción

México se posiciona como el quinto productor de frutas a nivel mundial (SAGARPA, 2020), cuenta con una diversidad de frutas, muchas de ellas endémicas, sin embargo algunas frutas no han sido aprovechadas debido, en parte, a la falta de técnicas y equipos adecuados para el procesamiento poscosecha. La determinación de la masa, la longitud, el ancho, el grosor, el volumen y las áreas proyectadas de las frutas, son atributos geométricos de las frutas importantes en los sistemas de calibrado utilizados para clasificarlas, lo cual es substancial para la comercialización ya que las frutas con peso similar y forma uniforme tienen una alta aceptación por parte del consumidor en el mercado (Panda *et al*, 2020), por lo que en el presente trabajo se propuso realizar una revisión bibliométrica para conocer el panorama actual de la

investigación científica sobre el tema y detectar las oportunidades de investigación al respecto.

Se realizó un análisis bibliométrico en el cual se construye una red de correlaciones entre los documentos publicados, midiendo el impacto de cada contribución dentro del campo de investigación examinado, a partir de la análisis de las palabras clave (Ellegaard & Wallin, 2015), es así que se plantearon las siguientes preguntas: ¿Desde cuándo se estudia el modelado de masa en frutas?, ¿En qué países se ha investigado sobre el tema?, ¿A cuántas frutas se les ha determinado el modelado de masa? y ¿En México se cuentan con estudios sobre el tema?; para lo cual

5.3. Materiales y Métodos

Se buscó en la base de datos SCOPUS con la combinaciones de palabras claves “Modelado de masas en frutos”, se delimitó la fuente a “article research”; la búsqueda arrojó 1036 artículos y después de una revisión se seleccionaron 45 artículos, los cuales se procesaron con la aplicación Biblioshiny del ambiente de programación R (versión 4.1.2) (2017) para extraer la información necesaria para dar respuesta a las preguntas de investigación planteadas.

5.4. Resultados y Discusión

El modelado de masa en frutos ha sido estudiado desde 2005 a la fecha en 45 diferentes frutos generando 45 artículos publicados, siendo la India el país que más desarrollo de investigaciones a nivel mundial ha realizado (45.5%) e Irán el país con mayor número de citas sobre el tema (69.1%); es de hacer notar que México no cuenta con producción científica en el tema a pesar de ser el quinto productor mundial de frutas. Asimismo, en todos los artículos reportados se obtuvieron modelos adecuados ($R^2 > 0.8$) para el modelado de las masas de los frutos a partir de sus atributos geométricos. En la figura 5.1 se muestra la producción de los 20 principales autores sobre el tema, se observa que a partir del 2017 existe una tendencia a estudiar el tema dado la realización de mayor

número de estudios publicados al respecto. Asimismo, las investigaciones han arrojado principalmente a las áreas proyectadas como principal atributo geométrico empleado para estimar la masa en los frutos como se muestra en la figura 5.2.

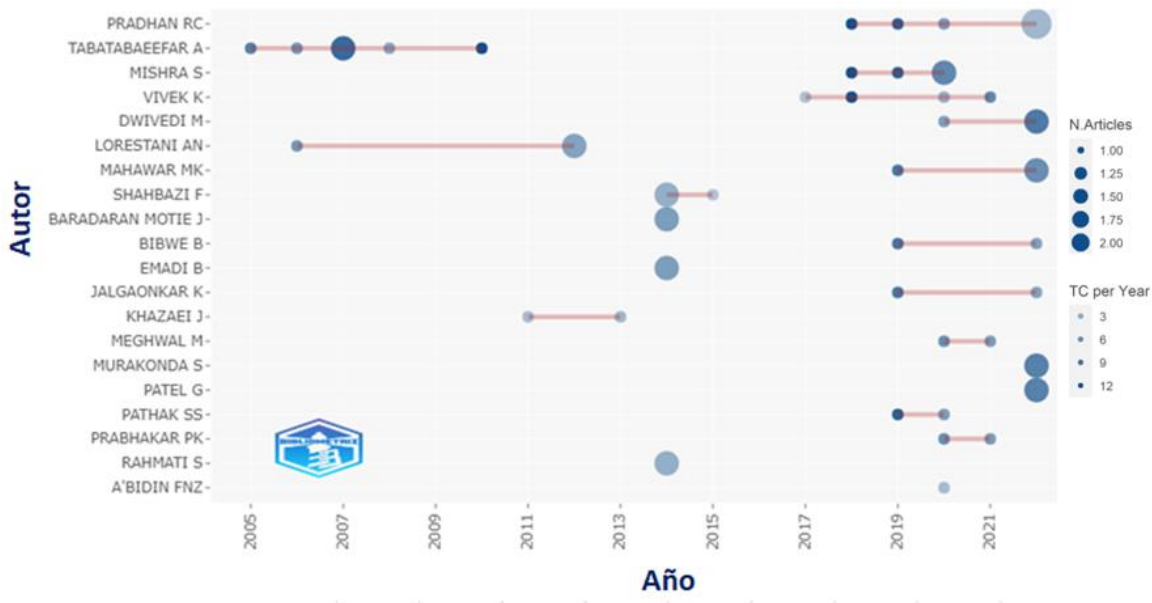


Figura 5.1. Producción científica por autor a través del tiempo.



Figura 5.2. Principales áreas estudiadas sobre el modelado de masas.

5.5. Conclusiones

El modelado de masa de frutos a partir de sus atributos geométricos es un tema emergente con escasos estudios a pesar de que se ha demostrado la obtención de modelos adecuados, en particular México no cuenta con estudios sobre el tema a pesar de tener una diversidad de frutos endémicos poco aprovechados, por lo que se hace manifiesto la oportunidad de realizar el estudio del modelado de masa a partir de sus atributos geométricas en más frutos en particular los frutos poco aprovechados en México.

5.6. Literatura Citada

- Ellegaard, O., & Wallin, J. A. (2015). The bibliometric analysis of scholarly production: How great is the impact? *Scientometrics*, 105(3), 1809–1831
- Panda, G., Vivek, K., and Mishra, S. (2020). Physical Characterization and Mass Modeling of Kendu (*Diospyros melanoxylon* Roxb.). *Fruit. Int. J. Fruit Sci.*, 20(sup3) <https://doi.org/10.1080/15538362.2020.1851339>
- R CORE TEAM, R: A language and environment for statistical computing, R Foundation for Statistical Computing. (2017). Vienna, Austria. Disponible: <https://www.R-project.org/>
- SAGARPA (2020). Frutas, una delicia del campo mexicano. Recuperado el 27 de julio de 2023, de <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/frutas-una-delicia-del-campo-mexicano?idiom=es>

6. CHARACTERIZATION OF PHYSICAL PROPERTIES AND MODELING OF THE MASS BY GEOMETRICAL ATTRIBUTES OF BLACK SAPOTE (*Diospyros nigra* (J.F.Gmel.) Perr. & Perr.) FROM THE STATE OF HIDALGO, MEXICO

Guadalupe Olmedo-Obrero¹, Carlos Alberto Villaseñor-Perea^{2*}, Arturo Mancera-Rico³, Emigdio De la Cruz-De la Cruz⁴, Ma. del Rosario Venegas-Ordoñez², Gilberto de Jesús López-Canteñs², Cynthia Serna-Abascal¹

¹Postgraduate in Agricultural Engineering and Integral Water Use from Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Mexico, 56230.

²Department of Agricultural Mechanical Engineering, Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Mexico, 56230.

³Department of Plant Breeding, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, Mexico, 25315.

⁴Department of Agrobiotechnology, Universidad Tecnológica de la Huasteca Hidalguense, Huejutla, Hidalgo, Mexico, 43000.

*Author for correspondence: cvillasenorp@chapingo.mx

6.1. ABSTRACT

The fruits of black sapote (*Diospyros nigra* (J.F.Gmel.) Perr. & Perr) have been consumed in Mexico and Central America since pre-Hispanic times, they contain antioxidant compounds, minerals and vitamins, therefore, they have great nutraceutical and agro-industrial potential. Despite this, there is no scientific information on its physical and mechanical characterization of the fruit that helps in the design and development of protocols and equipment for storage, handling, processing and added value for a better use of the fruit, so in the present work a characterization of physiologically ripe fruits of black sapote (*Diospyros nigra* (J.F.Gmel.) Perr. & Perr) from the State of Hidalgo, Mexico was carried out with a day of storage after the harvest, of their physical and mechanical properties, under environmental storage conditions, models were also determined for the prediction of the mass of the fruits using their dimensional characteristics, determining that the quadratic models based on the volume of ellipsoid ($R_{66}^2 =$

0.8919) and width of the fruits ($R^2 = 0.8252$) as the most appropriate to predict their mass. Likewise, a maximum compressive load force of 869.99 N and an apparent modulus of elasticity of 0.0088 MPa were determined.

6.2. Keywords.

Diospyros nigra (J.F.Gmel.) Perr. & Perr, Mechanical properties, Modulus of elasticity, Mass modeling, *Diospyros digyna* Jacq.

6.3. INTRODUCTION

The black sapote (*Diospyros nigra* (J.F.Gmel.) Perr. & Perr.) also known as *Diospyros digyna* Jacq., is a native fruit of Mesoamerica (from Mexico to Costa Rica), belongs to the Ebenaceae (Garcia Diaz *et al.*, 2015) family and its consumption has been made since the Mayans and Aztecs. They contain nutrients such as calcium, phosphorus, iron lutein and vitamins C and E, in addition to various phenolic compounds (Morton, 1987; Moo-Huchin *et al.*, 2014), consequently they have a great nutraceutical and agro-industrial potential; however, the high perishability of these fruits has been a limitation for their commercialization outside the production regions, so they are currently little commercialized; in this regard, in Mexico, in 2021 a sown area of 2488 hectares was reported with a production of 18482 tons (SIAP, 2023).

Fruits are known to be highly perishable products due to their architecture and intense metabolic activity; the deterioration of these has caused farmers to lose up to 40 % of the value of their fruits and vegetables before they reach the consumer (Kitinoja *et al.*, 2011) and the study of the physical characteristics of fruits and their relationships is necessary for the design, development and optimization of various equipment suitable for harvesting, post-harvest processing and material handling (Miraei *et al.*, 2014; Jaiswal *et al.*, 2017). The determination of the mass, length, width, thickness, volume and projected areas of the fruits are important in the calibration systems used to classify the fruits, which is substantial for marketing since fruits with similar weight and uniform

shape have a high acceptance by the consumer in the market (Panda *et al.*, 2020). In this regard, fruit classification systems could be optimized by knowing the relationship between the physical properties of fruit and mass (Vivek *et al.*, 2018), since their geometric properties are easily measurable and their modeling could reduce the time of classification as well as work and costs in industries (Demir *et al.*, 2020), so various investigations have shown the advantage of modeling the mass of fruits, as it has been for the fruits *Neolamarckia cadamba*, *Fragaria x Ananasa*, *Laurocerasus officinalis* Roem., *Euryale ferox* Salisbury, *Phyllanthus emblica*, *Psidium guajava* L., *Haematocarpus validus*, *Flacourtia jangomas*, *Diospyros melanoxylon* Roxb., *Terminalia bellerica* and *Citrus reticulata* L (Panda *et al.*, 2022; Birania *et al.*, 2022; Altuntas and Mahawar, 2021; Gaurav *et al.*, 2022; Panda *et al.*, 2020; Sasikumar *et al.*, 2021; Barbhuiya *et al.*, 2020; Pathak *et al.*, 2019; Mahawar *et al.*, 2019). On the other hand, during the transfer and storage processes, the fruits bruise due to the pressure exerted on them by heavy loads, such damage reduces the quality of the product and increases the rate of waste (Jahanbakhshi *et al.*, 2018). Because of this, it is important to study the mechanical properties of the fruits, which are defined as those that are related to the behavior of the materials when applying forces characteristic of deformation stress under static and dynamic loads, so it is necessary to determine the physical-mechanical properties of each particular fruit, due to the close relationship between these properties with their degree of susceptibility to different types of mechanical damage (Pérez-López *et al.*, 2014). In this sense, the American Society of Agricultural Engineers of the United States has dedicated an important group to the determination of mechanical properties of agricultural products. Among the standards developed is the ASAE S368.4 DEC00 (2005) which deals with the compression test of agricultural products and which has served as the basis for the tests in the present study.

According to the Food and Agriculture Organization (FAO, 2003) there is a general tendency on the part of consumers to demand quality food in terms of nutritional value and safety but also demand appearance, freshness and presentation, in this sense it can be said that the fruits of black sapote (*Diospyros nigra* (J.F.Gmel.) Perr. & Perr.) meet a high nutritional value for their vitamin content, minerals and antioxidants, however, their physical and mechanical properties are unknown that allow for proper post-harvest management; it has also been reported that the fruits of black sapote (*Diospyros nigra* (J.F.Gmel.) Perr. & Perr.) have a ripening process with climacteric behavior (Arellano-Gómez *et al.*, 2005), so the fruit is harvested before ripening, which should be completed in a warehouse under controlled conditions of temperature and humidity, so it is important to know its physical-mechanical properties of the fruit once harvested since they can serve as support in the post-harvest stages, thus, the objective of this work was to characterize the physical and mechanical properties of the fruits in physiological maturity freshly harvested, in particular, the dimensions, color, maximum compression load, maximum deformation by compression and apparent modulus of elasticity, in addition to determining models that allow the estimation of the mass of the post-harvest fruits. The results of the research can be applied in the design of post-harvest processes that allow the reduction of damage and waste in the fruits of black sapote (*Diospyros nigra* (J.F.Gmel.) Perr. & Perr.) particularly those from the State of Hidalgo , Mexico.

6.4. MATERIALS AND METHODS

Material. For the present study, 108 fruits of black sapote (*Diospyros nigra* (J.F.Gmel.) Perr. & Perr.) physiologically ripe and without apparent damage were taken; 46 of them were harvested 270 days after anthesis on January 26, 2022 and another 62 were harvested 260 days after anthesis on January 10, 2023. The fruits were obtained from a single wild tree incorporated to a family orchard, provided with no agronomic management - only weed control - in the

Municipality of Atlapexco, Hidalgo, Mexico (21.03954 N, -98.34682 W) where the climate is humid semi-warm with rains all year round (72.1 %) and humid semi-warm with abundant rains in summer (27.9 %). After each harvest, the fruits were immediately packed in plastic nets and transported in 24 hours to Materials Laboratory of the Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Estado de México, Mexico where the measurements were made.

The physical and mechanical properties of the fruits were characterized at a temperature of 21.19 ± 0.42 °C and a relative humidity (RH) of 39.39 ± 4.93 % on January 26, 2022. On January 10, 2023 the harvested fruits were characterized at a temperature of 19.76 ± 0.31 °C and a relative humidity (RH) of 45.12 ± 4 %, as described below:

Moisture. The moisture content was determined following the AOAC method 925.10 (2005). An Ohaus brand digital balance with sensitivity of 0.001g was used. For this measurement, 46 fruits of black sapote (*Diospyros nigra* (J.F.Gmel.) Perr. & Perr.) harvested on January 26, 2022 and 62 fruits harvested on January 10, 2023 were used.

Color. It was determined with a portable colorimeter brand X-rite, obtaining the luminosity L^* (100= white, 0=black), a^* (positive=red, negative=green) and b^* (positive=blue, negative=yellow), the reported coordinates of each sample are average values of 3 records in the equipment. The data was captured in Excel and processed in Adobe® Photoshop® CS3 Extended (ASI, 2007) to determine the red, green and blue (RGB) coordinate model. Subsequently, in the Excel package, the data was processed to obtain the polar coordinates C^* and H° through the following equations (Mcguire, 1992):

for a^* and b^* positives:

$$Tono(h^0) = \arctan \frac{b^*}{a^*};$$

for a^* negative and b^* positive:

$$Tono(h^0) = 180 + \arctan \frac{b^*}{a^*}; \quad (1)$$

$$Croma(C^*) = (a^2 + b^2)^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

For this measurement, 46 fruits of black sapote (*Diospyros nigra* (J.F.Gmel.) Perr. & Perr.) harvested on January 26, 2022 and 62 fruits harvested on January 10, 2023 were used.

Mass. An Ohaus digital balance with a sensitivity of 1 g was used. For this measurement, 46 fruits of black sapote (*Diospyros nigra* (J.F.Gmel.) Perr. & Perr.) harvested on January 26, 2022 and 47 fruits harvested on January 10, 2023 were used.

Dimension. A truper digital Vernier brand whose accuracy was 0.01 millimeters (mm) was used to obtain the dimensions of length (L), width (W) and thickness (T) of the fruits (Figure 6.1). 46 fruits of black sapote (*Diospyros nigra* (J.F.Gmel.) Perr. & Perr.) harvested on January 26, 2022 and 47 fruits harvested on January 10, 2023 were used. The results were expressed in terms of mm.

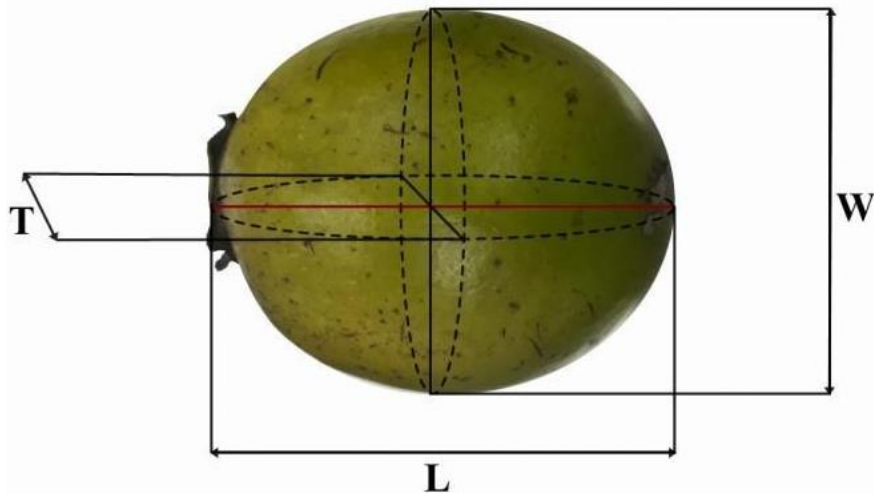


Figure 6.1. Length (L), width (W) and thickness (T) dimensions of the black sapote (*Diospyros nigra* (J.F.Gmel.) Perr. & Perr.) fruit.

From the measurement of L, W and T, dimensional parameters were calculated by using the following equations (Panda *et al.*, 2020):

$$d_g = (L * W * T)^{\frac{1}{3}} \quad (3)$$

where **d_g** represents the geometric mean diameter (mm)

$$d_a = \frac{L+W+T}{3} \quad (4)$$

where **d_a** represents the arithmetic mean diameter (mm)

$$d_e = \left[\frac{L*(W+T)^2}{4} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (5)$$

Where **d_e** represents the equivalent average diameter (mm);

The shape of the fruits of black sapote (*Diospyros nigra* (J.F.Gmel.) Perr. & Perr.) was determined by calculating the sphericity, the aspect ratio of the fruit, and the relationship between the thickness and width of the fruit (**F_R**) and the relationship between length and width (**E_R**), equations 6 to 9 were used:

$$\phi = \frac{(L*W*T)^{\frac{1}{3}}}{L} * 100 \quad (6)$$

where **φ** represents sphericity

$$A_R = \frac{W}{L} \quad (7)$$

where **A_R** represents the aspect ratio

$$F_R = \frac{T}{W} \quad (8)$$

where, **F_R** represents the flaking index

$$E_R = \frac{L}{W} \quad (9)$$

where, **E_R** represents the elongation index

Projected areas perpendicular to thickness, length, and width were calculated using the following equations (Vivek *et al.*, 2018):

$$P_T = \frac{\pi * W * T}{4} \quad (10)$$

where P_T represents the projected area perpendicular to the thickness (mm^2) of the fruit

$$P_L = \frac{\pi * L * W}{4} \quad (11)$$

where P_L represents the projected area perpendicular to the length (mm^2) of the fruit

$$P_W = \frac{\pi * W * W}{4} \quad (12)$$

where P_W represents the projected area perpendicular to the width (mm^2) of the fruit

$$CPA = \frac{P_L + P_T + P_W}{3} \quad (13)$$

where the CPA represents projected area criteria (mm^2).

The surface of the fruits was calculated by reference to the expression:

$$S_a = \pi * d_g^2 \quad (14)$$

where S_a represents the surface area (mm^2) of the fruit.

The volume of the fruits was calculated as a measure of a flattened spheroid, an elongated spheroid and ellipsoid volume referring to the following equations (Shahbazi and Rahmati, 2013):

$$V_{obl} = \frac{4\pi}{3} * \left(\frac{W}{2}\right)^2 * \left(\frac{T}{2}\right) \quad (15)$$

where V_{obl} is the volume of the flattened spheroid (mm^3) of the fruit

$$V_{prl} = \frac{4\pi}{3} * \left(\frac{L}{2}\right)^2 * \left(\frac{W}{2}\right) \quad (16)$$

where V_{prl} is the volume of the elongated spheroid (mm^3) of the fruit

$$V_{ellip} = \frac{4\pi}{3} * \left(\frac{L}{2}\right) * \left(\frac{w}{2}\right) * \left(\frac{T}{2}\right) \quad (17)$$

where V_{ellip} represents the ellipsoid volume (mm^3) of the fruit.

Mass Modeling of Fruits. The mass modeling of the fruits of black sapote (*Diospyros nigra* (J.F.Gmel.) Perr. & Perr.) according to their physical properties was performed using six empirical models, linear, quadratic, power, S-curve, exponential and multiple linear (equations 18 to 23), which have been previously reported for the modeling of fruit mass (Panda *et al.*, 2022; Birania *et al.*, 2022; Altuntas and Mahawar, 2021; Gaurav *et al.*, 2022; Panda *et al.*, 2020; Sasikumar *et al.*, 2021; Barbhuiya *et al.*, 2020; Pathak *et al.*, 2019; Mahawar *et al.*, 2019).

$$M = \beta_0 + \beta_1 X \quad (18)$$

$$M = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 X^2 \quad (19)$$

$$M = \beta_0 X^{\beta_1} \quad (20)$$

$$M = \beta_0 + \beta_1 \frac{1}{X} \quad (21)$$

$$M = \beta_0 e^{\beta_1 X} \quad (22)$$

$$M = \beta_0 + \beta_1 L + \beta_2 W + \beta_3 T \quad (23)$$

where M is the mass (g), X is the physical property of the black sapote fruits and $\beta_0, \beta_1, \beta_2$ y β_3 are the adjustment constants of the curves.

Mechanical properties. 17 fruits of Black sapote (*Diospyros nigra* (J.F.Gmel.) Perr. & Perr.) harvested on January 26, 2022 and 62 fruits harvested on January 10, 2023 to which compression tests were applied, within parallel plates of 15 cm in diameter to determine the mechanical properties of maximum compression load (N), Hencky deformation ($\text{mm} \cdot \text{mm}^{-1}$) and apparent modulus of elasticity (MPa) (Bourne, 2002) of the fruits. The equipment used was an INSTRON (Universal Testing Machine) model 3382, INSTRON, Norwood, MA, USA) with a crosshead speed of $50 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ (ASEAE, 2005) and a load cell of 100 kN. The fruit of black sapote (*Diospyros nigra* (J.F.Gmel.) Perr. & Perr.) was placed in horizontal orientation (transverse axis) on a platform (figure 6.2A), the load was applied until the fracture. The INSTRON machine was simultaneously

connected to a computer with BLUEHILL® Software (Figure 6.2B), which provides the compression load and compression extension values for each fruit evaluated. From the data provided by the software, the Instantaneous Compression Stress-Hencky Deformation curve was generated for each sample, taking into consideration the radial height of the black sapote fruits (*Diospyros nigra* (J.F.Gmel.) Perr. & Perr.) and the surface area of the compression plate. The apparent modulus of elasticity and Hencky deformation were calculated according to the following equations (Nedomová *et al.*, 2017).

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_H} = \frac{\frac{F}{A_{instant}}}{\varepsilon_H}$$

(24)

$$\varepsilon_H = -\ln \left(1 - \frac{\text{Compression extension}}{h} \right)$$

(25)

$$A_{instant} = \frac{A * h}{h - \text{compression extension}}$$

(26)

Where:

E is the apparent modulus of elasticity of the fruit,

σ is the fruit tension,

ε_H is the Hencky deformation in the fruit,

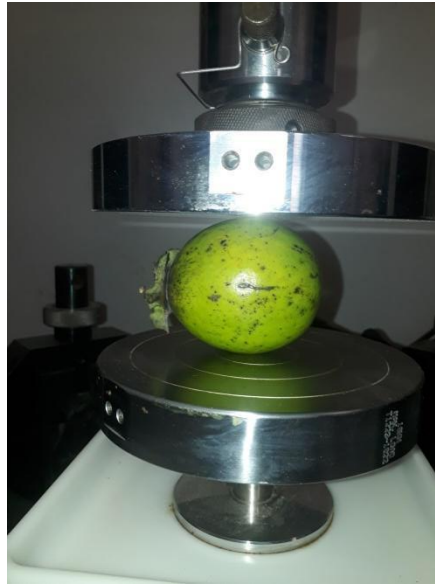
F is the force applied during compression,

A is the area of the disc that makes contact with the surface of the fruit,

$A_{instant}$ is the instant area,

h is the radial height of the fruit.

A



B



Figure 6.2. Compression test (A) sample (B) INSTRON machine attached to the computer.

Statistical analysis. Statistical indices, including mean, minimum, maximum, standard deviation and coefficient of variation, were calculated using R

programming (version 4.1.2) (2017). The raw data of physical properties were used to obtain mass models (regression models between mass and physical characteristics), regression coefficients (R^2) and standard error of estimates (SEE). All model coefficients were analyzed with F-tests and t-tests with $\alpha = 5\%$ and using R programming (version 4.1.2) (2017). The best model fit was decided based on the highest R^2 value and lowest SEE.

6.5. RESULTS AND DISCUSSION

Physical characteristics

Moisture

The moisture content determined for the fruits of black sapote (*Diospyros nigra* (J.F.Gmel.) Perr. & Perr.) harvested on January 26, 2022 was $80.62 \pm 1.68 \%$. For the fruits harvested on January 10, 2023, the moisture content was $76.45 \pm 3.77 \%$. These moisture values match those of 71 to 83 % moisture (Morton, 1987), previously reported

Color

Table 6.1 shows the average results of color measurement of 108 fruits in the CIE-L*a*b* color space, as well as the color palette of epicarps, mesocarps and seeds.

Table 6.1. Rectangular chromatic coordinates and color palette of black sapote.

Part of the fruit	Parameters					Color
	L*	a*	b*	Tono (h°)	Croma (C*)	
Epicarp	51.46 ± 4.40	-5.91 ± 2.14	38.95 ± 4.81	278.82 ± 3.35	39.47 ± 4.70	
Mesocarp	55.12 ± 7.20	7.31 ± 2.39	40.60 ± 7.22	259.93 ± 1.81	41.27 ± 8.09	
Seed	21.57 ± 5.83	11.95 ± 1.28	12.27 ± 1.95	224.76 ± 6.63	17.08 ± 2.16	

A bright green and light yellow color was observed in the epicarp and mesocarp, respectively, which agrees with the reports of Ledesma and Campbell (2001), who mentioned that the color of the pulp of the unripe fruits of black sapote is

golden-yellow. Regarding the seeds present in the fruits, an average of 6 ± 3 seeds per fruit of a dark brown color were obtained (Table 1), with an average weight of 1.23 ± 0.14 grams and a length of 22.07 ± 2.57 mm, which coincides with the report by Morton (1987) who mentions that there can be from 1 to 10 seeds per fruit, which are flat, smooth, brown, 3/4 to 1 inch (1.905-2.54 centimeters) long.

Dimension

The physical parameters of the 93 fruits are shown in Table 6.2, Likewise, Figure 6.3 shows the distributions obtained for the mass (M), length (L), width (W) and thickness (T) of the analyzed lot of black sapote (*Diospyros nigra* (J.F.Gmel.) Perr. & Perr.) fruits.

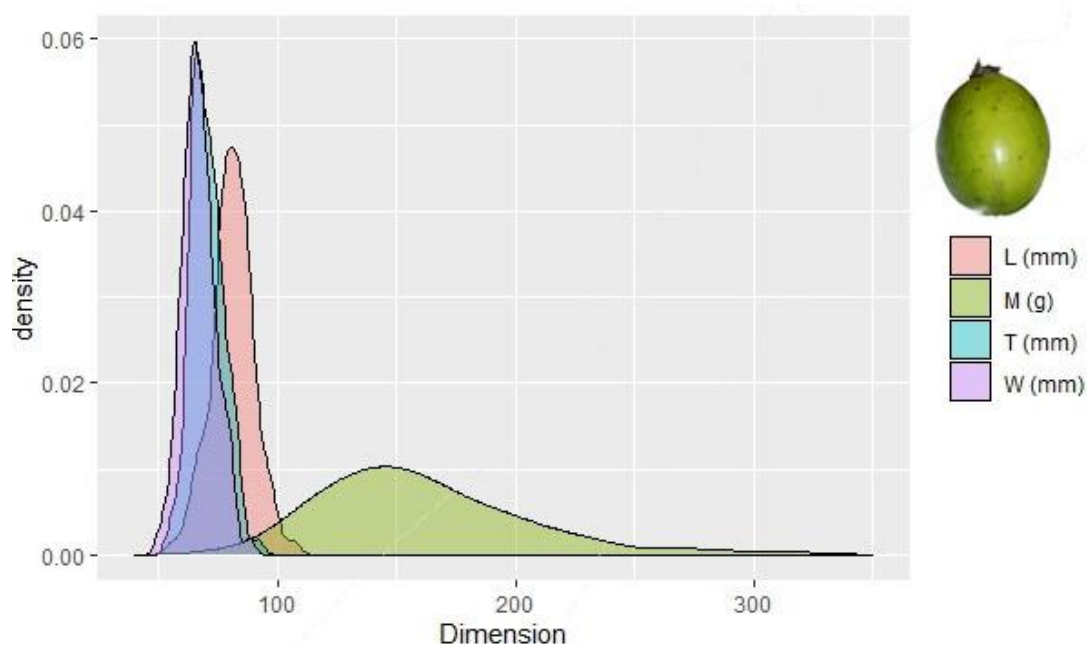


Figure 6.3. Graph of the distributions of mass (M), length (L), thickness (T) and width (W) of black sapote fruits.

Table 6.2. Black sapote fruit dimensions.

Properties	Minimum	Maximum	Mean	Standard deviation	Coefficient of variation (%)
M (g)	74.74	318.55	160.70	43.55	27.10
L (mm)	56.10	106.60	81.05	8.74	10.70
W (mm)	50.50	88.20	66.94	6.88	10.28
T (mm)	54.95	91.70	70.30	6.76	9.62
d_e (mm)	39.10	90.53	72.30	7.00	9.68
d_g (mm)	54.42	90.13	72.34	6.18	8.54
d_a (mm)	54.50	90.80	72.69	6.18	8.50
P_L (mm²)	2225.07	6781.60	4284.25	743.69	17.36
P_W (mm²)	2002.96	6109.80	3555.94	738.64	20.77
P_T (mm²)	2256.80	6352.25	3729.67	740.20	19.85
CPA (mm²)	2161.61	6035.91	3851.43	707.60	18.37
S_A (mm²)	9305.24	25521.64	16557.42	2832.61	17.11
V_{ellip} (mm³)	84404.41	383386.40	203389.88	51900.63	25.52
V_{ops} (mm³)	75979.01	373512.49	169734.38	52075.70	30.68
V_{pri} (mm³)	83217.70	481945.63	235110.24	63840.41	27.15
φ (%)	79.51	106.78	89.89	7.26	8.08
A_R	0.70	1.08	0.83	0.10	12.13
F_R	1.00	1.18	1.05	0.04	3.84
E_R	0.92	1.44	1.22	0.14	11.36

Mass Modeling of Fruits

The quadratic (equation 18) and multiple linear (equation 21) models were selected as the best models for all physical properties because they had the highest coefficients of determination (R^2) and the lowest standard error of

estimates (SEE) values, these models are shown in Table 6.3, also the F test values of these models were significant with a $p < 0.05$.

Table 6.3. Models, their coefficients and the SSEs of the modeling of the black sapote fruit mass.

Independent parameter(s)	Model	R^2	SSE	β_0	β_1	β_2	β_3
W	Quadratic	0.825	18.41	7.850×10^{-1}	-3.189	0.0653*	--
T	Quadratic	0.798	19.80	1.191×10^{-2}	-4.400	0.07037*	--
d_e	Quadratic	0.880	15.27	$6.209 \times 10^{-2*}$	$-1.915 \times 10^{-1*}$	0.17528*	--
d_g	Quadratic	0.878	15.38	$5.120 \times 10^{-2*}$	$-1.616 \times 10^{-1*}$	0.15512*	--
d_a	Quadratic	0.864	16.22	$5.209 \times 10^{-2*}$	$-1.630 \times 10^{-1*}$	0.15498*	--
P_L	Quadratic	0.763	21.57	7.164×10^{-1}	8.837×10^{-3}	$6.721 \times 10^{-6*}$	--
P_w	Quadratic	0.825	18.42	-3.569	$3.923 \times 10^{-2*}$	1.878×10^{-6}	--
P_T	Quadratic	0.838	17.72	1.661×10^{-1}	$4.162 \times 10^{-2*}$	1.528×10^{-6}	--
CPA	Quadratic	0.891	14.51	4.837×10^{-1}	1.479×10^{-3}	$6.957 \times 10^{-6*}$	--
SA	Quadratic	0.876	15.32	$8.006 \times 10^{-1*}$	-4.280×10^{-3}	$5.371 \times 10^{-7*}$	--
V_{ellip}	Quadratic	0.892	14.55	3.400×10^{-1}	$4.639 \times 10^{-4*}$	$7.375 \times 10^{-10*}$	--
V_{osp}	Quadratic	0.839	17.65	1.666×10^{-1}	$9.230 \times 10^{-4*}$	-4.006×10^{-10}	--
L, W y T	Multiple linear	0.885	15.08	$-3.118 \times 10^{-2*}$	1.205*	2.5034*	2.944*

* Indicates that the model coefficients are significant at $p < 0.05$ according to the t-test obtained in the programming environment R

The model that uses the ellipsoid volume (V_{ellip}) as the independent variable is the model with the highest R^2 value and lowest SEE (equation 27 and figure 6.4A), so it is the model that is suggested as the most adequate.

$$M = 4.639 * 10^{-4} V_{ellip} + 7.375 V_{ellip}^2 \quad (27)$$

$$R^2 = 0.8919; \text{SEE} = 14.55$$

Similar results regarding the estimation of fruit mass based on ellipsoid volume (V_{ellip}) within a quadratic model has been reported as a suitable physical property for mass modeling of the fruits *Haematocarpus validus*, *Euryale ferox* Salisbury, *Diospyros melanoxylon* Roxb., *Terminalia chebula* and *Citrus reticulata* L. (Panda *et al.*, 2020; Gaurav *et al.*, 2022; Sasikumar *et al.*, 2021; Pathak *et al.*, 2019; Mahawar *et al.*, 2019), with R^2 values of 0.945, 0.879, 0.955, 0.970 and 0.955 respectively.

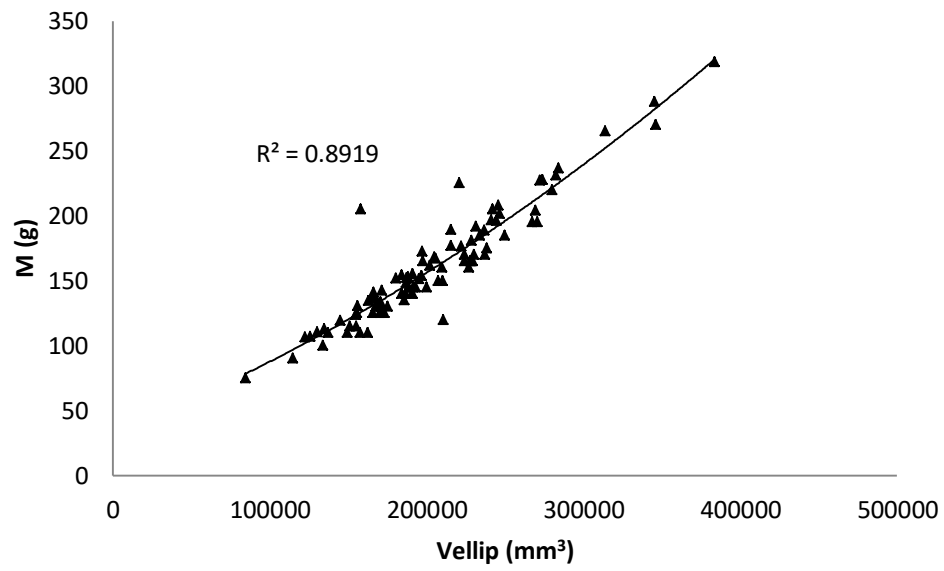
Likewise, the model that uses only fruit width (W) as an independent variable shows R^2 values of 0.8252 and SSE of 18.41 (Equation 28 and Figure 6.4B), which could also be considered a suitable model if a higher speed and lower processing costs of black sapote fruits and data are sought.

$$M = 0.0653W^2 \quad (28)$$

$$R^2 = 0.8252; \text{ SEE} = 18.41$$

Fruit width (W), was reported as a suitable physical property for mass modeling in the case of *Prunus avium* L. fruit by being the most appropriate model among the three one-dimensional models they tested with an R^2 value of 0.825 (Khadiji-Khub and Naderiboldaji, 2013).

A



B

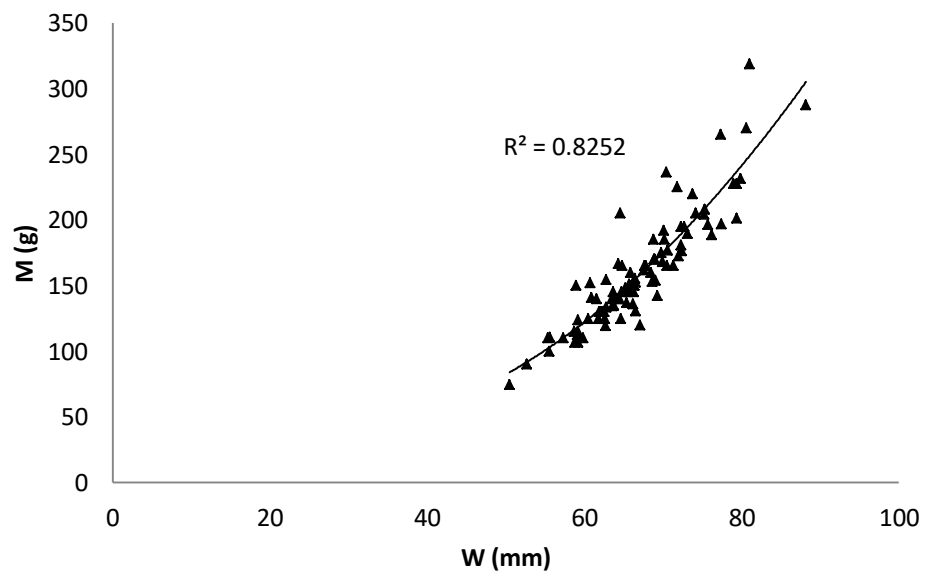


Figure 6.4. Quadratic mass model of black sapote fruits based on (A) Vellip and (B) W .

Mechanical properties

The properties of maximum compressive load, maximum Hencky's strain and apparent modulus of elasticity obtained of 79 fruits are shown in Table 6.4. Also, Figure 6.5 shows an image of the compression test after applying the load to a fruit and Figure 6.6 shows the Compression load -Extension and instantaneous Compressive stress- Hencky's strain curves obtained for a sample.

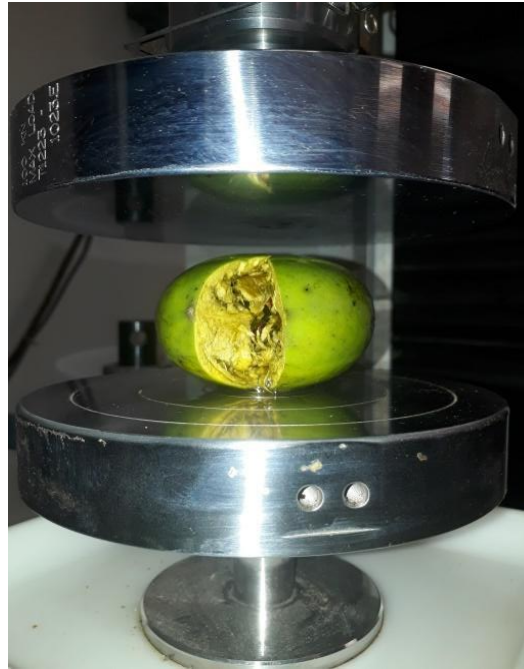


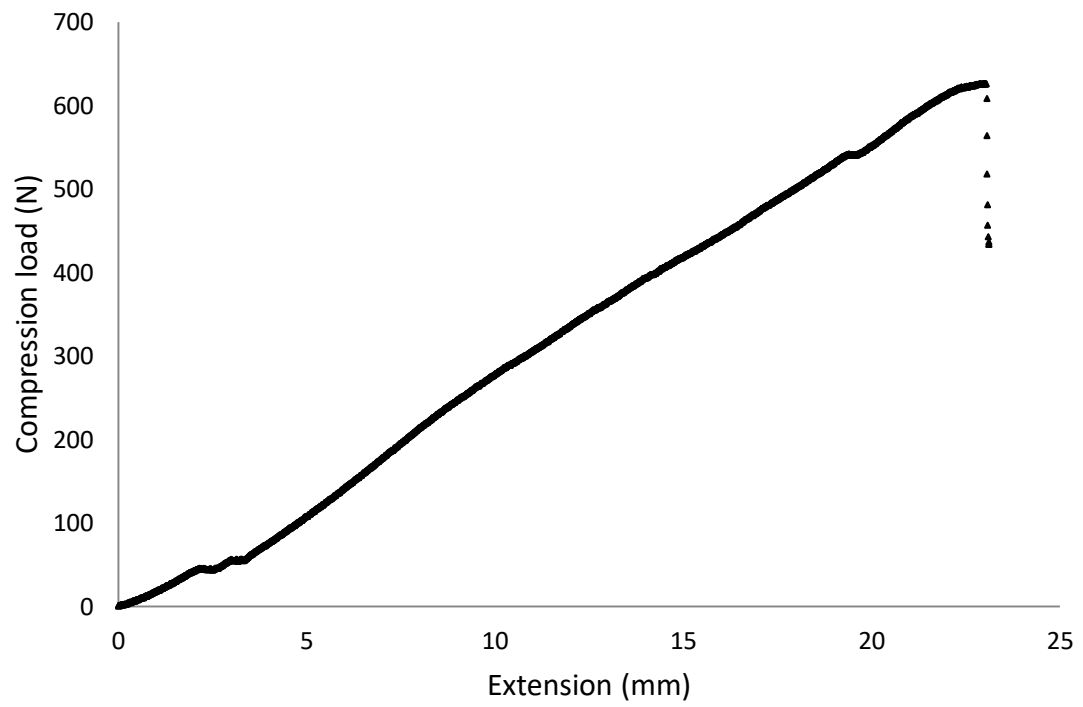
Figure 6.5. Compression test after application of load to a black sapote fruit.

Table 6.4. Values obtained for the mechanical properties of black sapote fruits.

	Maximum compressive load (N)	Maximum Hencky's strain (%)	Apparent modulus of Elasticity (MPa)
Minimum	399.72	21.82	0.04751
Maximum	1623.75	54.69	0.14991
Average	869.99	41.77	0.08771
Standard deviation	234.8	5.01	0.02526

Coefficient of variation (%)	26.99	12.18	28.80
------------------------------	-------	-------	-------

A



B

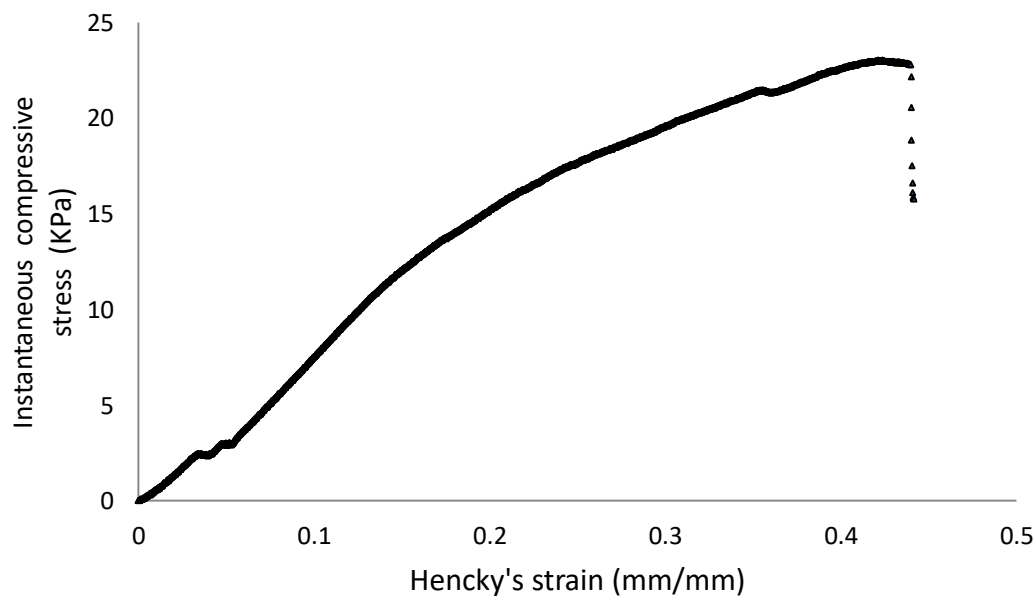


Figure 6.6. Graph Compression test (A) Compression load – Extension (B) Instantaneous compressive stress- Hencky's strain.

The results show that the force that the physiologically mature fruits of black sapote (*Diospyros nigra* (J.F.Gmel.) Perr. & Perr.) with one day of post-harvest storage can tolerate, up to the breaking point, is approximately 869.99 N, which is higher than the force reported for other fruits such as Banana (*Cavendish* Var.), with a value of 194 N (Jahanbakhshi *et al.*, 2020) and tomato (*Solanum lycopersicum*) (V. Canyon, Early Ch) with a value of 57.85 N (Lak *et al.*, 2018). Likewise, the results show that the value obtained for the apparent elastic modulus is 0.088 MPa which is higher than that reported for other fruits, such as Banana (*Cavendish* Var.), with a value of 0.00704 MPa (Jahanbakhshi *et al.*, 2020), tomato (*Solanum lycopersicum*) (V. Canyon, Early Ch) with a value of 0.05 MPa (Lak *et al.*, 2018) and lower than that reported for fruits such as orange with a reported value of 0.584 MPa (Gharaghani and Maghsoudi, 2018).

6.6. CONCLUSIONS

In this study, some physical and mechanical properties of black sapote (*Diospyros nigra* (J.F.Gmel.) Perr. & Perr.) fruits from the State of Hidalgo Mexico at physiological maturity with one day of storage were characterized, and models relating some physical properties to fruit mass were also proposed. In the models tested, all physical properties and their coefficients were statistically significant at a $p < 0.05$ level, so they are recommended for the design and development of fruit grading systems. The second order polynomial model was determined as the most suitable with the highest R^2 values, indicating a strong correlation between the characterized physical variables and fruit mass. Two models are the most recommended for the modeling of mass, the one that uses as independent variable the ellipsoid volume (V_{ellip}) and the model that uses as independent variable the thickness (W) of the fruit, the latter being the model that involves fewer resources because it is only necessary to determine only one dimension of the fruit. It was also determined that black sapote fruits from the State of Hidalgo at physiological maturity with one day of storage withstand a maximum compression load of 869.99 N at breakage. The data obtained can be used to design, develop and manufacture different sorting, packing, transport and processing machines for black sapote fruits particularly those from the State of Hidalgo, Mexico. However, it is still necessary to carry out monitoring studies of the physical and mechanical properties and of the compounds present in the fruits of black sapote as well as fruits from different states of Mexico because of their morphological variation from one state to another, in order to determine the correlations between different existing morphologies.

6.7. ACKNOWLEDGMENTS

The authors gratefully acknowledge the Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) for Grant (90726) which provided support for the first author.

6.8. CONFLICT OF INTEREST

The authors declare that they have no conflict of interest of any kind.

6.9. REFERENCES

- Altuntas, E and Mahawa, r MK. (2021). Mass prediction of cherry laurel genotypes based on physical attributes using linear regression models. Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpasa University, 38: 87–94.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). (2005). Official Methods 925.10 (32.1.03) – Solids (total) and Moisture in Flour – Air Oven Methods: Official Methods of Analysis of AOAC International. 15th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC.
- Arellano-Gómez, L.A., Saucedo-Veloz, C. y Arévalo-Galarza, L. (2005). Cambios bioquímicos y fisiológicos durante la maduración de frutos de zapote negro (*Diospyros digyna* Jacq.). Agrociencia, 39(2), 173-181.
- ASAE (Standards, engineering practices and data adopted by the American Society of Agricultural Engineers). (2005). Standard S368.4 DEC00: Compression test of food materials of convex shape. American Society of Agricultural Engineers, USA. St. Joseph Michigan. pp. 600-608.
- Ashtiani, S-HM, Motie J.B., Emadi, B., Aghkhani, M-H. (2014). Models for predicting the mass of lime fruits by some engineering properties. Journal of Food Science and Technology; 51(11): 3411-3417. <https://doi.org/10.1007/>
- ASI (Adobe Systems Incorporated). (2007). Adobe presenta dos ediciones de Photoshop CS3. Available: <https://pcformat.mx/2007/04/02/adobe-presenta-dos-ediciones-de-photoshop-cs3/>
- Barbhuiya, R.I., Nath, D., Singh, S.K. and Dwivedi, M. (2020). Mass Modeling of Indian Coffee Plum (*Flacourtia Jangomas*) Fruit with Its Physicochemical Properties. Int. Journal Fruit Sci., pp. 1–24. <https://doi.org/10.1080/15538362.2020.1775161>
- Bibwe, B., Mahawar, M.K., Jalgaonkar, K., Meena, V.S. and Kadam, D.M. (2022). Mass modeling of guava (cv. Allahabad safeda) fruit with selected

- dimensional attributes: Regression analysis approach. *Journal of Food Process Engineering*, 45(3): e13978. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13978>
- Birania, S., Attkan, A.K., Kumar, S., Kumar, N. and Singh, V.K. (2022). Mass modeling of strawberry (*Fragaria x Ananasa*) based on selected physical attributes. *Journal of Food Process Engineering*, 45(5): e14023. <https://doi.org/10.1111/jfpe.14023>.
- Bourne, MC. (2002). *Food texture and viscosity: Concept and measurement*, 2^a ed. Academic Press, New York.
- Demir, B., Eski, İ., Gürbüz, F., Kuş, Z.A., Sesli, Y., and Ercişli, S. (2020). Prediction of Walnut Mass Based on Physical Attributes by Artificial Neural Network (ANN), *Erwerbs-Obstbau*, 62(1), 47-56. <https://doi.org/10.1007/s10341-019-00468-8>.
- FAO (Food and Agriculture Organization). (2003). *Manual Para la Preparación y Venta de Frutas y Hortalizas*. Available: <http://www.fao.org/3/y4893s/y4893s08.htm>
- Garcia Diaz, Roger, Cuevas Sanchez, Jesús Axayacatl, Segura, Ledesma, Sergio y Basurto Pena, Francisco. (2015). Análisis panbiogeográfico de *Diospyros* spp. (Ebenaceae) en México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc [online]*, 6(1), 187-200.
- Gaurav A, Nath D, Barbhuiya RI and Pradhan, RC. (2022). Physical characterization and mass modeling of traditionally Popped Makhana (*Euryale ferox* Salisbury) variety: Sabour-1 Makhana. *Journal of Food Process Engineering*, 45(6): e13927. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13927>
- Gharaghani, B.N. and Maghsoudi, H. (2018). Free fall analysis of orange fruit using numerical and experimental methods. *Int. Journal Food Prop.*, 21(1), 484-495 <https://doi.org/10.1080/10942912.2018.1446148>.
- Jahanbakhshi, A., Abbaspour-Gilandeh y Gundoshmian, T.M. (2018). Determination of physical and mechanical properties of carrot in order to reduce waste during harvesting and post-harvesting. *Food Sci. Nutr.*, 6(7), 1898-1903. <https://doi.org/10.1002/fsn3.760>

- Jahanbakhshi, A., Yeganeh, R. and Shahgoli, G. (2020). Determination of Mechanical Properties of Banana Fruit under Quasi-Static Loading in Pressure, Bending, and Shearing Tests. *Int. Journal Fruit Sci.*, 20(3), 314-322. <https://doi.org/10.1080/15538362.2019.1633723>
- Jaiswal, S.G., Dole, B.R., Satpathy, S.K. and Naik, S.N. (2017). Physical attributes and modelling of trans-himalayan seabuckthorn berrie. *Curr. Res. Nutr. Food Sci.*, 5(3), 391–397. <https://doi.org/10.12944/CRNFSJ.5.3.25>.
- Khadivi-Khub, A. and Naderiboldaji, M. (2013). Predicting models for mass and volume of the sweet cherry (*Prunus avium* L.) fruits based on some physical traits. *Can. J. Plant Sci.*, 93(5): 831–838. <https://doi.org/10.4141/CJPS2013-007>
- Kitinoja, L.; Saran, S.; Roy, S.K. and Kader, A.A. (2011). Postharvest technology for developing countries: Challenges and opportunities in research, outreach and advocacy. *J. Sci. Food Agric.*, 91(4), 597–603. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4295>.
- Lak, M., Minaei, S., Soufizadeh, S. and Banakar, A. (2018). Modeling rupture force based on physical properties. A case study for roma tomato (*Solanum lycopersicum*) fruits. *AgricEngInt: CIGR Journal*, 20(3): 221-226
- Ledesma, N. y Campbell, J. (2001). Reseña histórica, cultivares y propagación del zapote prieto (*Diospyros digyna* Jacq.) en el sur de la Florida. *Interam. Soc. Trop. Hortic.* , 45, 12–14.
- Mahawar, M.K., Bibwe, B.; Jalgaonkar, K. and Ghodki, B.M. (2019). Mass modeling of kinnow mandarin based on some physical attributes. *Journal Food Process Engineering*, 42(5), 1-11. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13079>.
- Mcguire, R.G. (1992). Reporting of Objective Color Measurements. *HortScience*, 27(12),1254-1255.
- Moo-Huchin, V.M., Estrada-Mota, I., Estrada-León, R., Cuevas-Glory L., Ortiz-Vazquez E, Vargas, M. de L.V., Betancur-Ancona, D. and Sauri-Duch, E.

- (2014). Determination of some physicochemical characteristics, bioactive compounds and antioxidant activity of tropical fruits from Yucatan, Mexico. Food Chem., 152, 508–515.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.12.013>
- Morton, JF. (1987). Black Sapote in: Fruits of warm climates., Miami, FL., p. 416–418 (Julia F. Morton). ISBN: 0-9610184-1-0.
- Nedomová, Š.; Kumbár, V.; Pytel, R. and Buchar, J. (2017). Mechanical properties of sugar beet root during storage. Int. Agrophysics, 31(4), 507–513. <https://doi.org/10.1515/intag-2016-0081>
- Panda, G.; Vivek, K. and Mishra, S. (2020). Physical Characterization and Mass Modeling of Kendu (*Diospyros melanoxylon* Roxb.) Fruit. Int. J. Fruit Sci., 20(sup3). S2005- S2017.
<https://doi.org/10.1080/15538362.2020.1851339>
- Panda, T.C., Thota, N., Dwivedi, M., Pradhan, R.C. and Seth, D. (2022). Mass modeling of engineering properties and characterization of Kadamb fruit (*Neolamarckia cadamba*): An underutilized fruit. Journal of Food Process Engineering, 45(11), e14160. <https://doi.org/10.1111/jfpe.14160>.
- Pathak, S.S., Pradhan, R.C. and Mishra, S. (2019). Physical characterization and mass modeling of dried Terminalia chebula fruit. Journal of Food Process Engineering, 42(3), 1-10 <https://doi.org/10.1111/jfpe.12992>
- Pérez-López, A., Chávez-Franco, S.H., Villaseñor-Perea, C.A., Espinosa-Solares, T., Hernández-Gómez, L.H. and Lobato-Calleros, C. (2014). Respiration rate and mechanical properties of peach fruit during storage at three maturity stages, J. Food Eng., 142: 111–117, <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.06.007>.
- R CORE TEAM. (2017). R: A language and environment for statistical computing, R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. Available: <https://www.R-project.org/>
- Sasikumar, R., Vivek, K., Chakkaravarthi, S. and Deka, S.C. (2021). Physicochemical Characterization and Mass Modeling of Blood Fruit (

Haematocarpus Validus) – An Underutilized Fruit of Northeastern India.
Int. J. Fruit Sci., 21(1), 12-25.
<https://doi.org/10.1080/15538362.2020.1848752>

Shahbazi, F. and Rahmati, S. (2013). Mass modeling of fig (*Ficus carica* L.) fruit with some physical characteristics. Food Sci. Nutr., 1(2), 125-129.
<https://doi.org/10.1002/fsn3.20>

SIAP (Servicio de información agroalimentaria y pesquera). (2023). Cierre de la producción agrícola por cultivo Modalidad riego+temporal, Available: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> Retrieved: January, 2023.

Tomar, M.S. and Pradhan, R.C. (2022). Prediction of mass-based process designing parameters of amla fruit using different modeling techniques. Journal of Food Process Engineering, 45(8): e14039.
<https://doi.org/10.1111/jfpe.14039>.

Vivek, K., Mishra, S. and Pradhan, R.C. (2018). Physicochemical characterization and mass modelling of Sohiong (*Prunus nepalensis* L.) fruit. J. Food Meas. Charact., 12(2), 923-936.

7. CAMBIOS FÍSICO-MECÁNICOS RELACIONADOS CON LA CALIDAD DE LOS FRUTOS DE ZAPOTE NEGRO (DIOSPYROS NIGRA (J.F.GMEL.) PERR. & PERR.) DURANTE EL ALMACENAMIENTO A TEMPERATURA AMBIENTE Y EN FRÍO

Guadalupe Olmedo-Obrero¹, Carlos Alberto Villaseñor-Perea^{1*}, Cynthia Serna-Abascal¹, Arturo Mancera-Rico², Emigdio De la Cruz-De la Cruz³, Gilberto de Jesús López-Canteñs⁴, María del Rosario Venegas-Ordoñez⁴

¹Posgrado de Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua de la Universidad Autónoma Chapingo, 56230, Texcoco, México

golmedoo19a@gmail.com, (<https://orcid.org/0000-0002-4757-6176>);
cvillasenorp@chapingo.mx, (<https://orcid.org/0000-0002-7404-022X>);
cynthia_serna_abascal@hotmail.com, (<https://orcid.org/0000-0002-1708-754X>)

²Departamento de Fitomejoramiento, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México

mncrarico@gmail.com, (<https://orcid.org/0000-0001-7559-1608>)

³Departamento de Agrobiotecnología, Universidad Tecnológica de la Huasteca Hidalguense, Huejutla, Hidalgo, México

emigdio.delacruz@uthh.edu.mx, (<https://orcid.org/0000-0003-0836-4389>)

⁴Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo, 56230, Texcoco, México

alelopez10@hotmail.com, (<https://orcid.org/0000-0002-7789-5880>);
rosario_venegas@hotmail.com, (<https://orcid.org/0000-0002-8056-8071>)

* ✉ Carlos Alberto Villaseñor-Perea; Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo, 56230, Texcoco, México; Teléfono: +52 (595) 952 1569 (55) 215000, extensión: 1629; cvillasenorp@chapingo.mx

7.1. Abstract

Varios parámetros relacionados con la calidad del Zapote negro (*Diospyros nigra* (J.F.Gmel.) Perr. & Perr.) como color, pH, máxima fuerza de carga y módulo de elasticidad, se evaluaron durante 9 días de almacenamiento.^{92a}

temperatura ambiente ($18.5\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ y HR de $43.7\text{ \%} \pm 3.9\text{ \%}$) y 39 días en frío ($3.6\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ y HR de $44\text{ \%} \pm 6\text{ \%}$); los frutos almacenados en frío presentan una mayor pérdida del peso, de alrededor de hasta el 12.4%, mientras que los frutos almacenados a temperatura ambiente mostraron una pérdida de peso de hasta el 7.8%; respecto a las propiedades mecánicas, asimismo para los frutos almacenados a temperatura ambiente, disminuye significativamente ($p < 0.05$) la carga de compresión que soportan, de 900.92 N a 354.08 N al noveno día de almacenamiento, mientras que para el mismo día de almacenamiento, los frutos almacenados en refrigeración comercial se mantuvieron sin diferencia significativa ($p < 0.05$) y manteniéndose en dicho valor hasta el día 16 de almacenamiento (974.86 N), siendo el valor de 569.18 N la máxima carga de compresión que soportan los frutos al día 39 de almacenamiento en refrigeración comercial, esto representa 1.6 mayor carga de compresión que soportan los frutos respecto a la carga que soportan los frutos en el último de almacenamiento a temperatura de refrigeración comercial respecto a la temperatura ambiente.

Asimismo, los frutos así almacenados a baja temperatura muestran cambios indeseables a después del día 16 de almacenamiento en su aspecto ya que presentan una coloración verde con manchones negros y no llegan a la maduración comercial.

Los resultados indicaron que se vio incrementada la vida útil de los frutos de del Zapote negro al ser almacenados en refrigeración, pero no se recomienda su empleo más allá de los 16 días.

7.2. Introducción

Los frutos del Zapote negro (*Diospyros nigra* (J.F.Gmel.) Perr. & Perr.) contienen nutrientes como calcio, fósforo y hierro (Morton, 1987; Muñoz de Chávez, 1996), luteína y vitaminas C y E (Morton, 1987; Muñoz de Chávez, 1996; Corral-Aguayo *et al.*, 2008; Yahia E.M. *et al.*, 2011; Moo-Huchin *et al.*,

2014), además de diversos compuestos fenólicos (Corral-Aguayo *et al.*, 2008; Yahia E.M. *et al.*, 2011; Moo-Huchin *et al.*, 2014), en consecuencia cuenta con un gran potencial nutraceutico y agroindustrial y sin embargo a pesar de los excelentes atributos nutricionales que posee el Zapote negro, su comercialización es baja en comparación con otras frutas debido a que la investigación para su conservación en fresco y sus productos procesados es escasa. Aunado a que el periodo de producción de Zapote negro es corto (noviembre-enero) y se abarata en estos meses (SIAP, 2023), lo que hace necesario el buscar diferentes métodos de Conservación tanto en fresco como procesado.

En las fases posteriores a la cosecha de frutas, se destaca la temperatura de almacenamiento como el factor ambiental de mayor relevancia para preservar la calidad, dado su impacto en la regulación de procesos biológicos y enzimáticos (Hong *et al.*, 2013). Aunque el empleo extendido de bajas temperaturas en la preservación de frutas es común, aún existen desconocimiento acerca de cómo el almacenamiento en frío afecta las características físicas y mecánicas del Zapote negro.

Por tanto, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la temperatura de almacenamiento sobre algunas características de calidad del Zapote negro cultivado en el Estado de Hidalgo, México, en particular sus propiedades físicas y mecánicas del Zapote negro durante una semana de almacenamiento a temperatura ambiente y en frío. Se usó la temperatura de $3.6^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ porque es la temperatura media que suele aplicarse para mantener las frutas en los comercios de frutas (refrigerador casero).

7.3. Keywords

Zapote negro, almacenamiento refrigeración comercial.

7.4. Materiales y métodos

Material. Para el presente estudio se utilizaron 360 frutos de Zapote negro (*Diospyros nigra* (J.F.Gmel.) Perr. & Perr.) fisiológicamente maduros y sin daños aparentes obtenidos de dos diferentes localidades, en cada localidad se empleó un solo árbol; estos árboles son incorporados a huertos familiares, sin algún manejo agronómico -sólo control de malezas-. Las localidades donde se cosecharon, son el Municipio de Jaltocan, Hidalgo, México (20°51'58'' N 98° 29'28'' W) y en el municipio de Chapopote Chalma, Veracruz, México. La colecta se realizó 260 días después de la antesis, el 10 de enero de 2023. Los frutos fueron cosechados en madurez fisiológica, cuando estaban en tamaño completo y color verde. Los frutos se empacaron inmediatamente en redes de plástico y se transportaron dentro de las 24 h al Laboratorio de materiales de la Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Estado de México, México donde se realizaron las mediciones.

Humedad. El contenido de humedad se determinó siguiendo el método AOAC 925.10 (2005). Se utilizó una Balanza digital marca Ohaus con sensibilidad de 0.001g.

Color. Se determinó con un colorímetro portátil marca X-rite, obteniendo la luminosidad L^* (100=blanco, 0=negro), a^* (positivo=rojo, negativo=verde) y b^* (positivo=azul, negativo=amarillo) (CIE, 2009), las coordenadas reportadas de cada muestra son valores promedio de 3 registros en el equipo. Los datos fueron capturados en Excel y procesados en Adobe® Photoshop® CS3 Extended (ASI, 2007) determinar el modelo de coordenadas rojo, verde y azul (RGB, por sus siglas en inglés). Posteriormente, en el paquete Excel se procesaron los datos para obtener las coordenadas polares C^* y H° a través de las siguientes ecuaciones (Mcguire, 1992):

para a^* y b^* positivos;

$$Tono(h^\circ) = \arctan \frac{b^*}{a^*};$$

para a^* negativo y b^* positivo

$$Tono(h^\circ) = 180 + \arctan \frac{b^*}{a^*}; \quad (1)$$

$$Croma(C^*) = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (2)$$

Masa. Se empleó una Balanza digital marca Ohaus con una sensibilidad de 1 g.

Dimensión. Se empleó un Vernier digital marca TRUPER whose accuracy was 0.01 mm. para obtener las dimensiones de largo (L), ancho (W) y grosor (T) de los frutos (figura 7.1).

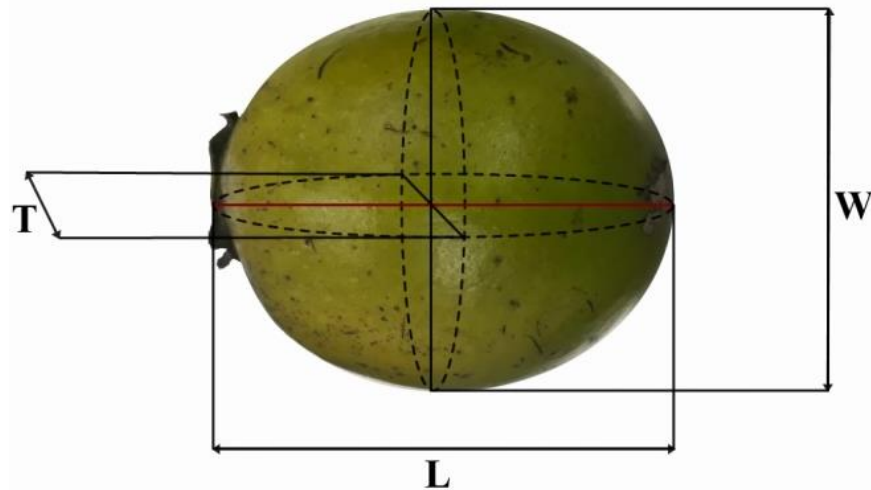


Figura 7.1. Dimensiones largo (L), ancho (W) y grosor (T) de los frutos de Zapote negro.

Pérdida de peso. Se empleó una Balanza digital Ohaus con una sensibilidad de 1 g, los resultados se expresaron como porcentaje de pérdida de peso (ecuación 3) respecto al peso inicial del fruto

$$\text{Pérdida de peso (\%)} = \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} * 100 \quad (3)$$

pH. Se determinó con un potenciómetro digital marca Orion 420 A, mediante inmersión directa del electrodo en una muestra de 5g de la pulpa del Zapote negro disuelto en 50ml de agua, se realizaron tres mediciones por fruto y reportando un promedio de dichas mediciones

Sólidos solubles. Se determinó por triplicado con un refractómetro digital marca Orion 420 a temperatura ambiente (17 °C) sobre la base de °Brix siguiendo el método AOAC 931.12 (2005) para lo cual se usó 5 g de pulpa con 50 ml de agua, realizando tres mediciones por fruto y reportando un promedio de dichas mediciones, se expresó como °Brix.

Firmeza. Se determinó mediante un Penetrómetro manual marca Decco. Se realizaron mediciones de la fuerza (gr) en frutos enteros, realizando tres mediciones por fruto y reportando un promedio de dichas mediciones en Newton (N).

Acidez titulable (sobre la base de ácido cítrico) se determinó titulando con NaOH 0.1 N hasta pH 8.1, usando 5 g de pulpa diluida en 50 ml de agua. El porcentaje de ácido cítrico se determinó usando la ecuación número 4 (Gull et al., 1982):

$$\% \text{ de ácido cítrico} = \frac{V * N * P_{meq} * 100}{Y} \quad (4)$$

Donde:

V= volumen n ml de NaOH titulado

N= Solución nonnal de NaOH (0. 1 N)

Pmeq=Peso en miliequivalente de ácido cítrico (0.064 meq)

Y = Peso en g de muestra

Propiedades mecánicas. En cada día analizado, se emplearon 10 frutos de Zapote negro de cada temperatura, a los cuales se les aplicaron pruebas de compresión entre dos placas paralelas de 15 cm de diámetro para determinar las propiedades mecánicas de máxima carga de compresión (N), deformación de Hencky (mm/mm) y módulo de elasticidad aparente (MPa) (Bourne, 2002). El equipo empleado fue una máquina de ensayo mecánica universal INSTRON (Universal Testing Machine) modelo 3382, INSTRON, Norwood, MA, EE. UU.) con una velocidad de cruceta de 50 mm/min (ASEAE, 2005) y una celda de carga de 100 kN. Se colocó la fruta de Zapote negro (*Diospyros nigra* (J.F.Gmel.) Perr. & Perr.) en orientación horizontal (eje transversal) sobre una plataforma (figura 7.2a), se aplicó la carga hasta la fractura. La máquina INSTRON se conectó simultáneamente a una computadora con el Software BLUEHILL® (figura 7.2b), que proporciona los valores de carga de compresión y extensión por compresión para cada fruto evaluado. A partir de los datos proporcionados por el software, se generó la curva Esfuerzo instantáneo de compresión-Deformación de Hencky para cada muestra, tomando en consideración la altura radial de los frutos de Zapote negro (*Diospyros nigra* (J.F.Gmel.) Perr. & Perr.) y el área de la superficie de la placa de compresión. El módulo de elasticidad aparente y la deformación de Hencky fueron calculados de acuerdo a las siguientes ecuaciones (Nedomová et al., 2017).

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_H} = \frac{\frac{F}{A_{instantánea}}}{\epsilon_H} \quad (5)$$

$$\epsilon_H = -\ln\left(1 - \frac{\text{Extensión por compresión}}{h}\right) \quad (6)$$

$$A_{instantánea} = \frac{A * h}{h - \text{Extensión por compresión}} \quad (7)$$

Donde:

E es el módulo de elasticidad aparente de la fruta

σ es la tensión en la fruta

ϵ_H es la deformación de Hencky en la fruta

F es la fuerza aplicada durante la compresión

A es el área del disco que hace contacto con la superficie de la fruta,
 $A_{instantánea}$ es el área instantánea
h es la altura radial de la fruta.

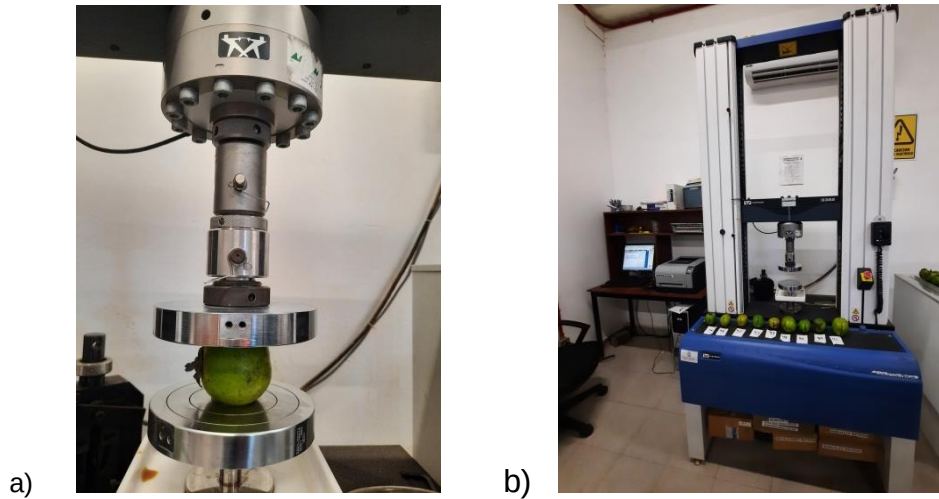


Figura 7.2. Ensayo de compresión a) Muestra b) Máquina INSTRON acoplada a la computadora.

Diseño experimental. Se aplicaron dos niveles de temperatura de almacenamiento, la aplicación del tratamiento consistió en mantener 360 frutos en una cámara mantenida a $3.6\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ y una humedad relativa (HR) de $44\text{ \%} \pm 6\text{ \%}$ y 360 frutos a una temperatura ambiente de $18.5\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ y HR de $43.7\text{ \%} \pm 3.9\text{ \%}$.

Durante el periodo de evaluación se tomaron aleatoriamente 10 frutos (cada fruto se consideró una repetición) para su análisis. El muestreo de los frutos almacenados a temperatura ambiente ($18.5\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ y una HR de $43.7\text{ \%} \pm 3.9\text{ \%}$.) estuvo limitado por la senescencia natural de los frutos.

Los diferentes municipios donde se cosecharon los frutos se consideraron bloques, se tomaron muestras de diez frutos por día de cada temperatura y de cada localidad y se caracterizaron las propiedades físicas y mecánicas.

Análisis estadístico. Los índices estadísticos, incluidos los valores medio, mínimo, máximo, desviación estándar, coeficiente de variación, coeficientes de regresión (R^2) y error estándar de estimaciones (SEE). se calcularon utilizando la programación R (versión 4.1.0) (2017). Los resultados se expresaron como promedio $\pm$ desviación estándar, para determinación de significancia estadística se usó la prueba de F de Fisher ($p < 0.05$), y pruebas de medias por la prueba de Tukey ($p < 0.05$) utilizando la programación R (versión 4.1.0) (2017)

7.5. Resultados y discusión

Características físicas

Dimensiones

Las características geométricas de los frutos son mostradas en el cuadro 7.1, todos los parámetros se midieron con un contenido de humedad de $80.62 \% \pm 1.68 \%$ (base húmeda). Asimismo, en la Figura 7.3 se muestran las distribuciones obtenidas de la masa (M), longitud (L), ancho (W) y grosor (T) del lote analizado de los frutos de Zapote negro.

Cuadro 7.1. Dimensiones de los frutos de Zapote negro

Properties	Minimum	Minimum	Mean	Standard deviation	Coefficient of variation (%)
M (g)	74.74	318.55	170.212	47.489	27.90
L (mm)	56.1	106.6	76.679	8.699	11.34
W (mm)	50.5	91.77	70.583	8.046	11.4
T (mm)	56.9	88.2	70.56	7.284	10.2

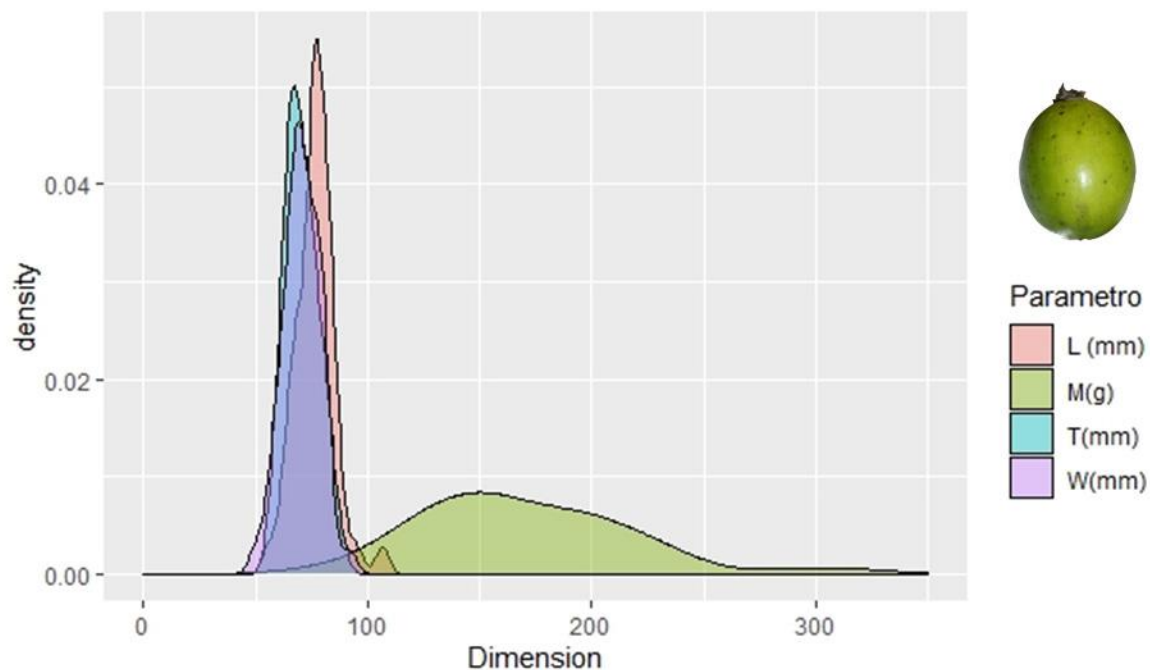


Figura. 7.3. Gráfico de las distribuciones de masa (M), largo (L), grosor (T) y ancho (W) de los frutos empleados de Zapote negro.

Humedad

El contenido de humedad determinado de los frutos de Zapote negro no evidenció una diferencia significativa (figura 7.4), obteniendo una humedad promedio de 75.7 ± 2.4 % para temperatura ambiente y de 75.3 ± 3.4 % para temperatura de refrigeración, este valor de humedad coincide con lo reportado previamente con valores de 71 a 83 % de humedad (Morton, 1987).

a)

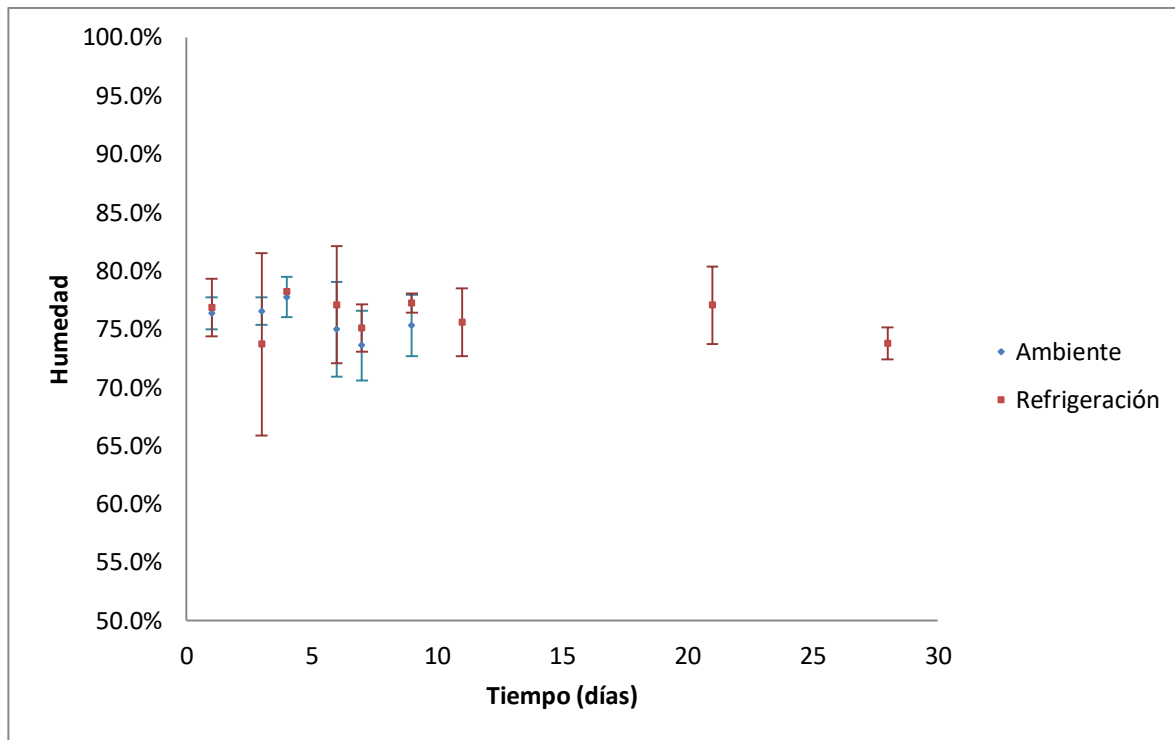


Figura 7.4. Efecto sobre el contenido de humedad de los frutos de Zapote negro por la aplicación de las diferentes temperaturas empleadas para el almacenamiento y por el tiempo de almacenamiento.

Cambios Fisiológicos

Pérdida de peso

La pérdida de peso en los frutos almacenados a temperatura ambiente, es significativamente mayor ($p < 0.05$) a la pérdida de peso en los frutos almacenados en condiciones de refrigeración, al término del periodo de almacenamiento en temperatura ambiente (nueve días) los frutos alcanzaron pérdidas de peso de $7.78 \% \pm 2.6 \%$, mientras que en el mismo tiempo, en los frutos almacenados en refrigeración la pérdida de peso fue de $2.86 \% \pm 0.73 \%$. Sin embargo, se observa que al término del almacenamiento en refrigeración (39 días), las pérdidas de peso llegan a ser de un $12.39\% \pm 2.81 \%$ (Figura 7.5), esto debido al ablandamiento del tejido lo cual facilita la difusión. Esto indica

que la temperatura de refrigeración, a pesar de que logra aumentar su vida de anaquel, se pierde de manera significativa el peso de la fruta.

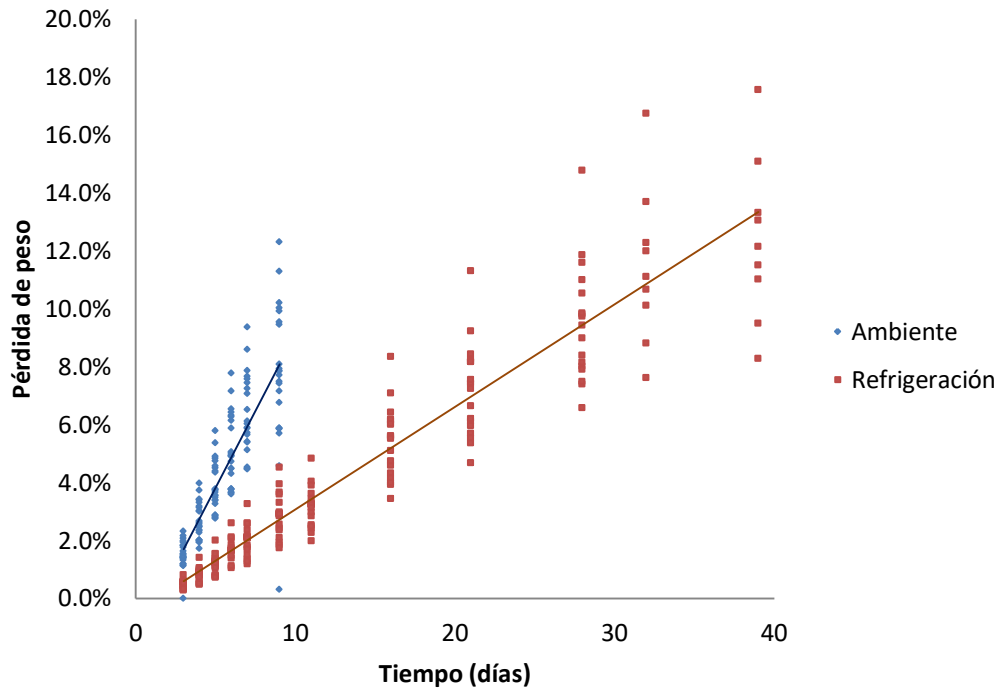


Figura 7.5. Pérdida de peso de los frutos de Zapote negro a través del tiempo de almacenamiento con las diferentes temperaturas empleadas.

Los datos fueron ajustados a una regresión lineal, obteniendo la ecuación 8 para la temperatura ambiente de almacenamiento y la ecuación 9 para el almacenamiento en condiciones de refrigeración

$$\text{Pérdida de peso} = -0.0146292 + 0.0106953 * (\text{día de almacenamiento}) \quad (8)$$

$$R^2 = 0.7041$$

$$\text{Pérdida de peso} = -0.00475 + 0.00354 * (\text{día de almacenamiento}) \quad (9)$$

$$R^2 = 0.8955$$

De estas ecuaciones se puede decir que la pérdida de peso sucede tres veces más rápido en almacenamiento a temperatura ambiente respecto a la pérdida de peso en las condiciones de refrigeración probadas.

pH

El pH determinado en los frutos de Zapote negro no evidenció diferencia significativa con un valor promedio de 7.16 ± 0.21 en la temperatura ambiente de almacenamiento y con un valor promedio de 7.26 ± 0.25 los que se almacenaron en refrigeración (figura 7.6).

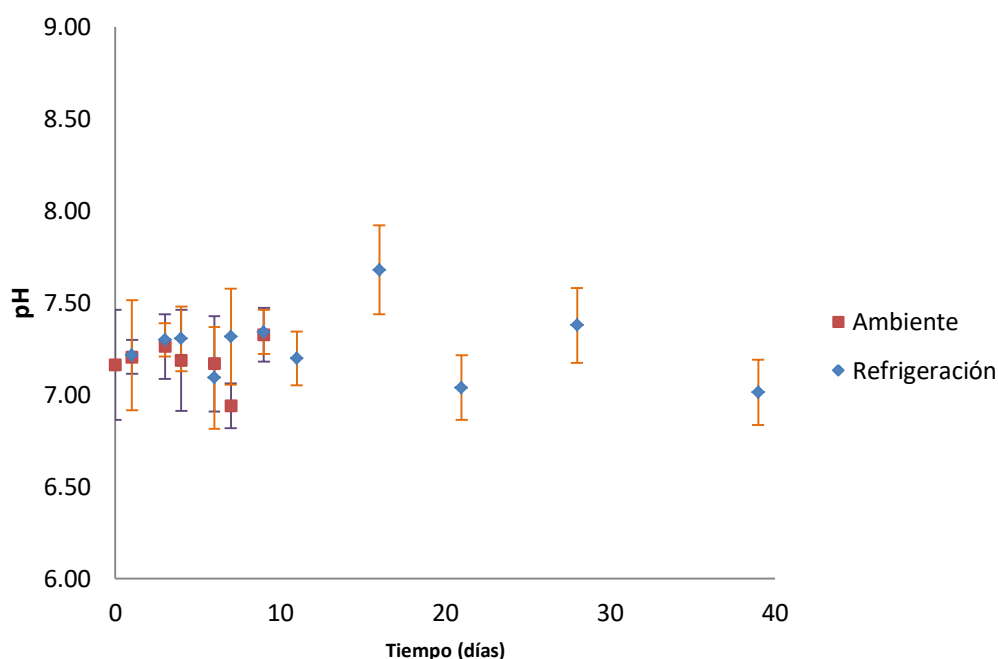


Figura 7.6. Valores de pH de los frutos de Zapote negro a través del tiempo de almacenamiento con las diferentes temperaturas empleadas.

Sólidos solubles totales

Los sólidos solubles totales determinados en los frutos de Zapote negro almacenados a temperatura ambiente incrementaron de manera significativa

($p < 0.05$) a partir del tercer día de almacenamiento alcanzando su máximo valor a partir del sexto día de almacenamiento ($1.22 \text{ }^{\circ}\text{Brix} \pm 0.35 \text{ }^{\circ}\text{Brix}$), para los frutos almacenados en refrigeración, inició el incremento a partir del día sexto de almacenamiento y alcanzando su máximo valor a los 39 días de almacenamiento ($1.21 \text{ }^{\circ}\text{Brix} \pm 0.19 \text{ }^{\circ}\text{Brix}$) (figura 7.7).

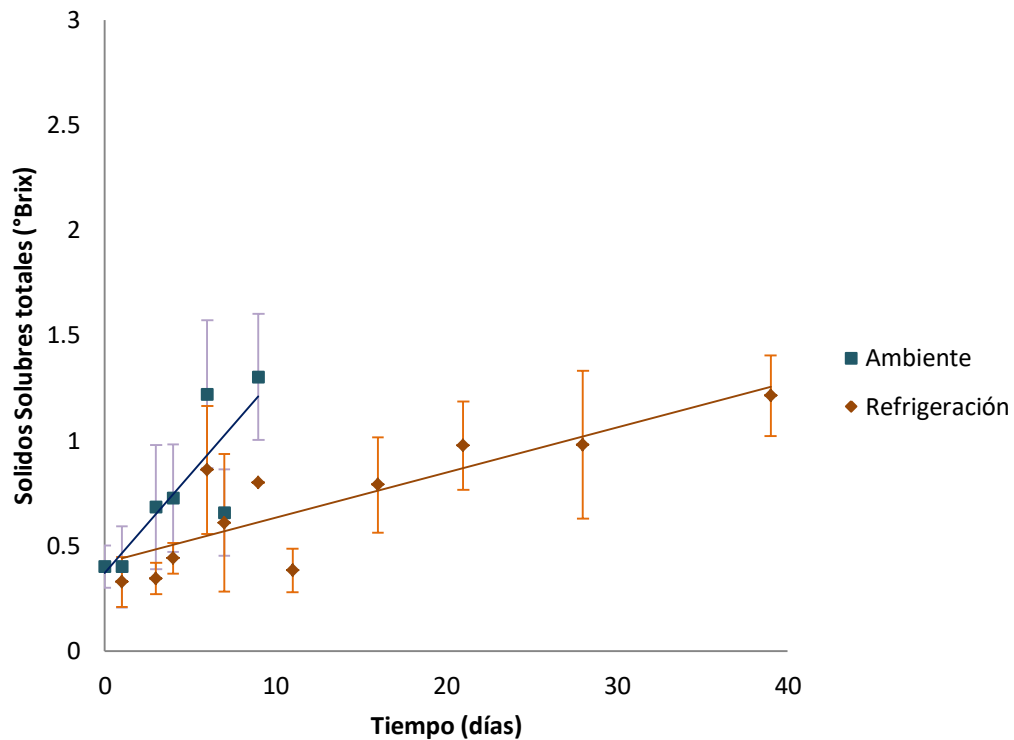


Figura 7.7. Gráfico de valores de los sólidos solubles totales ($^{\circ}\text{Brix}$) de los frutos de Zapote negro a través del tiempo de almacenamiento con las diferentes temperaturas empleadas.

Acidez

La acidez determinada en los frutos de Zapote negro almacenados a temperatura ambiente incrementó de manera significativa ($p < 0.05$) a través del tiempo de almacenamiento, alcanzando su máximo valor de $0.052 \% \pm 0.026\%$ a los nueve días de almacenamiento, mientras que para los frutos almacenados

en refrigeración comercial se mantuvo en un valor promedio de $0.022\% \pm 0.018\%$ (figura .8).

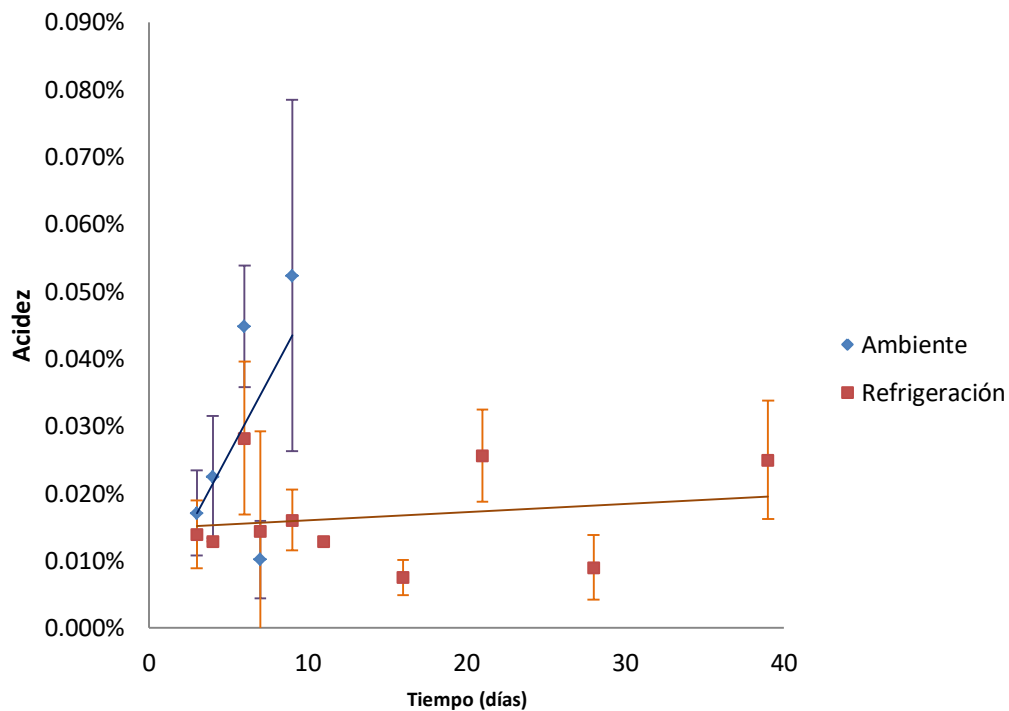


Figura 7.8. Acidez de los frutos de Zapote negro a través del tiempo de almacenamiento con las diferentes temperaturas empleadas.

Consistencia

Los frutos conservados a temperatura ambiente requieren al inicio del periodo de almacenamiento una fuerza de penetración de $13.9 \text{ N} \pm 0.24 \text{ N}$ y al cuarto día de almacenamiento ya presentan una disminución significativa ($p < 0.05$) de la fuerza requerida para la penetración ($8.62 \text{ N} \pm 1.51 \text{ N}$) lo que corresponde a los síntomas de senescencia de los frutos, mientras que los frutos conservados en refrigeración mantienen sin diferencia significativa la consistencia y es hasta el día 21 que empieza a haber una mayor variabilidad de la consistencia, con frutos que conservan su consistencia requiriendo fuerzas de penetración

similares a las del inicio del almacenamiento y frutos con menor requisición de fuerza ($13.54 \text{ N} \pm 1.12 \text{ N}$), el día 39 de almacenamiento se muestra ya una diferencia significativa ($p < 0.05$) de la consistencia promedio de los frutos ($12.08 \text{ N} \pm 3.26 \text{ N}$) (figura 7.9). El día nueve de almacenamiento, los frutos en refrigeración presentan una consistencia más firme respecto a los frutos almacenados a temperatura ambiente ya que requieren 1.45 veces más fuerza de penetración ($14.07 \text{ N} \pm 0.79 \text{ N}$) que los frutos almacenados a temperatura ambiente ($9.54 \text{ N} \pm 5.32 \text{ N}$). Asimismo, se observa que hay mayor heterogeneidad en los frutos almacenados a temperatura ambiente que los frutos almacenados en refrigeración. Al respecto Roe y Bruemmer (1981) señalan que la madurez es también caracterizada por el ablandamiento rápido y extensivo, el cual está positivamente correlacionado con un incremento en la actividad poligalacturonasa y con la solubilización de las pectinas de la pared celular.

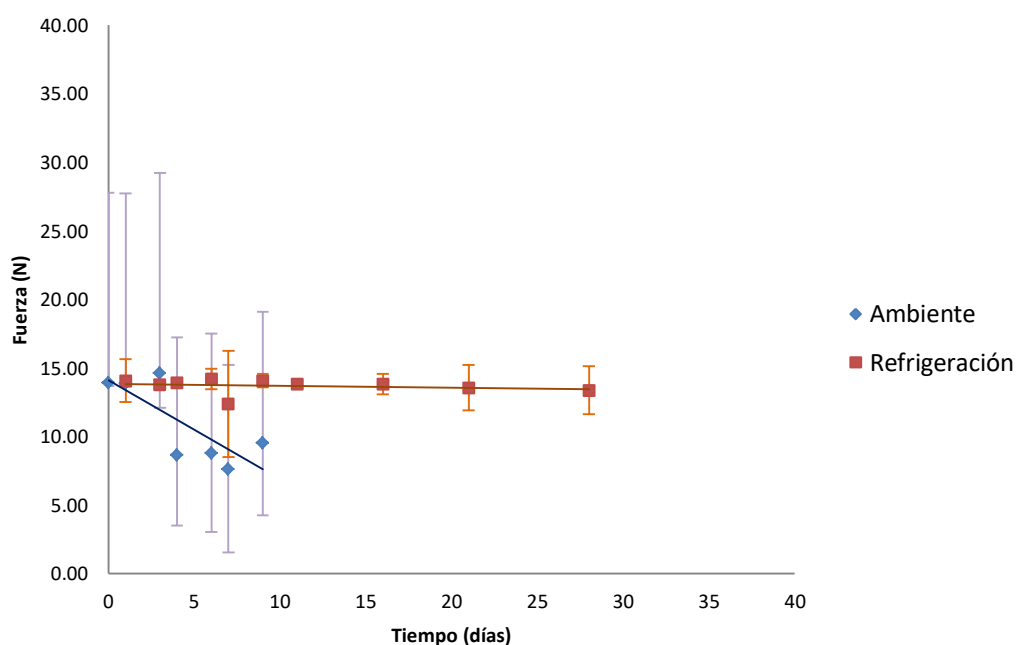


Figura 7.9. Fuerza de penetración en los frutos de Zapote negro a través del tiempo de almacenamiento con las diferentes temperaturas empleadas.

Color

En los cuadros 7.2 y 7.3 se muestran los resultados de color en el espacio de color CIE-L*a*b*. Para los epicarpios, se observa una disminución de los valores de la coordenada L*, lo que indicó un oscurecimiento o disminución de la luminosidad en los epicarpios al ir madurando los frutos de Zapote negro y los cambios en las coordenadas a* indicaron el cambio de color verde a oscuro propios de la maduración progresiva de los frutos, esta tendencia es corroborada por la paleta de colores presentada y también es verificado en la figura 7.10, que presenta la evolución del color, respecto a la coordenada a* desde valores negativos hasta valores próximos a cero, y la coordenada b* disminuye hacia valores cercanos a cero que corrobora la tendencia hacia un color oscuro. Los frutos almacenados en refrigeración, no llegan al color negro, pero presentan manchas en la piel a partir del día 21 y no logran a su maduración comercial completa.

Respecto al mesocarpio, se observa una disminución de los valores de las coordenada L*, a* y b* siendo los valores a las 48 horas significativamente diferentes de los valores obtenidos a partir de las 72 h hasta las 192 h ($p < 0.05$), lo que indicó un oscurecimiento del mesocarpio, corroborado este comportamiento por la paleta de colores, en la que se observa pasar de un color amarillo-dorado a un color oscuro, lo que concuerda con lo reportado por Ledesma y Campbeil (2001), respecto a que el color de la pulpa de los frutos inmaduros de Zapote negro se tornan de amarillo-dorado a un color café-negro característico del fruto al madurar. También es verificado en la figura 7.11 que presenta la evolución del color del mesocarpio de los frutos de Zapote, en donde es posible observar la disminución de las coordenadas a* y b* corroborando la tendencia hacia un color oscuro. Los frutos almacenados en refrigeración, no llegan al color negro y también presentan tonos amarillos y negros a partir del día 21 y no logran a su maduración comercial completa.

Cuadro 7.2. Coordenadas cromáticas rectangulares y paleta de colores de epicarpio de frutos de Zapote negro almacenados a temperatura ambiente ($3^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$).

Tiempo de almacenamiento (días)	L*	a	b	Tono (h)	Croma (C)	Color	L*	a	b	Tono (h)	Croma (C)	Color
0	72	-13	61	282.03	62.37		72	-13	61	282.03	62.37	
1	46	-14	45	287.28	47.13		56	-7	58	276.88	58.42	
3	43	-18	44	292.25	47.54		48	-10	46	282.26	47.07	
4	45	-9	49	280.41	49.82		49	-13	47	285.46	48.76	
6	29	-2	35	273.27	35.06		41	-8	46	279.87	46.69	
9	34	10	30	250.95	32.05		40	-14	42	288.43	44.27	
11	21	58	22	200.77	62.03		39	-9	36	284.04	37.11	
16	--	--	--	--	--	--	35	-10	41	283.71	42.20	
21	--	--	--	--	--	--	31	-9	36	284.04	37.11	
31	--	--	--	--	--	--	44	-20	46	293.50	50.16	
39	--	--	--	--	--	--	27	-5	29	279.78	29.43	

Cuadro 7.3. Coordenadas cromáticas rectangulares y paleta de colores de mesocarpio de frutos de Zapote negro almacenados a temperatura ambiente ($17^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$).

Tiempo de almacenamiento (días)	Temperatura ambiente						Temperatura de refrigeración					
	L*	a	b	Tono (h)	Croma (C)	Color	L*	a	b	Tono (h)	Croma (C)	Color
0	81	6	55	263.77	55.33		7	8	51	261.09	51.62	
1	63	6	50	263.16	50.36		72	6	38	261.03	38.47	
3	54	13	56	256.93	57.49		74	11	73	261.43	73.82	
4	38	29	46	237.77	54.38		70	20	73	254.68	75.69	
6	34	15	22	235.71	26.63		64	16	68	256.76	69.86	
9	26	16	18	228.37	24.08		65	14	15	226.97	20.52	
11	1	1	-1	135.00	1.41		52	13	56	256.93	57.49	

16	--	--	--	--	--	--	59	17	64	255.12	66.22	
21	--	--	--	--	--	--	39	12	36	251.57	37.95	
28	--	--	--	--	--	--	46	20	44	245.56	48.33	
31	--	--	--	--	--	--	35	22	44	243.43	49.19	
39	--	--	--	--	--	--	34	23	33	235.12	40.22	

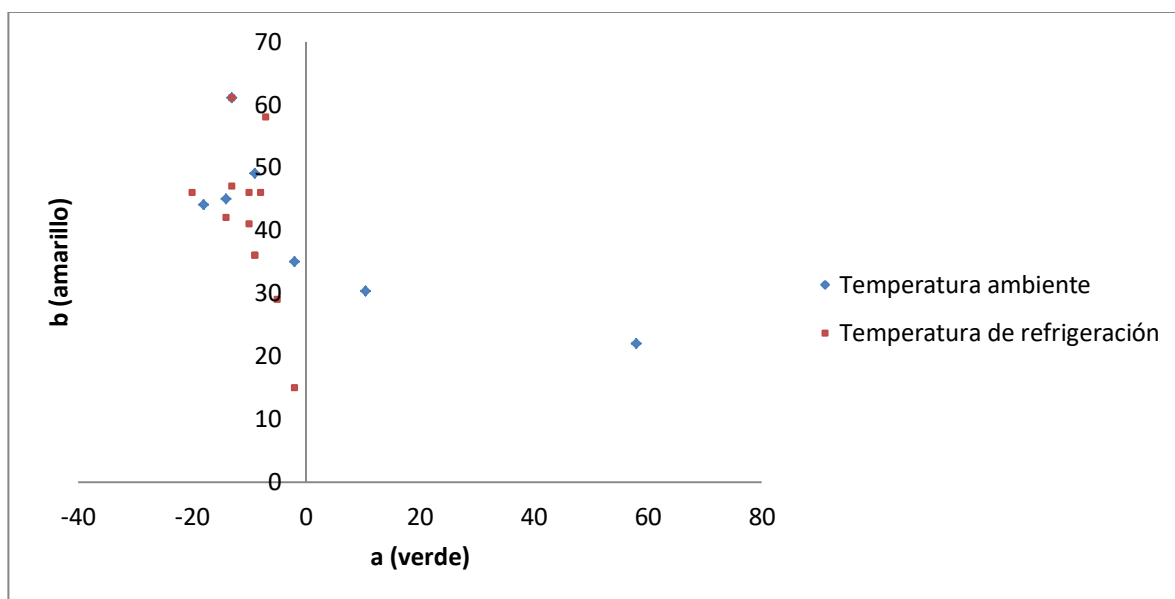


Figura 7.10. Evolución del color de epicarpio de frutos de Zapote negro.

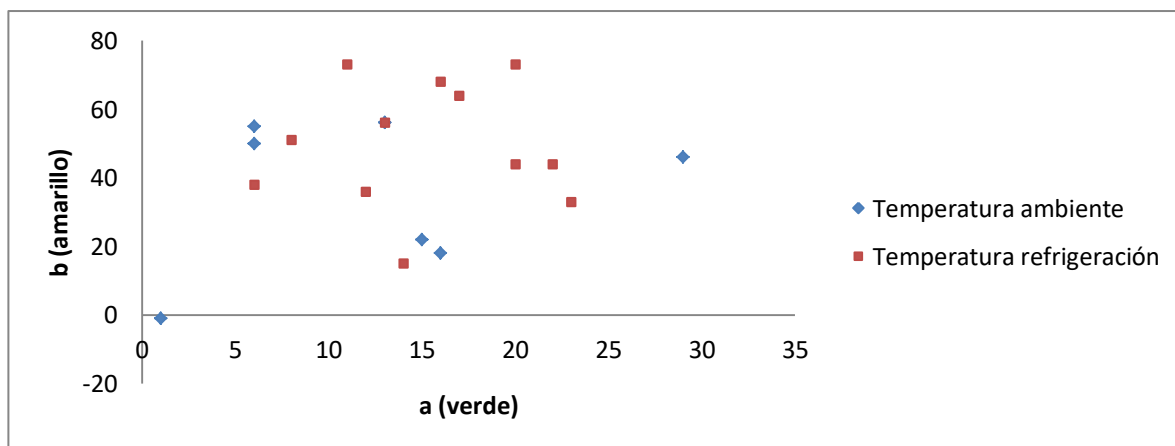


Figura 7. 11. Evolución del color del mesocarpio de frutos de Zapote negro.

Los cambios de color en el proceso de maduración de los frutos, según Laguado, *et al* (1999) se deben al anabolismo de los pigmentos en los organelos celulares, tales como: las flavonas, las antocianinas y los carotenoides que proporcionan al fruto los colores secundarios sobre una base de color primario, generalmente verde o amarillo, determinada por la presencia de clorofila o de xantofila; en el caso del Zapote negro se han reportado presencia de compuestos carotenoides, flavonoides, antocianinas y compuestos fenólicos (Moo-Huchin *et al*, 2014; Yahia E.M., 2011) que pueden estar involucrados en el proceso de obscurecimiento tanto en epicarpio como en el mesocarpio y podrían ser una consecuencia del mecanismo subyacente referente a la modulación de la producción de etileno.

Propiedades mecánicas

En la figura 7.12 se muestra una imagen del ensayo de compresión después de aplicar la carga a un fruto al inicio del estudio, asimismo en la figura 7.13 se muestran las curvas de fuerza de compresión-Extensión y de Esfuerzo instantáneo de compresión-Deformación de Hencky obtenidas para una muestra al inicio del estudio.

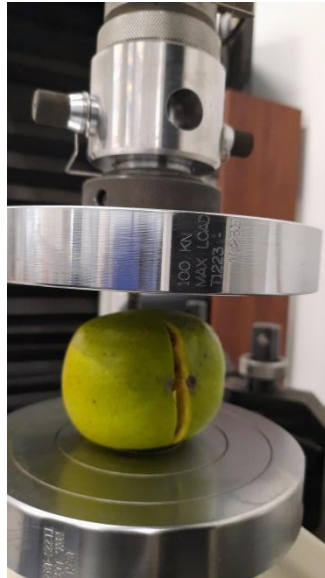
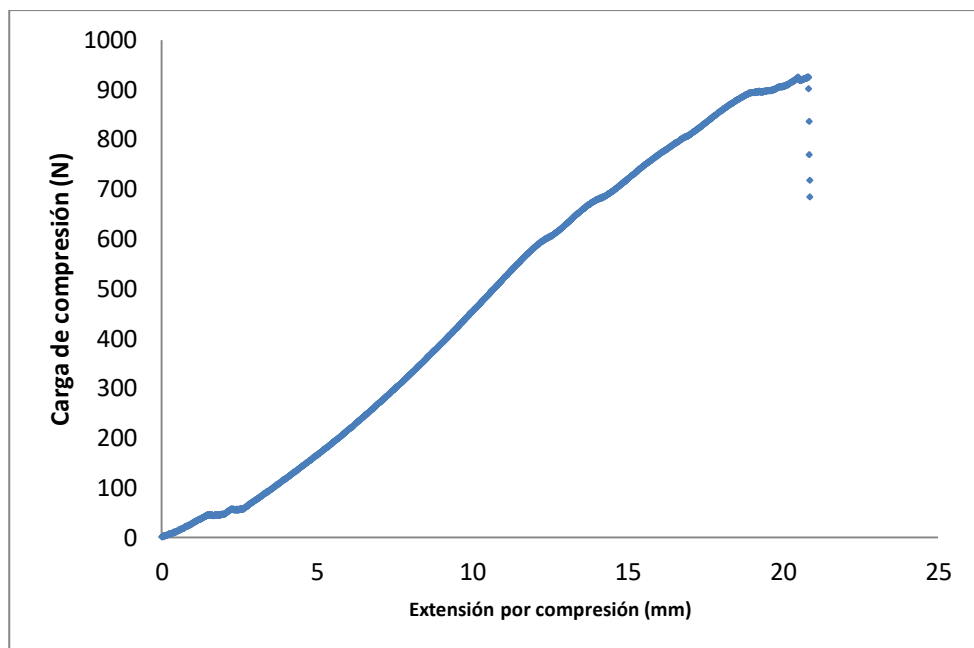


Figura 7.12. Ensayo de compresión después de aplicar la carga a un fruto de Zapote negro.

a)



b)

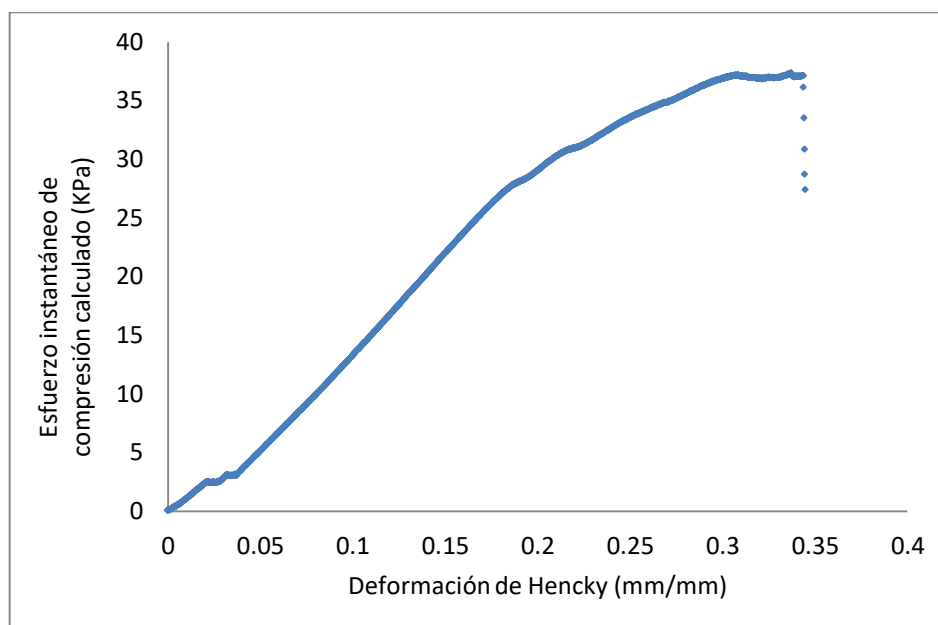


Figura 7.13. Gráfica de un ensayo de compresión a) Carga de compresión-Extensión por compresión b) Esfuerzo instantáneo de compresión -Deformación de Hencky.

Módulo de elasticidad aparente

El módulo de elasticidad aparente (E) en los frutos almacenados a temperatura ambiente se mantuvo sin diferencia significativa hasta el sexto día de almacenamiento ($0.0614 \text{ MPa} \pm 0.05 \text{ MPa}$), disminuyendo de manera significativa ($p < 0.05$) a partir del séptimo día de almacenamiento y manteniéndose sin diferencia significativa hasta el día noveno de almacenamiento (último día de almacenamiento) en $0.0311 \text{ MPa} \pm 0.038 \text{ MPa}$; mientras que los frutos almacenados en refrigeración se mantuvieron sin diferencia significativa hasta el día 16 de almacenamiento ($0.0869 \text{ MPa} \pm 0.026 \text{ MPa}$) y disminuyendo de manera significativa ($p < 0.05$) a partir del día 21 de almacenamiento a partir del cual se mantuvo sin diferencia significativa hasta el día 39 almacenamiento (último día de almacenamiento en refrigeración) en $0.0371 \text{ MPa} \pm 0.005 \text{ MPa}$. El módulo de elasticidad (pendiente de la zona lineal de la curva de compresión esfuerzo-deformación), está asociado con

sensación inicial de firmeza cuando se mastica un alimento (KIM *et al.* 2012), es así que es un indicador de la resistencia que tiene en este caso el Zapote negro sometido a una compresión sin que se fracture, por lo que en nueve días de almacenamiento, el módulo de elasticidad aparente indica que tiene 3.27 veces más capacidad de resistir las fuerzas de compresión en los frutos almacenados en refrigeración respecto a los de temperatura ambiente (figura 7.14).

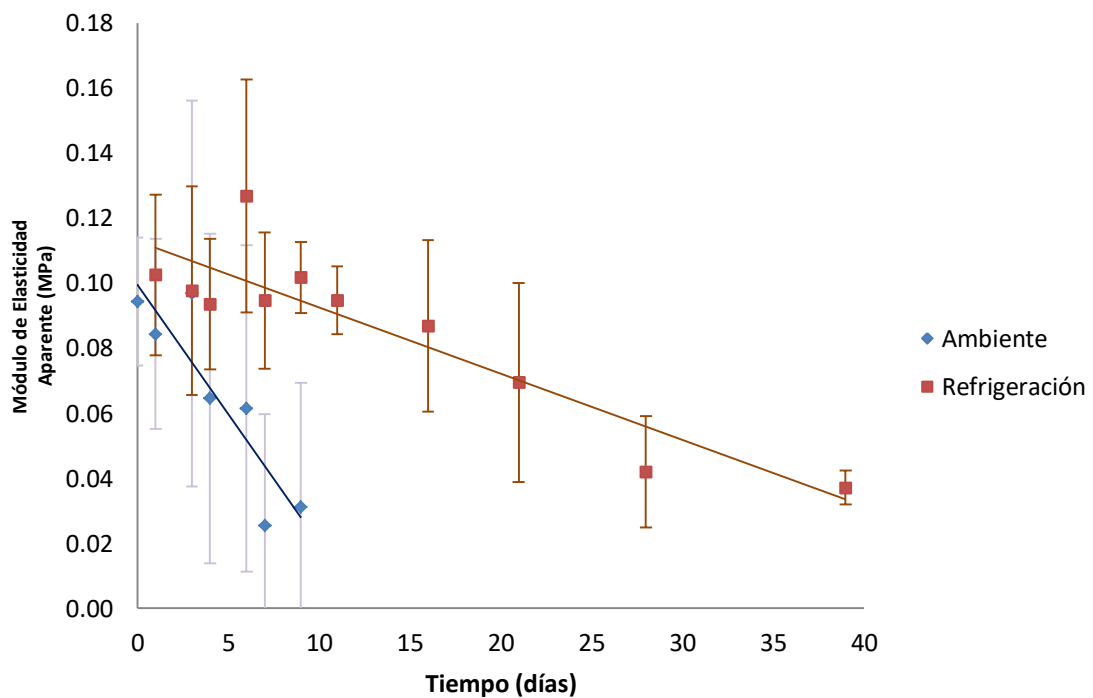


Figura 7.14. Gráfico del efecto el módulo de elasticidad aparente de los frutos de Zapote negro por la aplicación de las diferentes temperaturas empleadas para el almacenamiento y por el tiempo de almacenamiento.

Máxima Carga de compresión

La máxima Carga de compresión (N) en los frutos almacenados a temperatura ambiente se mantuvo sin diferencia significativa hasta el séptimo día de almacenamiento ($593 \text{ N} \pm 488 \text{ N}$), disminuyendo de manera significativa

($p < 0.05$) a partir del séptimo día de almacenamiento y manteniéndose sin diferencia significativa hasta el día noveno de almacenamiento (último día de almacenamiento) en $354 \text{ N} \pm 410 \text{ N}$; mientras que los frutos almacenados en refrigeración se mantuvieron sin diferencia significativa hasta el día 21 de almacenamiento ($848 \text{ N} \pm 229 \text{ N}$) y disminuyendo de manera significativa ($p < 0.05$) a partir del día 28 de almacenamiento a partir del cual se mantuvo sin diferencia significativa hasta el día 39 almacenamiento (último día de almacenamiento en refrigeración) en $569.18 \text{ N} \pm 73.5 \text{ N}$. El último día de almacenamiento a temperatura ambiente (día 9) la máxima Carga de compresión fue de 2.8 veces mayor en los frutos almacenados en refrigeración respecto a los de temperatura ambiente (figura 7.15).

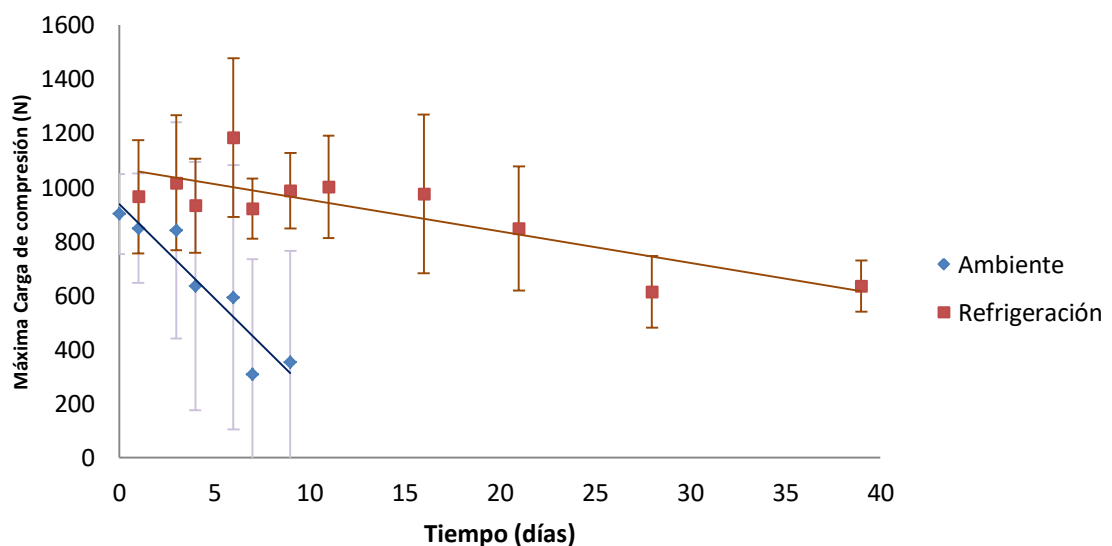


Figura 7.15. Gráfico del efecto en la máxima carga de compresión de los frutos de Zapote negro por la aplicación de las diferentes temperaturas empleadas para el almacenamiento y por el tiempo de almacenamiento.

Máxima Deformación de Hencky

La máxima deformación de Hencky (%) en los frutos almacenados a temperatura ambiente se mantuvo sin diferencia significativa durante los nueve

días de almacenamiento ($39.22 \% \pm 12.12 \%$), sin embargo la variación en el proceso de senescencia es del 30.9% por lo que no se logra establecer una diferencia significativa en este parámetro, mientras que los frutos almacenados en refrigeración no presentan evidencias de una diferencia significativa. El último día de almacenamiento a temperatura ambiente (día 9) la máxima deformación de Hencky fue de 5.91% veces menor en los frutos almacenados en refrigeración respecto a los de temperatura ambiente (figura 7.16).

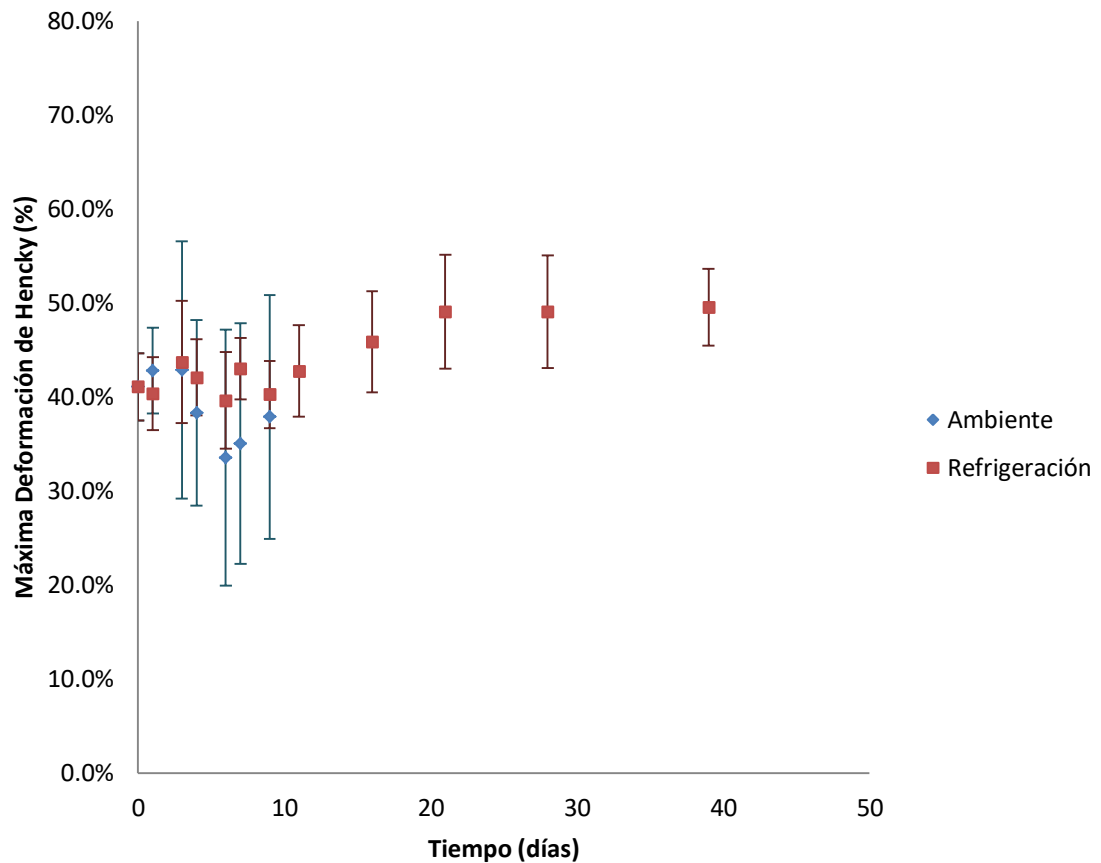


Figura 7.16. Gráfico del efecto de la máxima Deformación de Hencky de los frutos de Zapote negro por la aplicación de las diferentes temperaturas empleadas para el almacenamiento a través del tiempo de almacenamiento.

7.6. Conclusiones

Los frutos almacenados a temperatura ambiente disminuyen de manera significativa ($p < 0.05$) la máxima carga de compresión que soportan, de 900.92 N a 354.08 N al noveno día de almacenamiento, mientras que para el mismo día de almacenamiento, los frutos almacenados en refrigeración comercial se mantuvieron sin diferencia significativa ($p < 0.05$) y manteniéndose en dicho valor hasta el día 16 de almacenamiento (974.86 N), siendo el valor de 569.18N la máxima carga de compresión que soportan los frutos al día 39 de almacenamiento, que representa 2.8 mayor carga de compresión soportada por los frutos que en el último día de almacenamiento a temperatura ambiente. Asimismo, los frutos almacenados a temperatura ambiente a partir del día 11, los frutos presentaban un aspecto muy pobre, como consecuencia de los cambios deteriorantes asociado a la senescencia y que vuelven propenso a los frutos a lesiones mecánicas. Respecto a los frutos almacenados a temperatura de refrigeración comercial, muestran cambios indeseables después de 16 días de almacenamiento en su aspecto, ya que presentan una coloración verde con manchones negros, una pérdida de peso del 12.4 % además de que no llegan a la maduración comercial.

Los resultados evidenciaron que el empleo de la temperatura de refrigeración comercial aumenta la vida útil del Zapote negro ya que preserva sus propiedades mecánicas y retarda el proceso de senescencia, sin embargo después de 16 días de almacenamiento en estas condiciones, podría inducir cambios en algunos de los otros parámetros de calidad estudiados como el color y la pérdida de peso, además de que no llega a la madurez comercial, por lo que se sugiere no utilizar la temperatura de refrigeración comercial más allá de 16 días, así como probar alternativas en otras temperaturas de almacenamiento y el empleo de recubrimientos para determinar su efecto en la calidad de la fruta.

7.7. Agradecimientos

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) la Beca (90726) que brindó apoyo al primer autor.

7.8. Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener algún tipo de conflicto de intereses.

7.9. Referencias

- ASAE (Standards, engineering practices and data adopted by the American Society of Agricultural Engineers). (2005). Standard S368.4 DEC00: Compression test of food materials of convex shape. American Society of Agricultural Engineers, USA. St. Joseph Michigan. pp. 600-608.
- ASI (Adobe Systems Incorporated). (2007). Adobe presenta dos ediciones de Photoshop CS3.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). (2005). Official Methods 925.10 (32.1.03) – Solids (total) and Moisture in Flour – Air Oven Methods: Official Methods of Analysis of AOAC International. 15th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC.
- AOAC (Association of Official Agricultural Chemists). (2005). Official Methods 935.12 – degrees brix (Refractometric Method) – Air Oven Methods Official Methods of Analysis. Dumas method (990.03). 15th edition. Washington D.C., USA
- Bourne, M.C. (2002). Food texture and viscosity: Concept and measurement, (2^a ed.). Academic Press, New York
- CIE. Commission Internationale de L'Eclairage. (2009). Division 1: vision and colour. Minutes of the 2nd Meeting of the Luo Term. Budapest, Hungary. <http://files.cie.co.at/523.pdf>.

- Corral-Aguayo, R. D., Yahia, E. M., Carrillo-Lopez, A., and González-Aguilar, G. (2008). Correlation between some nutritional components and the total antioxidant capacity measured with six different assays in eight horticultural crops, *J. Agric. Food Chem.*, 56 (22), 10498–10504. <https://doi.org/10.1021/jf801983r>
- Gull, D., Cartagena, A. y French, E. (1982). Análisis de calidad de tomate para lograr un mejor producto. Instituto Boliviano de Tecnología Agropecuaria. (I.B.T.A.) y la Misión Agrícola. Universidad de Florida (U.F.L.A.).
- Hong, K., Xu, H., Wang, J., Zhang, L., Hu, H., Jia, Z., Gu, H., He, Q., Gong, D. (2013). Quality changes and internal browning developments of summer pineapple fruit during storage at different temperatures. *Scientia Horticulturae* 151:68-74.
- Kim, E.H.J., Corrigan, V.K., Wilson, A.J., Waters, I.R., Hedderley, D.I. and Morgenstern, M.P. (2012). Fundamental Fracture Properties Associated with Sensory Hardness of Brittle Solid Foods. *Journal of Texture Studies*, 43 (1), 49–62.
- Laguado, N., Pérez, E., Alvarado, C. y Marín, M. (1999). Características fisicoquímicas y fisiológicas de frutos de guayaba de los tipos Criolla Roja y San Miguel procedentes de dos plantaciones comerciales. Facultad de agronomía Universidad de Zulia. Maracaibo, Venezuela. 382-387.
- Ledesma, N. y Campbell, J. (2001). Reseña histórica, cultivares y propagación del zapote prieto (*Diospyros digyna* Jacq.) en el sur de la Florida. *Interam. Soc. Trop. Hortic.*, 45, 12–14.
- Morton, J.F. (1987). *Black Sapote Fruits of warm climates*, Miami, F.L.
- Moo-Huchin, V. M., Estrada-Mota, I., Estrada-León, R., Cuevas-Glory, L., Ortiz-Vazquez, E., Vargas, M. de L. V. y Betancur-´ Ancona, D., Sauri-Duch, E. (2014). Determination of some physicochemical characteristics, bioactive compounds and antioxidant activity of tropical fruits from Yucatan, Mexico, *Food Chem.*, 152, 508–515. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.12.013>

- Muñoz de Chávez, Miriam, Chávez Villasana, Adolfo, Roldán Amaro, José Antonio, Ledesma Solano, José Angel, Mendoza Martínez, Eduardo, Pérez-Gil Romo, Fernando; Hernández Cordero, Sonia Lizet, Chaparro Flores, Alejandra Guadalupe. (1996). Tablas de Valor Nutritivo de los Alimentos de Mayor Consumo en México. Editorial Pax, México.
- Mcguire, R.G. (1992). Reporting of Objective Color Measurements. HortScience, 27(12),1254-1255.
- Nedomová, Š., Kumbár, V., Pytel, R. and Buchar, J. (2017). Mechanical properties of sugar beet root during storage. Int. Agrophysics, 31(4), 507–513. <https://doi.org/10.1515/intag-2016-0081>
- R CORE TEAM.(2017). R: A language and environment for statistical computing, R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. Available: <https://www.R-project.org/>
- Roe, B.; Bruemmer, J. H. (1981). Changes in pectic substances and enzymes during ripening and storage of ‘Keitt’ mangoes. Journal of Food Science 46: 186-189.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2023). Estadísticas de los cultivos, Recuperado el 15 de octubre de 2023, de <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> .
- Yahia, E.M., Gutierrez-Orozco, F, Leon, C.A.D. (2011). Phytochemical and antioxidant characterization of the fruit of black sapote (Diospyros digyna Jacq.). Food Research International. 44: 2210-2216. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.11.025>

8. CALIDAD DE LOS FRUTOS DE ZAPOTE NEGRO (*Diospyros Nigra* (J.F.Gmel.) Perr. & Perr.) BASADA EN SUS CARACTERÍSTICAS COLORIMÉTRICAS

Guadalupe Olmedo-Obrero¹, Carlos Alberto Villaseñor-Perea^{1*}, Arturo Mancera-Rico², Emigdio De la Cruz-De la Cruz³, Gilberto de Jesús López-Canteñas⁴, María del Rosario Venegas-Ordoñez⁴

¹Posgrado de Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua de la Universidad Autónoma Chapingo, 56230, Texcoco, México

golmedoo19a@gmail.com, (<https://orcid.org/0000-0002-4757-6176>);
cvillasenorp@chapingo.mx, (<https://orcid.org/0000-0002-7404-022X>)

²Departamento de Fitomejoramiento, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México

mncrarico@gmail.com, (<https://orcid.org/0000-0001-7559-1608>)

³Departamento de Agrobiotecnología, Universidad Tecnológica de la Huasteca Hidalguense, Huejutla, Hidalgo, México

emigdio.delacruz@uthh.edu.mx, (<https://orcid.org/0000-0003-0836-4389>)

⁴Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo, 56230, Texcoco, México

alelopez10@hotmail.com, (<https://orcid.org/0000-0002-7789-5880>);
rosario_venegas@hotmail.com, (<https://orcid.org/0000-0002-8056-8071>)

* ✉ Carlos Alberto Villaseñor-Perea; Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo, 56230, Texcoco, México; Teléfono: +52 (595) 952 1569 (55) 215000, extensión: 1629; cvillasenorp@chapingo.mx

8.1. Abstract

Los resultados de las evaluaciones que utilizan métodos de evaluación óptica pueden correlacionarse con la calidad y maduración de frutas. El objetivo de este estudio fue evaluar la correlación entre variables colorimétricas, físico-químicas y mecánicas de los frutos de Zapote negro (*Diospyros nigra*

(J.F.Gmel.) Perr. & Perr.) en función de los estados de maduración, mediante análisis multivariado.

Se determinaron variables colorimétricas, fisicoquímicas y mecánicas a 82 frutos de Zapote negro en tres etapas de maduración: inmaduro (verde-amarillo), en proceso de maduración (verde) y maduro (negro), 22 variables en total las cuales se evaluaron mediante métodos tradicionales, las variables colorimétricas se evaluaron en el epicarpio de los frutos de Zapote negro en el espacio CIE-L*a*b*, se determinaron los resultados con un colorímetro.

La correlación entre las 22 variables se analizó mediante el coeficiente de Pearson encontrando que todas tienen algún grado de correlación entre sí. Asimismo, se aplicó el análisis de componentes principales, determinando que las variables colorimétricas analizadas presentan capacidad explicativa del estado de maduración de los frutos así como de las variables físico-químicas y mecánicas de los frutos de Zapote negro. En particular el parámetro colorimétrico “G” tiene más explicabilidad de la variación. Por lo que los parámetros colorimétricos se pueden utilizar como indicadores no destructivos para evaluar calidad y aceptabilidad de los frutos del Zapote negro.

8.2. Introducción

El Zapote negro (*Diospyros nigra* (J.F.Gmel.) Perr. & Perr.) es un fruto originario de Meso América y consumido desde los Mayas y Aztecas. Debido a su contenido de nutrientes (Yahia *et al*, 2011), los frutos de Zapote negro tienen un gran potencial nutracéutico y agroindustrial; sin embargo, la alta perecibilidad de estos frutos ha sido una limitación para su comercialización fuera de las regiones de producción por lo que son actualmente poco comercializados.

Para evaluar la calidad de las frutas, se suelen emplear pruebas de laboratorio a través de sus atributos físico-químicos, como firmeza del fruto, sólidos

solubles totales y acidez (Magwaza & Opara, 2015; Teka, 2013). Sin embargo, estos procedimientos son, en general, destructivos y demandan reactivos químicos y equipos costosos, por lo que resulta difícil obtener un control de calidad riguroso. Además, para la selección y clasificación la fruta tanto por los mercados como por la industria, se realiza en base a una inspección visual debido a que los cambios de color se han considerado como indicadores prácticos de la maduración. Asimismo, los sistemas de visión artificial tienen una eficiencia evaluada y características cuantificadas de calidad y control de la fruta (Wang *et al.*, 2015).

En frutas se han empleado coordenadas colorimétricas para determinar su color, en particular los espacios de color RGB, CIE-XYZ y, el modelo CIE-L*a*b* fue aprobado por la CIE (*Commission Internationale de l'Eclairage*) en 1976, los cuales están interrelacionados entre sí. En particular el modelo más recomendado para las mediciones industriales del color de los objetos es el modelo CIE-L*a*b* el cual permite que los colores se representen en el espacio a unas distancias proporcionales a las diferencias visuales entre ellos y logra una percepción uniforme del color.

Los parámetros de color L*, a* y b* en una muestra de alimento, corresponden a: a* y b* son las coordenadas cromáticas rectangulares (+a = rojo y -a = verde ; +b = amarillo y -b = azul). El par L* indica la luminosidad (0 = negro y 100 = blanco) (Padrón, 2010). El parámetro croma o cromaticidad (C*) indica qué tan intenso, puro o vivo es un color en una escala del 1 al 100, donde 100 expresa la mayor pureza (Padrón *et al.*, 2012).

Las características colorimétricas basadas en imágenes en modelos de color RGB han permitido la implementación de sistemas artificiales de visión con alta capacidad de clasificación, utilizando equipos de bajo costo (Wan *et al.*, 2018). Estos sistemas pueden ayudar en la selección y control de la calidad de frutos con métodos no destructivos (Bicanic *et al.*, 2015).

Por su parte los entornos de iluminación no controlada requieren el uso de Índices colorimétricos para mejorar la percepción de intensidades de variables colorimétricas, ya que las bandas R, G y B eliminan la efecto de la iluminación en la cuantificación del colorimétrico intensidad (Sena Júnior *et al.*, 2003). Asimismo, se han aplicado los índices colorimétricos NEG y GR para condensar la información colorimétrica y mejorar el proceso de clasificación (Baesso *et al.* 2012) para la identificación del déficit nutricional en cultivos de frijol común.

El Análisis de Componentes Principales (ACP) es un método estadístico de análisis multivariado que se emplea para explicar las fuentes de variabilidad de un proceso y reducir dimensionalidad de los datos. Este método transforma la información multidimensional en unas pocas variables que explican una gran parte de las fluctuaciones de las variables originales, así como sus interrelaciones (Abdi, 2010). Dada la gran cantidad de variables experimentales empujadas, se aplicó este método y de esta manera fue posible extraer información útil para la toma de decisiones, sin necesidad de disponer de un modelo teórico sobre la maduración de los frutos.

La correlación entre las variables RGB y las características cualitativas de las frutas, se muestran en estudios que utilizan estas variables como indicadores de calidad (Wang *et al.*, 2015; Governici *et al.*, 2017; Costa *et al.*, 2018) para ayudar en la toma de decisiones durante los procesos de selección y cosecha. Sin embargo, la intensidad RGB puede verse afectada por variaciones en la luz ambiental, lo que resulta en distorsiones en la cuantificación de la intensidad del color, por lo que el uso de colorímetro evita la variación de la luz en las medidas de intensidades RGB.

Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar la correlación colorimétrica, físico-química y mecánica del zapote negro, en función de tres etapas de maduración mediante análisis multivariado.

8.3. Keywords

zapote negro, ACM, monitoreo de color

8.4. Metodología

Material. Para el presente estudio se utilizaron 82 frutos de Zapote negro (*Diospyros nigra* (J.F.Gmel.) Perr. & Perr.) fisiológicamente maduros y sin daños aparentes, obtenidos de un solo árbol, este árbol está incorporado a un huerto familiar, sin algún manejo agronómico - sólo control de malezas -. La localidad donde se cosecharon, es el Municipio de Jaltocan, Hidalgo, México (20°51'58" N 98° 29'28" W) México. La colecta se realizó 260 días después de la antesis, el 10 de enero de 2023. Los frutos fueron cosechados en madurez fisiológica, cuando estaban en tamaño completo y color verde. Los frutos se empacaron inmediatamente en redes de plástico y se transportaron dentro de las 24 h al Laboratorio de materiales de la Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Estado de México, México donde se realizaron las mediciones.

Los zapotes se clasificaron en tres etapas de maduración: inmaduro (verde-amarillo), en proceso de maduración (verde) y maduro (negro).

Humedad. El contenido de humedad se determinó siguiendo el método AOAC 925.10 (2005). Se utilizó una Balanza digital marca Ohaus con sensibilidad de 0.001g.

Color. Se determinó con un colorímetro portátil marca X-rite, obteniendo la luminosidad L^* (100=blanco, 0=negro), a^* (positivo=rojo, negativo=verde) y b^* (positivo=azul, negativo=amarillo) (CIE, 2009), las coordenadas reportadas de cada muestra son valores promedio de 3 registros en el equipo. Los datos

fueron capturados en Excel y procesados en Adobe® Photoshop® CS3 Extended (ASI, 2007) determinar el modelo de coordenadas rojo, verde y azul (RGB, por sus siglas en inglés). Posteriormente, en el paquete Excel se procesaron los datos para obtener las coordenadas polares C^* y H° a través de las siguientes ecuaciones (Mcguire, 1992):

para a^* y b^* positivos;

$$Tono(h^\circ) = \arctan \frac{b^*}{a^*};$$

para a^* negativo y b^* positivo

$$Tono(h^\circ) = 180 + \arctan \frac{b^*}{a^*}; \quad (1)$$

$$Croma(C^*) = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (2)$$

Los índices colorimétricos relación verde-rojo (GR), relación de pigmento (PR), normalizada índice de diferencia verde-rojo (NGRDI) y exceso normalizado verde (NEG) se calcularon a través de las ecuaciones 3:6.

$$GR = \frac{G}{R} \quad (3)$$

$$PR = \frac{(G-B)}{(G+B)} \quad (4)$$

$$NGRDI = \frac{(G-R)}{(G+R)} \quad (5)$$

$$NEG = \frac{2G-R-B}{R+G+B} \quad (6)$$

Donde:

R. intensidad de color media de la banda roja en unidades de píxeles, $0 \leq$

$R \leq 255$

G. intensidad de color media de la banda verde en unidades de píxeles,

$0 \leq R \leq 255$

B. Intensidad de color media de la banda azul en unidades de píxeles, $0 \leq R \leq 255$

GR. Relación verde-rojo, como fue reportada por Baesso *et al* (2012)

PR. Relación de pigmentos, como fue reportada por Metterinicht (2003)

NGRDI. Índice de diferencia rojo verde normalizado, como fue reportado por Gilabert *et al* (2002)

NEG. Exceso de verde normalizado, como fue reportada por Baesso *et al* (2012)

Pérdida de peso. Se empleó una Balanza digital Ohaus con una sensibilidad de 1 g, los resultados se expresaron como porcentaje de pérdida de peso (ecuación 7) respecto al peso inicial del fruto

$$\text{Pérdida de peso (\%)} = \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} * 100 \quad (7)$$

Firmeza. Se determinó mediante un Penetrómetro manual marca Decco. Se realizaron mediciones de la fuerza (gr) en frutos enteros, realizando tres mediciones por fruto y reportando un promedio de dichas mediciones en Newton (N).

pH. Se determinó con un potenciómetro digital marca Orion 420 A, mediante inmersión directa del electrodo en una muestra de 5g de la pulpa del Zapote negro disuelto en 50ml de agua, se realizaron tres mediciones por fruto y reportando un promedio de dichas mediciones

Sólidos solubles. Se determinó por triplicado con un refractómetro digital marca Orion 420 a temperatura ambiente (17 °C) sobre la base de °Brix siguiendo el método AOAC 931.12 (2005) para lo cual se usó 5 g de pulpa con 50 ml de agua, realizando tres mediciones por fruto y reportando un promedio de dichas mediciones, se expresó como °Brix.

Acidez titulable (sobre la base de ácido cítrico) se determinó titulando con NaOH 0.1 N hasta pH 8.1, usando 5 g de pulpa diluida en 50 ml de agua. El porcentaje de ácido cítrico se determinó usando la ecuación número 8 (Gull et al., 1982):

$$\% \text{ de ácido cítrico} = \frac{V * N * P_{meq} * 100}{Y} \quad (8)$$

Donde:

V= volumen n ml de NaOH titulado

N= Solución nonnal de NaOH (0. 1 N)

Pmeq=Peso en miliequivalente de ácido cítrico (0.064 meq)

Y = Peso en g de muestra

Propiedades mecánicas. A los frutos de Zapote negro (*Diospyros nigra* (J.F.Gmel.) Perr. & Perr.) se les aplicaron pruebas de compresión entre dos placas paralelas de 15 cm de diámetro para determinar las propiedades mecánicas de máxima carga de compresión (N), deformación de Hencky (mm/mm) y módulo de elasticidad aparente (MPa) (Bourne, 2002). El equipo empleado fue una máquina de ensayo mecánica universal INSTRON (Universal Testing Machine) modelo 3382, INSTRON, Norwood, MA, EE. UU.) con una velocidad de cruceta de 50 mm/min (ASEAE, 2005) y una celda de carga de 100 kN. Se colocó la fruta de Zapote negro (*Diospyros nigra* (J.F.Gmel.) Perr. & Perr.) en orientación horizontal (eje transversal) sobre una plataforma (figura 8.1a), se aplicó la carga hasta la fractura. La máquina INSTRON se conectó simultáneamente a una computadora con el Software BLUEHILL® (figura 8.1b), que proporciona los valores de carga de compresión y extensión por compresión para cada fruto evaluado. A partir de los datos proporcionados por el software, se generó la curva Esfuerzo instantáneo de compresión-Deformación de Hencky para cada muestra, tomando en consideración la altura radial de los frutos de Zapote negro (*Diospyros nigra* (J.F.Gmel.) Perr. & Perr.) y el área de la superficie de la placa de compresión. El módulo de elasticidad

aparente y la deformación de Hencky fueron calculados de acuerdo a las siguientes ecuaciones (Nedomová *et al.*, 2017).

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_H} = \frac{\frac{F}{A_{instantánea}}}{\epsilon_H} \quad (9)$$

$$\epsilon_H = -\ln\left(1 - \frac{\text{Extensión por compresión}}{h}\right) \quad (10)$$

$$A_{instantánea} = \frac{A \cdot h}{h - \text{Extensión por compresión}} \quad (11)$$

Donde:

E es el módulo de elasticidad aparente de la fruta

σ es la tensión en la fruta

ϵ_H es la deformación de Hencky en la fruta

F es la fuerza aplicada durante la compresión

A es el área del disco que hace contacto con la superficie de la fruta,

$A_{instantánea}$ es el área instantánea

h es la altura radial de la fruta.

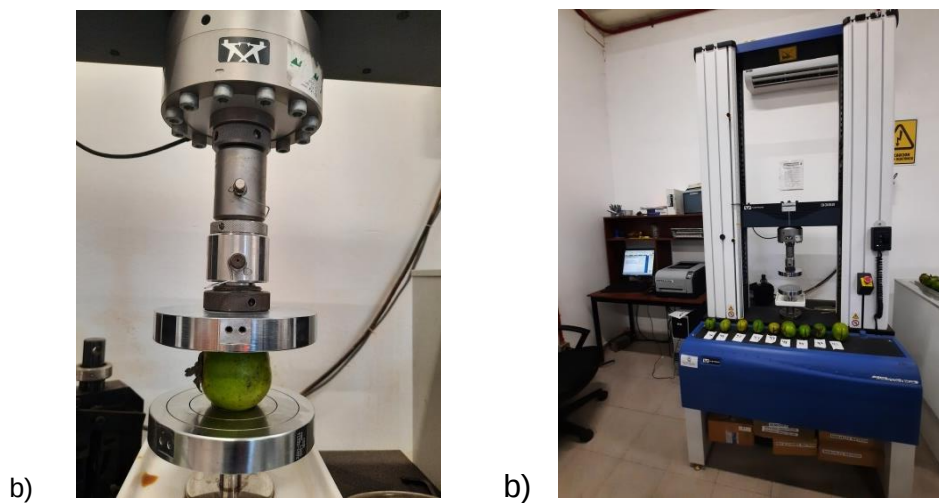


Figura 8.1. Ensayo de compresión a) Muestra b) Máquina INSTRON acoplada a la computadora.

Análisis estadístico

A los frutos de Zapote negro se les determinaron las siguientes 22 variables:

- Variables colorimétricas: L, a, b, h, c, R, G, B, PR, NGRDI, NEG y GR
- Variables físico-químicas: Contenido de Humedad (Humedad), pérdida de peso (PPeso), Consistencia (Fuerza), pH, Solidos solubles Totales (SST) y Acidez
- Variable de la etapa de maduración: Estado de maduración (Estado)
- Variables mecánicas: Módulo de elasticidad de Young (E), Máxima carga de compresión (Carga), Máxima deformación de Heanky (Deformación)

Las variables fueron correlacionados y graficadas utilizando el coeficiente de correlación de Pearson, utilizando la programación R (versión 4.1.0) (2017).

Considerando que las variables presentan unidades diferentes, se normalizados antes del análisis por su relación entre medias y desviaciones estándar utilizando la programación R (versión 4.1.0) (2017).

Posteriormente se realizó el análisis de componentes principales y la agrupación de k-medias (Makky & Soni, 2013; Li *et al.*, 2014) para el cual se utilizó la programación R (versión 4.1.0) (2017), para evaluar el potencial de las variables evaluados en las imágenes digitales para distinguir los zapotes como una función de las etapas de maduración.

8.5. Resultados

En la figura 8.2 se muestran la correspondiente matriz de correlación de Pearson para las 22 variables analizadas, se observa que existe correlación entre estas, en particular los estados de maduración y los parámetros colorimétricos están fuertemente correlacionados.

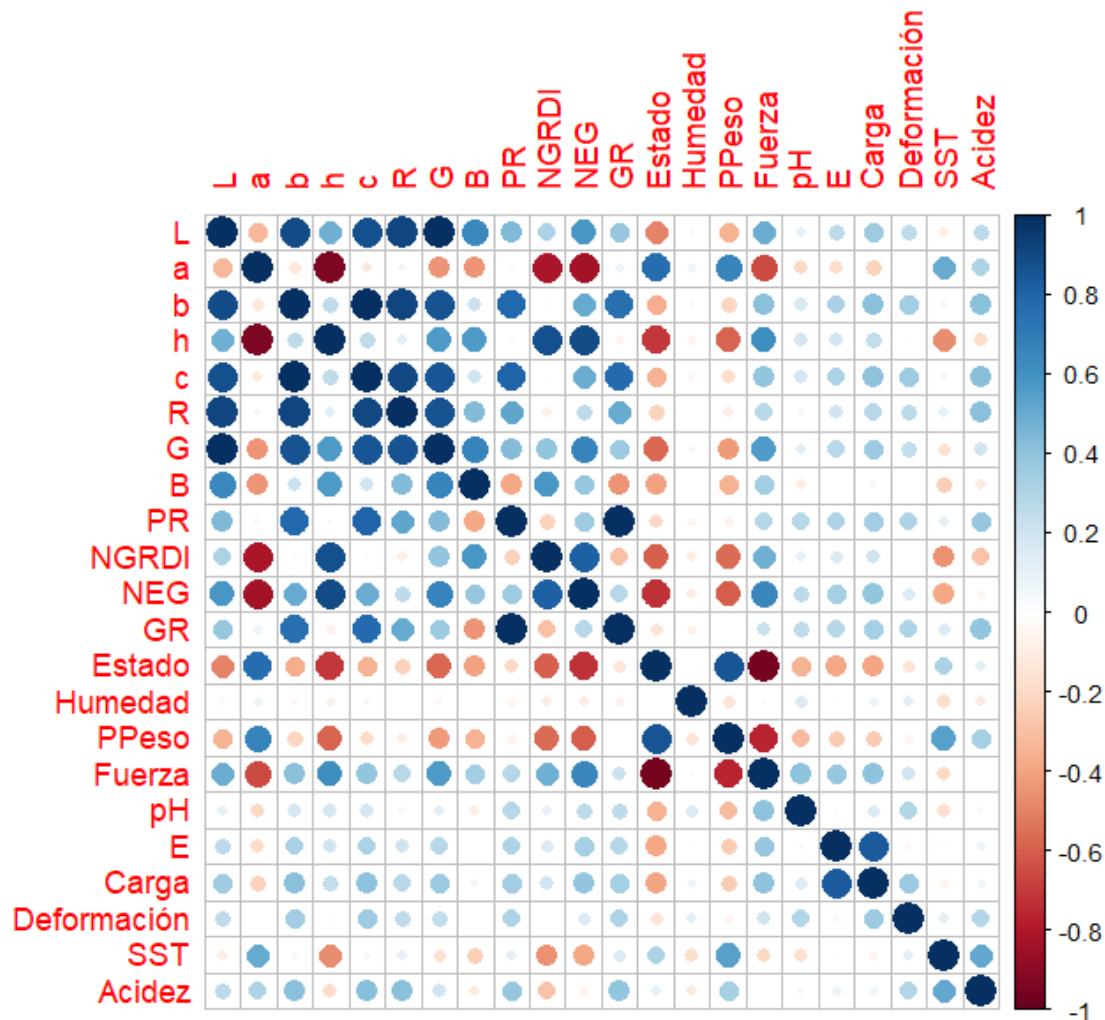


Figura 8.2. Matriz de correlación de Pearson para variables colorimétricas fisicoquímicas y mecánicas así como del estado de maduración de los frutos de Zapote negro.

Al aplicar el Análisis de Componentes Principales (ACP) se generaron 22 componentes principales indicando que todas las variables analizadas tienen algún grado de correlación significativa ($p < 0.05$), en el cuadro 8.1 se observa el aporte de cada uno de los 22 componentes a la variabilidad del proceso, así como el acumulado de la variación.

Cuadro 8.1. Porcentaje de varianza explicado por los componentes principales.

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
Standard deviation	2.8832	2.2054	1.46772	1.19356	1.13538	1.05886
Proportion of Variance	0.3779	0.2211	0.09792	0.06475	0.05859	0.05096
Cumulative Proportion	0.3779	0.5989	0.69687	0.76162	0.82022	0.87118
	PC7	PC8	PC9	PC10	PC11	PC12
Standard deviation	0.9259	0.7803	0.74760	0.61170	0.45136	0.3062
Proportion of Variance	0.0390	0.0277	0.02540	0.01701	0.00926	0.00426
Cumulative Proportion	0.9102	0.93782	0.9632	0.98023	0.98949	0.99376
	PC13	PC14	PC15	PC16	PC17	PC18
Standard deviation	0.2424	0.1920	0.1471	0.1002	0.0773	0.0453
Proportion of Variance	0.0027	0.0017	0.0010	0.0005	0.0003	0.0010
Cumulative Proportion	0.9964	0.9981	0.9991	0.9995	0.9998	0.9999
	PC19	PC20	PC21	PC22		
Standard deviation	0.0328	0.0232	0.01841	0.01092		
Proportion of Variance	0.00005	0.00002	0.00002	0.00001		
Cumulative Proportion	0.99995	0.99998	0.99999	1.00000		

Asimismo, en la figura 8.3 se observa que los seis primeros componentes principales (PC1, PC2, PC3, PC4, PC5 y PC6) son los que generan el mayor aporte a la variabilidad del proceso (varianza mayor de 1), por lo se discriminó el resto de los componentes principales (PC7:PC22).

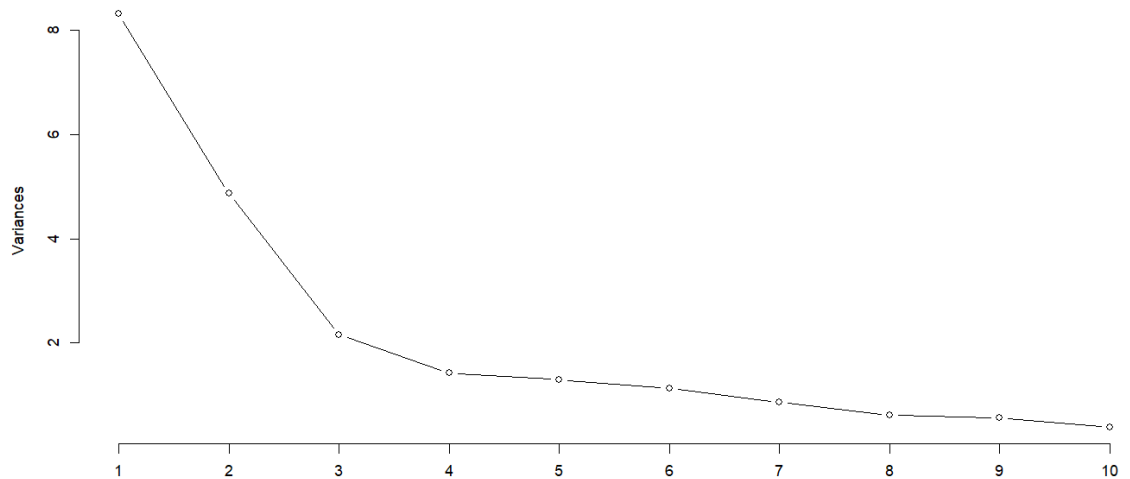


Figura 8.3. Aporte de la varianza de los primeros 10 componentes principales.

Es así que en el cuadro 8.2, se muestra la combinación de la cual está compuesto cada uno de los primeros seis componentes principales generados (PC1, PC2, PC3, PC4, PC5 y PC6) así como su respectivo aporte a la variación del proceso. En el componente principal uno (PC1) se observa que las variables colorimétricas y el estado de maduración del fruto tienen un fuerte aporte a la variabilidad del proceso.

Cuadro 8.2. Porcentaje de varianza explicado por los componentes principales.

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
L	-0.29684	-0.11869	-0.29046	-0.02459	0.08297	-0.04406
a	0.23013	-0.28459	-0.07399	-0.00960	0.210111	-0.01312
b	-0.27155	-0.26643	-0.08898	-0.03504	-0.00868	-0.12658
h	-0.25451	0.249915	-0.04687	0.02742	-0.19749	0.03408
c	-0.26711	-0.27455	-0.08055	-0.04676	-0.02918	-0.12412
R	-0.22122	-0.26279	-0.29765	-0.05690	0.16220	-0.09134
G	-0.31307	-0.07573	-0.25846	-0.02817	0.04781	-0.05160
B	-0.16957	0.182609	-0.48564	-0.00041	0.195518	0.12600

PR	-0.17615	-0.30978	0.25704	-0.05663	-0.21588	-0.20800
NGRDI	-0.19194	0.32167	-0.06682	0.09834	-0.14980	0.12037
NEG	-0.29692	0.13319	0.06815	0.04785	-0.24364	-0.01231
GR	-0.14941	-0.33152	0.26585	-0.04539	-0.21021	-0.21391
Estado	0.28075	-0.16152	-0.14926	0.01275	-0.01747	-0.13332
Humedad	0.00901	0.02250	0.10970	-0.37921	0.61166	-0.09720
Peso	0.22606	-0.21801	-0.16282	0.14587	-0.12970	0.08974
Fuerza	-0.27195	0.10421	0.17561	-0.04566	0.03818	0.19641
pH	-0.10810	0.00070	0.32558	-0.43468	-0.01564	0.20663
E	-0.15302	-0.04129	0.25878	0.57596	0.30667	-0.04731
Carga	-0.18434	-0.06309	0.26040	0.41229	0.37062	0.13735
Deformación	-0.10103	-0.13957	0.10831	-0.27196	0.12214	0.53088
SST	0.10209	-0.25051	-0.07216	0.20012	-0.10533	0.47419
Acidez	-0.03663	-0.29661	-0.08421	0.04337	-0.13879	0.43638

Finalmente en la figura 8.4 se muestra la dispersión de las diferentes variables, se observa que todas las variables analizadas, a excepción del pH y el contenido de humedad, forman un ángulo diferente a 90°, por lo que tienen una correlación significativa ($p < 0.05$); la fuerza de penetración y las propiedades mecánicas de máxima carga de compresión que soporta el fruto y el módulo de elasticidad presentan mayor correlación con las variables colorimétricas. El parámetro colorímetro color verde (G) presentó una correlación mayor que el resto de variables colorimétricas, mostrando que esta característica colorimétrica muestra las variaciones de calidad del Zapote negro en función de su estado de maduración.

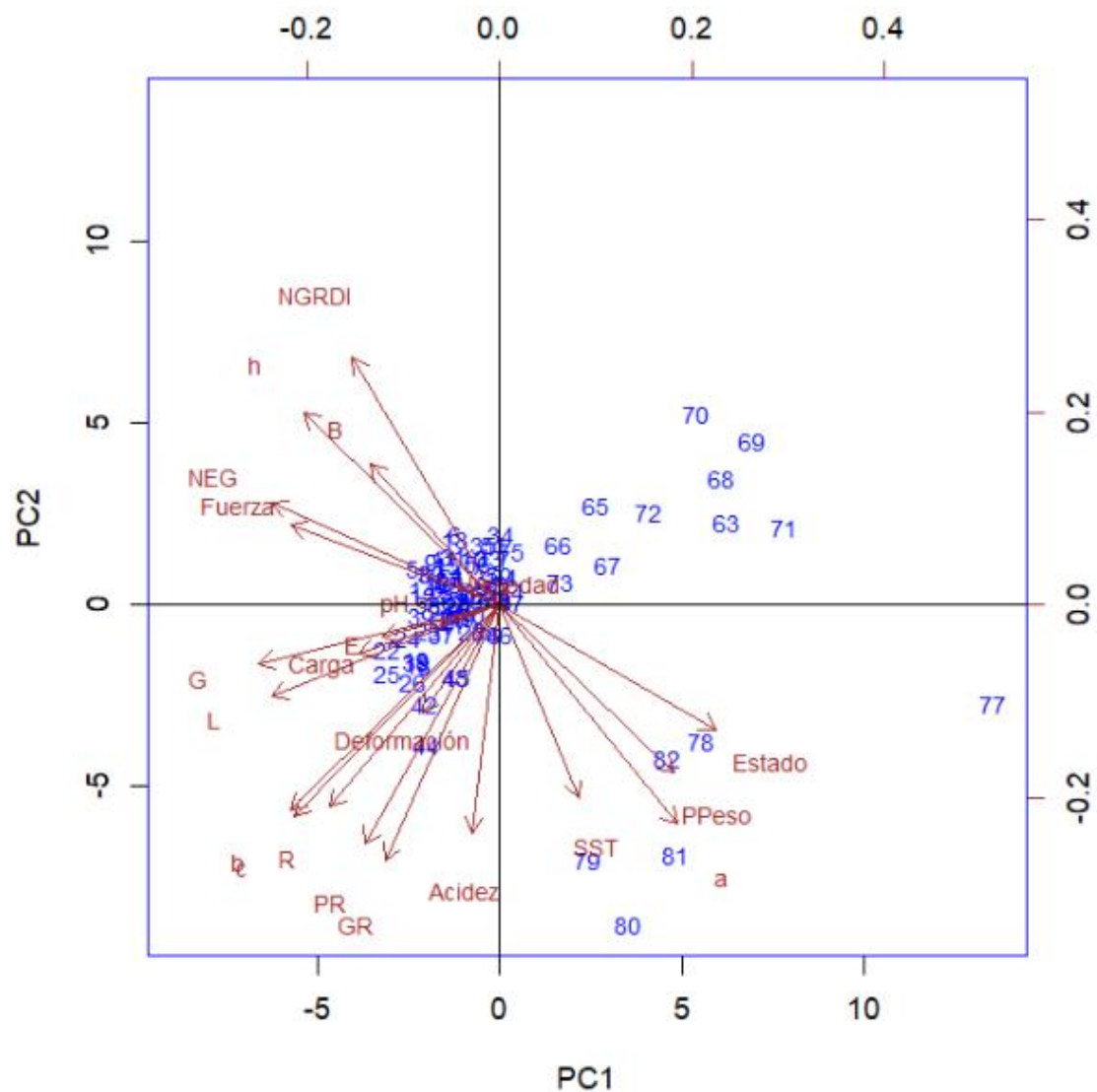


Figura 8.4. Puntuaciones de las variables analizadas en función del primer y segundo componente principal (PC1 y PC2).

Estos resultados denotan que las características colorimétricas de los frutos del Zapote negro pueden explicar las variaciones en las características de la fruta en función y de la etapa de maduración.

8.6. Conclusiones

La aplicación del ACP permitió demostrar que las variables colorimétricas determinadas pueden explicar la variabilidad de las variables físico-químicas y mecánicas así como el estado del fruto. Por lo tanto, estas variables pueden ser utilizadas como indicadores en la evaluación de los controles de calidad de los frutos de Zapote negro (*Diospyros nigra* (J.F.Gmel.) Perr. & Perr.)

La firmeza de los frutos de Zapote negro (*Diospyros nigra* (J.F.Gmel.) Perr. & Perr.) y las propiedades mecánicas de Máxima carga de compresión soportada y Módulo de elasticidad, fueron los atributos que presentaron mayor correlación con las variables colorimétricas y los atributos más afectados por la etapa de maduración de los frutos.

Los componentes principales de las variables colorimétricas fueron eficientes para medir variaciones en la maduración del Zapote negro (*Diospyros nigra* (J.F.Gmel.) Perr. & Perr.), en particular el parámetro colorimétrico “G” tiene más explicabilidad de la variación, lo cual es esperado ya que el epicarpio de los frutos de Zapote negro es color verde cuando están inmaduros, verde oscuro cuando están maduros y negro cuando están en proceso de senescencia.

Por consiguiente, es posible emplear las características colorimétricas como una herramienta para evaluar la calidad y aceptabilidad de los frutos del Zapote negro. Esto permite utilizar métodos no destructivos y automáticos, facilitando la toma de decisiones en los procesos de selección y cosecha.

8.7. Agradecimientos

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) la Beca (90726) que brindó apoyo al primer autor.

8.8. Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener algún tipo de conflicto de intereses.

8.9. Referencias

- Abdi, H., Williams, L.J. 2010. Principal component analysis. WIREs Comp Stats. 2(4):433-59.
- ASAE (Standards, engineering practices and data adopted by the American Society of Agricultural Engineers). (2005). Standard S368.4 DEC00: Compression test of food materials of convex shape. American Society of Agricultural Engineers, USA. St. Joseph Michigan. 600-608.
- ASI (Adobe Systems Incorporated). (2007). Adobe presenta dos ediciones de Photoshop CS3.
- ASAE (Standards, engineering practices and data adopted by the American Society of Agricultural Engineers). (2005). Standard S368.4 DEC00: Compression test of food materials of convex shape. American Society of Agricultural Engineers, USA. St. Joseph Michigan. pp. 600-608
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). (2005). Official Methods 925.10 (32.1.03) – Solids (total) and Moisture in Flour – Air Oven Methods: Official Methods of Analysis of AOAC International. 15th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC.
- AOAC (Association of Official Agricultural Chemists). (2005). Official Methods 935.12 – degrees brix (Refractometric Method) – Air Oven Methods Official Methods of Analysis. Dumas method (990.03). 15th edition. Washington D.C., USA
- Baesso, M. M., Varella, C. A. A., Martins, G. A., Modolo, A. J., Brandelero, E. M. (2012). Determinação do nível de deficiência nutricional de nitrogênio no feijoeiro utilizando redes neurais artificiais. Revista Engenharia na Agricultura, v.20, p.512-518. <https://doi.org/10.13083/1414-3984.v20n06a03>
- Bicanic, D., Streza, M., Dóka, O., Valinger, D., Luterotti, S., Ajtony, Z., Dadarlat. (2015). D. Non-destructive measurement of total carotenoid content in

- processed tomato products: Infrared lock-in thermography, near-infrared spectroscopy/ chemometrics, and condensed phase laser-based photoacoustics pilot study. *International Journal of Thermophysics*, v.36, 2380- 2388. <https://doi.org/10.1007/s10765-015-1895-2>
- Bourne, M.C. (2002). *Food texture and viscosity: Concept and measurement*, 2^a ed. Academic Press, New York
- CIE (Commission Internationale de L'Eclairage). (2009). Division 1: vision and colour. Minutes of the 2nd Meeting of the Luo Term. Budapest, Hungary. <http://files.cie.co.at/523.pdf>.
- Costa, A. G., Pinto, F. A., Braga, R. A., Motoike, S. Y., Gracia, L. (2018). Classification of macaw palm fruits from colorimetric properties for determining the harvest moment. *Engenharia Agrícola*, v.38, p.634-641. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v38n4p634-641/2018>
- Gilabert, M., Piqueras, J. G., Haro, F. G.; Meliá, J. (2002). A generalized soiladjusted vegetation index. *Remote Sensing of Environment*, v.82, 303-310. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00048-2](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00048-2)
- Governici, J. L., Faria, R. M., Tinini, R. C. R., Mederos, B. J. T. (2017). Tomatoes maturation analysis with reflectance spectral images. *Journal of Agricultural Science and Technology B*, v.7, 426-431. <https://doi.org/10.17265/2161-6264/2017.06.007>
- Gull, D., A. Cartagena y E. French. (1982). Análisis de calidad de tomate para lograr un mejor producto. Instituto Boliviano de Tecnología Agropecuaria. (I.B.T.A.) y la Misión Agrícola. Universidad de Florida (U.F.L.A.).
- Li, H., Lee, W. S, Wang, K. (2014). Identifying blueberry fruit of different growth stages using natural outdoor color images. *Computers and electronics in agriculture*, v.106,91-101,. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2014.05.015>
- Makky, M., Soni, P. (2013). Development of an automatic grading machine for oil palm fresh fruits bunches (FFBs) based on machine vision. *Computers and electronics in agriculture*, v.93, 129-139. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2013.02.008>

- Magwaza, L. S., Opara, U. L. (2015). Analytical methods for determination of sugars and sweetness of horticultural products: A review. *Scientia Horticulturae*, v.184, 179-192. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.01.001>
- Metternicht, G. (2003). Vegetation indices derived from highresolution airborne videography for precision crop management. *International Journal of Remote Sensing*, v.24, p.2855-2877. <https://doi.org/10.1080/01431160210163074>
- Mcguire, R.G. (1992). Reporting of Objective Color Measurements. *HortScience*, 27(12),1254-1255.
- Nedomová, Š., Kumbár, V., Pytel, R. and Buchar, J. (2017). Mechanical properties of sugar beet root during storage. *Int. Agrophysics*, 31(4), 507–513. <https://doi.org/10.1515/intag-2016-0081>
- Padrón, C.A. (2010). Procesamiento digital de imágenes de frutos de semeruco (*Malpighia glabra* L.) durante el crecimiento y maduración, *Revista Científica Electrónica de Agronomía*, Garca, vol. 17, No., 1-17.
- Padrón, C. A., Padrón G. M., Montes A. I., Oropeza R. A. (2012). Determinación de color en epicarpio de tomates (*Lycopersicum esculentum* Mill.) con sistema de visión computarizada durante su maduración. *Agronomía Costarricense*, 97-111.
- R CORE TEAM. (2017). R: A language and environment for statistical computing, R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. Available: <https://www.R-project.org/>
- Sena Júnior, D. G. de, Pinto, F. de A. de C., Gomide, R. L., Teixeira, M. M. (2003). Avaliação de métodos automáticos de limiarização para imagens de plantas de milho atacadas por *Spodoptera frugiperda*. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.7, p.359-366. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662003000200030>
- Teka, T. A. (2013). Analysis of the effect of maturity stage on the postharvest bio-chemical quality characteristics of tomato (*Lycopersicon esculentum*

Mill.) fruit. International Research Journal of Pharmaceutical and Applied Sciences, v.3,.180-186.

Wan, P., Toudeshki, A., Tan, H.; Ehsani, R. (2018). A methodology for fresh tomato maturity detection using computer vision. Computers and Electronics in Agriculture, v.146, 43-50.
<https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.01.011>

Wang, H., Peng, J., Xie, C., Bao, Y., He, Y. (2015). Fruit quality evaluation using spectroscopy technology: A review. Sensors, v.15,11889-11927.
<https://doi.org/10.3390/s150511889>

Yahia, E.M., Gutierrez-Orozco, F., Leon, C.A.D. (2011). Phytochemical and antioxidant characterization of the fruit of black sapote (*Diospyros digyna* Jacq.). Food Research International. 44: 2210-2216.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.11.025>

9. Conclusión general

Se generaron datos de manejo postcosecha tales como:

- Las propiedades geométricas de Largo (L), Ancho (W) y Espesor de los frutos (T) de Zapote negro (*Diospyros nigra* (J.F.Gmel.) Perr. & Perr.) fueron estadísticamente significativos ($p < 0.05$) para predecir la masa de los frutos a través de la siguiente ecuación

$$M = 0.0653W^2$$

$$R^2 = 0.8252; \text{ SEE} = 18.41$$

Esta información es importante para el diseño de los equipos de selección y clasificación de los frutos

- La máxima carga de compresión que soporta el fruto antes de su fractura es de 900 N cuando el fruto está recién cosechado, por lo que no se debe de pasar de esta fuerza para no maltratar los frutos.
- El empleo de la temperatura de refrigeración comercial aumenta la vida útil del Zapote negro ya que preserva sus propiedades mecánicas y retarda el proceso de senescencia, sin embargo después de 16 días de almacenamiento en estas condiciones, podría inducir cambios en algunos de los otros parámetros de calidad estudiados como el color y la pérdida de peso, además de que no llega a la madurez comercial, por lo que se sugiere no utilizar la temperatura de refrigeración comercial más allá de 16 días, así como probar alternativas en otras temperaturas de almacenamiento y el empleo de recubrimientos para determinar su efecto en la calidad de la fruta.

- En refrigeración comercial, la máxima carga de compresión que soporta el fruto antes de su fractura es de 900N en promedio, hasta máximo 16 días de almacenamiento
- A partir del cuarto día de almacenamiento en temperatura ambiente, la máxima carga de compresión que soporta el fruto antes de su fractura es de 630N en promedio.

Es importante enfatizar que los frutos empleados para todos los estudios realizados en este proyecto, fueron cosechados en el Municipio de Jaltocan, Hidalgo, México (20°51'58'' N 98° 29'28'' W) ya que se han observado diferencias morfológicas entre los frutos de otras localidades y se recomendaría validar los resultados aquí obtenidos con frutos de otras localidades con sus correspondientes morfologías.

Como recomendaciones se sugiere determinar las propiedades físico-químicas y mecánicas a otras temperaturas de refrigeración así como con el uso de recubrimientos. En este estudio se determinó que el color del fruto está correlacionado de manera significativa ($p < 0.05$) con el estado de maduración de los frutos, por lo que se sugiere desarrollar un índice en base al color tomado con imágenes o con colorímetro.