



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

SECADO DE FRUTAS NATIVAS DE MÉXICO Y EL
ESTUDIO DE SUS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
MAESTRA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS
Y DESARROLLO RURAL

P R E S E N T A

I.H. ANAHÍ CAPISTRÁN MARTÍNEZ

Director:

Dr. Irán Alía Tejacal

Codirector:

Dr. Octavio García Valladares

AGOSTO 2021



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS



FACULTAD DE CIENCIAS
AGROPECUARIAS

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

JEFATURA DE PROGRAMAS EDUCATIVOS DE POSGRADO

Cuernavaca, Morelos, 20 de Mayo de 2021.

Asunto: Voto Aprobación de Tesis.

MTRO. JESÚS EDUARDO LICEA RESÉNDIZ
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE CIENCIAS
AGROPECUARIAS.
P R E S E N T E.

Por medio del presente informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis titulado: **“SECADO DE FRUTAS NATIVAS DE MÉXICO Y EL ESTUDIO DE SUS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS.”** que presenta la: **la I.H. ANAHÍ CAPISTRÁN MARTÍNEZ**, mismo que fue desarrollado bajo mi dirección y que servirá como requisito parcial para obtener el grado de **Maestro en Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural**, lo encuentro satisfactorio, por lo que emito mi **VOTO DE APROBACIÓN** para que el alumno continúe con los trámites necesarios para presentar el examen de grado correspondiente.

Sin más por el momento y agradeciendo de antemano su valiosa colaboración, quedo de usted.

Atentamente
Por una humanidad culta
Una universidad de excelencia

DR. IRÁN ALIA TEJACAL
Comité Evaluador

C.i.p. Archivo

Av, universidad 1001 Col. Chamilpa, Cuernavaca, Morelos, México 62209
Tel (777)3297046, 3297000 Ext. 3304. fagropecuarias@uaem.mx



Una universidad de excelencia

RECTORÍA
2017-2023



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

IRAN ALIA TEJACAL | Fecha:2021-05-20 12:06:26 | Firmante

PK24IX6f+09rep6+XD36W3wmqDiQ3/U/+Z8izqATzJNP1UzV+656dUCVVF1ztl7Mma8GISDo6hlwjs9lhelL8rEDV2SeA1zviZ4Mq0lg+/uFRqp8N9VKTvjywPc3n6kK3UcRQI4GaQylAs+DoyZWZPTQCQu9p8RtnCFKi53tGmKF2dd5z4oOY4ENW63zH4weOdxUozG0E/Tmr72ef19kblGpEB4DLBSOIF86qhkL+JC54Bp1U2cXxlZ2gHITIMKdPTw+diAmmwqTgYhYmkM24RGom4fPgHwteQcPu5xnNQxDR/gWp0JT3fU8fxkhirGDAfDbi5mz/5NCtL/BTTEQ==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



tpAKGL

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/Ay9L1sS0zSGVbwEFvhgSfkC0dPKXVSFv>





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS



FACULTAD DE CIENCIAS
AGROPECUARIAS

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

JEFATURA DE PROGRAMAS EDUCATIVOS DE POSGRADO

Cuernavaca, Morelos, 20 de Mayo de 2021.

Asunto: Voto Aprobación de Tesis.

MTRO. JESÚS EDUARDO LICEA RESÉNDIZ
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE CIENCIAS
AGROPECUARIAS.
P R E S E N T E.

Por medio del presente informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis titulado: **“SECADO DE FRUTAS NATIVAS DE MÉXICO Y EL ESTUDIO DE SUS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS.”** que presenta la: **la I.H. ANAHÍ CAPISTRÁN MARTÍNEZ**, mismo que fue desarrollado bajo la dirección del **DR. IRÁN ALÍA TEJACAL**, que servirá como requisito parcial para obtener el grado de **Maestro en Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural**, lo encuentro satisfactorio, por lo que emito mi **VOTO DE APROBACIÓN** para que el alumno continúe con los trámites necesarios para presentar el examen de grado correspondiente.

Sin más por el momento y agradeciendo de antemano su valiosa colaboración, quedo de usted.

Atentamente
Por una humanidad culta
Una universidad de excelencia

DRA. GLORIA ALICIA PÉREZ ARIAS
Comité Evaluador

C.i.p. Archivo

Av, universidad 1001 Col. Chamilpa, Cuernavaca, Morelos, México 62209
Tel (777)3297046, 3297000 Ext. 3304. fagropecuarias@uaem.mx



Una universidad de excelencia

RECTORÍA
2017-2023



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

GLORIA ALICIA PEREZ ARIAS | Fecha:2021-05-20 22:06:13 | Firmante

dICdPZ1QbInMENCLjqJZmb34edqb7IP7BNNf32GGYX3pZeaDFg4+XgHULaHIGtlbeJ7dniUiuV9Q6EBULnXzo/vJequTTC9KqrsdtwDF+f2p/Wns0M4tHTqRhpeRRaXUg8QH1DZ2mGAcnIfY1LYRz62BKdfUStommDp4Odo86K2wQBS/Tt1Q6tVXD/uV5rD8mUy5/9ZT+k/Xbb+wahSwSaZdBgPevbJ/Ah5WxLZt2tglJsE9dlid5pCpnxjL+TWfhF4W9LzvMHIAj3Zznb7P3/eeM72VaU8Sr08sxcBcd2qnyZUnPKc+aRdlOQ6+vnwvCFA27iHs9NiyXYU2u9b1MLg==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



X3NHt7

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/uWnVblDSNmjFbqsaikkYApGI8Kn5G1Mv>





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS



FACULTAD DE CIENCIAS
AGROPECUARIAS

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

JEFATURA DE PROGRAMAS EDUCATIVOS DE POSGRADO

Cuernavaca, Morelos, 20 de Mayo de 2021.

Asunto: Voto Aprobación de Tesis.

MTRO. JESÚS EDUARDO LICEA RESÉNDIZ
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE CIENCIAS
AGROPECUARIAS.
P R E S E N T E.

Por medio del presente informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis titulado: **“SECADO DE FRUTAS NATIVAS DE MÉXICO Y EL ESTUDIO DE SUS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS.”** que presenta la: **la I.H. ANAHÍ CAPISTRÁN MARTÍNEZ**, mismo que fue desarrollado bajo la dirección del **DR. IRÁN ALÍA TEJACAL**, que servirá como requisito parcial para obtener el grado de **Maestro en Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural**, lo encuentro satisfactorio, por lo que emito mi **VOTO DE APROBACIÓN** para que el alumno continúe con los trámites necesarios para presentar el examen de grado correspondiente.

Sin más por el momento y agradeciendo de antemano su valiosa colaboración, quedo de usted.

Atentamente
Por una humanidad culta
Una universidad de excelencia

DRA. YANIK IXCHEL MALDONADO ASTUDILLO
Comité Evaluador

C.i.p. Archivo

Av, universidad 1001 Col. Chamilpa, Cuernavaca, Morelos, México 62209
Tel (777)3297046, 3297000 Ext. 3304. fagropecuarias@uaem.mx



Una universidad de excelencia

RECTORÍA
2017-2023



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS



FACULTAD DE CIENCIAS
AGROPECUARIAS

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

JEFATURA DE PROGRAMAS EDUCATIVOS DE POSGRADO

Cuernavaca, Morelos, 20 de Mayo de 2021.

Asunto: Voto Aprobación de Tesis.

MTRO. JESÚS EDUARDO LICEA RESÉNDIZ
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE CIENCIAS
AGROPECUARIAS.
P R E S E N T E.

Por medio del presente informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis titulado: **“SECADO DE FRUTAS NATIVAS DE MÉXICO Y EL ESTUDIO DE SUS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS.”** que presenta la: **la I.H. ANAHÍ CAPISTRÁN MARTÍNEZ**, mismo que fue desarrollado bajo la dirección del **DR. IRÁN ALÍA TEJACAL**, que servirá como requisito parcial para obtener el grado de **Maestro en Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural**, lo encuentro satisfactorio, por lo que emito mi **VOTO DE APROBACIÓN** para que el alumno continúe con los trámites necesarios para presentar el examen de grado correspondiente.

Sin más por el momento y agradeciendo de antemano su valiosa colaboración, quedo de usted.

Atentamente
Por una humanidad culta
Una universidad de excelencia

DR. VICTOR LÓPEZ MARTÍNEZ
Comité Evaluador

C.i.p. Archivo

Av, universidad 1001 Col. Chamilpa, Cuernavaca, Morelos, México 62209
Tel (777)3297046, 3297000 Ext. 3304. fagropecuarias@uaem.mx



Una universidad de excelencia

RECTORÍA
2017-2023



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

VICTOR LOPEZ MARTINEZ | Fecha:2021-05-21 14:39:43 | Firmante

CoJpM/RCshq8QUsdS0+AgUgaK1RnynDE9b5CkjD6jDbMhvHsg6cu1nHEj4SIK2nGIAiRemC0g9D8YjT97yHxa4KCxld+IK+b5zCEHnYhmyTQD8kL1dBfnfAOe5cQ6TcD0Alqx/3RxYdvdIq94fsV8WhM1m5xchxALEoRLtsNidxQmkhPHHj3lzfIbPYJcmDHm3BUacNPzkr6ZOWfSi+BJo2iEk0pVWZPfcYw86/FgWxkDLV6sk7Tgll/ygzanCKmfCdiEG8bxvfFUH/OOPa8LQFDGeu0vhFc5t6ndRCRvV8l8p4NGqUjTuTlvh5O2PNEsErHo93VqoDhvKy8vitRHA==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



xDbNko

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/kxe7Ruxx1DHU4eSBihEA9XJNqV447rUy>





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS



FACULTAD DE CIENCIAS
AGROPECUARIAS

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

JEFATURA DE PROGRAMAS EDUCATIVOS DE POSGRADO

Cuernavaca, Morelos, 20 de Mayo de 2021.

Asunto: Voto Aprobación de Tesis.

MTRO. JESÚS EDUARDO LICEA RESÉNDIZ
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE CIENCIAS
AGROPECUARIAS.
P R E S E N T E.

Por medio del presente informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis titulado: **“SECADO DE FRUTAS NATIVAS DE MÉXICO Y EL ESTUDIO DE SUS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS.”** que presenta la: **la I.H. ANAHÍ CAPISTRÁN MARTÍNEZ**, mismo que fue desarrollado bajo la dirección del **DR. IRÁN ALÍA TEJACAL**, que servirá como requisito parcial para obtener el grado de **Maestro en Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural**, lo encuentro satisfactorio, por lo que emito mi **VOTO DE APROBACIÓN** para que el alumno continúe con los trámites necesarios para presentar el examen de grado correspondiente.

Sin más por el momento y agradeciendo de antemano su valiosa colaboración, quedo de usted.

Atentamente
Por una humanidad culta
Una universidad de excelencia

DR. DAGOBERTO GUILLÉN SÁNCHEZ
Comité Evaluador

C.i.p. Archivo

Av, universidad 1001 Col. Chamilpa, Cuernavaca, Morelos, México 62209
Tel (777)3297046, 3297000 Ext. 3304. fagropecuarias@uaem.mx



Una universidad de excelencia

RECTORÍA
2017-2023



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

DAGOBERTO GUILLEN SANCHEZ | Fecha:2021-05-19 00:25:34 | Firmante

GRWtMs3O84lvYQQF3BnZOele+OZXQyf0K4vMygelmYk3/NGsXI9dd+NjYFZ3xiA9YJHgAdeeUczPHwa/OGI8CrckFBieNu9V4f5Iz48bPp659ZI/fMcPQlyX1woNkXU2OiOltzwJ9e
dmOLI8vRISH5lpFjagGoPj1k8Wkr+FdYWyx83KjvJlrkZf4ZnU/qJwLvl5nBripKHRJUE70D669wNliydlMk6gLVITHkxyb3gxUo5hoik/Y14fD6rdFq3sU6Vs6dLmozu/jTymt7IPVzNE5H
RQNnpSXXDBxOUG006FpWF2Xmetn2MN678tGSI42kUyuRcopVMUCOPTjkK4ig==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o
escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



[saUoHZ](#)

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/WTV6alXgdGOpGPAeeOGk3ddD8etGoSAS>



**SECADO DE FRUTAS NATIVAS DE MÉXICO Y EL ESTUDIO DE SUS
PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS**

Tesis realizada por la I.H. Anahí Capistrán Martínez bajo la dirección del Comité Revisor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el título de:

MAESTRA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y DESARROLLO RURAL

COMITÉ REVISOR

Director de tesis: Dr. Irán Alía Tejacal

Codirector: Dr. Octavio García Valladares

Revisor: Dra. Gloria Alicia Pérez Arias

Revisor: Dra. Yanik Ixchel Maldonado Astudillo

Revisor: Dr. Víctor López Martínez

Revisor: Dr. Dagoberto Guillén Sánchez

Cuernavaca, Morelos, Agosto del 2021

AGRADECIMIENTOS

A la beca otorgada por el CONACYT (Núm. 921627) para la realización de la maestría en Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural

Gracias por el financiamiento parcial de este proyecto, al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) convocatoria 2021, IN103021: “secado solar de productos agropecuarios”

Al Dr. Irán Alía Tejacal gracias por estar presente para brindarme su apoyo constante para realizar y finalizar este proyecto.

Al Dr. Isaac Pilatowsky Figueroa y al Dr. Octavio García Valladares quienes me brindaron su ayuda, conocimientos para poder llevar a cabo la parte experimental del secado en el laboratorio de Secado Solar en el IER UNAM.

También agradezco a mis asesores la Dra. Gloria Alicia Pérez Arias, Dra. Yanik Ixchel Maldonado Astudillo, Dr. Víctor López Martínez y al Dr. Dagoberto Guillén Sánchez (Q.E.P.D), gracias por el interés prestado a mi persona y a este proyecto, gracias también por sus valiosas indicaciones, sugerencias y por todo el conocimiento que me brindaron.

DEDICATORIAS

A mis padres Juan Capistran Blanco y Laura Martinez Rodríguez por todo el apoyo que siempre me han dado.

A mis hermanos Jesús Capistran Martinez, Ulises Capistran Martinez quienes son mi inspiración para salir adelante.

A mis primas Viviana Villa Capistran y Martha Villa Capistran que me apoyaron y quienes también son una inspiración para mí.

A mi persona especial quien siempre estuvo y esta para mi quien me ayudo a seguir adelante gracias, Adán Salgado Davalos.

A mis sobrinos Luna Sofia Capistran Vega y León Alekséi Capistran Vega a quienes quiero demasiado.

A la Maestra en Ciencias Guadalupe López Rodríguez y a la Ingeniera Sandra Teresa Miranda Regino gracias por apoyarme, acompañarme y nunca dejarme sola en este camino.

A mis compañeras de laboratorio la Maestra en Ciencias Jazmín Selene Salazar Díaz y a Rosalba Santos Hernández por ayudarme y acompañarme en todo el proceso experimental y por alegrarme durante esas tardes de trabajo

A Lilith, siempre estuviste ahí y al final si lo logre.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL.....	i
ÍNDICE DE CUADROS.....	ii
ÍNDICE DE FIGURAS	ii
RESUMEN.....	iii
SUMARY	iv
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVO GENERAL.....	3
3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
4. HIPÓTESIS.....	3
5. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	4
5.1 Origen y clasificación botánica del zapote mamey (<i>Pouteria sapota</i>)	4
5.2 Origen y clasificación botánica del chicozapote (<i>Manilkara zapota</i>)	6
5.2 Tecnologías de secado	7
5.2.1 Clasificación de los secadores solares.....	8
5.2.2 Secado solar a cielo abierto	11
5.2.3 Secador solar gabinete tipo invernadero	12
5.2.4 Secador solar pasivo de gabinete tipo mixto	13
5.2.5 Secado bajo condiciones controladas	14
5.2.3 Secado en un horno eléctrico bajo condiciones de temperatura y velocidad de aire controladas	15
6. MATERIALES Y MÉTODOS.....	16
6.1 Localización del experimento y material vegetal	16
6.2 Organización experimental.....	17
6.3 Preparación de la muestra	17
6.4 Secado de los frutos de zapote mamey y chicozapote	19
6.5 Variables evaluadas.....	20
6.5.1 Curvas de secado.....	20
6.5.2 Parámetros de color	21
6.5.3 Contenido de humedad	21
6.5.4 Sólidos solubles totales.....	21
6.5.5 Acidez titulable	21
6.5.6 Contenido de fenoles.....	21
6.5.7 Actividad antioxidante por los métodos de DPPH, ABTS y FRAP.....	22
6.5.8 Flavonoides totales.....	23
6.5.9 Vitamina C.....	23
7.2.1 Curvas de secado en hojuela y pasta de zapote mamey.	27
7.3 Cinéticas de secado de las muestras de chicozapote.....	30
7.3.1 Curvas de secado de chicozapote.....	31
7.4.1 Correlaciones zapote mamey.....	35
7.5 Efecto de la técnica de secado sobre las características físicas y químicas del chicozapote	36
7.5.1 Correlaciones en chicozapote	38
9. BIBLIOGRAFÍA.....	40

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Especies frutales y época de cosecha.....	16
Cuadro 2.	Tratamientos de secado evaluados	18
Cuadro 3.	Características químicas del zapote mamey en fresco.....	24
Cuadro 4.	Características químicas del chicozapote en fresco	25
Cuadro 5.	Tiempo de secado en hojuelas de zapote mamey bajo diferentes métodos de secado.	29
Cuadro 6.	Tiempo de secado en pasta de zapote mamey en diferentes métodos de secado.	29
Cuadro 7.	Tiempo de secado en hojuelas de chicozapote en diferentes métodos de secado.	32
Cuadro 8.	Tiempo de secado en pasta de chicozapote en diferentes métodos de secado.	32
Cuadro 9.	Variables físicas, químicas y químicas del zapote mamey con diferentes técnicas de deshidratación	34
Cuadro 10.	Correlaciones entre las variables químicas del mamey en seco	35
Cuadro 11.	Variables químicas del chicozapote deshidratado	37
Cuadro 12.	Correlaciones entre las variables químicas del chicozapote en seco	38

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Fruto de zapote mamey.....	5
Figura 2.	Fruto de chicozapote	6
Figura 3.	Clasificación general de secadores solares (Fuente: Tiwari et al., 2016).....	9
Figura 4.	Clasificación de secadores solares (Ekechukwu, 1999)	10
Figura 5.	Secado solar a cielo abierto o tradicional de semilla de jícama (<i>Pachyrhizus erosus</i>) y de chile (<i>Capsicum annum</i>)	11
Figura 6.	Secadores solares de gabinete tipo invernadero directos que funcionan con forzado	12
Figura 7.	Vista isométrica e instrumentación del secador solar de gabinete tipo mixto pasivo.	13
Figura 8.	Horno eléctrico de secado bajo condiciones controladas	14
Figura 9.	Horno eléctrico bajo condiciones de temperatura y aire controladas.	15
Figura 10.	Recolección de frutos de zapote mamey en Coatlán del Río, Morelos.	16
Figura 11.	Frutos de zapote mamey en etapa de madurez de consumo y elaboración de hojuelas para el experimento de secado.....	18
Figura 12.	Secado de zapote mamey en hojuelas (izquierda) y pasta (derecha) en el secador mixto.	19
Figura 13.	Secado de zapote mamey bajo convección natural (izquierda) y en horno (derecha).	19
Figura 14.	Cinéticas de secado de las muestras de zapote mamey.....	28
Figura 15.	Cinéticas de secado de las muestras de chicozapote).	31

RESUMEN

El zapote mamey (*Pouteria sapota*) y el chicozapote (*Manilkara zapota*) son dos frutos tropicales nativos de México, que son apreciados de manera regional por su sabor y el aporte nutricional. Se consume generalmente como fruto en fresco lo que hace que sea un producto altamente perecedero. La deshidratación del fruto puede ser una alternativa para incrementar su vida útil. Sin embargo, este proceso ocasiona cambios en las características de calidad y nutrimentales del producto, por lo cual el objetivo del presente trabajo fue evaluar algunos métodos de secado y la caracterización de las propiedades físico - químicas y funcionales, en dos diferentes presentaciones de estos frutos: hojuela y pasta. Frutos de zapote mamey y chicozapote en madurez de consumo se utilizaron para colocarlos en secadores solares y hornos de secado para determinar su velocidad de secado, cambios en el contenido de sólidos solubles totales, acidez titulable, parámetros de color (luminosidad, cromaticidad, matiz), contenido de fenoles, flavonoides, vitamina C y la actividad antioxidante por los métodos de ABTS, DPPH y FRAP. Los resultados indican que en el zapote mamey la deshidratación con el menor tiempo fue cuando se utilizó el secador de acrílico tipo invernadero bajo convección natural con una duración de 240 min. Sin embargo, el método de secado bajo convección mantuvo mayor dulzor y en el horno prototipo incremento la actividad antioxidante, así como la concentración de metabolitos funcionales. En chicozapote el secado fue en menor tiempo cuando se realizó en el secador mixto con 240 min. El dulzor se mantuvo en el secado bajo convección natural y en el secador mixto sin tapa se incrementó la actividad antioxidante y la concentración de metabolitos funcionales. En conclusión, en ambas frutas el secado es una alternativa para incrementar la vida útil del producto, así como la calidad del fruto seco (dulzor) se mantuvo con el mismo método de secado.

PALABRAS CLAVE: deshidratación, matiz, sólidos solubles totales, acidez titulable, energía solar, zapote mamey y chicozapote

SUMMARY

The mamey sapote (*Pouteria sapota*) and sapodilla (*Manilkara zapota*) are two tropical fruits native to Mexico, which are regionally appreciated for their nutritional value and flavor. They are generally consumed as fresh fruit, which makes them a highly perishable product. Fruit drying can be an alternative to increase shelf life. This process causes changes in quality and nutritional characteristics; therefore, the objective of this study was to evaluate some drying methods and the characterization of the physical-chemical and functional properties in two different presentations of these fruits: flakes and paste. Fruits of mamey sapote and chicozapote at consumption maturity were used to place them in solar and oven dryers to determine their drying speed, changes in total soluble solids content, titratable acidity, color parameters (brightness, chromaticity, hue), phenol content, flavonoids, vitamin C and antioxidant activity by ABTS, DPPH and FRAP methods. The results indicate that in mamey sapote the shortest time in drying process was in the greenhouse type acrylic dryer that was used under natural convection with a duration of 240 min. However, the drying method under convection maintained greater sweetness and in the prototype oven increased the antioxidant activity, as well as the concentration of functional metabolites. In chicozapote, the drying time was shorter when it was carried out in the mixed dryer with 240 min. The sweetness was maintained in the drying under natural convection and in the mixed dryer without lid, so the antioxidant activity and the concentration of functional metabolites increased. In conclusion, in both fruits the drying process is an alternative to increase the shelf life of the product, as the quality of the dried fruit (sweetness) was maintained with the same drying method.

KEYWORDS: dehydration, hue, total soluble solids, titratable acidity, solar energy, sapote mamey and chicozapote

1. INTRODUCCIÓN

La fruticultura es una de las actividades de la agricultura nacional que en los últimos cincuenta años ha despertado interés; y diferentes instituciones gubernamentales han incidido en ella intentando llevarla a mejores estadios de desarrollo (Torres et al., 2008). De acuerdo con el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), en las estadísticas del cierre de la producción agrícola de 2019 se refleja el seguimiento de la producción de 52 especies frutícolas, de las cuales 17 son nativas de México y representan 20 % de la superficie establecida total de frutales en el país. En México para 2019 se reportaron 1,731.71 ha sembrados de Mamey (*Pouteria sapota*) en 14 estados con una producción total de 21,806.42 t de fruta. Entre los cuales los principales estados productores son Yucatán, Guerrero, Veracruz y Puebla, encontrándose Morelos en el octavo lugar. Para el cultivo de chicozapote en 2019 se reportaron 120 ha de superficie cultivada, en el estado de Campeche (SIAP, 2020).

México es un país con un clima propicio para una gran variedad de árboles frutales ya que cuenta con climas que van desde cálidos a húmedos es por esto que se desconoce el número exacto de especies que conforman la flora nativa mexicana, se calcula que el número de especies ronda desde los 20,000 (Rzedowsky, 1998) hasta 30,000 (Ramírez et al., 2003).

Según Borys y Leszczyńska – Borys (2001) menciona que México cuenta con 63 especies de frutas comercializadas actualmente y 220 especies con potencial, de las cuales está documentada su utilidad ya que la mayoría son especies que se cultivan en huertos familiares o de traspatio.

algunos de los frutales nativos que se consideran de interés son el zapote mamey (*Pouteria sapota*) y el chicozapote (*Manilkara zapota*), cuyo principal uso es para consumo en fresco. Sin embargo, en algunos casos las pérdidas postcosecha alcanzan el 60 % debido a que son frutos perecederos y que en la comercialización no se utiliza la cadena de frío para su conservación (Tovar-Gómez et al., 2011). Estos frutos son preferidos como frutas de temporada debido a su agradable sabor y olor.

México es considerado el principal productor de mamey y chicozapote en el mundo, aunque de acuerdo con Loyo-Láinez 2020, los principales factores que han

afectado la producción y comercialización de este fruto son los biológicos como plagas y enfermedades, técnicos como árboles avejentados, un mal manejo de la producción y los problemas socioeconómicos como la falta de recursos, los precios bajos, falta de apoyos y el intermediarismo.

Aunque también se debe a la escasa organización de los productores, todo esto en conjunto afecta negativamente a la comercialización de dicho producto. Los frutos de mamey y chicozapote son altamente perecederos, lo cual dificulta la comercialización en los mercados y supermercados, por lo que se necesitan diversos métodos para mantener la vida de anaquel lo más larga posible. El consumo de estos frutos es en fresco y en pulpa congelada (Villegas-Monter, 2016) Por lo que en este proyecto se consideró como un método de procesamiento de alimentos al secado de frutos para así evitar las pérdidas que se dan por un mal manejo postcosecha.

La deshidratación o secado se realiza utilizando calor, específicamente aire caliente. Es un proceso simultáneo de transferencia de calor y de masa, el cual es acompañado de un cambio de fase. Se define como “la aplicación de calor bajo condiciones controladas para remover la mayoría del agua normalmente presente en los alimentos mediante la evaporación” (Espinoza, 2016).

Exponer directamente alimentos a los rayos solares puede llegar a afectar perjudicialmente a su calidad (pérdida de color, vitaminas y valor nutritivo), debido a la acción de los rayos ultravioleta (Almada, 2005). Algunos productores recurren, a secadores solares, que son dispositivos que funcionan de manera similar a un invernadero, ya que concentran el calor proveniente de la irradiación solar, estos deshidratan los alimentos más rápido y más eficientemente que de manera natural (Méndez et al. 2017).

Existen deshidratadores que no necesitan energía solar para cumplir con su función ya que utilizan productos de combustión como los hornos de secado, el más común es el deshidratador de horno de convección forzada en el cual se puede controlar la temperatura con la cual se deshidrata el material vegetal (Espinoza, 2016). Un aspecto poco estudiado es el efecto del secado en la calidad del producto, considerando como calidad algunas características físicas y químicas que determinan el sabor, color y el aporte de vitaminas y moléculas funcionales.

Considerando lo anterior, en la propuesta se pretende aplicar diferentes tecnologías de deshidratación: secado solar, con un secador de tipo gabinete bajo convección

natural, secador mixto, secado bajo condiciones controladas en horno y en un secador prototipo diseñado en el Instituto de Energías Renovables, de la Universidad Nacional Autónoma de México (IER, UNAM), y determinar los cambios de calidad en dos especies frutales nativas de México.

2. OBJETIVO GENERAL

- Evaluar el efecto de diferentes tecnologías de secado sobre las características físicas, químicas y tiempo de secado de frutos de zapote mamey (*Pouteria sapota*) y chicozapote (*Manilkara zapota*).

3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar el efecto del secado en las propiedades físicas de los frutos de zapote mamey (*Pouteria sapota*) y chicozapote (*Manilkara zapota*)
- Determinar el efecto del secado en las propiedades químicas de los frutos de zapote mamey (*Pouteria sapota*) y chicozapote (*Manilkara zapota*)

4. HIPÓTESIS

- El deshidratador solar mixto y el secador tipo invernadero de acrílico son los métodos que menor efecto negativo tienen en las características físicas y químicas de los frutos.

5. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

5.1 Origen y clasificación botánica del zapote mamey (*Pouteria sapota*)

El mamey pertenece a la familia Sapotaceae, la cual está constituida por árboles y arbustos, la conforman alrededor de 540 especies distribuidas desde las selvas del sur de México y de América Central hasta Paraguay, Chile y Uruguay, en donde abundan variedades criollas (Pennington, 1990). En México se encuentran registrados 1324 ejemplares de sapotáceas en siete herbarios que incluyen a siete géneros y 42 especies en donde 101 corresponden a *Pouteria sapota* y se distribuyen alrededor de Chiapas, Guerrero, Michoacán, Veracruz y Yucatán, también en zonas con climas cálido-subhúmedo, semicálido húmedo y subhúmedo (Villegas-Monter, 2016). Esta especie se puede encontrar en otros países y actualmente se le encuentra en las Antillas, Sudamérica, Filipinas, Cuba y Estados Unidos.

Es una especie que en México se cultiva en sistemas de producción, plantaciones comerciales con genotipos seleccionados por los productores locales, asociaciones de cultivos agroforestales con diversos árboles frutales o como huertos de traspatio. (Villegas-Monter, 2016)

Según Popenoe (1948) el zapote mamey es originario del sur de México y de las tierras bajas de Centroamérica. En la república mexicana se distribuye en las zonas tropicales, como parte de la flora de la selva alta perennifolia, como cultivo de traspatio cultivado con otros frutales o en huertas de poca extensión (Toral, 1988).



Figura 1. Fruto de zapote mamey

El mamey es un árbol de gran tamaño del bosque tropical, es conocido como “Zapote Mamey” (zapote= capotl = tzapotl = fruto con hueso, en náhuatl: “mamey” quizá de mama = manos en náhuatl, haciendo referencia a sus hojas distribuidas en espiral).

Los árboles son caducifolios, de copa simétrica y corteza gruesa y quebradiza que alcanzan hasta 30 metros de altura. Las hojas son de color verde oscuro y brillantes en el haz, tienen formas ovadas a lanceoladas, de 10 a 30 cm de longitud y 10 cm de ancho, las cuales se concentran en el ápice de las ramillas; mientras que en los nudos defoliados brotan inflorescencias en grupos de dos a seis flores, las cuales presentan entre seis a ocho sépalos dispuestos en espiral. El fruto es una baya de forma variada entre plantas, pudiéndose encontrar frutos elongados (Figura 1), asimétricos, elipsoidales o casi redondos, con pesos entre 200 gramos hasta 3 kg (Umaña-Campos, 2000)

El mamey se destaca principalmente por su alto valor nutricional, es una rica fuente de vitaminas, minerales y carbohidratos. Según SAGARPA, cada 100 gramos de pulpa de mamey contienen 107 calorías, 1 g de proteínas, 0.5 g de grasas, 28 g de carbohidratos, 1.4 g de fibra, 22 mg de calcio, 14 mg de fósforo, 0.9 mg de hierro y 6 mg de sodio.

En el ámbito culinario el mamey se utiliza en la preparación de aguas frescas, licuados, helados, gelatinas y dulces; mientras que en el tradicional se utiliza para combatir la hipertensión arterial, diarrea, diabetes, insomnio, infecciones de garganta, inflamaciones en general, contra la caída del cabello (Hernandez, 2017).

5.2 Origen y clasificación botánica del chicozapote (*Manilkara zapota*)

El chicozapote es originario de Mesoamérica. Fue llevado por los españoles a Filipinas y a Malasia. Se extiende desde el sur de México, a través de Centroamérica hasta Venezuela y Colombia. Actualmente se cultiva extensamente en el sur de Florida y las Indias Occidentales. En México se encuentra distribuida a través de la vertiente del Golfo, desde San Luis Potosí y el norte de Veracruz y Puebla, hasta la Península de Yucatán así como en la vertiente del Pacífico, desde Nayarit hasta Chiapas (CONABIO, 1953).

Es una de las especies apreciadas en México y en el mundo, tanto por su sencilla reproducción como por los frutos de gran sabor que ofrece. Se encuentra ampliamente distribuido en el corazón del mundo maya, al sureste del país, principalmente en bosques tropicales de la península de Yucatán, así como en Belice y el norte de Guatemala (Arrivallaga, 1997).

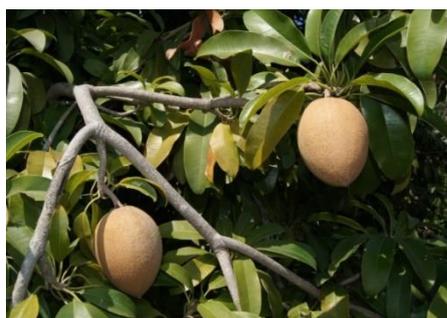


Figura 2. Fruto de chicozapote

El chicozapote es un árbol de tamaño mediano a grande, especialmente después de 15 o más años de haberse establecido. Son árboles majestuosos que crecen lentamente, pero poseen una larga vida y que después de muchos años pueden alcanzar una altura de 18 a 30 metros. Están bien adaptados a los climas tropicales y subtropicales. Las hojas se disponen al final de las ramas y son perennes, rectas y aguzadas y poseen una longitud de 5 a 12 centímetros.

Las flores son pequeñas, de color blanco pálido y tienen forma de campana. Su diámetro es alrededor de 1 centímetro, son bisexuales y brotan en las axilas de las hojas. Los frutos son de forma redondeada a oval y de un color salmón claro. La cubierta tiene normalmente una caspa y el diámetro usualmente varía entre 5 y 10 centímetros. Las características de la pulpa dependen de las variedades y

pueden ser salmón claro, salmón-amarillenta o rojiza. Su textura varía de arenosa o granular a suave y el sabor es dulce y agradable. (Crane & Balerdi, 1994).

El fruto de chicozapote se usa mayormente como fruta fresca. De la pulpa se pueden hacer batidos y helados. Existen pocos productos procesados con excepción del chicle, que en el pasado fue producido a partir del látex. También se le atribuyen propiedades curativas contra la disentería y diarrea, para éstos se recomienda tomar la cocción o el macerado de la corteza como agua de uso, además tiene la propiedad de bajar la fiebre. (Villegas-Gómez, 2016).

5.2 Tecnologías de secado

La deshidratación de alimentos desde la antigüedad es utilizada para la conservación de granos, semillas, frutas, carnes, etc. Esto gracias a que dicho proceso remueve casi la totalidad del agua que tienen dichos productos, este método aprovecha las condiciones naturales tales como el viento y el sol, aunque estos son difíciles de controlar de forma natural. Debido a esto se desarrollaron diferentes deshidratadores artificiales desde principios de 1900 llegando a remplazar el secado solar, aunque aún en la actualidad es muy utilizado debido a su fácil manejo (Colina Irezabal, 2010).

En la actualidad, el secado solar se utiliza de forma comercial y extensamente alrededor del planeta en lugares en desarrollo tales como Asia, África, América Central y América del Sur. Esto para beneficiarse de una fuente de energía que se encuentra de forma gratuita, limpia y renovable que nos es otorgada por el sol, durante estos últimos años se han realizado diversas investigaciones para desarrollar el secado solar, para implementarlo principalmente en la conservación de productos agrícolas (Mujumdar Arun, 2006).

El secado al sol de frutas, granos, vegetales, carnes y pescados ha sido ampliamente utilizado desde los inicios de la humanidad, proporcionando al hombre una posibilidad de subsistencia en épocas de carencia, por lo que hoy en día la industria de alimentos deshidratados constituye un sector muy importante dentro de la industria alimentaria (Maupoey et al., 2016). Durante el proceso de secado solar a cielo abierto los alimentos están expuestos directamente al sol debido a la posición que se les da, ya sea expuestos directamente en el piso o en tendedores

al aire libre. Algunas de las principales desventajas de este tipo de secado son: contaminación, factores ambientales, pérdidas del producto por aves, roedores e insectos, espacio reducido, control del proceso y malos olores, etc. (López Vidaña, 2016). Debido a estos inconvenientes, algunos de los productos finales no cumplen con los requerimientos de calidad estándares y algunas veces no pueden ser vendidos en los mercados internacionales. En este proceso se encuentran algunas dificultades que se deben superar, así como la variabilidad de la radiación solar, ya que la naturaleza de esta es ser intermitente por diversos factores ambientales, por lo que se necesitan usar algunas otras fuentes auxiliares de almacenamiento (colectores solares y sistemas de calentamiento auxiliar) para solucionar este problema (Hii, 2012).

Se considera al secado solar como un proceso actualizado del secado a cielo abierto ya que también en este proceso se utiliza la energía que proporciona la radiación solar, esta es considerada una fuente de energía incontable y disponible en la Tierra (Doymaz, 2005).

Un dato importante sobre el secado de alimentos es el siguiente, si la temperatura de secado es muy alta, especialmente en el inicio del secado, el exterior de la fruta se seca muy rápido y esto provocara que se endurezca; esta capa dura y seca provocara que la pérdida de humedad no se lleve a cabo, por lo que el centro podría quedar húmedo y así llegar a deteriorarse durante el almacenado. La mayoría de los frutos se secan a 60-70 °C. Las frutas se consideran secas hasta que tengan el contenido de humedad final deseado (15%) (Espinoza, 2016).

Un aspecto importante para utilizar la energía solar es el costo y la rentabilidad. La energía solar puede ser utilizada de manera rentable para el secado solo si el objetivo del proceso puede coordinarse con las características específicas de la radiación solar. Por tanto, las circunstancias geográficas que determinan el número de días soleados al año y la intensidad de radiación incidente diferencian varias zonas de la Tierra (Maupeoy et al., 2001).

5.2.1 Clasificación de los secadores solares

En la actualidad existen diferentes tipos de tecnologías de secado que utilizan la energía solar, se pueden clasificar según el método de calentamiento y la manera en la que la energía solar es utilizada (Belessiotis, 2011). Por lo que se pueden

clasificar en dos grupos: El secado solar pasivo (convección natural) y el secado solar activo (a los que se les puede denominar secadores solares híbridos). El secado se puede dividir en dos diferentes grupos, el secado a cielo abierto y el secado utilizando secadores solares, en el que se incluyen los secadores solares pasivos y secadores solares activos (Tiwari, 2016) (Figura 3).

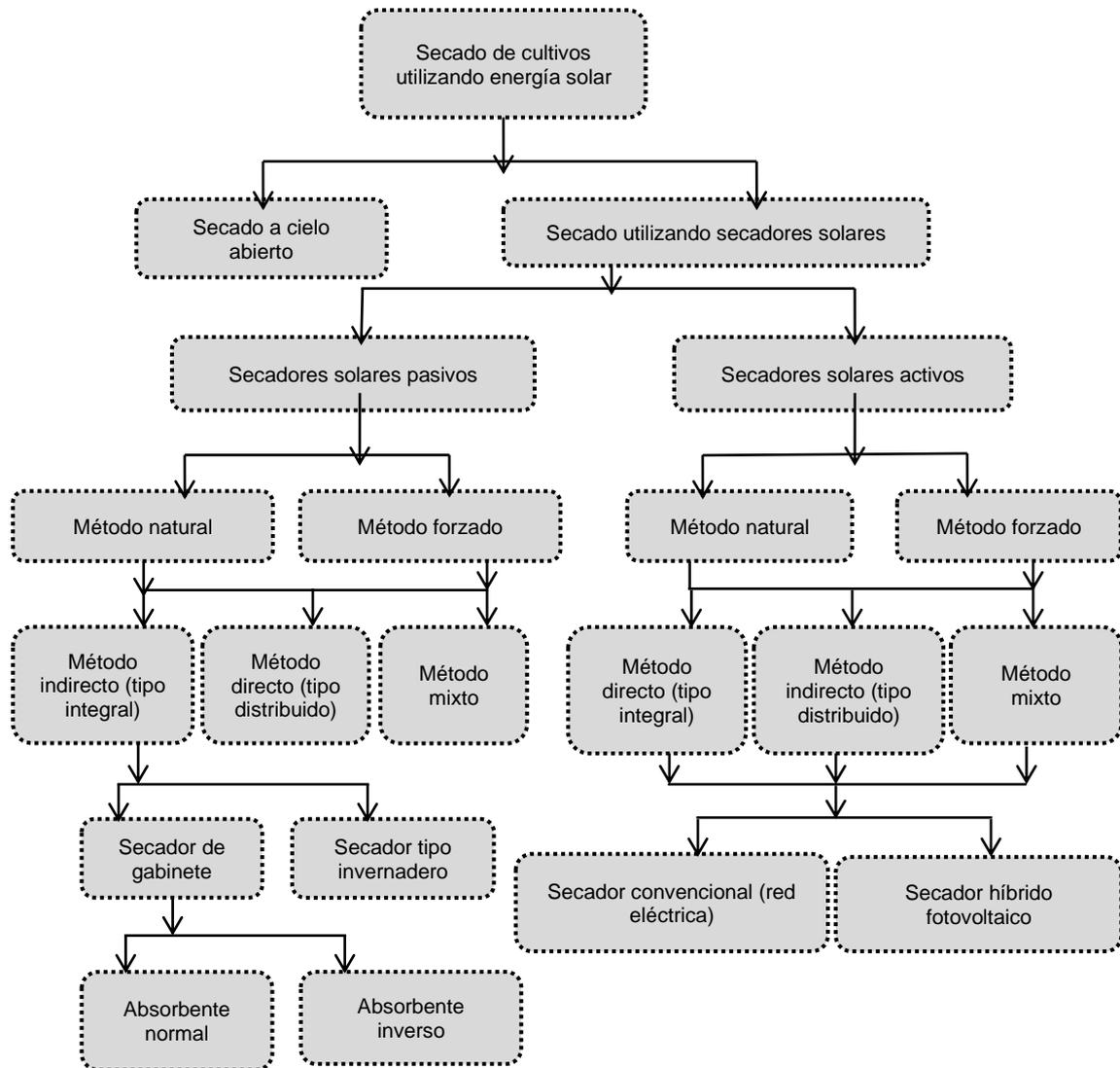


Figura 3. Clasificación general de secadores solares (Fuente: Tiwari et al., 2016)

Hay tres diferentes tipos de sistemas de secadores solares activos o pasivos que se pueden encontrar:

- ❖ Secadores solares directos
- ❖ Secadores solares indirectos
- ❖ Secadores solares híbridos

En la figura 4 se muestran algunas de las principales características de los secadores solares de acuerdo con la fuente de energía utilizada. Aunque los diseños de los secadores se implementan de acuerdo con la cantidad y el tipo de material que se procede a secar, por lo que existen diversos tipos de secadores solares que se han desarrollado y que en la actualidad aún están en uso (Ekechukwu, 1999).

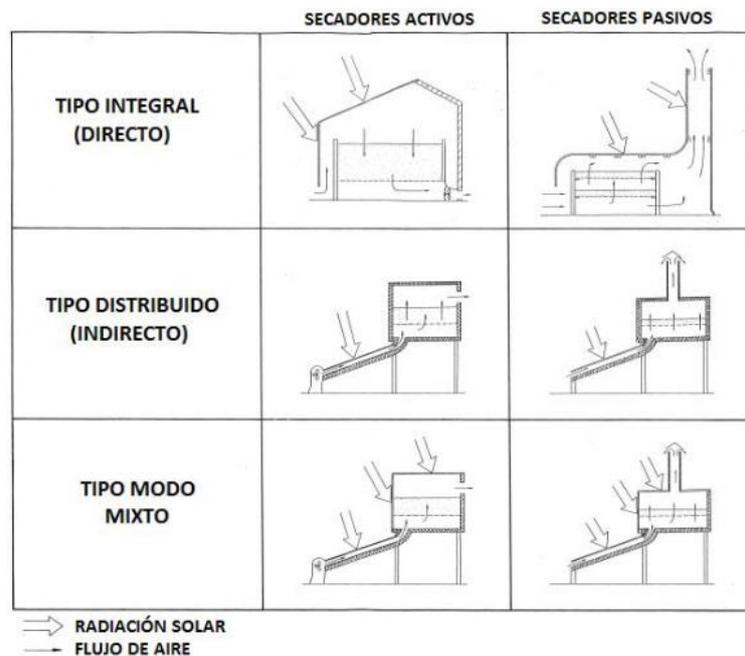


Figura 4. Clasificación de secadores solares (Ekechukwu, 1999)

5.2.2 Secado solar a cielo abierto

El secado solar al aire libre ha sido utilizado para diversos productos agrícolas tales como carne, granos, semillas, frutas etc. Ya que este se utiliza como medio de conservación. Sin embargo, el secado solar presenta grandes limitaciones para la producción a gran escala, entre las cuales es importante recalcar, el elevado costo de mano de obra, dificultades en el control del proceso de secado, posibles degradaciones debido a reacciones bioquímicas o microbiológicas, contaminación por insectos, etc. Con objeto de aprovechar los beneficios de la fuente de energía limpia y renovable proporcionada por el sol, se han realizado numerosos intentos en los últimos años para desarrollar el secado solar, principalmente para la conservación de productos agrícolas y forestales (Paz, 2005). La industria de alimentos deshidratados constituye un sector muy importante dentro de la industria alimentaria extendido por todo el mundo (León, 2017).



Figura 5. Secado solar a cielo abierto o tradicional de semilla de jícama (*Pachyrhizus erosus*) y de chile (*Capsicum annum*)

5.2.3 Secador solar gabinete tipo invernadero

Una de las ventajas de utilizar este tipo de secadores es que estos protegen las muestras de material vegetal de los contaminantes presentes en el aire, daños causados por animales y/o insecto, rehidratación del producto ya sea por la humedad presente en la noche o por la presencia de lluvias durante el periodo de secado. Dicho deshidratador solar es una estructura que al igual que el secado tradicional aprovecha la radiación del sol como principal fuente de energía que al colocar algún producto en su interior disminuya su contenido de humedad. En este tipo de deshidratador solar de gabinete tipo invernadero (Figura 5), existen dos diferentes procesos que se pueden utilizar los cuales son el secado solar directo y el secado solar indirecto, esto se refiere al tipo de convección el secado solar directo tiene una convección natural esto quiere decir que el aire al interior del deshidratador se calienta pero no existe ningún tipo de extracción forzada de aire, al contrario del secado solar indirecto, en el cual se utiliza un extractor de aire que permite que el aire caliente en el interior del dispositivo circule aire nuevo y la temperatura no sea tan elevada como lo es en un deshidratador con secado solar directo (Castillo, et al. 2018).

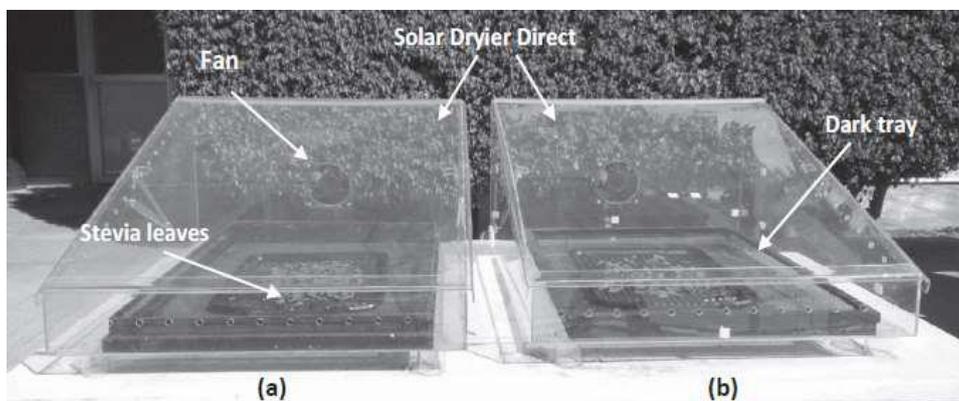


Figura 6. Secadores solares de gabinete tipo invernadero directos que funcionan con forzado (a) en convección natural (b) (Castillo, et al. 2018)

5.2.4 Secador solar pasivo de gabinete tipo mixto

Este tipo de secador mixto (Figura 7) fue diseñado para poder utilizar con dos opciones de secado, las temperaturas de secado durante el día pueden variar de 65 a 70 °C sin la cubierta y de 55 a 60 °C con la cubierta.

El secador mixto está formado por tres partes fundamentales, un colector solar plano, una cámara de secado con tapa de policarbonato y una chimenea para la salida de aire húmedo.

La cámara de secado puede permitir el paso de radiación solar siendo así el secado directo-indirecto o puede ser cubierta para hacer el secado indirecto, dentro de la cámara se encuentran ocho bandejas perforadas con un área de 0.52 m² las cuales están ubicadas en cuatro niveles verticales.

El aire es calentado por medio del colector solar el cual fluye por medio de convección natural hacia la cámara de secado, luego ese aire caliente fluye entre las muestras de fruta y a través de ciertos procesos de transferencia de calor y masa, el aire les da calor a las muestras y estas le dan humedad al aire. Después de este proceso el aire caliente y húmedo sale por la chimenea (López-Vidaña, et al. 2020).



Figura 7. Vista isométrica e instrumentación del secador solar de gabinete tipo mixto pasivo.

5.2.5 Secado bajo condiciones controladas

Este método de secado (Figura 8) se realiza en un horno o estufa con circulación de aire y donde se controla de manera precisa la temperatura y en algunos casos el flujo de aire. Los hornos tienen diversos diseños, pero la mayoría se basan en el siguiente principio: el aire caliente circula entre los bastidores en una cámara cerrada y aislada térmicamente donde se ha distribuido en charolas el material que se necesite deshidratar.



Figura 8. Horno eléctrico de secado bajo condiciones controladas

5.2.3 Secado en un horno eléctrico bajo condiciones de temperatura y velocidad de aire controladas

El equipo (Figura 9) fue diseñado y evaluado en el Instituto de Energías Renovables de la UNAM. El equipo se encuentra formado por una cámara de secado hecha de acrílico transparente. Dentro de la cámara de secado hay una bandeja de metal, por la cual el aire puede circular por la parte inferior y superior de esta y también circula de manera longitudinal hacia el exterior. El aire es impulsado por un motor de 1/20 hp con un ventilador centrífugo, la alimentación es de la red eléctrica. El ventilador toma el aire del ambiente el cual circula por el banco de resistencias y posteriormente la cámara de secado. La velocidad de aire es controlada mediante un transformador de corriente variable conectado con el moto-ventilador (López, 2016).

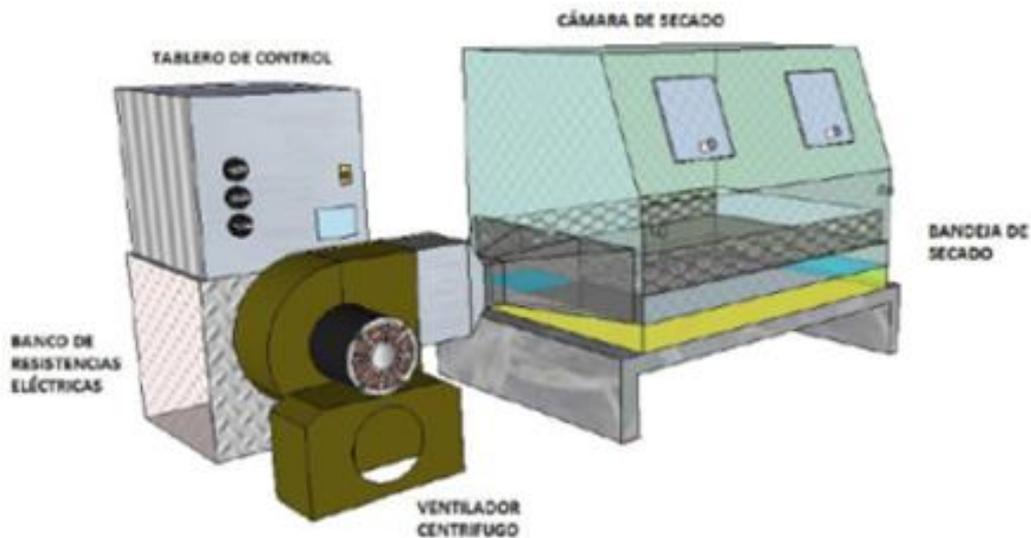


Figura 9. Horno eléctrico bajo condiciones de temperatura y aire controladas.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 Localización del experimento y material vegetal

La investigación se realizó en el Laboratorio de Secado Solar del Instituto de Energías Renovables de la UNAM y en el Laboratorio de Producción Agrícola, de la Facultad de Ciencias Agropecuarias en la Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

Se utilizaron dos especies de frutas tropicales; chicozapote (*Manilkara zapota*) y zapote mamey (*Pouteria sapota*) que se cultivan en la República Mexicana (Cuadro 1). La fruta se obtuvo directamente de huertas en producción de Coatlán del Río, Morelos (zapote mamey) y en Coatuxtla, Veracruz (chicozapote). La fruta se transportó al laboratorio y se dejó acondicionar durante cinco horas. Posteriormente se lavaron con una solución de hipoclorito de sodio al 1 % (Sosa, 2017).



Figura 10. Recolección de frutos de zapote mamey en Coatlán del Río, Morelos.

Cuadro 1. Especies frutales y época de cosecha.

Especie	Variedad	Época de cosecha	Cantidad de frutos
Chicozapote	Betawi	Enero	50
Zapote Mamey	Criollo	Abril	50

6.2 Organización experimental

El estudio experimental se realizó en dos etapas con el fin de cumplir con el objetivo de esta investigación, en la primer etapa se realizó la recolección, maduración y preparación del fruto para concluir con el secado de los frutos utilizando cuatro diferentes métodos los cuales funcionaron como tratamientos: 1) gabinete tipo invernadero bajo convección natural (CN), 2) gabinete tipo mixto (MIX), 3) horno eléctrico de secado (HN) en el que se utilizaron tres diferentes temperaturas de secado 45, 55 y 65° C, y 4) un horno prototipo con temperatura y velocidad de aire controlados (PROT) en el que se utilizaron tres diferentes temperaturas de secado (45, 55 y 65° C) y tres diferentes velocidades de aire (2.5, 3.5 y 6.5 m/s). Cada uno de los formatos (hojuelas y pasta) se realizó por triplicado por cada uno de los métodos de secado.

En la segunda etapa se realizaron los análisis fisicoquímicos para observar el efecto de los diferentes métodos de secado que se utilizaron. El diseño experimental que se utilizó fue completamente al azar con cuatro tecnologías de secado, quince tratamientos con tres repeticiones cada uno.

6.3 Preparación de la muestra

Los frutos se maduraron aproximadamente durante una semana a temperatura ambiente (25 – 30 °C; 50-60 % HR) en el Laboratorio de Secado, hasta que alcanzaron la madurez de consumo (fruto maduro de tacto suave y la pulpa de un color naranja a rojo vibrante), al tener el fruto maduro se realizó la obtención de la pulpa (Figura 11). Los formatos en los que se obtuvo la pulpa fueron en rebanadas y en una pasta homogénea, para lo cual se utilizó un equipo de corte (rallador/rebanador 6 en 1 de frutas) para las hojuelas obteniendo un grosor de 2 mm, para la pasta se utilizó una licuadora (Ninja blender) para homogeneizar la mezcla; esto se realizó para los diferentes frutos utilizados en este experimento. Se refrigeraron los frutos que no fueron procesados para conservar su vida útil durante más tiempo y así evitar pérdidas del producto debido a su rápida maduración.



Figura 11. Frutos de zapote mamey en etapa de madurez de consumo y elaboración de hojuelas para el experimento de secado.

Cuadro 2. Tratamientos de secado evaluados

Tecnologías	Tratamientos	Tipo de muestra
CN	Solar	H - P
Mix	Solar c/t	H - P
	Solar s/t	H - P
HN	45 °C	H - P
	55 °C	H - P
	65 °C	H - P
Prototipo	65 °C a 6.5 m s ⁻¹	H - P
	65 °C a 3.5 m s ⁻¹	H - P
	65 °C a 2.5 m s ⁻¹	H - P
	55 °C a 6.5 m s ⁻¹	H - P
	55 °C a 3.5 m s ⁻¹	H - P
	55 °C a 2.5 m s ⁻¹	H - P
	45 °C a 6.5 m s ⁻¹	H - P
	45 °C a 3.5 m s ⁻¹	H - P
	45 °C a 2.5 m s ⁻¹	H - P

CN: gabinete tipo invernadero bajo convección natural, Mix: gabinete tipo mixto c/t (con tapa), s/t (sin tapa), HN: horno de secado, Prototipo: horno prototipo con temperatura y velocidad de aire controlados, H: Hojuelas y P: Pasta.

6.4 Secado de los frutos de zapote mamey y chicozapote

Para el secado de hojuelas y pasta (Figura 12) se utilizaron charolas con mallas de plástico. Se acomodaron las hojuelas en las charolas con peso de 75 g de pasta para los secadores solares y 45 g para los secadores bajo condiciones controladas (Figura 13).

En el secado de pasta se utilizó papel encerado para cubrir la superficie de la charola formando una película de 2 mm de grosor, en los secadores solares se utilizaron 150 g aproximadamente y para los secadores bajo condiciones controladas se usaron 75 g en promedio.



Figura 12. Secado de zapote mamey en hojuelas (izquierda) y pasta (derecha) en el secador mixto.



Figura 13. Secado de zapote mamey bajo convección natural (izquierda) y en horno (derecha).

6.5 Variables evaluadas

Al inicio en fresco y al final del proceso de secado se evaluaron variables para determinar la calidad física y química de los frutos. Las cuales fueron el color, contenido de sólidos solubles totales, acidez titulable, el contenido de vitamina C, fenoles, flavonoides totales, así como la actividad antioxidante por tres métodos ABTS, FRAP y DPPH.

6.5.1 Curvas de secado

El registro del peso se realizó con una balanza (Ohaus® Adventurer, EUA) con una sensibilidad de 0.01 g. Durante el secado se realizaron mediciones por triplicado de las muestras en intervalos de 20 min durante las dos primeras horas, y cada 60 min por el resto del tiempo en el cual se alcanzó la estabilización de pérdida de agua, este se considera cuando la pérdida de peso sea menor a 0.01 g (Corzo et al., 2008).

El secado se dio por finalizado cuando el peso del total de las muestras se mantuvo estable durante tres mediciones seguidas.

Los resultados de los diferentes métodos de secado se reportaron en las curvas de secado como contenido de humedad en gramos de agua por gramo de sólidos húmedos ($\text{g de H}_2\text{O g s.h.}^{-1}$) sobre el tiempo (minutos), utilizando la siguiente fórmula para calcular la cinética de secado.

$$X_{b.h.} = \frac{W_h(t) - W_s}{W_{h\text{ in}}}$$

Donde

$X_{b.h.}$ = Contenido de humedad (base humedad)

$W_h(t)$ = Peso conforme avanzó el tiempo de secado

W_s = Peso seco

$W_{h\text{ in}}$ = Peso inicial

6.5.2 Parámetros de color

Se determinaron los parámetros de color, luminosidad (L^*), a^* y b^* en las muestras de mamey fresco y seco por medio de un espectrofotómetro manual (X-Rite 3290®, USA). Los valores de a^* y b^* se transformaron a ángulo matiz ($h = \text{Arc tan } -1 b^*/a^*$) y cromaticidad ($C^* = (a^2 + b^2)^{1/2}$) (Neguerula, 2012). La unidad experimental fue un fruto y se tuvieron 9 repeticiones.

6.5.3 Contenido de humedad

Esta variable se determinó utilizando un medidor de humedad Ohaus MB45 (sensibilidad 0.001 g, repetibilidad a 0.15 %). Cinco gramos de muestra se colocaron en trozos de 1 a 2 mm de grosor y se distribuyeron uniformemente en todo el platillo. Las condiciones de evaluación fueron de 105 °C con modo de calentamiento estándar y modo de prueba A60, esto es, que la prueba concluyó cuando la variación fue menor a 60 mg en 1 min. Las mediciones se realizaron por triplicado.

6.5.4 Sólidos solubles totales

Los sólidos solubles totales se determinaron a partir de 2 g de tejido seco homogeneizado con 15 mL de agua destilada, el homogeneizado se filtró y se tomaron dos gotas del filtrado para colocarlas en un refractómetro (ATAGO PAL-1®, Japón). Los resultados se reportaron en °Brix.

6.5.5 Acidez titulable

Se determinó la acidez titulable en pulpa con el homogeneizado de tejido seco y se tituló con NaOH 0.1 N, usando fenolftaleína como indicador, los resultados se expresaron como porcentaje de ácido málico (Solorzano et al., 2008).

6.5.6 Contenido de fenoles

La concentración de fenoles se realizó conforme a la metodología de Folin Ciocalteu, reportada por Waterman & Mole (1994). Se utilizó 1 g de tejido de zapote mamey picado finamente y colocado en un tubo de plástico de 30 mL, al cual se agregó 15 mL de agua destilada, se homogeneizó con la ayuda de un equipo Ultra Turrax (IKA®, Alemania) y posteriormente se filtró. Se tomó 0.5 mL del filtrado y se

mezcló con 2.5 mL de reactivo de Folin-Ciocalteu (1:10), se dejó reposar por 5 minutos y después se le agregó 2 mL de carbonato de sodio (7.5 % p/v) el cual se dejó reposar por 2 horas, posteriormente se midió el sobrenadante en una celda de cuarzo en un espectrofotómetro (HACH DR 5000 ®, Estados Unidos) a 760 nm. Los resultados se expresaron como mg equivalentes de ácido gálico (EAG) 100 g⁻¹ de peso fresco.

6.5.7 Actividad antioxidante por los métodos de DPPH, ABTS y FRAP

La actividad antioxidante se determinó a partir de los extractos acuosos obtenidos para determinar la variable de fenoles totales.

La actividad antioxidante por el método de DPPH, se determinó por la metodología propuesta por Brand *et al.* (1995), con mínimas modificaciones. Este método consistió en colocar una celda de cuarzo de 3 mL de una solución metanólica de DPPH metanólica 6.1×10^{-5} M (Sigma Aldrich®, USA) y se hicieron reaccionar con 100 µL de la muestra de la solución de muestra, la mezcla se dejó reposar en la oscuridad durante 30 min y se leyó a 517 nm el cambio de absorbancia. Se elaboró una curva de calibración con ácido ascórbico y los resultados se expresaron en mg equivalentes de ácido ascórbico (EAA) 100 g⁻¹ de peso fresco, al realizar una curva de calibración con dicho reactivo.

Para ABTS, se preparó el reactivo de ABTS (Sigma-Aldrich®, USA) 7 mM y persulfato de potasio (K₂S₂O₈) a 2.45 mM y se mezcló 1:1, se dejó reposar durante 16 h. Se diluyó con etanol al 20 % hasta que alcanzó una absorbancia de 0.7 ± 0.02 a 734 nm. Se agregaron 3 mL de ABTS con 50 µL de muestra y se dejó reaccionar durante 15 min. Los resultados se expresaron en mg equivalentes de ácido ascórbico (EAA) 100 g⁻¹ peso fresco obtenido a partir de una curva de calibración (Re *et al.*, 1999).

La actividad antioxidante por FRAP se realizó mediante la metodología desarrollada por Benzie & Strain (1996), para esto se requirió preparar un reactivo FRAP (TPTZ, FeCl₃ y tampón acetato). Se mezclaron 1.8 mL de FRAP con 140 µL de agua destilada y 60 µL de muestra, se dejaron reaccionar durante 30 min a 37 °C y transcurrido el tiempo se leyeron los resultados que se expresaron en mg

equivalentes de ácido ascórbico (EAA) 100 g⁻¹ de peso fresco con ayuda de una curva de calibración de ácido ascórbico.

6.5.8 Flavonoides totales

Los flavonoides totales se determinaron por la metodología de Arvouet-Grand *et al.* (1994) donde 0.5 g de tejido se homogenizó con 10 mL de metanol en un Ultra Turrax (IKA®, EUA), posteriormente se centrifugó a 10 000 g a 4 °C, durante 15 min. A partir del sobrenadante se tomaron 2 mL de muestra y se hicieron reaccionar con 2 mL de tricloruro de aluminio al 2 % (p/v) dejando reposar por 15 min en la oscuridad, las muestras se leyeron en un espectrofotómetro (HACH DR 5000®, EUA). Se utilizó una curva estándar de Quercetina y los resultados fueron expresados como mg equivalentes de Quercetina (EQ) 100 g⁻¹ de peso fresco.

6.5.9 Vitamina C

Para la determinación de vitamina C se utilizó la metodología propuesta por Jagota y Dani (1984), donde 0.8 mL de una solución de ácido tricloroacético al 10 % (p/v) se adicionó a una muestra de 0.5 g de tejido de los frutos y 10 mL de agua destilada, posteriormente se homogeneizó con un Ultraturax (IKA®, EUA). La mezcla se colocó en baño de hielo por 5 min y se centrifugó a 4000 rpm durante 5 min. Posteriormente se realizó una mezcla de reacción que consiste en 0.5 mL del sobrenadante, 2 mL de agua doble destilada y 200 mL de una solución diluida del reactivo de Folin-Ciocalteu y se dejó reposar por 10 min, posteriormente se tomó la lectura en un espectrofotómetro (HACH DR 5000®, EUA) a una absorbancia de 760 nm. Para el cálculo de la concentración de vitamina C en las muestras se construyó una curva de calibración utilizando ácido ascórbico (AA), la concentración se expresó en mg de AA 100 g⁻¹.

6.6 Análisis de datos

Los datos fueron sometidos a un análisis de varianza y comparación de medias por el método de la Diferencia Mínima Significativa a una probabilidad de 0.05 %. Se muestran también gráficas de las variables evaluadas elaboradas en el programa SigmaPlot® (Systat, 2010) donde se tiene el promedio de las observaciones y su error estándar.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 Calidad inicial de los frutos de zapote mamey y chicozapote

Los frutos de zapote mamey mostraron un alto contenido de sólidos solubles totales, cercano a 28 °Brix (Cuadro 3). Gaona et al., (2008) indican que el contenido de sólidos solubles en frutos de zapote mamey en madurez de consumo provenientes de la región de Oriente del estado de Morelos fue de 23.7 °Brix. La acidez titulable fue alta comparada con lo reportado en frutos de la región, los valores reportados se encuentran entre 0.22 y 0.7 % en madurez de consumo (Ramos-Ramírez et al., 2009; Pérez-López et al., 2009). El color mostró una tendencia al rojo opaco ($h = 49$, $C^* = 36.4$ y $L^* = 44$; Cuadro 3) en general el consumidor prefiere frutos con pulpa con color rojo (Gaona et al., 2008).

Los frutos de chicozapote mostraron menor contenido de sólidos solubles totales que lo reportado para chicozapote criollos de la región centro de Veracruz (22.2 °Brix; Aguilar et al., 2018). La acidez en el chicozapote en consumo se reporta entre 0.1 y 0.4 %, lo cual se considera baja (Yahia & Orozco-Gutiérrez, 2011). El color de la pulpa fue entre naranja y amarillo opaco (Cuadro 4), lo cual es diferente al color café claro que se considera la pulpa en etapa de madurez de consumo del chicozapote (Aguilar et al., 2018), Las diferencias se atribuyen a la gran diversidad de materiales de chicozapote con el cual se cuenta en el país.

Cuadro 3. Características químicas del zapote mamey en fresco

SST (° Brix)	AT	*L	c	h
28.6	1.3	52	31.12	50.59
16.5	1.34	42.2	38.33	45.45
27.5	1.18	43.12	38.8	46.89
34.1	1.22	57.03	35.92	58.39
30.8	0.44	28.05	39.73	45.1
27.5	1.62	45.6	34.9	47.8
27.5 ± 5.94^Z				

^Z: Los números representan la media de las seis muestras y su desviación estándar, sólidos solubles totales (SST), acidez titulable (AT), color (*L*C h).

Cuadro 4. Características químicas del chicozapote en fresco

SST (°Brix)	AT	L	c	h
17.6	0.64	31.08	31.08	65.19
15.4	0.50	47.12	22.30	70.07
19.8	0.41	42.57	20.67	67.58
16.5	0.38	38.42	22.71	64.81
15.4	0.41	49.00	23.83	69.22
16.3	0.55	47.12	22.30	70.07
15.8	0.41	41.68	20.07	70.88
16.6 ± 1.5^z				

^z: Los números representan la media de las siete muestras y su desviación estándar, sólidos solubles totales (SST), acidez titulable (AT), color (*L*C h).

7.2 Cinéticas de secado de las muestras de zapote mamey

Las cinéticas de secado de las hojuelas y pasta de zapote mamey se ajustaron a un modelo cúbico, con r^2 entre 0.8567 y 0.9990 (Cuadro 5).

En la presentación de hojuelas de zapote mamey, el tiempo de secado fue entre 100 y 240 min (Figura 14), alcanzando entre 6.81 y 15.76 % de humedad (Cuadro 5). Por otra parte, la cinética de mamey en pasta el tiempo de secado fue entre 160 y 400 min, alcanzando entre 6.71 y 16.33 % de humedad (Cuadro 6).

El secado en CN tanto en pasta como en hojuela (Figura 14) mostró el porcentaje de humedad más alto (15.76 y 16.33 %), aunque el tiempo de secado fue intermedio, 240 min (Cuadro 5 y 6).

El secador mixto c/t (Figura 14) ocasionó mayor humedad en las hojuelas aún después de 340 min, comparado con el secador mixto s/t donde se alcanzó 6.81 % de humedad en 160 min (Cuadro 5 y Figura 2). Al utilizar pasta para el secado, el comportamiento fue inverso, ya que el secador mixto c/t alcanzó menor humedad en 280 min y el secador s/t la humedad de la pasta fue de 12.67 % en un tiempo de 340 min (Cuadro 6).

El secado en horno entre 45 y 65 °C (Figura 14), mantuvo la humedad entre 8.4 y 11.85 %, ya sea en presentación de pasta u hojuela, y el tiempo de secado fue entre 100 y 260 minutos; con mucho menor tiempo de secado en HN a 65 °C (entre 100 y 160 min) independientemente de la presentación (Cuadro 5 y 6).

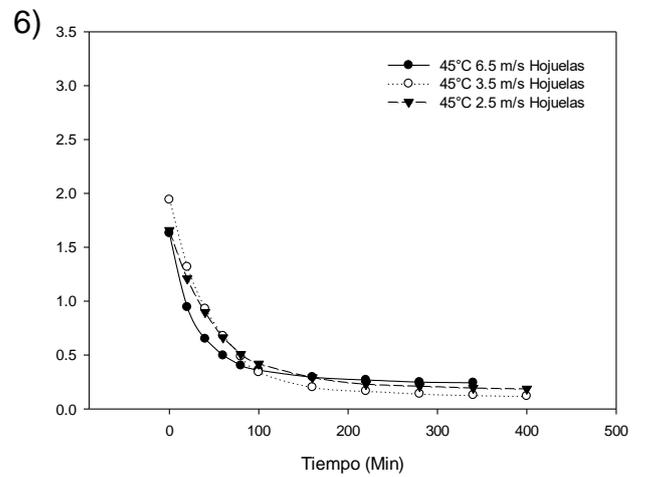
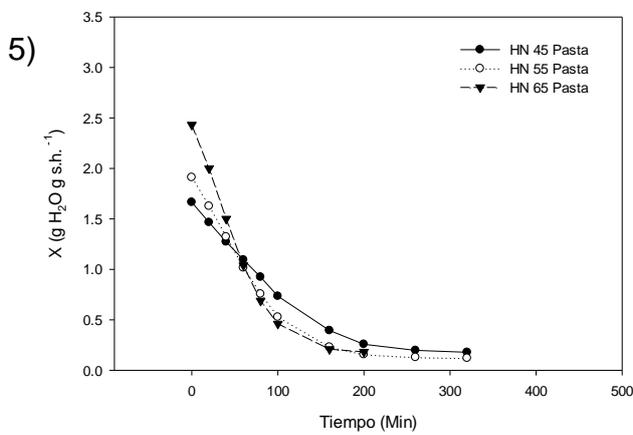
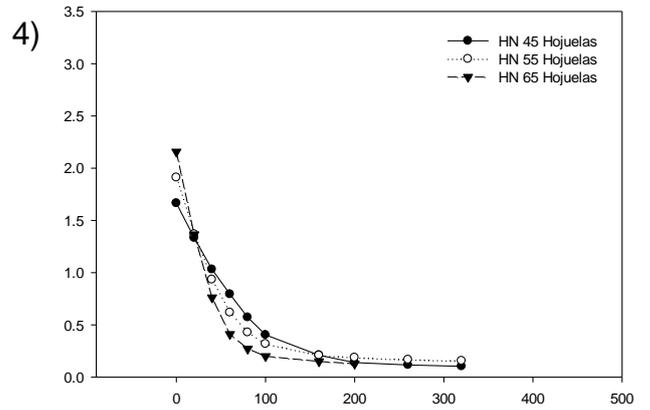
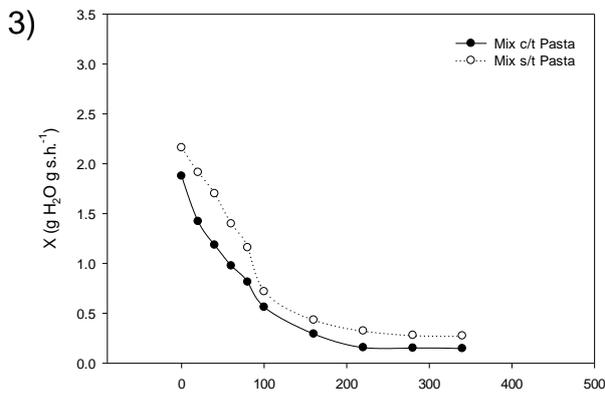
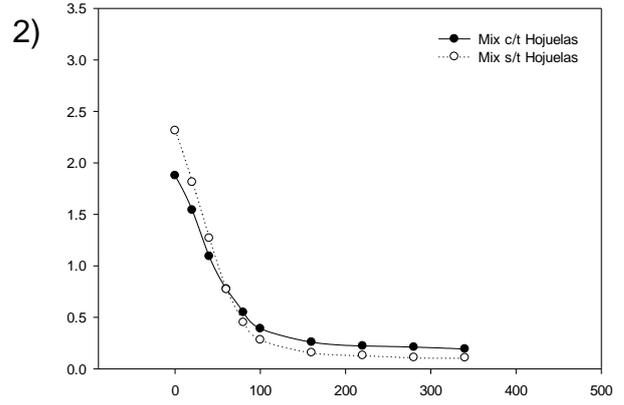
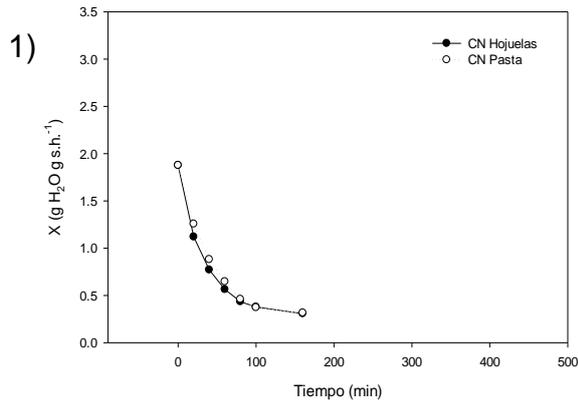
El secado en el prototipo de horno con diferentes temperaturas y velocidad de aire (Figura 14), el tiempo de secado fue entre 160 y 340 min cuando se utilizaron hojuelas y ente 220 y 400 min cuando se utilizó pasta (Cuadro 5 y 6). El incremento

de la temperatura no favoreció el tiempo promedio de secado, ya que se mantuvo entre 220 y 240 min en la presentación de hojuela y entre 280 y 320 min en presentación de pasta (Cuadros 5-6 y Figura 14). No así la velocidad del aire donde al incrementarlo de 2.5 m s⁻¹ a 6.5 m s⁻¹ el tiempo de secado disminuyó de 280 a 240 min en hojuela y de 340 a 260 min en la presentación de pasta (Cuadro 5-6 y Figura 14). La humedad promedio en las hojuelas y pasta disminuyó al incrementar la temperatura del horno prototipo (Cuadro 5 y 6). El incremento de la velocidad del aire aumentó la humedad de la muestra en la presentación de hojuelas, no así en la presentación de pasta (Cuadro 5 y 6).

Por lo tanto, el mejor secado de acuerdo con el tiempo y el porcentaje de humedad final fue con el secador Mix s/t con un tiempo de 160 min alcanzando un 6.81% H₂O sh, para el formato de pasta el mejor secado fue en el secador Pro-65°C 3.5 ms⁻¹ con un tiempo de secado de 280 min y un 6.71% H₂O s. h. (Figura 14).

Según los estudios realizados por Silva-Norman et al., (2018) en pulpa de Zarzamora (*Rubus* spp), se demostró que los mejores métodos de secado fueron en los secadores solares (invernadero de secado y secado solar directo), en los cuales el tiempo total de secado fue de aproximadamente 960 min, siendo estos los que obtuvieron los mejores resultados en actividad antioxidante (AA) y flavonoides (FLAV), aunque también se realizó el mismo proceso en un horno de secado a 60 °C el cual obtuvo un tiempo total de 480 min pero no se obtuvieron los mejores resultados en las propiedades químicas (AA y FLAV). De acuerdo a este estudio las pruebas que se realizaron en pulpa de zarzamora con secado solar (invernadero de secado y secado solar directo) y en horno de secado, concluyeron que los mejores resultados en actividad antioxidante (AA) y flavonoides (FLAV) las obtuvieron los secados solares, para AA obtuvieron resultados de 5.86 y 5.80 mg AAE respectivamente, en tanto para FLAV los resultados fueron 10.53 y 9.94 mg de EQ. Mostrando así una posible similitud a los tratamientos que se utilizaron en esta investigación.

7.2.1 Curvas de secado en hojuela y pasta de zapote mamey.



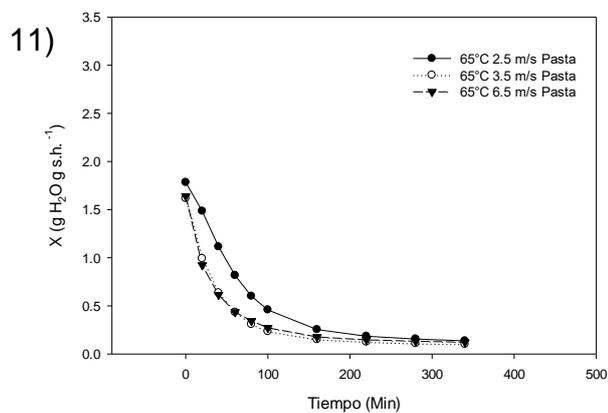
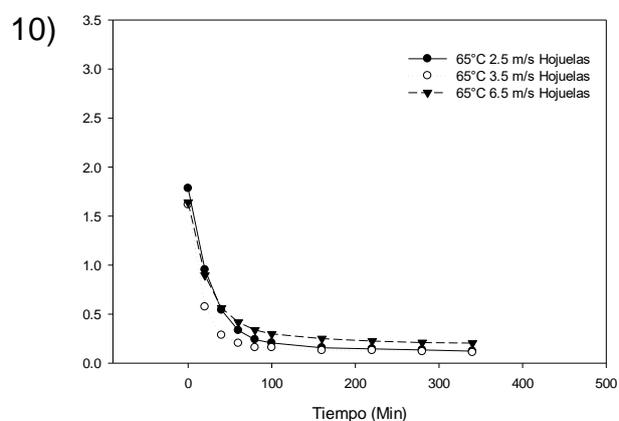
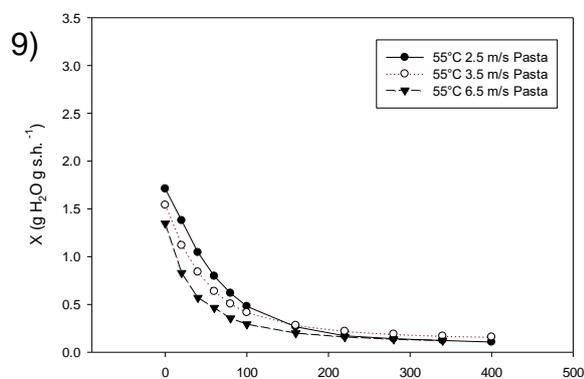
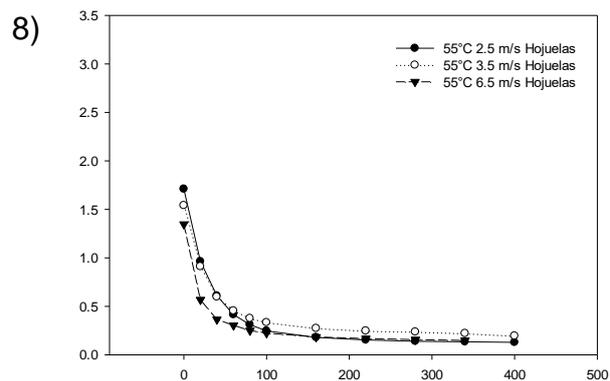
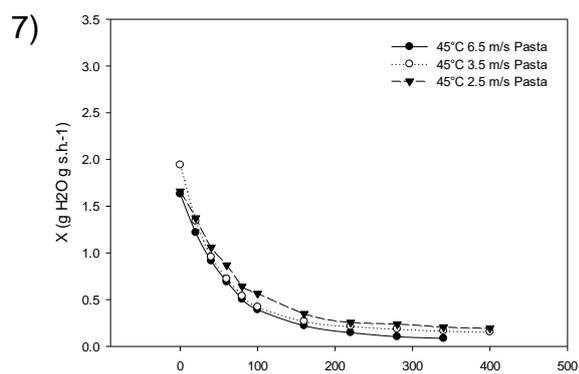


Figura 14. Cinéticas de secado de las muestras de zapote mamey: 1) convección natural, 2 y 3) gabinete mixto, 4, 5 y 6) horno bajo diferentes temperaturas (45, 55 y 65 °C), 7,8 y 9) horno prototipo control de temperatura (45, 55 y 65 °C) y velocidad de aire de secado (2.5, 3.5 y 6.5 ms⁻¹).

Cuadro 5. Tiempo de secado en hojuelas de zapote mamey bajo diferentes métodos de secado.

Tratamiento	Tiempo de secado (min)	%H ₂ O en hojuelas	Tiempo hojuelas (min)	Fórmula Hojuela	r ²
CN	240	15.76	240	$y=(1.84)+(-4.02 e^{-2}x)+(3.70e^{-4}x^2)+(-1.12e^{-6}x^3)$	0.9960
Mix c/t	340	11.25	340	$y=(1.90)+(-2.43 e^{-2}x)+(1.10e^{-4}x^2)+(-1.57e^{-7}x^3)$	0.9940
MIX s/t	340	6.81	160	$y=(2.34)+(-3.38 e^{-2}x)+(1.57e^{-4}x^2)+(-2.29e^{-7}x^3)$	0.9915
HN 45 °C	320	8.40	200	$y=(1.67)+(-1.92 e^{-2}x)+(7.94e^{-5}x^2)+(-1.08e^{-7}x^3)$	0.9990
HN 55 °C	320	9.75	200	$y=(1.86)+(-2.73 e^{-2}x)+(1.38e^{-4}x^2)+(-2.17e^{-7}x^3)$	0.9924
HN 65 °C	200	9.24	100	$y=(2.14)+(-4.56 e^{-2}x)+(3.37e^{-4}x^2)+(-7.98e^{-7}x^3)$	0.9974
Pro 45°C 2.5 ms ⁻¹	400	12.68	280	$y=(1.56)+(-1.80 e^{-2}x)+(7.43e^{-5}x^2)+(-9.54e^{-8}x^3)$	0.9820
Pro 45°C 3.5 ms ⁻¹	400	8.57	220	$y=(1.79)+(-2.30 e^{-2}x)+(9.68e^{-5}x^2)+(-1.25e^{-7}x^3)$	0.9782
Pro 45°C 6.5 ms ⁻¹	340	15.25	160	$y=(1.45)+(-2.09 e^{-2}x)+(1.08e^{-4}x^2)+(-1.69e^{-7}x^3)$	0.9395
Pro 55°C 2.5 ms ⁻¹	400	8.18	280	$y=(1.47)+(-1.10 e^{-2}x)+(9.48e^{-5}x^2)+(-1.28e^{-7}x^3)$	0.9263
Pro 55°C 3.5 ms ⁻¹	400	14.31	340	$y=(1.32)+(-1.79 e^{-2}x)+(7.94e^{-5}x^2)+(-1.08e^{-7}x^3)$	0.9192
Pro 55°C 6.5 ms ⁻¹	340	11.61	280	$y=(1.10)+(-1.80 e^{-2}x)+(9.81e^{-5}x^2)+(-1.57e^{-7}x^3)$	0.8567
Pro 65°C 2.5 ms ⁻¹	340	7.53	280	$y=(1.56)+(-2.67 e^{-2}x)+(1.42e^{-4}x^2)+(-2.25e^{-7}x^3)$	0.9820
Pro 65°C 3.5 ms ⁻¹	340	7.93	160	$y=(1.28)+(-2.42 e^{-2}x)+(1.35e^{-4}x^2)+(-2.21e^{-7}x^3)$	0.9782
Pro 65°C 6.5 ms ⁻¹	340	12.78	280	$y=(1.43)+(-2.23 e^{-2}x)+(1.17e^{-4}x^2)+(-1.86e^{-7}x^3)$	0.9395

Cuadro 6. Tiempo de secado en pasta de zapote mamey en diferentes métodos de secado.

Tratamiento	Tiempo de secado (min)	%H ₂ O pasta	Tiempo pasta (min)	Fórmula pasta	r ²
CN	240	16.33	240	$y=(1.86)+(-3.36e^{-2}x)+(2.54e^{-4}x^2)+(-6.50e^{-7}x^3)$	0.9981
Mix c/t	340	8.33	280	$y=(1.82)+(-1.80e^{-2}x)+(6.49e^{-5}x^2)+(-7.61e^{-8}x^3)$	0.9962
MIX s/t	340	12.67	340	$y=(2.24)+(-1.84e^{-2}x)+(5.37e^{-5}x^2)+(-4.83e^{-8}x^3)$	0.9861
HN 45°C	320	11.85	260	$y=(1.88)+(-1.15e^{-2}x)+(2.36e^{-5}x^2)+(-6.68e^{-9}x^3)$	0.9986
HN 55°C	320	8.20	200	$y=(1.96)+(-2.01e^{-2}x)+(7.20e^{-5}x^2)+(-8.43e^{-8}x^3)$	0.9970
HN 65°C	200	8.56	160	$y=(2.48)+(-3.01e^{-2}x)+(1.10e^{-4}x^2)+(-8.30e^{-8}x^3)$	0.9962
Pro 45°C 2.5 ms ⁻¹	400	11.72	400	$y=(1.64)+(-1.61e^{-2}x)+(5.99e^{-5}x^2)+(-7.20e^{-8}x^3)$	0.9954
Pro 45°C 3.5 ms ⁻¹	400	8.58	340	$y=(1.79)+(-2.19e^{-2}x)+(9.14e^{-5}x^2)+(-1.18e^{-7}x^3)$	0.9777
Pro 45°C 6.5 ms ⁻¹	340	8.97	220	$y=(1.59)+(-1.93e^{-2}x)+(8.39e^{-5}x^2)+(-1.18e^{-7}x^3)$	0.9956
Pro 55°C 2.5 ms ⁻¹	400	7.15	340	$y=(1.68)+(-1.78e^{-2}x)+(6.69e^{-5}x^2)+(-8.08e^{-8}x^3)$	0.9958
Pro 55°C 3.5 ms ⁻¹	400	10.98	340	$y=(1.44)+(-1.61e^{-2}x)+(6.54e^{-5}x^2)+(-8.33e^{-8}x^3)$	0.9825
Pro 55°C 6.5 ms ⁻¹	340	10.05	280	$y=(1.22)+(-1.67e^{-2}x)+(8.20e^{-5}x^2)+(-1.24e^{-7}x^3)$	0.9629
Pro 65°C 2.5 ms ⁻¹	340	8.74	280	$y=(1.81)+(-2.09e^{-2}x)+(8.77e^{-5}x^2)+(-1.19e^{-7}x^3)$	0.9968
Pro 65°C 3.5 ms ⁻¹	340	6.71	280	$y=(1.48)+(-2.28e^{-2}x)+(1.14e^{-5}x^2)+(-1.75e^{-7}x^3)$	0.9693
Pro 65°C 6.5 ms ⁻¹	340	8.01	280	$y=(1.48)+(-2.28e^{-2}x)+(1.14e^{-5}x^2)+(-1.75e^{-7}x^3)$	0.9693

7.3 Cinéticas de secado de las muestras de chicozapote

Las cinéticas de secado de las hojuelas y pasta de zapote mamey se ajustaron a un modelo cúbico con r^2 entre 0.9828 y 0.9997 (Cuadro 7).

El secado en CN tanto en hojuela como en pasta de chicozapote (Figura 15) fue de 160 min alcanzando una humedad final entre 4.49 y 5.69 % (cuadros 7 y 8). El horno mixto mostró una humedad entre 7.45 y 9.71 % con menor tiempo de secado en la presentación de hojuela (160 min) que en pasta (220 min) (Cuadro 7 y 8).

Al utilizar el HN en hojuelas de chicozapote (Figura 15) el tiempo de secado disminuyó de 280 min cuando la temperatura fue de 55 °C a 160 min cuando la temperatura se incrementó a 65 °C (Cuadro 7). En pasta esta tendencia no fue detectada ya que en ambas temperaturas la humedad se mantuvo entre (7.63 y 8.70 %) y el tiempo de secado fue de 280 min (Cuadro 8).

Finalmente, el uso del horno prototipo con una velocidad del viento de 2.5, 3.5 y 6.5 m s^{-1} (Figura 15), mostro que el incrementar la temperatura de 45 a 65 °C la humedad en la presentación de la hojuela cambio de 5.3 a 8.5 % y en la pasta se incrementó de 5.47 a 7.16 %; y el tiempo de secado disminuyó de 180 a 160 min en ambos tipos de presentación (Cuadros 7 y 8).

Por lo tanto, el mejor secado de acuerdo con el tiempo y el porcentaje de humedad final fue con el secador CN con un tiempo de 160 min alcanzando un 4.49% $\text{H}_2\text{O s. h.}$, para el formato de pasta el mejor secado fue en el secador Pro-45°C 6.5 ms^{-1} con un tiempo de secado de 180 min y un 5.47% $\text{H}_2\text{O s. h.}$ (Figura 15).

7.3.1 Curvas de secado de chicozapote

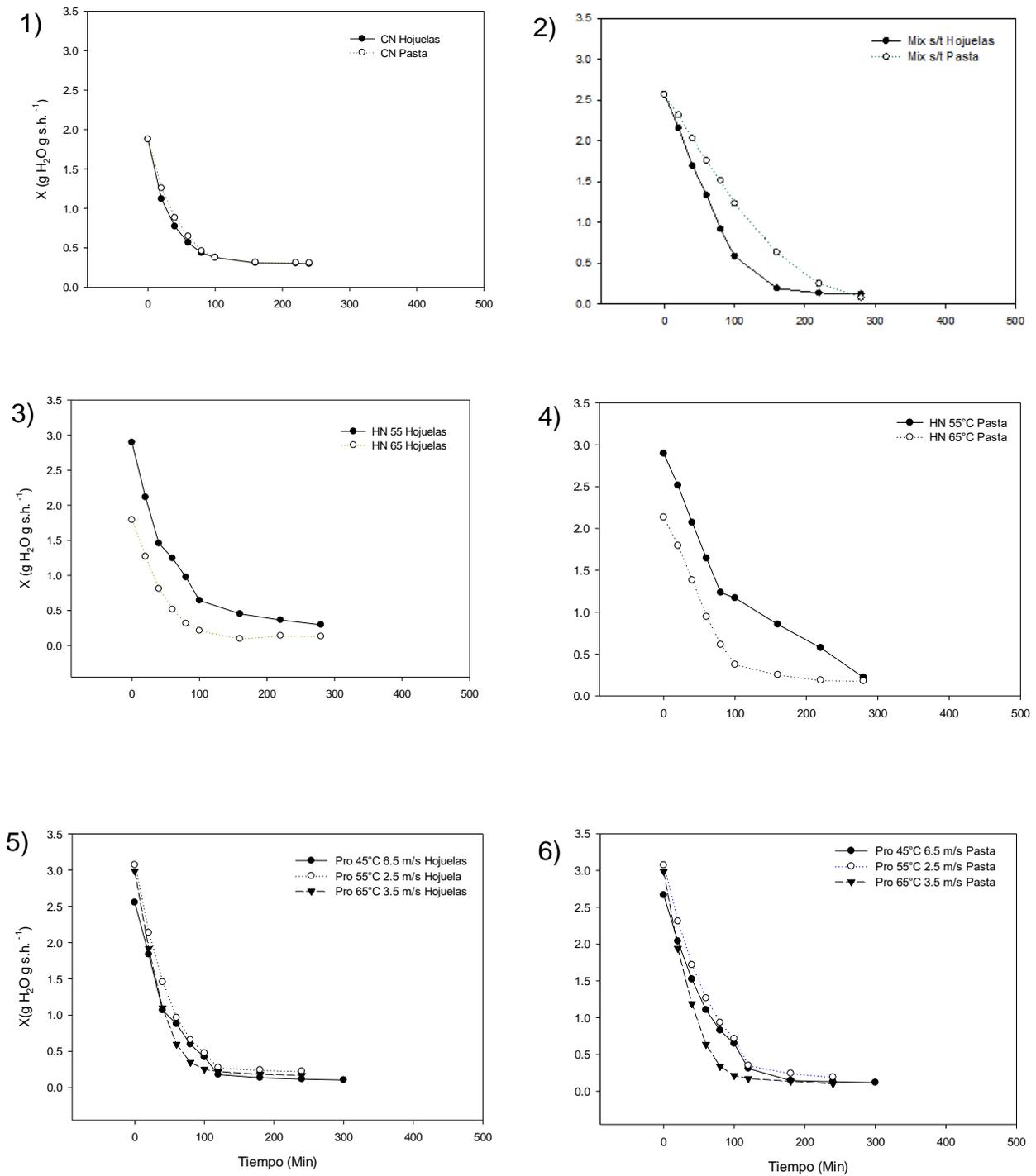


Figura 15. Cinéticas de secado de las muestras de chicozapote: 1) convección natural, 2) gabinete mixto, 3, 4) horno bajo diferentes temperaturas (55 y 65 °C), 5, 6) horno prototipo control de temperatura (45, 55 y 65 °C) y velocidad de aire de secado (2.5, 3.5 y 6.5 ms $^{-1}$).

Cuadro 7. Tiempo de secado en hojuelas de chicozapote en diferentes métodos de secado.

Tratamiento	Tiempo total de secado (min)	%H2O hojuelas	Tiempo final hojuelas (min)	Fórmula	r ²
CN	220	4.49	160	$y=(2.84)+(-4.08e^{-2}x)+(1.85e^{-4}x^2)+(-2.54e^{-7}x^3)$	0.9828
MIX s/t	280	7.45	160	$y=(2.63)+(-2.85e^{-2}x)+(1.01e^{-4}x^2)+(-1.12e^{-7}x^3)$	0.9956
HN 55 °C	280	10.20	280	$y=(2.82)+(-3.76e^{-2}x)+(1.92e^{-4}x^2)+(-3.24e^{-7}x^3)$	0.9926
HN 65 °C	280	9.58	160	$y=(1.77)+(-2.95e^{-2}x)+(1.66e^{-4}x^2)+(-2.92e^{-7}x^3)$	0.9957
Pro 45°C 6.5 ms ⁻¹	300	5.31	180	$y=(2.48)+(-3.71e^{-2}x)+(1.86e^{-4}x^2)+(-2.98e^{-7}x^3)$	0.9892
Pro 55°C 2.5 ms ⁻¹	280	9.01	100	$y=(3.04)+(-4.94e^{-2}x)+(2.85e^{-4}x^2)+(-5.35e^{-7}x^3)$	0.9989
Pro 65°C 3.5 ms ⁻¹	280	8.50	160	$y=(2.93)+(-5.80e^{-2}x)+(3.83e^{-4}x^2)+(-7.93e^{-7}x^3)$	0.9946

Cuadro 8. Tiempo de secado en pasta de chicozapote en diferentes métodos de secado.

Tratamiento	Tiempo total de secado (min)	%H2O pasta	Tiempo final pasta (min)	Fórmula	r ²
CN	220	5.69	160	$y=(2.76)+(-2.11e^{-2}x)+(3.83e^{-4}x^2)+(-7.93e^{-7}x^3)$	0.9965
MIX s/t	280	9.71	220	$y=(2.58)+(-1.43e^{-2}x)+(6.63e^{-6}x^2)+(4.57e^{-8}x^3)$	0.9997
HN 55 °C	280	7.63	280	$y=(2.96)+(-2.95e^{-2}x)+(1.39e^{-4}x^2)+(-2.45e^{-7}x^3)$	0.9937
HN 65 °C	280	8.70	280	$y=(2.22)+(-2.86e^{-2}x)+(1.30e^{-4}x^2)+(-1.93e^{-7}x^3)$	0.9895
Pro 45°C 6.5 ms ⁻¹	300	5.47	180	$y=(2.65)+(-3.31e^{-2}x)+(1.43e^{-4}x^2)+(-2.01e^{-7}x^3)$	0.9979
Pro 55°C 2.5 ms ⁻¹	280	7.16	100	$y=(3.05)+(-4.00e^{-2}x)+(1.88e^{-4}x^2)+(-2.96e^{-7}x^3)$	0.9977
Pro 65°C 3.5 ms ⁻¹	280	7.16	160	$y=(2.95)+(-5.69e^{-2}x)+(3.64e^{-4}x^2)+(-7.38e^{-7}x^3)$	0.9976

7.4 Efecto de la técnica de secado sobre las características físicas y químicas del Zapote mamey

El zapote mamey deshidratado bajo CN y en horno a 55 °C, 2.5 m s⁻¹, mostraron la mayor concentración de sólidos solubles totales, entre 62 y 65 °Brix, el secado con el resto de los métodos, la concentración de sólidos solubles fue entre 10 y 21 % menos (Cuadro 9).

La mayor acidez titulable (0.9 %) se detectó en el zapote mamey deshidratado en el secador mixto MIX S/T y en el secado en horno a 55 °C con una velocidad de 2.5 m s⁻¹; el resto de los métodos evaluados redujo la acidez a valores entre 0.5 y 0.7 % (Cuadro 9).

El color de los materiales ya secos mostró que cuando se realizó el proceso en CN, MIX s/t y a 55 °C, 2.5 m s⁻¹, el matiz se mantuvo con tendencia al naranja (h= entre 48.6 y 52.2), no así en los demás métodos donde el matiz mostró una tendencia al rojo (h = entre 40.2 y 41.2; Cuadro 4). La mayor luminosidad se detectó cuando se deshidrataron en CN, MIX S/T y a 45 °C, 6.5 m s⁻¹ (Cuadro 9), comparado con los demás métodos de secado donde la luminosidad evaluada fue entre L*= 34.2 y 39.8 (Cuadro 4). Finalmente, la cromaticidad en el secado bajo HN 55 °C, 2.5 m s⁻¹ y 45 °C, 6.5 m s⁻¹ mantuvieron la mayor pureza del color, entre C*= 34.6 y 37.5 (Cuadro 4), en el resto de los tratamientos la cromaticidad disminuyó, entre C*= 26 y 27, sugiriendo que el color fue más opaco en estos últimos tratamientos (Cuadro 9).

La concentración de fenoles totales fue mayor, entre 61.9 y 77 mg EAA 100 g⁻¹, en el secado en MIX S/T, HN 65 °C y 55 °C, 2.5 m s⁻¹ (Cuadro 4). El resto de los tratamientos los fenoles tuvieron una concentración entre 49 y 57.8 mg EAA 100 g⁻¹ (Cuadro 9).

La concentración de flavonoides se determinó en mayor concentración, entre 37.7 y 40.5 mg EQ 100 mg⁻¹ cuando el secado se realizó a 65 °C, 3.5 m s⁻¹ y 55 °C, 2.5 m s⁻¹; en el resto de los tratamientos el contenido de flavonoides la concentración varió entre 23.3 y 27.4 m s⁻¹, es decir entre 32.4 y 42.4 % menos (Cuadro 9).

La mayor actividad antioxidante evaluada por DPPH y FRAP se detectó en los tratamientos MIX S/T y 55 °C, 2.5 m s⁻¹, en el resto de los tratamientos la actividad antioxidante disminuyó entre 30 y 67 % (Cuadro 9). La actividad por ABTS fue baja cuando se realizó la deshidratación en CN, en el resto de los métodos de secado la actividad antioxidante fue entre 24.3 y 67.2 mg EQ 100 g⁻¹ (Cuadro 9).

Finalmente, la vitamina C en mayor concentración se detectó en el secado a 65 °C y 3.5 m s⁻¹, MIX S/T y CN; el secado con menor concentración fue a 45 °C y 6.5 m s⁻¹ (Cuadro 4).

Cuadro 9. Variables físicas, químicas y químicas del zapote mamey con diferentes técnicas de deshidratación

Tratamiento	SST	AT	FENT	DPPH	FRAP	ABTS	VITC	FLAV	L*	C*	h
	°Brix	(%)									
CN	64.8a	0.7bc	51.3b-e	28.5c-f	29.0c-e	19.9 b	30.1a-c	23.3d	47.6a	27.8d-g	52.2ab
MIX S/T	51.4e-g	0.9a	62.7ab	58.9a	63.2ab	24.3 ab	32.4ab	23.7d	44.7ab	26.1fg	51.4ab
HN 65 °C	53.2d-g	0.7b	77.0a	31.8b-e	32.3ce	43.5ab	22.2b-d	27.4cd	34.2 f	31.4b-f	40.3h
HN 55 °C	51.6e-g	0.6b-e	37.6d-f	25.4c-f	45.8 bc	43.1 ab	27.2a-d	23.4d	39.8c-e	34.6a-c	40.8gh
65°C 3.5 ms ⁻¹	56.0c-e	0.6d-f	57.7b	19.2d-f	32.6 ce	46.7 ab	36.1a	40.5 ^a	39.2de	26.8e-g	40.2h
55°C 2.5 ms ⁻¹	62.8ab	0.9a	61.8ab	22.2df	75.7 a	67.2 ab	25.5a-d	37.7ab	39.3de	33.9a-c	48.6a-d
45 6.5	51.2e-g	0.5f	49.0b-e	41.1bc	42.7 bd	28.5 ab	16.2d	27.3cd	42.2b-d	37.5 a	41.2f-h
DMSH	5.7	13.4	24.8	39.3	37.2	91.8	37.1	19.7	4.2	5.9	4.8
C.V.	7.5	13.7	24.7	39.0	37.8	91.7	38.1	18.0	7.5	13.7	7.5

SST: Sólidos solubles totales acidez titulable (°Brix); AT: Acidez titulable (% de ácido cítrico); FENT: Fenoles totales (mg EAG 100g⁻¹ de peso seco, EAG: equivalente de ácido gálico); DPPH, FRAP y ABTS: Actividad antioxidante (mg EAA 100g⁻¹ peso seco; EAA: equivalentes de ácido ascórbico); FLAV: Flavonoides (mg EQ 100g⁻¹ peso seco; EQ: equivalentes de quercetina); L*: Luminosidad (100 = blanco, 0 = negro); C*: Cromaticidad (0 = opaco, 100: vivido); h: matiz (0= púrpura, 90 = amarillo, 180:). color Medias con letras diferentes en el sentido de las columnas dentro de cada factor, indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de la DMS (0.05), Coeficiente de variación (C.V.). Convección natural (CN), mixto sin tapa (MIX S/T), horno a 65°C (HN 65), horno a 45°C (HN 45), 65°C a 3.5 m s⁻¹ (65- 3.5), 55°C a 2.5 m s⁻¹ (55- 2.5) y 45°C a 6.5 m s⁻¹ (45- 6.5).

7.4.1 Correlaciones zapote mamey

Algunas correlaciones entre las variables evaluadas fueron bajas pero significativas (Cuadro 10). Así la actividad evaluada por ABTS, la vitamina C y los flavonoides se correlacionaron negativamente con los parámetros de color L*, C* y h, respectivamente ($r =$ entre -0.24^{**} y $.0.25^{**}$), sugiriendo que el producto al tener un color con mayor tendencia al rojo con menos brillo y más opaco la vitamina c, flavonoides y la actividad de ABTS se incrementa (Cuadro 10).

Por otra parte, se detectó una asociación positiva entre la actividad de DPPH y fenoles, y entre DPPH y FRAP, lo que indica que una mayor actividad antioxidante evaluada por esos métodos se atribuye en parte a los fenoles (Cuadro 10).

Finalmente, la vitamina C y la acidez titulable mostraron cierta asociación positiva, indicando que los productos con mayor acidez tienen mayor vitamina C, pero la acidez titulable se relacionó negativamente con los flavonoides (Cuadro 10)

Cuadro 10. Correlaciones entre las variables químicas del mamey en seco

VARIABLES	CORRELACIONES
ABTS vs L	-0.25*
DPPH vs L	0.25*
L vs h	0.78***
L vs C	0.34*
C vs VITC	-0.24*
FLAV vs h	-0.25*
AT vs SST	0.38*
AT vs DPPH	0.27*
AT vs VITC	0.29**
AT VS FLAV	-0.25*
DPPH vs FENT	0.36*
DPPH vs FRAP	0.25*

Medias con letras diferentes en el sentido de las columnas dentro de cada factor, indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba DMS (0.05), Coeficiente de variación (C.V.), NS: No significativo, * significativo al 0.005, ** significativo al 0.01 y *** significativo al <0.0001. Sólidos solubles totales (SST), acidez titulable (AT), fenoles (FENT), actividad antioxidante por los métodos DPPH, FRAP y ABTS, vitamina c (VIT C), Flavonoides (FLAV) y color (L* C* h. (*) <0.005, (**) <0.01 y (***) <0.0001

7.5 Efecto de la técnica de secado sobre las características físicas y químicas del chicozapote

La mayor concentración de sólidos solubles totales se obtuvo en el secado en CN y con el prototipo mixto s/t alcanzando entre 63 y 64 °Brix; en el secado con HN a 55 o 65 °C se acumularon entre 59 y 60.3 °Brix y en el secado con el prototipo entre 45 y 65 °C y una velocidad del aire de 3.5 y 6.5 m s⁻¹ el chicozapote presentó la menor concentración de sólidos solubles totales, entre 55.9 y 57.93 °Brix (Cuadro 11). El secado en CN y en el secador prototipo a 55 °C con 2.5 m s⁻¹ de ventilación mostraron la mayor acidez titulable, entre 0.54 y 0.64 %, el resto de los métodos de secado ocasionaron que la acidez titulable fuera entre 0.38 y 0.49 % (Cuadro 11).

El secado en CN y secador mixto s/t tuvieron el mayor contenido de fenoles totales y la mayor actividad por el método de DPPH (Cuadro 11), esto sugiere que la mayor actividad antioxidante determinada por este método se atribuye a los fenoles, dado que se determinó una asociación positiva entre fenoles totales vs DPPH ($r = 0.74^{***}$; Cuadro 12). La actividad evaluada por FRAP en el chicozapote fue mayor cuando se utilizó el secador prototipo con 2.5 m s⁻¹ de ventilación y con el secador mixto s/t, en tanto que en el chicozapote secado en HN a 55 °C la actividad antioxidante disminuyó en 50 % (Cuadro 11), esto último se considera negativo, ya que afecta las propiedades benéficas para el humano. No se detectaron diferencias entre los métodos de secado en la actividad antioxidante (Cuadro 11).

El contenido de vitamina C fue mayor con el secado en el prototipo mixto s/t con 17.67 mg EAA 100 g⁻¹ de peso seco, el resto de los métodos de secado redujo la vitamina C entre 22 y 57 % (Cuadro 11), lo cual se considera negativo, ya que la vitamina C es importante en los alimentos para el humano.

La concentración de flavonoides totales fue entre 1.05 y 1.34 mg EQ 100 g⁻¹ de peso seco, donde la menor acumulación fue cuando se utilizó CN y HN a 55 °C (Cuadro 11).

Finalmente, en los parámetros de color, en el secado con el prototipo a 55 ó 65 °C y 2.5 m s⁻¹ de velocidad del aire se detectó la mayor luminosidad, en tanto que el producto más opaco fue el secado con el secador mixto s/t y los frutos con mayor tendencia a rojo fueron el producto que se mantuvo en el secador prototipo con 2.5 m s⁻¹ a 45 °C (Cuadro 11).

Cuadro 11. Variables químicas del chicozapote deshidratado

TRAT	SST	AT	FENT	DPPH	FRAP	ABTS	VITC	FLAV	L	C	h
CN	63.06 ab	0.64 a	66.27 a	69.92 a	56.05 ab	76.24 a	12.95 b	1.21 b	46.00 c	29.56ab	65.23 a
MIX s/t	64.16 a	0.49 bc	71.07 a	77.11 a	67.32 a	67.40 a	17.67 a	1.27 ab	42.75 e	29.01b	63.82ab
HN 55	60.31 a-c	0.41 dc	47.17 b	38.82 b	33.96 b	66.81 a	12.17 b	1.05 c	44.66 cd	30.32ab	64.20ab
HN 65	59.03 a-c	0.38 d	50.08 b	48.97 b	42.62 ab	63.08 a	7.60 c	1.34 a	43.80de	31.68a	65.33a
65 3.5	57.56 ab	0.40 dc	46.18 b	42.27 b	56.23 ab	72.97 a	12.87 b	1.34 a	50.43a	30.27ab	64.48ab
55 2.5	55.91 c	0.54 ab	43.07 b	46.15 b	46.19 ab	59.35 a	13.77 ab	1.26 ab	50.60a	31.08ab	65.18ab
45 6.5	57.93 bc	0.41 dc	50.74 b	52.15 b	67.00 a	76.77 a	11.44 bc	1.31 a	48.15b	29.01ab	63.42b
DMSH	5.81	0.09	11.66	15.14	30.66	23.29	4.36	0.09	1.85	2.14	1.77
C.V.	8.23	17.78	18.43	28.87	49.13	28.57	29.17	6.49	3.35	5.99	2.32

SST: Sólidos solubles totales acidez titulable (°Brix); AT: Acidez titulable (% de ácido cítrico); FENT: Fenoles totales (mg EAG 100g⁻¹ de peso seco, EAG: equivalente de ácido gálico); DPPH, FRAP y ABTS: Actividad antioxidante (mg EAA 100g⁻¹ peso seco; EAA: equivalentes de ácido ascórbico); FLAV: Flavonoides (mg EQ 100g⁻¹ peso seco; EQ: equivalentes de quercetina); L*: Luminosidad (100 = blanco, 0 = negro); C*: Cromaticidad (0 = opaco, 100: vivido); h: matiz (0= púrpura, 90 = amarillo, 180:). color Medias con letras diferentes en el sentido de las columnas dentro de cada factor, indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de la DMS (0.05), Coeficiente de variación (C.V.). Convección natural (CN), mixto sin tapa (MIX S/T), horno a 65°C (HN 65), horno a 45°C (HN 45), 65°C a 3.5 m s⁻¹ (65- 3.5), 55°C a 2.5 m s⁻¹ (55- 2.5) y 45°C a 6.5 m s⁻¹ (45- 6.5).

7.5.1 Correlaciones en chicozapote

Las correlaciones entre las variables evaluadas indican asociación positiva y significativa entre la actividad antioxidante por DPPH, FRAP con los fenoles totales, y entre DPPH con vitamina C y entre las actividades antioxidantes de DPPH vs FRAP y DPPH vs ABTS, lo que sugiere que la actividad antioxidante evaluadas por los tres métodos se atribuye a fenoles totales y vitamina C. Y que los flavonoides contribuyen poco, ya que se detectó una asociación negativa entre vitamina C y flavonoides (Cuadro 12).

El mayor contenido de sólidos solubles totales o dulzura de las muestras secas de chicozapote se asociaron positivamente con fenoles y DPPH, pero negativamente con los flavonoides, sugiriendo que aquellas muestras con un sabor más dulce tendrán mayor contenido de fenoles y actividad antioxidante, lo que es benéfico para el consumo humano.

Cuadro 12. Correlaciones entre las variables químicas del chicozapote en seco

VARIABLES	r
SST VS FENT	0.44**
SST VS DPPH	0.34*
SST VS FLAV	-0.31*
DPPH VS FENT	0.74***
FRAP VS FENT	0.41*
L VS SST	-0.38**
L VS FENT	-0.34*
L VS DPPH	-0.34*
C VS DPPH	-0.32*
H VS FRAP	-0.39**
C VS ABTS	-0.33*
DPPH VS VIT C	0.41**
DPPH VS FRAP	0.51**
FRAP VS ABTS	0.58***
VITC VS FLAV	-0.34*

Propiedades químicas de chicozapote seco: sólidos solubles totales (SST), acidez titulable (AT), fenoles (FENT), actividad antioxidante por los métodos DPPH, FRAP y ABTS, vitamina C (VIT C) y Flavonoides (FLAV). (*) <0.005, (**) <0.01 y (***) <0.0001

8. CONCLUSIONES

En el secado de frutos de mamey (*Pouteria sapota*) en hojuelas y pasta tuvieron un tiempo de secado diferente ya que estos fueron diferentes productos finales. Por lo que el tiempo de secado y humedad varia en cada uno, en hojuelas el menor tiempo de secado fue de 160 minutos en el secador mixto sin tapa y para pasta fue de 180 minutos en el secador de prototipo. En el secado de chicozapote (*Manilkara zapota*) se observó el mismo comportamiento, en hojuelas 160 minutos en el secador bajo convección natural y en pasta 180 minutos en el horno prototipo.

En mamey la calidad del fruto seco (dulzor) se mantiene en el secador bajo convección natural y en el horno prototipo se incrementa la actividad antioxidante y concentración de metabolitos funcionales. En chicozapote el dulzor se mantiene en el secado bajo convección natural y en el secador mixto sin tapa se incrementa la actividad antioxidante y la concentración de metabolitos funcionales.

En ambos la calidad del fruto (dulzor) se mantiene en el mismo método de secado, aunque se observó una diferencia entre los métodos en los cuales se incrementa la actividad antioxidante y la concentración de metabolitos funcionales.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, R. V. H., T. Corona T., P. Juárez G., & J. A. Villanueva J. (2018) Caracterización morfológica del chicozapote (*Manilkara zapote*) del centro de Veracruz y Morelos, México: base para su mejoramiento. *Producción Agropecuaria y Desarrollo Sustentable*, 7(1): 13-28.
- Arvouet-Grand, A., B. Vennat, A. Pourrat and P. Legret. 1994. Standardisation dun extrait de propolis et identification des principaus constituants. *J. Pharmacie Belgique* 49: 462-468.
- Arrivallaga, A. 1997. Chicle, chicleros, y chiclería sobre su historia en el Petén. México
- Benzie, I.F. and J.J. Strain. 1996. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "Antioxidant Power": The FRAP assay. *Anal. Biochem.* 239: 70-76.
- Brand W. W., M. E. Culivier, and C. Berset. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food Sci. Technol.* 28: 25-30.
- Castillo Téllez, M., I Pilatowsky Figueroa, B. Castillo Téllez, C. López Vidaña, y A. López Ortiz. 2018. «Solar drying of Stevia (*Rebaudiana Bertoni*) leaves using direct and indirect technologies.» *Solar Drying* 159: 898-907.
- Corzo, O., Ramírez, O., Brach, N. 2008. Aplicación del modelo de peleg en el estudio de la transferencia de masa durante la deshidratación osmótica de láminas de mamey (*Mammea americana* L). *SABER. Revista Multidisciplinaria del Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente.* 20(1): 87-95.
- Colina Irezabal, M. L.. (2010). *Deshidratacion de alimen.* México: Trillas.Crane, J. H. y Balerdi, C. F. (2019). *EL CHICOSAPOTE O NISPERO EN FLORIDA.* 2020, de University of florida Sitio web: <https://edis.ifas.ufl.edu/publication/HS279>
- Espinoza S, Jaime. (2016). Innovación en el deshidratado solar. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 24(Especial), 72-80. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052016000500010>
- Almada, M. C.-S. (2005). *Guía de uso de secadores solares para frutas, legumbres, hortalizas, plantas medicinales y carnes.* Montevideo, Asunción, Paraguay: Fundación Celestina Pérez de Almada.
- Belessiotis, V. &. (2011). Solar Drying. *Solar Energy*, 1665-1691.
- Borys, M. W., & Leszczyńska-Borys, H. (2001). *El Potencial Frutícola de la República Mexicana.* Toluca, México: Fundación Salvador Sánchez Colín.
- Doymaz, I. (2005). Sun drying of figs: an experimental study. . *Journal of Food Engineering*, 403-407.
- Ekechukwu, O. V. (1999). Review of solar-energy drying sistems II: an overview of solar drying technology. *Energy Conversion and Management*, 615-655.
- Hernandez, V. (2017). Mamey, riqueza mexicana. *AgroMarketing*, 1.
- Hii, C. L. (2012). *Solar drying: Fundamentals, applications and innovations.* . Singapore: TPR Group Publication.
- Laínes-Loyo, E. O.-H.-R.-R.-N. (2020). Producción y comercialización del mamey en Alpoyecá, Guerrero: opinión de productores. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(3), 635-647.
- López Vidaña, E. C. (Septiembre de 2016). *Estudio experimental del proceso de secado solar directo e indirecto y su efecto sobre la capacidad antioxidante de la fresa (*Fragaria x ananassa*), arándano azul (*Vaccinium corymbosum*)*

- y zarzamora (*Rubus fruticosus*). Ciudad de México, México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Mujumdar Arun, S. (2006). *Handbook of industrial Drying*. Taylor and Francis.
- Pennington, T. D. (1990). *The genera of sapotaceae*. Great Britain: Royal Botanic Garden Kew.
- SIAP. (27 de 08 de 2019). *Servicio de información Agroalimentaria y Pesquera*. Obtenido de Anuario estadístico de la producción agrícola : <http://www.siap.gob.mx>
- Villegas-Monter, A. E.-S.-R.-A. (2016). ZAPOTE MAMEY [*Pouteria sapota* (Jacq.) Moore & Stearn], DIVERSIDAD Y USOS. *Agroproductividad*, 47-54.
- Jagota, S., H. Dani. 1982. A new colorimetric technique for estimation of vitamin C using folin phenol reagent. *Anal. Biochem.* 128: 178-192.
- León, N. M.J. 2017. Evaluación de compuestos fenólicos en fresa recubierta. *UT* 1-88.
- López V.E.C. 2016. Estudio experimental del proceso de secado solar directo e indirecto y su efecto sobre la capacidad antioxidante de la fresa (*Fragaria x ananassa*), arándano azul (*Vaccinium corymbosum*) y zarzamora (*Rubus fruticosus*). Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México.
- López-Vidaña Erick César, César-Munguía Ana Lilia, García-Valladares Octavio, Pilatowsky Figueroa Isaac, Brito Orosco Rogelio. Thermal performance of a passive, mixed-type solar dryer for tomato slices (*Solanum lycopersicum*), *Renewable Energy*, Volume 147, Part 1, 2020, Pages 845-855, ISSN 0960-1481, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.09.018>.
- Loyo, Eduardo Lainez, Universidad Tecnológica de Acapulco. Av. Comandante Bouganville lote 5, Col. Lomas de Costa Azul, Acapulco, Guerrero, México. CP. 39830, México
- Maupeoy, Fito, Pedro, Ana, María Grau Andres, José Manuel Baviera Barat, y Ana María Sorolla Albors. (2001). *Introducción al secado de alimentos por aire caliente*. España: Byprint Percom,s.l..
- Neguerula, Á.I. (2012). Is the color measured in food the color that we see? In *Color in Food Technological and Psychophysical Aspect*. J.L. Caivano, M. del P. Buera, eds (UK: CRC Press), p. 81-91.
- Paz, M. E. 2005. *Guía de uso de secado solares para frutas, legumbres, hortalizas, plantas medicinales y carnes*. Paraguay: Fundación Celestina Pérez De Almada.
- Pérez-López, A., C. A. Villaseñor P., A. Cano V., D. M. Rangel F., I. Alía T., M. T. Colinas L. (2009). Comportamiento mecánico y fisiológico de frutos de zapote mamey [*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Stearn] bajo compresión. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 1(2): 119-225.
- Popenoe, W. 1948. *Manual of tropical and Subtropical fruit*. Collier- Macmillan Publishers. New York, London. 520 p
- RAMIREZ V.P.; BARRIOS L.C.; JIMENEZ, J.E., ZAVALA, G.F. Entorno de los recursos fitogenéticos en México. In: SIMPOSIUM APORTACIONES DE LA GENOTECNIA A LA AGRICULTURA. CHAPINGO, 2003, México. Memoria... Chapingo: Sociedad Mexicana de Fitogenética, 2003. p.58-87.
- Ramos-Ramírez, X., I. Alía-Tejacal, V. López-Martínez, M. T. Colinas-León, C. M. Acosta-Durán, A. Tapia-Delgado, & O Villegas-Torres (2009). Almacenamiento de frutos de zapote mamey [*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E.

- Moore & Stearn] en atmósfera modificada. Revista Chapingo Serie Horticultura 15(1), 17-23.
- Re, R., N. Pellegrini, A. Proteggente, A. Pannala, M. Yang, and C. Rice-Evans. 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biol. Med.* 26: 1231-1337.
- Rodríguez-Amaya, D. B. Kimura, M., 2004. Harvest Plus Handbook for Carotenoid Analysis. Harvest Plus Technical Monograph 2. Washington DC y Cali. International Food Policy Research Institute and International Center For Tropical Agriculture. 53 p.
- Royen, P. (Octubre 4, 1953). Manilkara zapota. 2020, de CONABIO Sitio web: http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/64-sapot4m.pdf
- RZEDOWSKI, J. La vegetación de México. México: Ed. LIMUSA, 1998. 341 p.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2018. Cierre de la Producción Agrícola (2003-2019). En línea: http://nube.siap.gob.mx/cierre_agricola/. Consultado el 20 de mayo de 2019.
- Silva-Norman, Azucena & L.O, Anabel & García-Valladares, Octavio & Pilatowsky, Isaac & Ramírez, J. (2018). Effect of the solar dehydration on the antioxidant capacity and the content of flavonoids of the blackberry pulp (*rubus* spp). 1-1. 10.4995/IDS2018.2018.7843.
- Solorzano, M. S., Alia-Tejacal, I., Rivera-Cabrera, F., López-Martínez V., Pérez-Flores, L.J., Pelayo-Zaldívar, C., Guillén-Sánchez D., Díaz de León-Sánchez F., Maldonado-Astudillo, Y.I. 2015. Quality attributes and functional compounds of mexican plum (*Spondias purpurea* L.) fruit ecotypes. *Fruits* 70: 261-270.
- Sosa, H. Y. 2018. Calidad y metabolitos funcionales en chicozapote (*Manilkara zapota* L.) 'Betawi' cultivados en diferentes densidades de población. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. 40 p.
- Tiwari, G.N. Tiwari and I.M. Al-Helal. (2016). Development and recent trends in greenhouse dryer: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 65, 1048-1064.
- Toral, J. J. O. 1988. El cultivo de mamey (*Calocarpum zapota*). Escuela Nacional de Fruticultura. Xalapa, Veracruz, México, D. F. 40 p
- Torres, L. P. A., G. Pérez J., J. G. Cruz C. 2008. Enfoques tecnológicos para la fruticultura. In: Enfoques tecnológicos en la fruticultura. Un tributo a Raúl Mosqueda. Cruz, C. J. G. y P. A. Torres L. (Coordinadores). Universidad Autónoma Chapingo. pp: 15-19
- Tovar-Gómez. B.; Mata, M.; de Oca. M.; García, G. H. S. y Montalvo, G. E. 2011. Efecto de emulsiones de cera y 1-metilciclopropeno en la conservación poscosecha de guanábana. *Rev. Chapingo S. Hort.* 17:53-61.
- Umaña-Campos, C. (2000). Injertación del zapote *Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Stearn. Turrialba, C.R.:CATIE:IPGRI.
- Villegas-Gómez, D. A. (2016). Usos de chicozapote (*Manilkara zapota*) en México.
- Waterman, G.P. & Mole, S. (1994). Analysis of phenolic plant metabolites. Oxford, UK: Blackwell Scientific Publications. 238 p.
- Yahia, E. M., & F. Gutiérrez-Orozco (2011). Sapodilla (*Manilkara achras* (Mill). Fosb., syn. *Achras sapota* L. pp: 351-362. In: Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits. V.4. Mangosteen to White sapote.