



INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE HUATUSCO

PROCESO DE SECADO Y REHIDRATACIÓN DEL CHAYOTE (*Sechium edule*)

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

PRESENTA:

C. ALEJANDRA ÁLVAREZ MORALES

DIRECTOR DE TRABAJO RECEPCIONAL

DR. ÓSCAR ANDRÉS DEL ÁNGEL CORONEL

DRA. ALEJANDRA RAMÍREZ MARTÍNEZ

HUATUSCO, VER.

DICIEMBRE 2019

Huatusco, Ver., a 05 de Diciembre de 2019

C. ALEJANDRA ÁLVAREZ MORALES
PASANTE DE LA CARRERA DE
ING. EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS
PRESENTE.

En relación a su solicitud relativa, me es grato transcribir a usted a continuación que después de haber sido analizado exhaustivamente la **TESIS** titulada:

"PROCESO DE SECADO Y REHIDRATACION DEL CHAYOTE (*Sechium edule*)"

Se le notifica que a mi juicio este cumple con los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes de la **TESIS** por lo que se autoriza su impresión.

ATENTAMENTE.


M.M. VÍCTOR MANUEL ARCOS FERIA
DIRECTOR DEL ITSH.


**INSTITUTO TECNOLÓGICO
SUPERIOR DE HUATUSCO**
CLAVE: 3081160132
DIRECCION GENERAL





TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

Huatusco, Ver., a 12 de Abril de 2019
Asunto: **Liberación de Tesis**

ING. CARINA ACOSTA SÁNCHEZ
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES
P R E S E N T E.

Por este medio les informo que ha sido liberado el siguiente proyecto para la Titulación Integral.

Nombre de los egresados	C. Alejandra Álvarez morales
Carrera:	IIAL
No. de Control:	133Z0335
Nombre del Proyecto:	"Proceso de secado y rehidratación del chayote (<i>Sechium edule</i>)"
Producto:	I Tesis

Agradezco de antemano su valioso apoyo en esta actividad para la formación profesional de nuestros(as) egresados(as).

ATENTAMENTE



ING. SALOMON LOPEZ SERRANO
JEFA DE CARRERA DE ING. EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

 Dr. Oscar Andrés Del Ángel Coronel Nombre y Firma del Asesor (a)	 M.C. Magdalena Jiménez Hernández Nombre y Firma del Revisor(a)	 Dra. Noemí Nava Valente Nombre y Firma del Revisor(a)
--	--	---

C.C.P.- División de IIAL- para su conocimiento.
Archivo.



Avenida 25 poniente num. 100 Col. Reserva Territorial
Huatusco, Veracruz, México, C.P. 94100
Tel. (01 273-734-40-00), e-mail: tec_huatusco@hotmail.com
www.itshuatusco.edu.mx



AGRADECIMIENTO

Agradezco, a Dios por darme las fuerzas para que siga adelante día con día.

A las Instituciones: Instituto Tecnológico Superior de Huatusco.

Instituto Tecnológico de Orizaba:

Por abrirme las puertas para recibir mi formación.

Dra. Guadalupe Luna Solano:

Gracias por brindarme la oportunidad de trabajar bajo su dirección y por la confianza otorgada para el desarrollo de este proyecto, así como al compartir sus conocimientos y experiencias para llevar acabo mi formación, pero sobre todo por su amistad y sus sabios consejos.

En usted encontré una amiga muy especial motivadora, alegre, un ejemplo a seguir.

Dra. Alejandra Ramírez Martínez:

Gracias por darme su confianza y apoyo para enriquecer este trabajo de investigación. Gracias por llevar el presente trabajo al Congreso Nacional Agroalimentario donde obtuvimos el reconocimiento del tercer lugar.

Usted le dio un giro a mi vida y me enseñó que esto aquí no se acaba.

Dr. Óscar Andrés del Ángel coronel:

Gracias por dedicarme su tiempo, apoyo y conocimientos durante este proceso de investigación. Sus consejos me inculcaron en mi formación profesional.

A mi comisión revisora:

Por dirigirme y brindarme su apoyo para concluir este trabajo de tesis.

Dra. Noemí Nava Valente

M.C. Magdalena Jiménez Hernández

DEDICATORIAS

Sra. María Dolores Morales Vázquez: Mamá a usted le debo mis logros; es mi fuerza para seguir hasta alcanzar mis metas. Siempre ha estado conmigo en las buenas y en las malas.

A mi hijo Leo Dan: a ti mi pequeño hermoso que eres mi gran orgullo y felicidad. Eres el regalo que Dios y la Virgen de Guadalupe me dio; tú eres mi motor de vida. Me llenas de alegría con tus ocurrencias y sacas lo mejor de mí. Haces que me supere día con día para darte un futuro mejor. Sabes, tú eres mi presente y mi futuro.

A mis hermanos y hermanas: Ángel, Armando, Mario, Francisco, Rafael, Leonardo, Rodrigo, Isidro, Petra y Carmen. Gracias por apoyarme en cada uno de los proyectos emprendidos, siempre diciéndome que sí se puede.

A mi hermano y cuñada: Armando, agradezco de todo corazón que seas el padre de mi hijo haciéndote responsable de él. Siendo tu sobrino lo tratas como tu propio hijo, dándole un buen ejemplo. A ti cuñada Ceci, tu siempre motivándome. Gracias por ser la segunda madre de mi tesoro.

A mis sobrinos: Diego, Iván, Freddy, Erick, Ivette, Ángel, Juan, Cruz, Amellaly, Mario y a mi pequeña y hermosa Lunita. Ustedes me roban una sonrisa. Agradezco por ser la tía más dichosa ya que cuento con ustedes.

A mi abuelo Juan Morales Fuentes: le dedico este logro ya que siempre confió en mí. Hoy le digo que hemos podido triunfar. Me siento bendecida por usted aunque me vea desde el cielo abuelito.

ÍNDICE

	P	
AGRADECIMIENTO		i
DEDICATORIAS		iii
ÍNDICE		iv
ÍNDICE DE FIGURAS		vii
ÍNDICE DE TABLAS.....		ix
RESUMEN		x
ABSTRACT		xi
I. INTRODUCCIÓN.....		1
II. FUNDAMENTO TEÓRICO.....		3
2.1 GENERALIDADES DEL CHAYOTE		3
2.1.1 Diversidad de la especie.....		4
2.1.2 Valor nutrimental		5
2.1.3 Clima y suelos.....		5
2.1.4 Zonas de cultivo y épocas de siembra.		6
2.1.5 Producción mundial y nacional de chayote		7
2.2 EXPORTACIÓN DE CHAYOTE.....		9
2.2.1. Proceso de secado.....		10
2.2.2 Teoría de la deshidratación.....		10
2.2.3 Secado por charolas o en bandejas.....		11
2.2.4 Curvas de secado.....		13

2.3 PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE LOS ALIMENTOS	14
2.3.1 Actividad de agua (a_w)	14
2.3.2 Agua monocapa.....	16
2.3.3 Agua multicapa.....	16
2.3.4 Agua libre	16
2.4 HUMEDAD	17
2.4.1 Humedad relativa (HR)	18
2.4.2 Humedad de equilibrio(X^*)	18
2.4.3 Influencia de la velocidad del aire.....	18
2.4.4 Influencia del grosor y forma de la muestra	19
2.5 COLOR.....	20
2.5.1 El sistema de medición de Hunter	20
2.6 GRADO DE REHIDRATACIÓN	21
2.7 ESTUDIOS REALIZADOS SOBRE CHAYOTE (<i>Sechium edule</i>)	21
2.8 APLICACIÓN DEL SECADO A FRUTAS Y HORTALIZAS	23
III. JUSTIFICACIÓN	24
3.1 Problemas a resolver.....	24
IV. OBJETIVO.....	26
4.1. OBJETIVO GENERAL.....	26
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	26
V. MATERIALES Y MÉTODOS	27
5.1 SELECCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA	27
5.2 Acondicionamiento de la muestra	28
5.3 PROCESO DE SECADO	29
5.3.1 Secado de chayote	29
5.3.2 Metodología del secado.....	29

5.4 CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL CHAYOTE	31
5.5 DETERMINACIÓN DE ACTIVIDAD DE AGUA.....	32
5.6 DETERMINACIÓN DE HUMEDAD	32
5.7 ANÁLISIS DE COLOR	33
5.8 DISEÑO DE EXPERIMENTOS	34
5.9 GRADO DE REHIDRATACIÓN	34
5.10 ANÁLISIS ESTADÍSTICO	35
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	36
6.1 HUMEDAD DEL CHAYOTE	36
6.1.1 Actividad de agua del chayote	37
6.1.2 Color del chayote durante el proceso de secado.....	38
6.1.3 Evolución del parámetro de color a*	40
6.1.4 Evolución del parámetro de color b*	41
6.1.5 Evolución del parámetro de color ΔE	41
6.2 REHIDRATACIÓN DEL CHAYOTE (<i>Sechium edule</i>).....	42
VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	46
Conclusiones y recomendaciones	46
VIII. Referencias Bibliográficas.....	47
IX. Anexos.....	51

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. VARIEDADES DEL CHAYOTE: AMARILLOS; VERDES; Y SILVESTRES (GISEM, 2010). ...	5
FIGURA 2. ESTADÍSTICOS DE LA PRODUCCIÓN DE CHAYOTE EN MÉXICO (SINAREFI, 2015; SIAP 2015)	8
FIGURA 3. CHAYOTE (<i>SECHUM EDULE</i>) CON CALIDAD DE EXPORTACIÓN (WWW .LAS VARIEDADES DEL CHAYOTE GOB.MX)	10
FIGURA 4. REPRESENTACIÓN DEL SECADO POR BANDEJAS QUE SE ENCARGAN Y SE DESCARGAN DE UN GABINETE (GEANKOPLIS, 1998).	12
FIGURA 5. CURVAS DE SECADO DE UN PRODUCTO SOLIDO HÚMEDO POR AIRE CALIENTE A TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA CONSTANTES (GEANKOPLIS, 1998).	13
FIGURA 6. ISOTERMA DESORCIÓN DE HUMEDAD TÍPICA DE UN ALIMENTO (PERRY, 1992).	15
FIGURA 7. ESTABILIDAD DE UN PRODUCTO ALIMENTICIO (PERRY, 1992).	16
FIGURA 8. DIAGRAMA DE COLOR HUNTER (XOTLANIHUA-SOTO, 2011).	20
FIGURA 9. MUESTRA DE CHAYOTE (<i>SECHUM EDULE</i>) UTILIZADO (FUENTE PROPIA).	27
FIGURA 10. RODAJAS (FUENTE PROPIA).	28
FIGURA 11. CUBOS (FUENTE PROPIA).	28
FIGURA 12. TIRAS (FUENTE PROPIA).	29
FIGURA 13. SECADOR UTILIZADO (FUENTE PROPIA).	30
FIGURA 14. COLOCACIÓN DE RODAJAS EN CHAROLAS (FUENTE PROPIA).	30
FIGURA 15. COLOCACIÓN DE CUBOS EN CHAROLAS (FUENTE PROPIA).	31
FIGURA 16. COLOCACIÓN DE TIRAS EN CHAROLAS (FUENTE PROPIA).	31
FIGURA 17. MEDIDOR DE ACTIVIDAD DE AGUA (FUENTE PROPIA).	32
FIGURA 18. TERMOBALANZA DE MARCA SANTORIUS (FUENTE PROPIA).	33
FIGURA 19. COLORIMETRO MINISCAN XE PLUS MARCA HUNTERLAB (FUENTE PROPIA).	33

FIGURA 20. EVOLUCIÓN DE LA HUMEDAD DURANTE EL PROCESO DE SECADO A 60°C.	37
FIGURA 21. EVOLUCIÓN DE LA ACTIVIDAD DE AGUA DEL CHAYOTE DURANTE EL PROCESO DE SECADO A 60°C.	38
FIGURA 22. EVOLUCIÓN DEL PARÁMETRO L^*	39
FIGURA 23. EVOLUCIÓN DEL COLOR DEL CHAYOTE (PARÁMETRO a^*) DURANTE EL PROCESO DE SECADO	40
FIGURA 24. EVOLUCIÓN DEL COLOR DEL CHAYOTE (PARÁMETRO b^*) DURANTE EL PROCESO DE SECADO.	41
FIGURA 25. EVOLUCIÓN DE ΔE DURANTE EL PROCESO DE SECADO.....	42
FIGURA 26. PORCENTAJE DE REHIDRATACIÓN DE MUESTRAS DE CHAYOTE.	43
FIGURA 27. MUESTRAS REHIDRATADAS A TEMPERATURA DE 20°C. A (RODAJAS, B (CUBOS Y C (TIRAS.....	44
FIGURA 28. MUESTRAS REHIDRATADAS A TEMPERATURA DE 50°C A (CUBOS, B (RODAJAS Y C (TIRAS.....	45
FIGURA 29. A) DETERMINACIÓN DE TEMPERATURA A 85°C, MUESTRAS REHIDRATADAS, B) RODAJAS, C) TIRAS Y D) CUBOS	45

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 CLASIFICACIÓN DE CHAYOTE.....	4
TABLA 2 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE FRUTO, TALLOS TIERNOS Y RAÍCES DE SECHIU M EDULE (EN100G).....	6
TABLA 3 PRODUCCIÓN DE CHAYOTE POR ENTIDAD PRODUCTORA EN MÉXICO (OIEDRUS, 2017)	8
TABLA 4 PRODUCCIÓN DE CHAYOTE EN EL ESTADO DE VERACRUZ	9
TABLA 5 DATOS EXPERIMENTALES LLEVADOS A CABO CON LA ZANAHORIA Y PAPA, CORTADAS EN VARIAS FORMAS.....	19
TABLA 6 DISEÑO EXPERIMENTAL APLICADO EN EL PROCESO DE REHIDRATACIÓN DE MUESTRAS DE CHAYOTE.	34

Proceso de secado y rehidratación del chayote (*Sechium edule*)

A. Álvarez-Morales¹

¹Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico Superior de Huatusco. División de Ingeniería en Industrias Alimentarias. Av. 25 Poniente No. 100 Col. Reserva Territorial. Huatusco, Ver. C.P. 94100. Correo-e: alejandraalvarezmoralez92@gmail.com

RESUMEN

El chayote (*Sechium edule*) es una fruta de la que se dice que es una nutritiva y que posee propiedades curativas. El 90% de su peso está compuesto por agua, lo que hace que esta fruta muy perecedera. El secado convectivo es una excelente opción para reducir la pérdida de este producto, así como de prolongar su vida útil. Por consiguiente, el objetivo principal de este trabajo fue evaluar las características físico-químicas de diferentes muestras de chayote (rodajas, cubos y tiras) durante su secado y el proceso de rehidratación. Los resultados sugieren que los cubos representan una alternativa para uso comercial como aditivo en los alimentos debido a su tamaño.

Palabras clave: chayote, secado conectivo, proceso de rehidratación, propiedades fisicoquímicas.

The drying and rehydration process of chayote (*Sechium edule*)

A. Álvarez-Morales¹

¹Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico Superior de Huatusco. División de Ingeniería en Industrias Alimentarias. Av. 25 Poniente No. 100 Col. Reserva Territorial. Huatusco, Ver. C.P. 94100. Correo-e: alejandraalvarezmoralez92@gmail.com

ABSTRACT

Chayote (*Sechium edule*) is a fruit that is said to be a nutritional and have healing properties. 90% of its weight is made up of water which makes this fruit highly perishable. Convective drying is an excellent option to reduce the loss of this product as well as prolong its shelf life. Thus, the main objective of this work was to assess the physicochemical characteristics of different chayote samples (slices, cubes and strips) during its drying and rehydration process. Results suggest that cubes represent an alternative for commercial use as an additive in foodstuffs due to their size.

Keywords: chayote, convective drying, rehydration process, physiochemical properties.

I. INTRODUCCIÓN

El estado de Veracruz está clasificado como uno de los mayores productores de chayote (*Sechium edule*) en México (SIAP, 2016). Este producto es un alimento que contiene carbohidratos, proteínas, calcio, fósforo, hierro, vitamina A, riboflavina, niacina, ácido ascórbico, azúcares solubles y agua entre otros componentes (CONVECA, 2004). Debido a su contenido de nutrientes, el chayote se ha convertido en un complemento alimenticio en la dieta de una parte de la población mexicana y de otros países (Lira, 1996), sin embargo, este fruto presenta importantes pérdidas postcosecha por su alto contenido de humedad (90% de agua) lo que también dificulta su exportación (Cadena-Iñiguez y Arévalo-Galarza, 2010).

Un proceso que permite prolongar la vida útil de los alimentos con alto contenido de humedad es la deshidratación también llamada secado el cual reduce la actividad de agua de los productos al disminuir su contenido de humedad. Existen diferentes métodos de secado, de entre los cuales el secado por charolas constituye una alternativa eficiente y económica para la deshidratación del chayote ya que el equipo utilizado es de operación sencilla (Geankoplis, 1998). En el proceso de secado de los alimentos es importante verificar que las propiedades iniciales del alimento, tal como su estructura, no sean alteradas de manera irreversible ya que esto podría afectar la aceptación del producto por los consumidores. El estudio de la rehidratación de los productos deshidratados permite verificar de manera sencilla el grado de afectación de la estructura de un alimento secado previamente (Cheftel *et al.*, 1992). Considerando lo anterior, el presente trabajo de tesis presenta información sobre el proceso de deshidratación y rehidratación de muestras de chayote cortadas en varias

geometrías. La información obtenida permitirá determinar condiciones de secado y rehidratación adecuadas para la posible comercialización del producto.

II. FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1 GENERALIDADES DEL CHAYOTE

El chayote (*Sechium edule*) (Jacq) SW., (Cucurbitácea), es originario de Mesoamérica, donde se encuentra la mayor diversidad genética, pero se cultiva de manera rústica en muchas partes del mundo, siendo uno de los frutos más accesibles para los grupos de bajos ingresos (Alvarenga-Venutolo et al., 2007).

La planta en la que crecen son guías que rebasan los seis metros de largo; sus hojas son acorazonadas, anguladas y ásperas, miden entre 10 y 15 cm (Gamboa, 2005). El fruto es una baya solitaria o en pares sobre un mismo pedúnculo, periforme o redondeo, de apariencia tosca, carnoso, jugoso y sabor suave, generalmente de color verde en diferentes tonos, dependiendo de la variedad pesa de 200 g a 2kg (Alvarenga-Venutolo et al., 2007). El chayote posee un bajo contenido de lípidos, proteínas y calorías, pero es una fuente importante de minerales, aminoácidos y vitaminas (Ordoñez et al., 2006). Además, alrededor del 95% en peso fresco de la fruta es agua (Cadena-Iñiguez y Arévalo-Galarza, 2010).

Aunque su principal uso alimentario es para elaboración de alimentos infantiles, jugos, salsa y pastas también es utilizado con fines artesanales y medicinales principalmente (Lira, 1996). Así también se le atribuyen propiedades diuréticas en sus hojas y semillas, además de propiedades cardiovasculares y antiinflamatorias (hojas y el fruto). El consumo de chayote también se ha asociado con la mitigación de la retención de la orina y el ardor al orinar cuando se disuelven piedras del riñón bajo tratamiento (CONVECA, 2004).

La especie (*Sechium edule*) pertenece a la familia de las Cucurbitáceas, uno de los grupos de plantas con mayor número de especies con importancia económica y cultural. En México se han reportado 141 especies pertenecientes a 38 géneros de las subfamilias Cucurbitoide y Zanoioideae (Lira, 1996) de las cuales en Veracruz se encuentra 23 géneros y 825 especies (Nee, 1993). La especie *Sechium edule* fue descubierta y descrita por Browne en 1979 en Jamaica y posteriormente en 1763 fue clasificado simultáneamente como *Sycos edulis* por Jacquin y como *Choco edulis* por Adanson. En 1788, Jacquin, cambio su nombre a *C. edulis* y lo colocó en el género chayota. Pocos años después, Swartz, en 1800, fue el primero en incluir esta especie en *Sechium* cuando propuso el nombre por el chayote es conocido actualmente, *S. edule* (Jacq) Swartz. De acuerdo a Lira (1996), la clasificación taxonómica del chayote es la descrita en la Tabla 1.

Tabla 1. Clasificación de chayote.

Reino	Plantae
Subdivisión	Angiosperma
Subclase	Metalamideae
Orden	Cucurbitales
Familia	Cucurbitácea
Género	<i>Sechium</i>
Especie	<i>Sechuim edule</i> (Jacq) Swartz

Fuente: Lira (1996)

2.1.1 Diversidad de la especie

En nuestro país existen variedades de especies, pero solo una se comercializa (*Virens Levis*) y se exporta. Otras variedades cultivadas se encuentran en áreas de traspatio y se distinguen de acuerdo a la forma, tamaño, color, sabor y textura de estos frutos. La producción de los frutos a fin es la venta en mercados locales y autoconsumo (Cadena-Iñiguez, 2005) los tipos amarillos, verdes y silvestres como se muestran en la (Figura 1).

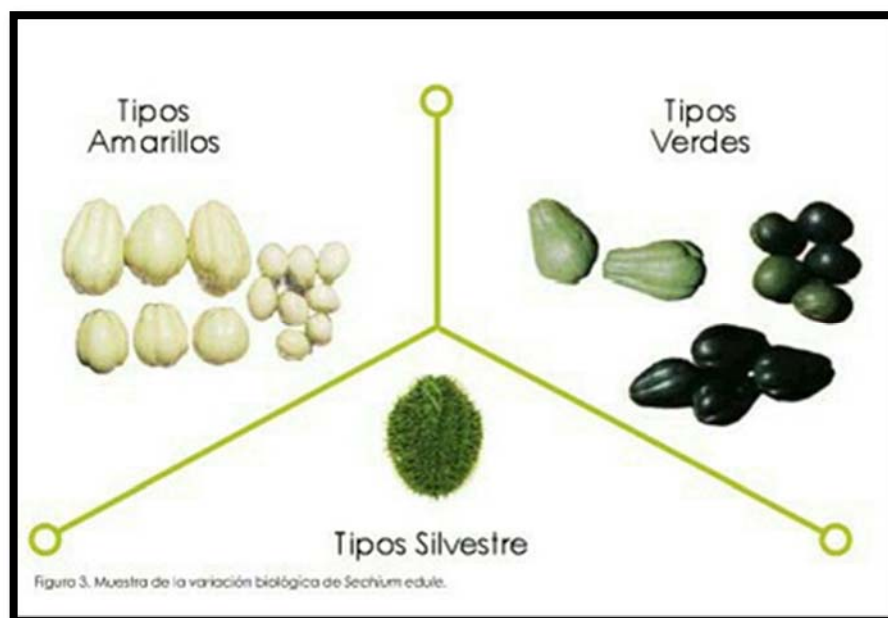


Figura 1. Variedades del chayote: amarillos; verdes; y silvestres (GISEM, 2010).

2.1.2 Valor nutrimental

El chayote es un alimento completo que posee carbohidratos, proteína, calcio, fósforo, hierro, vitamina A, tiamina, riboflavina, niacina, ácido ascórbico, azúcar soluble y agua. En la Tabla 2 se pueden observar las características de composición de este fruto (Engels, 1983).

2.1.3 Clima y suelos.

El chayote crece entre 0 y 2800 metros sobre el nivel de mar pero para una producción intensiva, aquellas zonas que se encuentran entre 1000 y 1200 metros son las mejores. La temperatura más adecuada para el crecimiento del fruto varía entre 13 y 21°C. Temperaturas inferiores a 13°C reducen la producción ya que dañan los frutos pequeños; las superiores a 28°C favorecen el crecimiento excesivo, la caída de flores y de frutos pequeños que disminuyen la producción. El fruto también requiere de una alta humedad relativa (entre 80 y 85%) y de una precipitación entre 1500 y 2000 mm a lo largo del año por lo que el riego en la época seca es imprescindible (CONVECA, 2004; 2010).

Tabla 2 Composición química de fruto, tallos tiernos y raíces de *Sechium edule* (en100g)

Componentes	Fruto	Semilla	Tallo	Raíz
Calorías	26-31	----	60	79
Humedad (%)	89-93	----	89.7	79.7
Azúcar soluble (%)	3.3	4.2	0.3	0.6
Proteínas (%)	0.9-1.1	5.5	4	2
Grasas (%)	0.1-0.3	----	0.4	0.2
Carbohidratos (%)	3.5-7.7	60	4.7	17.8
Fibras (%)	0.4-1	----	1.2	0.4
Vitamina A (mg)	5	----	615	----
Tiamina(mg)	0.03	----	0.08	0.05
Riboflavina(mg)	0.04	----	0.18	0.03
Niacina (mg)	0.4-0.5	----	1.1	0.9
Ácido ascórbico (mg)	11-20	----	16	19

Fuente: Lozano y Rojas, (2005)

2.1.4 Zonas de cultivo y épocas de siembra.

Las regiones aledañas a Veracruz presentan un alto nivel de producción de chayote debido a que se localiza en una zona en la cual las condiciones de clima son propicias para este cultivo. El chayote produce más frutos en los suelos sueltos y profundos, ricos en materia orgánica (tal como los registrados en las zonas aledañas de Veracruz) y se desfavorece en suelos muy arcillosos o arenosos (Cadena-Iñiguez y Arévalo-Galarza, 2010). Los suelos arcillosos o con alta retención de humedad favorecen la incidencia de las enfermedades que causan la muerte

de las plantas y la vejiga en el fruto. No existe una fecha de siembra definida, ya que se siembra, en cualquier mes del año, sin embargo; para los agricultores que no cuentan con riego, es más deficiente el establecimiento en el inicio del periodo lluvioso (CONVECA, 2010).

La semilla del chayote se siembra previamente brotada. Para ello se cosechan chayotes sazones y se colocan en lugares oscuros y húmedos donde ocurre el brote. Después se sacan al campo a un lugar sombreado y poco a poco se van expandiendo al sol. Cuando los brotes tienen unos 20 cm de altura se considera lista para pintarla. Por esta razón esta semilla no se entierra al sembrarla si no que únicamente se coloca en el suelo previamente preparado, dejando la parte superior descubierta. Cuando la planta inicia la producción de frutos (4-5 meses) se deben eliminar las plantas cuyos frutos tienen características indeseables; por esta razón normalmente se acostumbra sembrar en cada sitio, dos o tres plantas (Lira, 1996).

2.1.5 Producción mundial y nacional de chayote

Los principales países productores de chayote además de México, son Costa Rica, Guatemala, Brasil, Estados Unidos de América, Argelia, India, Nueva Zelanda y Australia (Olguín-Hernández et al., 2013). Costa Rica es el principal exportador de chayote del mundo y durante los últimos cinco años Costa Rica ha surtido al menos el 82% de las importaciones de chayote de Estados Unidos. Los otros proveedores de este país son México y el resto de los países de Centroamérica.

En México los estados que generan una mayor producción para el mercado son: Chiapas, Michoacán, Estado de México, Nayarit, Jalisco y Veracruz. Este último es el principal productor nacional con una superficie aproximada de 2,500 ha anuales que aportan el 87% del volumen total y reporta producción durante todo el año (SIAP, 2016). En la Tabla 1.3 se observan los valores de producción de chayote en México en un periodo de 10 años (COVECA, 2010).

A pesar de que Veracruz es la entidad que ocupa el primer lugar en superficie sembrada y cosechada de chayote, otros estados como Michoacán le van a la zaga con diferencias en

volúmenes (Figura.2), atendiendo nichos de mercado específicos como el de exportación (OIEDRUS, 2017). En la figura muestra la producción de chayote en los principales municipios productores del estado de Veracruz.

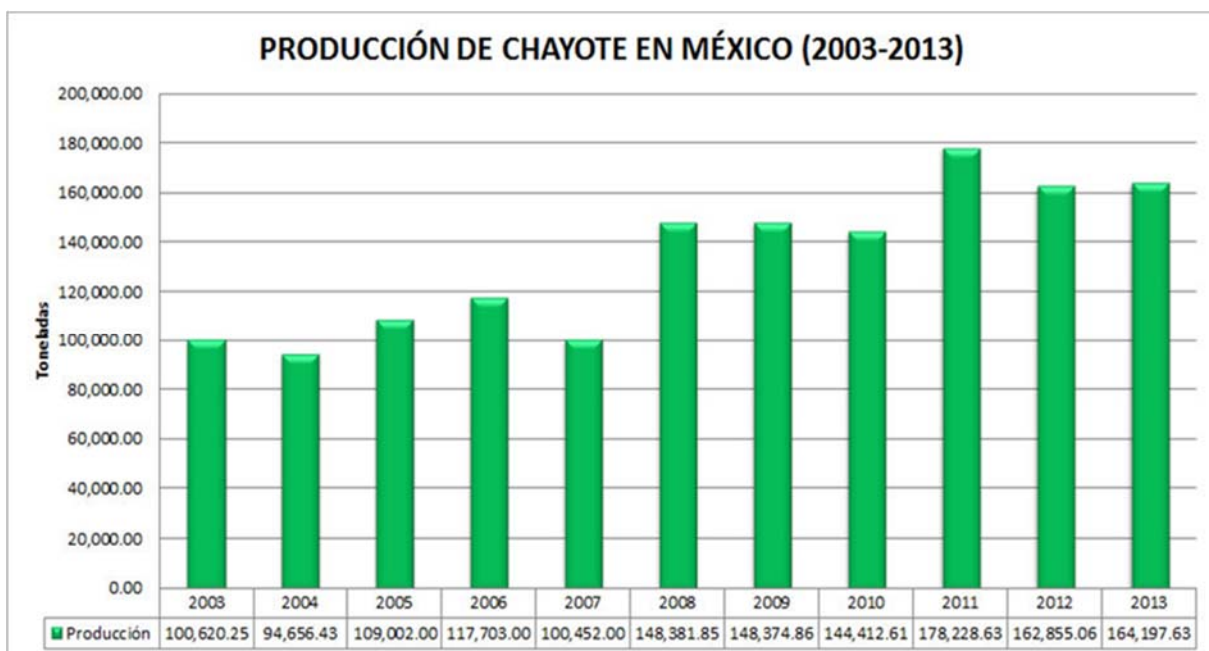


Figura 2. Estadísticos de la producción de chayote en México (SINAREFI, 2015; SIAP 2015)

Tabla 3. Producción de chayote por entidad productora en México (OIEDRUS, 2017)

Estados	2004	2005	2006	2007	2008
Veracruz	69,438	82,019	88,977	74,062	112,361
Michoacán	15,854.63	17,600	18,720	16,768	18,439.95
Jalisco	5,089	6,425	5,782	6,656	14,540
San Luis Potosí	2,000	1,500	2,400	1,700	1,500
México	750	1,000	1,000	665	977.5
Total	94, 656.43	109,002	117,703	100,452	148,381.85

Fuente: www.siacon.sagarpa.gob.mx

Tabla 4. Producción de chayote en el estado de Veracruz.

Municipio	2004	2005	2006	2007	2008
Actopan	21,760	19,924	22,896	19,380	40,460
Ixtaczoquitlán	9,060	23,985	25,404	17,160	28,645
Coscomatepec	21,000	21,000	24,000	24,000	23,700
Ixhuatlán del café	3,010	5,600	5,600	5,950	6,035
Chocaman	4,500	3,150	3,375	2,255	4,125
Total	69,438	82,019	88,977	74062	112,361

Fuente: www.oedrus.gob.mx.

2.2 EXPORTACIÓN DE CHAYOTE

La selección de frutos de exportación, es el producto del proceso de selección realizando a través de muchos años por los agricultores. La Figura 3 presenta un fruto de chayote con características de exportación. Los frutos de exportación deben ser sin espinas, sin estrías longitudinales, de superficie lisa, de forma aperada, de color verde claro, de tamaño entre 10 y 12 cm con un diámetro máximo de 8 cm y con un peso aproximado entre 300 y 350 g cada fruto, con una longitud promedio de 8 a 9 cm de diámetro (Parking *et al.*, 1989).

Se ha identificado que los principales factores que generan defectos que limitan la exportación del chayote incluyen la mala manipulación de los frutos, el daño de origen mecánico por compresión en el producto, y daños por refrigeración (Morton, 1981). Particularmente, en el estado de Veracruz, se ha identificado que los productores se enfrentan a diversas problemáticas para la exportación del chayote las cuales incluyen daños físicos que generan obscurecimiento del pericarpio, formación de depresiones, maduración incompleta, incremento de la susceptibilidad al ataque microbiano, formación de brotes y pérdidas de peso (Parking *et al.*, 1989). México tiene grandes pérdidas económicas en la exportación de chayote ya que varios frutos presentan los defectos antes mencionados.

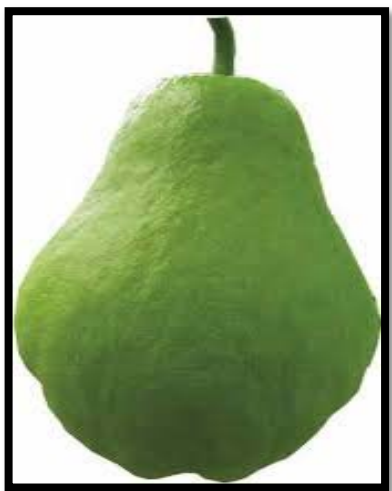


Figura 3. Chayote (*Sechium edule*) con calidad de exportación (www .LAS VARIEDADES DEL CHAYOTE gob.mx)

2.2.1. Proceso de secado

El secado generalmente se refiere a la remoción de líquido de un sólido por evaporación. Este proceso es el más antiguo utilizado para la preservación de los alimentos, siendo uno de los métodos más comunes vigentes de mayor importancia en todos los sectores para la producción de productos sólidos (Perry, 1992).

El agua retirada durante el secado, deshidratación o concentración, puede ser eliminada de los alimentos por simples condiciones ambientales o por una variedad de procesos controlados de deshidratación en los que se someten a técnicas que emplean diferentes medios como calor, aire, frío, y osmosis. Muchos productos requieren ser secados para su adecuada conservación hasta que llegan a centros de consumo.

2.2.2 Teoría de la deshidratación

La deshidratación se define como aquella operación unitaria mediante la cual se elimina la mayor parte del agua de los alimentos. El objetivo principal de la deshidratación consiste en

prolongar la vida útil de los alimentos por reducción de su actividad de agua. El secado es un proceso en el que se intercambian calor y masa e implica la transferencia de un líquido procedente de un sólido húmedo a una fase gaseosa no saturada. Cuando un sólido húmedo es sometido a un proceso de secado, se presentan dos subprocesos (Fellows, 1994):

1- Transferencia de la humedad interna del sólido hacia la superficie de este y su subsecuente evaporación. El movimiento de la humedad dentro del sólido es una función de la naturaleza física del sólido, de la temperatura y del contenido de humedad.

2- Transferencia de energía en forma de calor del ambiente que rodea al sólido para evaporar la humedad a la superficie. Este segundo subproceso depende de las condiciones externas de temperatura, humedad y flujo del aire, presión, área de exposición y el tipo de secador (Hudson, 1990).

En los alimentos deshidratados la inhibición del crecimiento microbiano y de actividad enzimática se produce por descenso de su actividad de agua, ya que, por ello, el tratamiento térmico que reciben es ineficiente. El alimento al ser deshidratado reduce también su peso y volumen, lo que reducen los gastos de transporte y almacenamiento. En algunos casos sirve también para poner al alcance del consumidor una mayor variedad de alimentos de más cómoda utilización.

2.2.3 Secado por charolas o en bandejas

El funcionamiento satisfactorio de los secadores de charolas depende del mantenimiento de una temperatura constante y una velocidad de aire uniforme sobre todo del material que se esté secando ya que la velocidad y uniformidad del secado, son dos factores importantes que afectan la calidad del proceso y evitan las pérdidas físicas, estructurales, químicas y nutricionales del alimento (Perry, 1992; Geankoplis, 1998). Tomando en cuenta lo anterior, conviene tener una circulación de aire con velocidades de 1 a 10 m/s para mejorar el coeficiente de transferencia de calor en la superficie y eliminar bolsas de aire estancado. La corriente de aire adecuada para este género de secadores depende de que el ventilador tenga una capacidad suficiente, del diseño de la red de ductos para modificar cambios repentinos de dirección y de desviadores correctamente ubicados. La corriente de aire no uniforme es uno de los problemas más graves

que se presentan en el funcionamiento de los secadores de charolas (Cheftel *et al.*, 1992; Geankoplis, 1998).

Los secadores de charolas pueden ser del tipo de carretillas de charolas o de charolas estacionarias. En el primer caso, las charolas se colocan sobre carretillas que empujan hasta el inferior del secador y, en el segundo las charolas se colocan directamente en bastidores fijos dentro del secador. Las carretillas están provistas de ruedas con pequeña que corren sobre carriles, o bien, de ruedas planas giratorias. También se pueden suspender de monorraíles sobre los cuales se desplazan. Las carretillas cuentan por lo común con dos hileras de charolas, cada una de las cuales tiene de 18 a 48 charolas, según sean las dimensiones de estas. Se prefieren las charolas metálicas, ya que conducen el calor con mayor facilidad. Las cargas de las charolas varían comúnmente de 1.25 a 10 cm de profundidad (Cheftel *et al.*, 1992).

El aire de secado se hace circular por medio de ventiladores de hélice o centrífugos; por lo común, el ventilador se monta dentro o directamente arriba del secador. La caída total de presión por charolas, los calentadores y los ductos es, casi siempre, del orden de 2.5 a 5 cm de agua. Si existe recirculación de aire, esta es usualmente del orden de 80 al 90%, excepto durante la etapa inicial de desecación de evaporación rápida (Geankoplis, 1998).

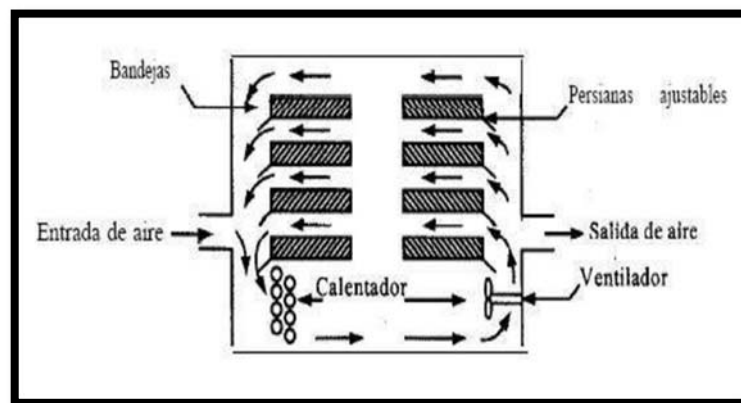


Figura 4. Representación del secado por bandejas que se encargan y se descargan de un gabinete (Geankoplis, 1998)

Cuando los materiales no se pueden secar en forma satisfactoria con aire a presión atmosférica normal, en virtud de que se deterioran a las temperaturas que se necesitan obtener para llegar a una proporción razonable de secado; o bien, por que son capaces de relacionar con el oxígeno del aire se eligen otros métodos de secado en lugar del secado por charolas (Perry, 1992).

2.2.4 Curvas de secado

El secado de sustancias higroscópicas tales como los alimentos es complejo y puede variar de un alimento a otro. Este comportamiento puede estudiarse experimentalmente en diversos tipos de secadores, midiendo la pérdidas de peso de un producto sólido en el curso del tiempo y en función de diferentes parámetros (velocidad, temperatura y humedad del aire de secado) a través de curvas de secado (Geankoplis, 1998).

Las curvas de secado se obtienen graficando sobre un diagrama el contenido en agua del producto o bien la velocidad de secado en función del tiempo. También se puede representar la velocidad de secado en función del contenido en agua del producto como se muestra a continuación en la Figura 5 (Cheftel *et al.*, 1992).

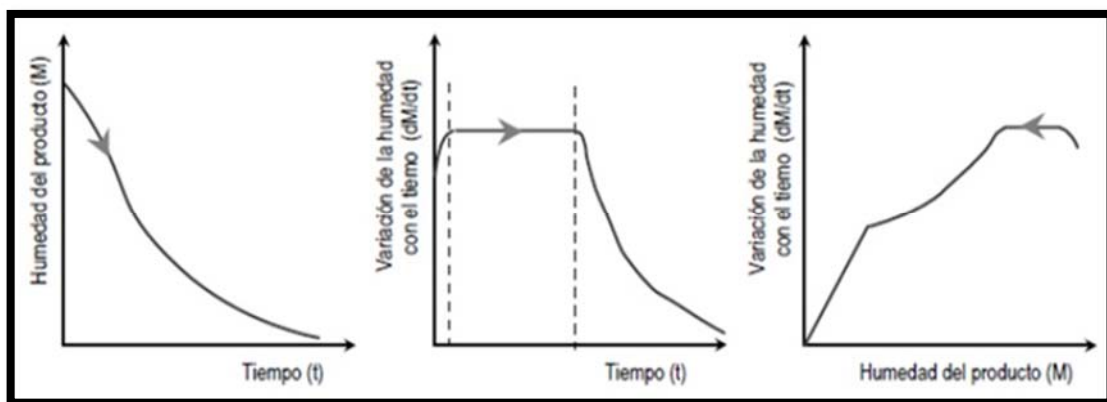


Figura 5. Curvas de secado de un producto sólido húmedo por aire caliente a temperatura y humedad relativa constantes (Geankoplis, 1998).

2.3 PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE LOS ALIMENTOS

Al deshidratar los alimentos, se producen cambios físicos y químicos que influyen en la calidad final por lo que en la producción de cualquier alimento deshidratado no solo es necesario optimizar la operación en términos de volumen de producción o costo, sino que además es necesario satisfacer las necesidades y requerimientos del consumidor.

El interés por mejorar la calidad de este tipo de productos, especialmente de frutas y vegetales secos conduce a estudiar las diferentes propiedades fisicoquímicas de los alimentos ya que, estas, definen las características finales, vida útil y precio del producto deshidratado. Las investigaciones llevadas a cabo en este campo han permitido minimizar los aspectos negativos de los productos deshidratados de manera que las industrias de este sector ofrecen al mercado mayor calidad, es decir productos secos de rápida constitución que poseen propiedades sensoriales lo más parecidas a las del alimento fresco (Cheftel *et al.*, 1992).

2.3.1 Actividad de agua (a_w)

El agua es un componente mayoritario en los alimentos en donde contribuye en forma determinante a características como la textura, apariencia, sabor, entre otros. Igualmente, el agua es un factor importante en el deterioro de los alimentos por el papel que desempeña en diferentes reacciones químicas y enzimáticas así como el desarrollo microbiano (Geankoplis, 1998). Es así que Scott en 1957 introduce el concepto de actividad de agua. Este término ha resultado muy adecuado para indicar la estabilidad de un producto y toma en cuenta la interacción del agua con otros contribuyentes del alimento en condiciones de equilibrio termodinámico (Wolti y Vergara, 1997).

De una forma simple, la actividad de agua puede ser considerada una medida indirecta del agua, que está disponible en un producto, para participar en diferentes reacciones deteriorarias y en el crecimiento microbiano. Puede ser descrita en su forma más simple por la ecuación 1.1 la cual expresa la relación de la presión parcial de vapor de agua del alimento dividida por la

presión de vapor la presión de vapor del agua pura, ambas medidas a la misma temperatura de tal manera que su valor varía de 0 a 1:

$$a_w = p/p^\circ \dots\dots\dots (1.1)$$

En donde a_w es la actividad de agua, p es la presión parcial de vapor de agua de alimento y p° es la presión de vapor de agua pura. En el equilibrio, la actividad de agua también se relaciona con la humedad relativa (HR) del medio ambiente que rodea el producto a través de la ecuación 1.2:

$$a_w \cdot (100) = \% \text{ de humedad relativa de equilibrio} \dots\dots\dots (1.2)$$

Es posible establecer la relación entre la humedad del ambiente y la actividad de agua de un alimento a través de una isoterma de sorción (Figura 6). Asimismo, la la desorción y adsorción de agua en un alimento está relacionada con la calidad de los alimentos a través de la actividad de agua (Figura 7). Específicamente, las reacciones que pueden presentarse en los alimentos están relacionadas con el estado en el que las moléculas de agua interaccionan con la matriz de un alimento (Cheftel *et al.*, 1992). De acuerdo al grado de interacción, el agua se clasifica en agua libre, multicapa y monocapa.

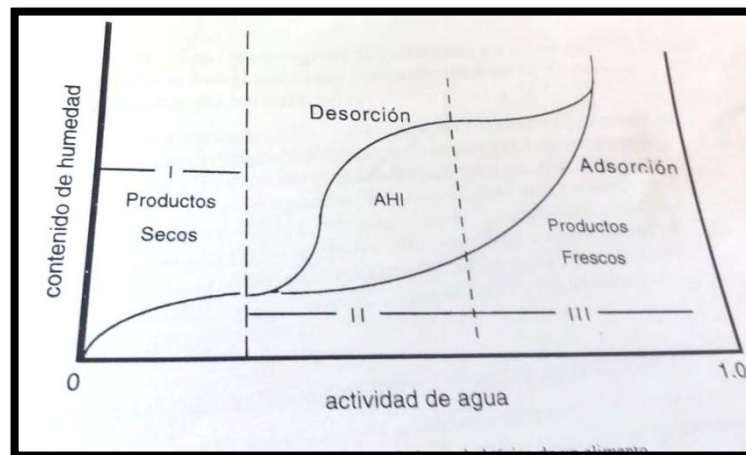


Figura 6. Isoterma desorción de humedad típica de un alimento (Perry, 1992).

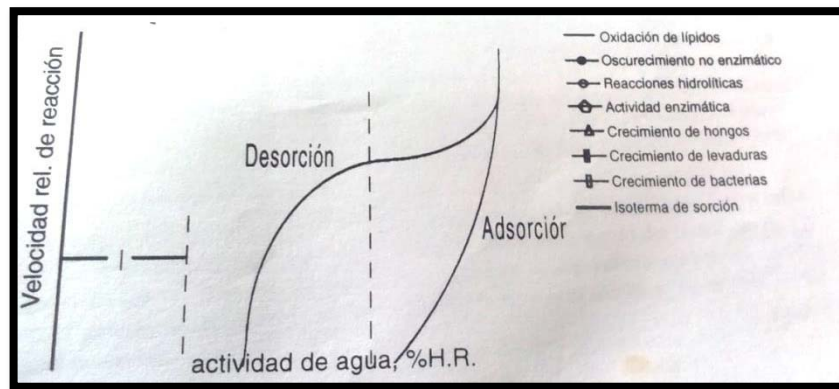


Figura 7. Estabilidad de un producto alimenticio (Perry, 1992).

2.3.2 Agua monocapa

Se considera al contenido de agua en una matriz cuando la actividad de agua es menor de 0.2 ($a_w < 0.2$). Está fuertemente unida a sitios específicos ya que se une con los constituyentes del alimento como proteínas y polisacáridos por puentes de hidrógeno o enlaces ion-dipolo. Para eliminar este tipo de agua se requiere teóricamente grandes cantidades de energía (Perry, 1992).

2.3.3 Agua multicapa

Se refiere al contenido de agua donde el rango de actividad de agua se encuentra entre 0.2 y 0.5 ($0.2 < a_w < 0.5$). En este rango, la presión de vapor de agua sufre una depresión por estar en pequeños capilares de radio “r” (Perry, 1992).

2.3.4 Agua libre

Se refiere al contenido de agua donde el rango de actividad de agua es mayor de 0.5 ($a_w > 0.5$). El agua en este rango tiene la capacidad de actuar como solvente de los constituyentes presentes en los alimentos. Es relativamente más sencilla de eliminar en los procesos de secado, este tipo

de agua se dice que participa en reacciones de deterioro. Regularmente se encuentra contenida en los espacios vacíos de los sólidos (Perry, 1992).

2.4 HUMEDAD

El contenido de humedad es un factor determinante en las propiedades de los alimentos tales como sabor, textura, y tiempo de vida de anaquel. Sin embargo, no es posible predecir estas propiedades como una función de humedad sin tomar en cuenta el estado en el que se encuentre el agua. Por ejemplo, existe evidencia de que la actividad microbiana y la vida de anaquel dependen del grado de movilidad de agua (Chirife y Buera, 1994). El contenido de humedad de un sólido puede expresarse sobre base seca o base húmeda.

En los cálculos de secado resulta más conveniente referir la humedad en base seca (X_{bs}), debido a que esta permanece constante a lo largo del proceso de secado (Medrano, 2001). Por lo tanto, el contenido de humedad en base seca es el contenido de agua (*g de agua*) con relación a la masa totalmente seca sólida (*g de sólido*) y se expresa mediante la ecuación 1.3 (Chirife y Buera, 1994):

$$X_{bs} = \frac{g \text{ de agua}}{g \text{ de sólido}} \quad (1.3)$$

Por el contrario, el contenido de humedad en base húmeda (X_{bh}) es la cantidad de agua en relación a la masa total del sólido (*g de sólidos + g de agua*), expresada mediante la ecuación 1.4 (Chirife y Buera, 1994):

$$X_{bh} = \frac{g \text{ de agua}}{g \text{ de sólidos} + g \text{ de agua}} \quad (1.4)$$

2.4.1 Humedad relativa (HR)

El contenido de humedad relativa en el aire es importante para la estabilidad de un alimento cuando se utiliza un empaque totalmente impermeable. Al contenido de agua en el aire se le conoce como humedad relativa (*HR*) y se define como el porcentaje de saturación de aire con vapor de agua, es decir, la relación entre la cantidad de vapor de agua que contiene un metro cúbico de aire en unas condiciones determinadas de temperaturas y presión y la que tendrían si estuviera saturado a la misma temperatura y presión. La humedad relativa de una muestra de aire depende de la temperatura y de la presión a la que se encuentra (ecuación 1.5) (Medrano, 2001):

$$HR = \frac{e}{E(100)} \quad (1.5)$$

En donde *e* corresponde a la presión de vapor de agua y *E* es la presión de saturación de vapor de agua.

2.4.2 Humedad de equilibrio(X*)

Se denomina humedad de equilibrio del sólido a la humedad alcanzada por el sólido en equilibrio con el aire en las condiciones dadas. La humedad de equilibrio (*X**) es el límite al que puede llevarse el contenido de humedad de una sustancia por contacto con aire de humedad y temperatura determinadas. Si la humedad del sólido es mayor que la de equilibrio, el sólido se secará hasta alcanzar la humedad de equilibrio, mientras que si su humedad es menor que la de equilibrio absorberá agua del aire hasta que alcance las condiciones de equilibrio (Medrano, 2001).

2.4.3 Influencia de la velocidad del aire

La deshidratación de un alimento consta de dos etapas: el calentamiento del producto y la extracción de humedad del producto. Al deshidratar alimentos se debe procurar obtener una

velocidad máxima en el secado a fin de acelerar las velocidades de la transferencia de calor y de masa por lo que es necesario tomar en cuenta algunas consideraciones. Una de ellas sería el área de superficie de la muestra a deshidratar. Generalmente, el alimento a deshidratar se subdivide en capas delgadas o piezas pequeñas a fin de acelerar la transmisión de calor y transferencia de masa. La subdivisión acelera el secado ya que una mayor área proporciona más superficie de contacto con el medio de calentamiento y mayor superficie desde la cual se puede transferir la humedad (Fellows, 1994).

2.4.4 Influencia del grosor y forma de la muestra

Como se mencionó anteriormente, entre mayor sea el área superficial mayor será la transferencia de masa. Por esto, los alimentos se secan mejor si se dividen en piezas pequeñas o capas delgadas. Investigaciones realizadas con diferentes frutos han demostrado que, al ser fraccionados, ya sea en rodajas, tiras, cubos, entre otras formas posibles, se presenta mayor pérdida de agua que si estuvieran enteros como se muestra en la Tabla 5 (Krokida *et al.*, 2003).

Tabla 5. Datos experimentales llevados a cabo con la zanahoria y papa, cortadas en varias formas.

Tamaño	Tiempo en horas	
	Papas	Zanahoria
Rebanada de 12 mm	14	9.5
Rebanada de 6 mm	10.5	7
Rebanada de 3 mm	4.75	3.25
Cubitos de 12 mm	7	5
Cubitos de 9 mm	6	3.5
Tiras para sopa	4.5	3

Fuente: Krokida (2003)

2.5 COLOR

El color es una característica importante para evaluar un producto ya que representa la primera impresión del consumidor para aceptarlo y compararlo, y posteriormente consumirlo. Los cambios químicos experimentados por los pigmentos están producidos por el calor y la oxidación que tiene lugar durante el proceso. Por lo general, cuanto más largo es el proceso de secado son mayores las pérdidas de estos pigmentos por lo que pueden utilizarse algunos compuestos para mejorar las características fisicoquímicas del producto como son los antioxidantes (Xotlanihua-Soto, 2011).

2.5.1 El sistema de medición de Hunter

El espacio de Hunter L, a y b es un espacio de color regularmente de tres dimensiones basada en la teoría de los colores opuestos de Hering (Figura 8) (Xotlanihua-Soto, 2011). Por estas coordenadas se define un espacio cartesiano en el que L* corresponde a la claridad, y a* y b* a la cromaticidad. Concretamente, a* se define el componente rojo-verde: rojo para los positivos y verde para los valores negativos. El parámetro b* define el componente amarillo-azul: amarillo para los valores positivos y azul, negativo. Los colores son saturados cuanto más separados se encuentra del centro del gráfico. Este sistema es el más empleando en el colorímetro Hunter, Garner y similares y es muy usado en el campo de los alimentos (Pérez, 2006).

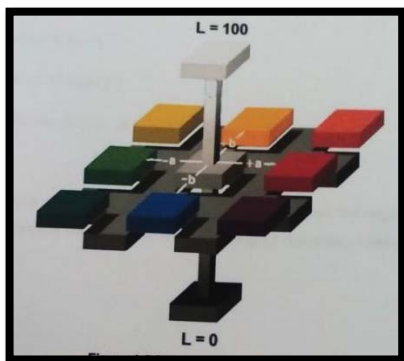


Figura 8. Diagrama de color Hunter (Xotlanihua-Soto, 2011).

2.6 GRADO DE REHIDRATACIÓN

La rehidratación se considera como un método para evaluar la influencia del proceso previo de deshidratación al que se someten los alimentos con el objetivo de conservarlos. Este proceso permite evaluar indirectamente el daño ocurrido en los alimentos durante la deshidratación, considerándose como un complejo proceso que ayuda a restaurar las propiedades del alimento fresco, anteriormente deshidratado sin o con pre tratamiento al secado (Ergüen *et al.*, 2016).

Los alimentos deshidratados, para ser considerado como óptimos, deben de rehidratarse lo más rápido posible y mostrar las mismas características estructurales y químicas del alimento fresco, así como también sus propiedades nutricionales y sensoriales. Dentro de los métodos de rehidratación más utilizados en alimentos se encuentran la inmersión en agua (como la más simple), soluciones azucaradas (glucosa, sacarosa, trehalosa), leche, yogur, jugos de frutas y verduras (Muñoz-López, 2014). Aumentar la temperatura de la solución rehidratante sigue siendo el método más utilizado para reducir el tiempo de rehidratación sin incurrir en mayores costos de operación (Muñoz-López, 2014).

La rehidratación de materiales deshidratados está compuesta de tres procesos simultáneos: inhibición del agua respecto al material deshidratado, el hinchamiento y la lixiviación de los sólidos solubles. Antes de rehidratar alimentos deshidratados, se deben conocer las características del alimento en su estado fresco. Las propiedades fisicoquímicas, mecánicas (microestructurales), sensoriales y nutricionales, cambian considerablemente de un producto fresco a deshidratado, de tal manera que estos factores determinan el comportamiento de los alimentos en el proceso de rehidratación (Melquíades, 2009).

2.7 ESTUDIOS REALIZADOS SOBRE CHAYOTE (*Sechium edule*)

Solís–Ruiz *et al.* (2007) estudiaron el efecto del secado osmótico en las características fisicoquímicos de chayote (*Sechium adule*). Realizaron la deshidratación osmótica del chayote

con soluciones acuosas de sal y sacarosa, 5-10% y 15-30% w/w respectivamente a diferentes temperaturas y formas (rodajas, tiras y cubos). Los mejores resultados se obtuvieron al deshidratar rodajas y cubos de chayote empleando una solución al 10% de NaCl a una temperatura de 35°C. La a_w del chayote después de 120 minutos de deshidratación se mantuvo entre de 0.94-0.96.

Castillo-Reyes (2008) estudió el efecto de la concentración, tamaño de partícula y temperatura en las propiedades reológicas de suspensiones de chayote (*Sechium edule*). Encontró que las suspensiones de chayote deshidratado a concentraciones de ácido ascórbico mayores a 20% tienden a formar pastas y su comportamiento es no-Newtoniano pseudoplástico; mientras que las suspensiones de chayote fresco mostraron un comportamiento no-Newtoniano. Además, observó que a un tamaño de partícula de 1.4 mm y 3% de concentración se incrementó la viscosidad de la suspensión. En general, el comportamiento geológico del chayote deshidratado presento grandes diferencias significativas con respecto al chayote fresco.

Pérez-Francisco *et al.* (2008) optimizaron las condiciones de secado por charolas del chayote (*Sechium edule*). Desarrollaron una metodología de superficie de respuesta, usando el contenido de humedad, diferencia de color, energía de consumo, producción y costo total como parámetros de respuesta. Obtuvieron las condiciones óptimas a una temperatura de secado de 63°C, corte del chayote en rebanadas de 5 cm de diámetro y una concentración de ácido ascórbico de 0.075%.

Ruiz-López *et al.* (2010) estudiaron el efecto de la deshidratación osmótica sobre las cinéticas de secado por aire de chayote (*Sechuim edule*) en cortes de 1x1x2 y 4x4x2 cm a las temperaturas de 50 y 60°C y con velocidades de aire de 1.5 y 2.5 m/s. Las muestras se sometieron a un pretratamiento por 3 h en soluciones al 10 y 25% de NaCl. Con este proceso se redujo una parte del contenido de humedad (entre el 20 y el 65%) siendo las muestras preparadas al 25% de NaCl las que disminuyeron el contenido de humedad en el menor tiempo.

Xotlanihua-Soto (2011) evaluó el efecto de las condiciones de almacenamiento sobre las características fisicoquímicas de chayote deshidratado (*Sechium edule*). Obtuvo los mejores resultados en cuanto a pérdida de peso, humedad, a_w y color en los experimentos donde el

chayote se almacenó a 7°C y 28°C con nitrógeno a 90 días de almacenamiento. A estas condiciones las muestras almacenadas no presentaron diferencias significativas en sus propiedades fisicoquímicas.

2.8 APLICACIÓN DEL SECADO A FRUTAS Y HORTALIZAS

Se tiene una amplia información sobre el secado por charolas de plantas y hortalizas. A continuación, se presentan algunos antecedentes científicos sobre el tema los cuales sirven de referencia de cómo pueden afectar las condiciones de secado sobre ciertas características de un alimento.

Martínez–Mendoza *et al.* (2012) realizaron un estudio para evaluar la influencia de frútanos en la cinética de secado de rebanadas de plátano (*Musa acuminata*) y mango (*Mangifera indica*). Las rebanadas de frutas (3 cm de diámetro y 0.2 cm de espesor) fueron secadas en un secador de charolas a 50 y 70°C. Los frutos frescos fueron llevados a un pretratamiento de soluciones de inulina y frutas nativos de agave (FNA) (0 y 10 % peso/peso) por 15 min, antes de secar. Dentro de la evaluación de color (L, Hue, Chroma) se encontró que las condiciones óptimas para obtener frutos secos cercanos al color original fueron aquellas en las que se empleó temperaturas de 50 a 70°C con un pretratamiento de FNA al 10%.

Mujić *et al.* (2009) examinaron la influencia de diferentes procedimientos de secado en la calidad del color y capacidad de rehidratación de espárragos (*Asparagus maritimus* (L.)). Las rebanadas de espárragos silvestres (10cm de longitud) fueron secadas mediante dos procedimientos: secado convectivo (secador de bandejas) a diferentes temperaturas (40, 50, 60, 70°C y una velocidad de flujo de aire constante de 2.75 m/s) y secado natural (temperatura máxima de 22°C y mínima de 9°C). Ellos obtuvieron como resultado que no existen diferencias significativas entre el cambio de color de las muestras frescas y muestras deshidratadas mediante el secado natural, sin embargo, cultivos secados a temperaturas menores de 45°C suelen presentar actividad microbiana.

III. JUSTIFICACIÓN

El chayote (*Sechium edule*) es un fruto importante para el consumo humano debido a sus propiedades curativas y dietéticas; sin embargo, el 90% de su peso está constituido por agua por lo cual es un fruto altamente perecedero y que presenta difícil comercialización (Cadena-Iñiguez y Arévalo-Galarza, 2010).

El secado por charolas es una alternativa para comercializar y exportar este producto ya que los alimentos sometidos a este tipo de proceso son relativamente menos pesados y menos voluminosos y al mismo tiempo no precisan ser conservados en ambientes refrigerados (Cheftel *et al.*, 1992; Geankoplis, 1998). Por otro lado, el análisis de rehidratación del alimento es necesario ya que permite evaluar indirectamente el daño ocurrido en el alimento durante la deshidratación (Cheftel *et al.*, 1992).

Considerando lo anterior, el objetivo del presente proyecto es aplicar la tecnología de secado sobre el chayote para estudiar las condiciones de operación sobre sus propiedades fisicoquímicas (actividad de agua, humedad y color) y el grado de rehidratación del producto obtenido como una medida de la calidad del fruto procesado.

3.1 Problemas a resolver.....

El chayote tiene un tiempo de vida sin tratamiento de conserva de aproximadamente una semana, por lo cual su comercialización desde el corte debe ser apresurada para mantener en buen estado del fruto (Cadena-Iñiguez y Arévalo-Galarza, 2010).

Actualmente, se han realizado estudios de secado del chayote para prolongar su vida útil de anaquel (Solís-Ruíz *et al.*, 2007; Pérez-Francisco *et al.*, 2008; Ruiz-López *et al.*, 2010), sin embargo, no se han evaluado las propiedades fisicoquímicas durante el secado por charolas (Ruiz-López *et al.*, 2010) y existen pocos estudios sobre su rehidratación (Kumar *et al.*, 2017).

IV. OBJETIVO

4.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar las características fisicoquímicas de muestras de chayote durante su secado, así como el grado de rehidratación de muestras previamente deshidratadas.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obtener las curvas de secado por charolas de muestras de chayote cortadas en tres geometrías diferentes (cubos, tiras y rodajas).
- Determinar los parámetros del color (L, a, b y ΔE) y actividad de agua de muestras obtenidas del secado por charolas del chayote.
- Obtener las curvas de rehidratación del chayote deshidratado en tres diferentes temperaturas (20, 50 y 85°C).

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 SELECCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

Durante el desarrollo de la investigación se utilizó y se seleccionó por inspección visual el chayote (*Sechium edule*) variedad Virens levis proveniente de la localidad de Campo Grande del municipio de Ixtaczoquitlán, Veracruz. El chayote utilizado corresponde a una materia prima con calidad de exportación, completamente liso, sin espinas, peso entre 200- 300g, humedad promedio 92.81% y a_w de 0.994 aproximadamente.



Figura 9. Muestra de chayote (*Sechium edule*) utilizado (Fuente propia).

5.2 Acondicionamiento de la muestra

Las muestras de chayote seleccionadas fueron lavadas y cortadas con un cortador manual en tres formas geométricas deferentes: rodajas ($\phi = 5\text{cm}$ y $\delta=0.5\text{cm}$), cubos ($a=1$) y tiras ($L=7\text{cm}$, 1cm de ancho y $\delta=0.5\text{cm}$) como se muestra en la Figuras 10, 11 y 12.



Figura 10. Rodajas (Fuente propia).



Figura 11. Cubos (Fuente propia).

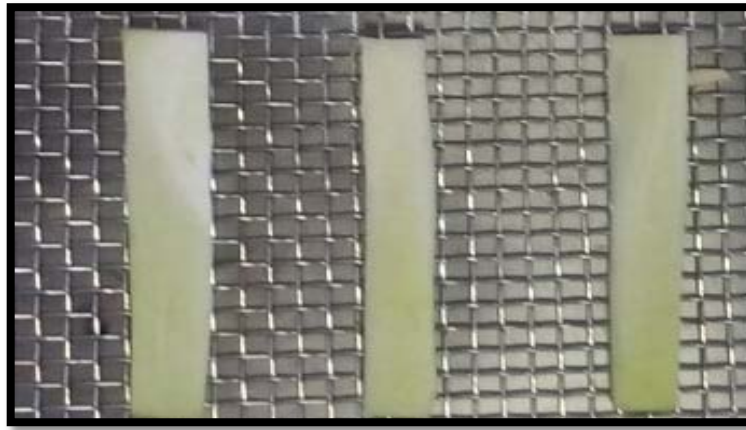


Figura 12. Tiras (Fuente propia).

5.3 PROCESO DE SECADO

5.3.1 Secado de chayote

El proceso de secado del chayote se llevó a cabo en un secador de charolas de planta piloto marca Pilinox^{MR} modelo SEM-2 del laboratorio de bioprocesos del Instituto Tecnológico de Orizaba (Figura 13). Este está constituido en su interior de lámina de acero inoxidable especificación AISI SA-36 con acabado en anticorrosivo y pintura esmalte en su exterior la cual está conectada a un calentador eléctrico a 4.5 kW que se utiliza para calentar el aire a la temperatura de secado deseada. La temperatura del aire de secado es controlada electrónicamente con una variabilidad de 1°C. La cámara de secado está compuesta por 10 bandejas (0.50 cm de ancho y 0.75 m de largo), perforadas a través de las cuales fluye verticalmente el aire del secado.

5.3.2 Metodología del secado

Inicialmente, se encendió el secador y se estabilizó a la temperatura de secado deseada. Las condiciones establecidas en el secado fueron 60°C de temperatura y un tiempo de 4 horas con el fin de disminuir el consumo energético. Muestras de chayote fueron cortadas con un cortador

de acero inoxidable en tres formas geométricas diferentes: rodajas ($\phi=5\text{cm}$ y $\delta=0.5\text{cm}$), cubos ($L=1\text{ cm}$) y tiras ($L=7\text{cm}$, 1cm de ancho y $\delta=0.5\text{cm}$). Se cortaron un número tal de muestras de las diferentes geometrías de tal manera que ocupasen la mayor parte de la superficie de las charolas del secador tal como se muestra en las Figuras 14, 15 y 16.



Figura 13. Secador utilizado (Fuente propia).



Figura 14. Colocación de rodajas en charolas (Fuente propia).



Figura 15. Colocación de cubos en charolas (Fuente propia).



Figura 16. Colocación de tiras en charolas (Fuente propia).

Durante el proceso de secado se tomaron muestras para hacer determinaciones fisicoquímicas cada 15 min durante la primera hora, 30 min en la siguiente hora, (debido que durante este tiempo se observa la mayor pérdida de humedad) y finalmente cada 60 min hasta llegar un tiempo final de 240 minutos. Las cinéticas de secado se realizaron por duplicado.

5.4 CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA DEL CHAYOTE

Los análisis fisicoquímicos que se determinaron en el chayote fresco y durante el proceso de secado en los diferentes tiempos establecidos fueron a_w , X y color (L^* , a^* , b^* y ΔE) con la finalidad de obtener cinéticas de la evolución de cada uno de estos parámetros en cada experimento realizado.

5.5 DETERMINACIÓN DE ACTIVIDAD DE AGUA

La actividad de agua es mejor indicador del carácter percedero de los alimentos Para la determinación de la actividad de agua (a_w) en el chayote fresco y secado por charolas se utilizo un medidor de actividad de agua marca AQUALAB serie 3 modelo TE, en condiciones de $25 \pm 1^\circ\text{C}$. Para esta medición, las muestras extraídas del secador eran colocadas en charolas de plástico de aproximadamente 3 cm de diámetro e introducidas en el AquaLab™ serie 3 modelo TE. La medición se realizó por duplicado en condiciones de $25 \pm 1^\circ\text{C}$ (Figura 17).



Figura 17. Medidor de actividad de agua (Fuente propia).

5.6 DETERMINACIÓN DE HUMEDAD

Para determinar la humedad (X) de las muestras de chayote se utilizó una termobalanza marca Santorious modelo MA35 (Figura 2.18). La determinación se llevo a cabo colocando un platillo de aluminio dentro de la cámara de secado, donde se depositó aproximadamente 1 g de muestra. La determinación del porcentaje de humedad se logró mediante el uso de la balanza que tiene acoplada una fuente de rayos infrarrojos, que proporcionan el calor para secar la muestra y así dar el contenido de humedad en un tiempo corto. Las determinaciones de humedad se realizaron por duplicado.



Figura 18. Termobalanza de marca Santorius (Fuente propia).

5.7 ANÁLISIS DE COLOR

El color se determinó mediante un colorímetro MiniScan XE plus, marca HunterLab (Figura 19). Los datos de color se capturaron en una computadora integrada al colorímetro por medio del programa Universal software versión 4.10, para de esta forma obtener la diferencia total de color. La medición se llevo a cabo colocando la muestra en el interior del equipo, adquiriendo así los parametros de color correspondiente a la luminosidad L^* , a^* y b^* . Con estos parámetros el programa Universal software versión 4.10 obtuvo la diferencia de color (ΔE). Las determinaciones del color se realizaron por duplicado.



Figura 19. Colorimetro MiniScan XE plus marca HunterLab (Fuente propia).

5.8 DISEÑO DE EXPERIMENTOS

En el proceso de rehidratación se utilizó un diseño experimental tal como lo muestra la Tabla 6. La variable experimental cuantitativa es la temperatura la cual fue evaluada a tres niveles distintos (20, 50 y 85 °C). La variable experimental cuantitativa correspondió a las tres formas de la muestra estudiadas (rodajas , tiras y cubos).

Tabla 6 Diseño experimental aplicado en el proceso de rehidratación de muestras de chayote.

Experimento	Temperatura (°C)	Formas
1	20	Rodajas
2	20	Tiras
3	20	Cubos
4	50	Rodajas
5	50	Tiras
6	50	Cubos
7	85	Rodajas
8	85	Tiras
9	85	Cubos

5.9 GRADO DE REHIDRATACIÓN

Las pruebas de rehidratación se realizaron mediante el método establecido por (Reyes, 2008). De acuerdo a este procedimiento, la capacidad de adsorción de las muestras se determina pesando 0.5 g de muestra de chayote secado por charolas en una balanza analítica electrónica Santorius modelo TE14S y sumergiéndola en 150 mL de agua. El grado de rehidratación fue evaluado a 3 diferentes temperaturas 20, 50 y 85°C por lo que el procedimiento anteriormente descrito fue repetido para cada condición de temperatura. Posteriormente las muestras se retiraron cada 2, 4, 6, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 50 y 60 min retirando el exceso de humedad de las muestras con papel absorbente para eliminar el agua de la superficie. Finalmente, se registró su peso.

El contenido de rehidratación se relaciona con las modificaciones en la estructura del alimento durante el proceso de secado (Doymaz, 2008). Dicha capacidad fue calculada como la máxima cantidad de agua absorbida (g) por g de material deshidratado para cada experimento en los tiempos de rehidratación (Kumar et al., 2017):

$$\% \text{ Rehidratación} = \frac{\text{Peso de la muestra rehidratada (g)}}{\text{Peso de la muestra deshidratada (g)}} * 100 \quad (2.1)$$

5.10 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Las diferencias entre los parámetros fisicoquímicos de las muestras de *S. edule* con respecto a los parámetros de secado se analizó mediante una prueba ANOVA. Las pruebas estadísticas se realizaron con el software MiniTab v.16.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 HUMEDAD DEL CHAYOTE

El objetivo principal de la deshidratación consiste en prolongar la vida útil de los alimentos por reducción de su contenido de humedad. El contenido de humedad en el chayote es un factor determinante, ya que puede influir directamente en sus propiedades fisicoquímicas. Durante el proceso de secado de chayote se determinaron como variables la humedad, la actividad de agua y el color, con la finalidad de encontrar las mejores características. En la Figura 20 se muestra la evolución de la pérdida de humedad durante el proceso de secado por charolas a 60°C. En este gráfico se puede observar que disminuyó la humedad a medida que transcurre el tiempo, notándose que llega a una cuasi-estabilidad al final del secado obteniéndose valores de humedad entre 1.7 y 5.9%. En cuanto a las diferentes muestras deshidratadas, se observa que las tiras pierden una mayor cantidad de humedad comparadas con las otras dos geometrías estudiadas lo cual puede explicarse por la mayor área superficial que estas poseen. Es importante mencionar que se debe reducir la humedad por debajo del 10% ya que los microorganismos dejan de ser activos cuando el contenido de agua se reduce por debajo de este valor (Badui, 1993).

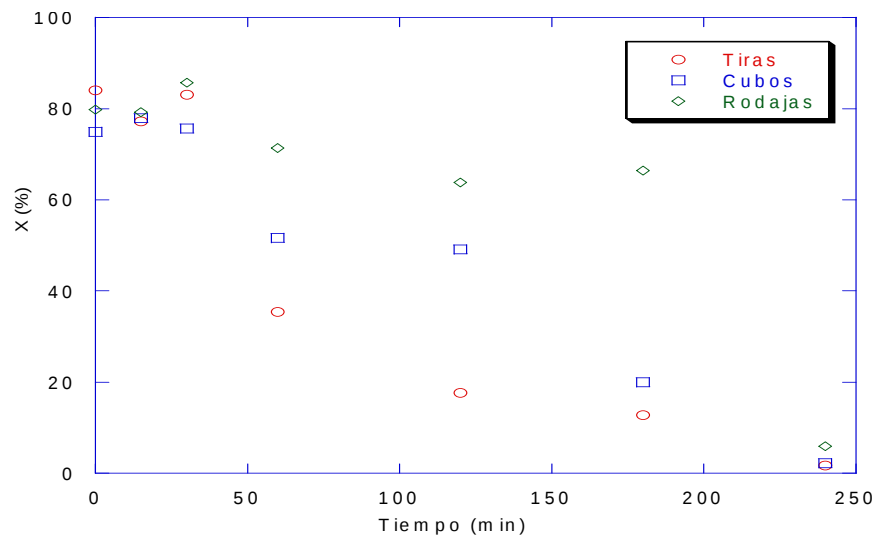


Figura 20. Evolución de la humedad durante el proceso de secado a 60°C.

6.1.1 Actividad de agua del chayote

El agua es un elemento esencial para la vida, es además uno de los componentes de los alimentos y, es un factor determinante para su conservación y seguridad. El ataque de los microorganismos es la principal causa de deterioro y su crecimiento está directamente ligado con la cantidad de agua disponible que posee el alimento. Por esto es necesario disminuir la actividad de agua para poder garantizar su vida útil (Giraldo-Zúñiga *et al.*, 2004; Cano-Chaucha *et al.*, 2004).

Para que los microorganismos ya no puedan proliferar en un alimento este debe tener una actividad de agua menor a 0.6. En la Figura 21 se puede apreciar que durante todo el proceso de secado la actividad de agua disminuyó en los tres tipos de corte. No hubo diferencia significativa entre las diferentes muestras ($P \leq 0.05$), sin embargo, se observó una ligera pérdida de a_w más rápida en los cubos en comparación con las otras muestras. La actividad de agua de las muestras de chayote comenzó a variar significativamente a los 180 minutos de secado, sin embargo, al minuto 240 la actividad de agua era menor de 0.6.

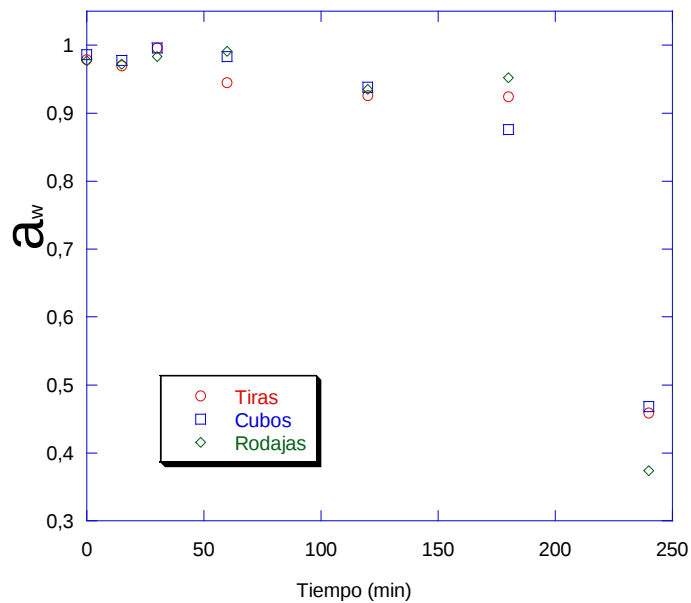


Figura 21. Evolución de la actividad de agua del chayote durante el proceso de secado a 60°C.

6.1.2 Color del chayote durante el proceso de secado

En la industria alimentaria, el color es un parámetro en base al cual los consumidores aceptan o rechazan los productos ya que es la primera sensación que se percibe. Este parámetro es también un factor importante dentro del conjunto de sensaciones que aporta un alimento. La determinación de los atributos de color durante el proceso de secado se basó en los parámetros de L^* , a^* , b^* y ΔE . El parámetro L^* representa la luminosidad del producto. En la Figura 22 se puede observar el efecto de la temperatura de 60°C sobre la evolución del parámetro de color L^* para las tres formas (tiras, cubos y rodajas).

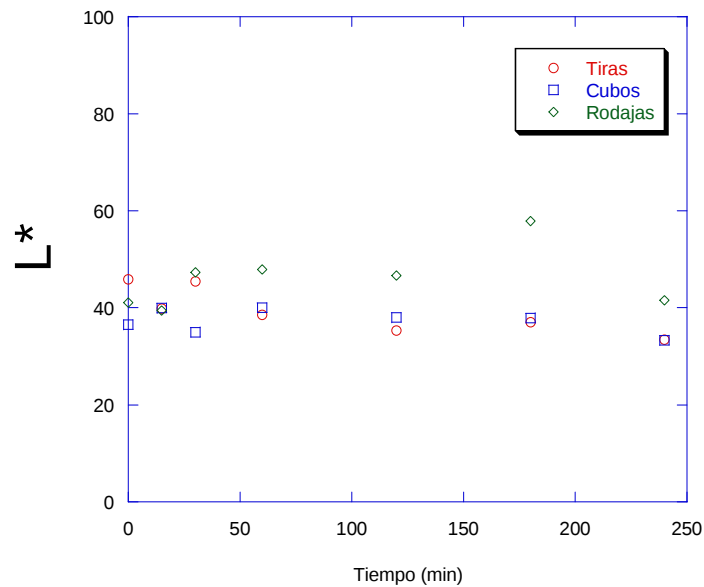


Figura 22. Evolución del parámetro L*.

El análisis estadístico reveló que no hay diferencia significativa en el valor de L* en función del tiempo entre las diferentes geometrías estudiadas ($P \leq 0.05$). Asimismo, la diferencia de L* reveló que no existe diferencia significativa entre las diferentes geometrías estudiadas ($P \leq 0.05$) aunque las rodajas de chayote presentaron cambios ligeramente mayores a lo largo del proceso comparados con las otras dos geometrías (Figura 22). Esto puede deberse principalmente a la pérdida de agua, ya que el agua presente en el alimento ayuda a tener una mayor luminosidad. Asimismo, los incrementos de luminosidad observados durante el proceso de secado se deben a que el agua presente en el centro del alimento comienza a salir a la superficie para ser evaporada, ya que al principio del proceso solo se evapora el agua en la superficie del alimento.

En general, en las etapas finales del secado se observó que la luminosidad de las tres formas evaluadas disminuyó, ya que el agua es remplazada por aire en los poros del material y estos adquieren una apariencia pálida (Lewiki, 1997).

6.1.3 Evolución del parámetro de color a^*

El parámetro de color a^* indica que tan rojo o verde es el alimento. En el caso del chayote, los valores del parámetro a^* resultaron negativos lo cual indica que el chayote presenta una coloración verde. Los datos obtenidos del parámetro de color a^* de las muestras de chayote deshidratadas a tres tipos de corte (tiras, cubos y rodajas) se muestran gráficamente en la Figura 23

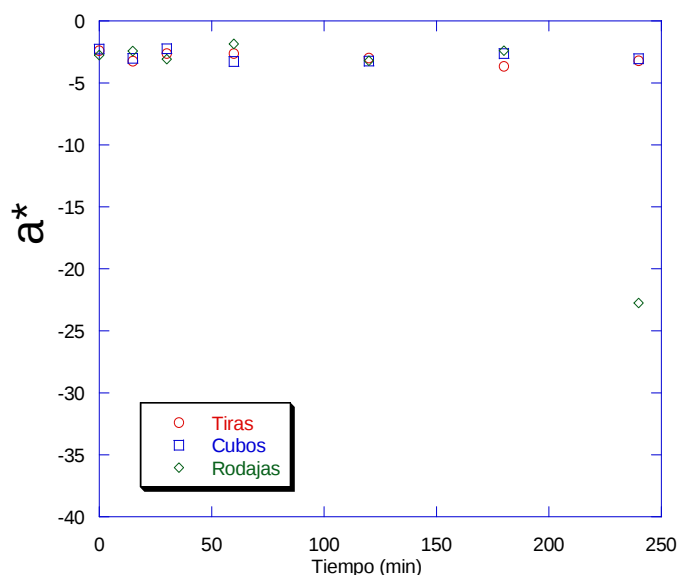


Figura 23. Evolución del color del chayote (parámetro a^*) durante el proceso de secado

El análisis estadístico reveló que no existe una diferencia significativa entre los valores del parámetro a^* ni en la diferencia de a^* entre las diferentes muestras ($P \leq 0.05$), aunque, las muestras de rodajas de chayote sufrieron un ligero oscurecimiento mayor al de las otras muestras al final del proceso de secado en donde se encontró que el valor de la diferencia de a^* correspondía a -22.77 (Figura 23).

6.1.4 Evolución del parámetro de color b^*

Los resultados del parámetro b^* de acuerdo a los tipos de corte se muestran en la Figura 24. Al igual que con las otras geometrías no hubo diferencias significativas en los valores de b^* a lo largo del tiempo de secado ($P \leq 0.05$). Al final del proceso (240 min) las tiras presentaron una diferencia de b^* de 4.33, los cubos una diferencia es de 6.74 y las rodajas una diferencia es de 6.51 con relación al fruto fresco. Esto indica que los cubos mostraron una coloración ligeramente más amarilla al final del proceso en comparación con las otras muestras.

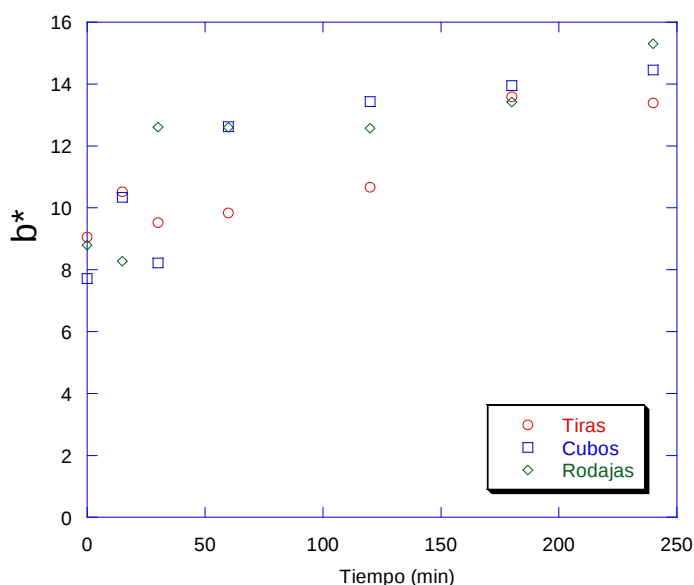


Figura 24. Evolución del color del chayote (parámetro b^*) durante el proceso de secado.

6.1.5 Evolución del parámetro de color ΔE

El parámetro ΔE define el tamaño de la diferencia total de color con respecto al color inicial de la muestra fresca (estándar); entre mayor sea este valor mayor será el cambio de color debido al proceso. El comportamiento del parámetro ΔE del chayote se observa en la Figura 25 para las tres formas de chayote empleadas (tiras, cubos y rodajas).

El análisis estadístico reveló que no hay diferencia significativa entre las tres geometrías estudiadas en función del tiempo ($P \leq 0.05$). Es notable en las muestras de chayote (tiras, cubos

y rodajas) presentaron una diferencia de color lo que puede atribuirse al efecto de la temperatura sobre los compuestos presentes en el alimento. De acuerdo con los resultados, se observó una mayor diferencia al final del secado (minuto 240) en las tiras y rodajas de chayote.

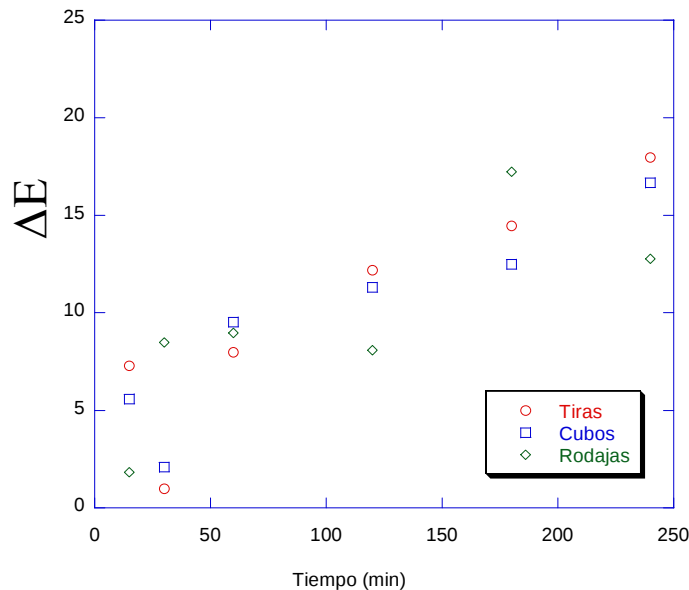


Figura 25. Evolución de ΔE durante el proceso de secado

6.2 REHIDRATACIÓN DEL CHAYOTE (*Sechium edule*)

La mayoría de los productos deshidratados son generalmente rehidratados para su uso. Al rehidratar, se pretende obtener productos que al reconstituirse adquieran sus características iniciales y que lo hagan en el menor tiempo posible. No obstante, este proceso se ve influido por las condiciones del secado, la preparación y composición de la muestra, así como también por el grado de ruptura estructural y química (Melquiades *et al.*, 2009; Mujić *et al.*, 2009).

Las cinéticas de rehidratación de las muestras de chayote (cubo, tiras y rodajas) a temperaturas de 20, 50 y 85°C se muestran en la Figura 3.7. Ejemplos de las muestras rehidratadas en estas temperaturas para las tres geometrías estudiadas se muestran en las Figuras 23, 24 y 25 Muñoz-López (2014) reportó que la temperatura del medio rehidratante influye sobre la cinética de rehidratación, donde al principio del proceso la absorción es más rápida y según avanza la rehidratación, la velocidad de adsorción disminuye gradualmente a medida que llega al equilibrio.

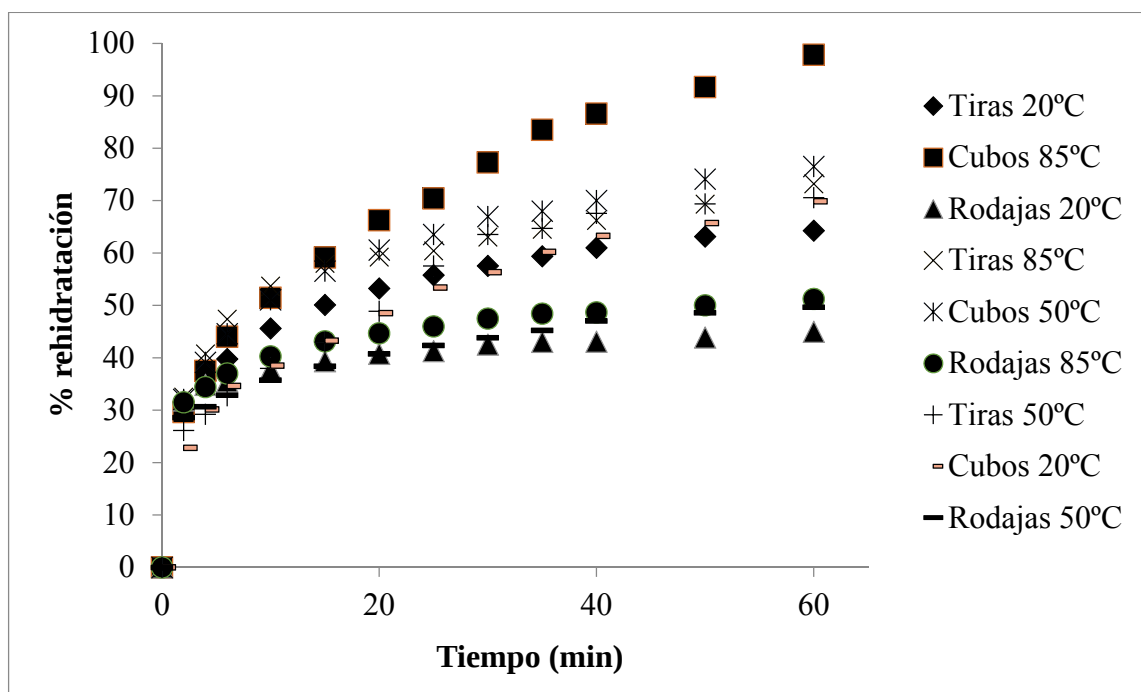


Figura 26. Porcentaje de rehidratación de muestras de chayote.

La Figura 26 muestra que los cubos de chayote rehidratados a 85°C muestran un mayor porcentaje de rehidratación. Kumar *et al.* (2017) también estudiaron la rehidratación de muestras de chayote de 1 cm deshidratadas osmóticamente a cuatro diferentes temperaturas (30, 35, 40 y 45°C) y cinco tiempos de inmersión de las muestras en agua (140, 160, 180, 200, 220 min). El máximo porcentaje de rehidratación que ellos obtuvieron fue de 22.85% a 35°C y 180 min de inmersión. Es interesante notar que el porcentaje de rehidratación obtenido en el presente trabajo es mayor (96%) comparado con el obtenido por Kumar *et al.* (2017). Esta diferencia puede atribuirse al tipo de secado empleado (convectivo vs. osmótico) lo que puede impactar la pérdida de agua entre las muestras.

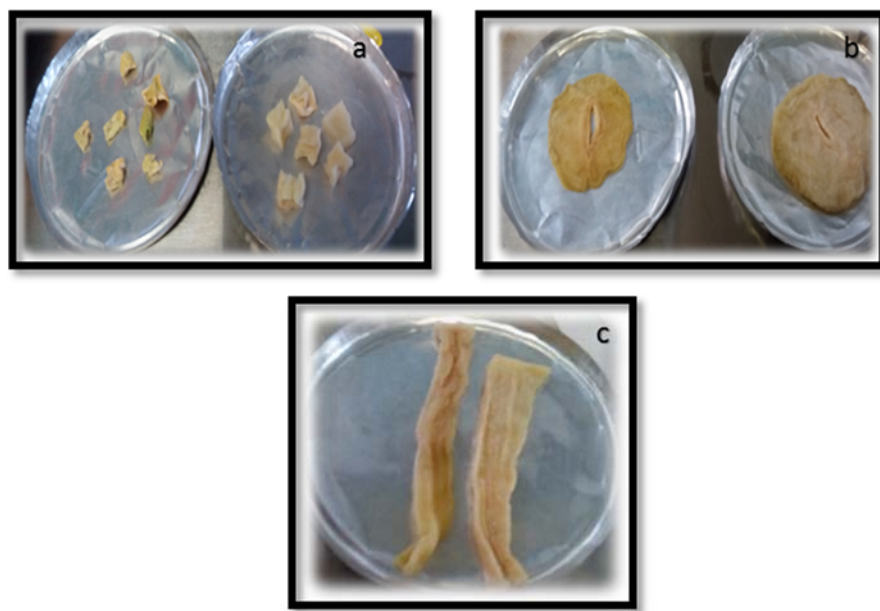


Figura 27. Muestras rehidratadas a temperatura de 20°C.a (rodajas, b (cubos y c (tiras



Figura 28. Muestras rehidratadas a temperatura de 50°C a (cubos, b (rodajas y c (tiras

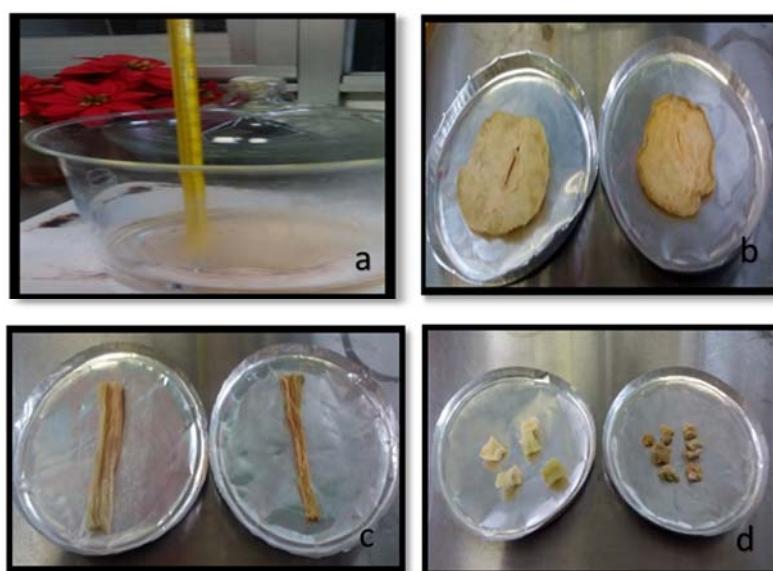


Figura 29.a) determinación de temperatura a 85°C, muestras rehidratadas, b) rodajas, c) tiras y d) cubos

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones y recomendaciones

El contenido de humedad de las muestras de chayote se redujo en más de un 85% a través de secado convectivo a 60°C con un ligero cambio de color a esta temperatura.

Muestras en sectores mostraron un segundo período de pérdida de agua, a diferencia de las otras formas estudiadas que podría atribuirse a la presencia de la semilla en estas pruebas.

Como para el proceso de rehidratación, después de 60 minutos a tres temperaturas diferentes (20, 50 y 85°C), las muestras mostraron una capacidad de rehidratación entre 53-98%, que confirmó que la estructura interna de las muestras no sufrió daños estructurales significativos debido al secado convectivo.

Los resultados obtenidos, del chayote seco puede representar una alternativa como complemento de los productos alimenticios y, en particular, las muestras en cubos representan una alternativa para uso comercial como aditivo en las sopas instantáneas, debido a su alta capacidad de rehidratación y su tamaño.

VIII. Referencias Bibliográficas

- Alvarenga-Venutolo, S., Abdelnour-Esquivel, A., & Villalobos-Aránbula, V. (2007). Conservación in vitro de chayote (*Sechium edule*). *Agronomía Mesoamericana*, 18(1): 65-73.
- Badui Dergal, S. (1993). Lípidos. Química de los Alimentos. Pearson Educación. México. Cap, 4, 213.
- Cadena-Iñiguez, J., Avendaño-Arrazate, C. H., Soto-Hernández, M., Ruiz-Posadas, L. M., Aguirre-Medina, J. F., & Arévalo-Galarza, L. (2008). Intraspecific variation of *Sechium edule* (Jacq.) Sw. in the state of Veracruz, Mexico. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 55(6), 835-847.
- Cadena- Iñiguez J. 2005. Caracterización morfo estructural, fisiológica, química y genética de diferentes tipos de chayote (*Sechiun edule*). Tesis Doctoral, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Edo. de México. 164 p
- Cano-Chauca, M., Ramos, A. M., Stringheta, P. C., & Pereira, J. A. (2004, August). Drying curves and water activity evaluation of dried banana. In *Drying 2004—Proceedings of the 14th International Drying Symposium (IDS 2004)*, São Paulo, Brazil (pp. 22-25).
- Castillo-Reyes, J. A., Luna-Solano, G., & Cantú-Lozano, D. (2008, July). Rheological Characterization of Vegetal Pear (*Sechium edule*). In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 1027, No. 1, pp. 1253-1255). AIP.
- Cheftel, H., Cheftel J.C., & Besançon, P. (1992). *Introduccion a la bioquímica y tecnología en alimentos* (Vol. II). España: Zaragoza.
- Chirife, J., & María del Buera, P. (1994). Water activity, glass transition and microbial stability in concentrated/semimoist food systems. *Journal of Food Science*, 59(5), 921-927.
- CONVECA. (2004). Perfil de chayote. Boletín de Comisión Veracruzana de Comercialización Agropecuaria. México
- CONVECA. (2010). Comisión Veracruz de Comercialización Agropecuaria

- Doymaz, I. (2008). Influence of blanching and slice thickness on drying characteristics of leek slices. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 47(1), 41-47.
- Engels, J. M. M. (1983). Variation in *Sechium edule* in Central America. Variación en *Sechium edule* en Centroamérica. *Journal of the American Society for Horticultural Science.*, 108(5), 706-710.
- Ergün, K., Çalışkan, G., & Dirim, S. N. (2016). Determination of the drying and rehydration kinetics of freeze dried kiwi (*Actinidia deliciosa*) slices. *Heat and Mass Transfer*, 52(12), 2697-2705.
- Fellows, P., Trepát, S., & Javier, F. (1993). *Tecnología del procesado de los alimentos: principios y prácticas*. Acribia,.
- Gamboa, W. (2005). *Producción agroecológica: una opción para el desarrollo del cultivo del chayote (Sechium edula (Jacq.) Sw.)*. Editorial Universidad de Costa Rica.
- Geankoplis, C. J. (1998). *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. Compañía Editorial Continental, México.
- Giraldo-Zuñiga, A. D., Arévalo-Pinedo, A., & Rodrigues, R. M. (1776). Drying curves and water activity evaluation for sliced jackfruit (*Artocarpus Integrifolia*). In *proceedings of the 14th International Drying Symposium (IDS 2004)* São Paulo, Brazil, 22-25 August 2004, vol. C, pp. 1776-1783
- Hudson, K. (1990). *Procesos de separacion* 2da edicion en español; Ed Repla Mexico.
- Krokida, M. K., Karathanos, V. T., Maroulis, Z. B., & Marinou-Kouris, D. (2003). Drying kinetics of some vegetables. *Journal of Food Engineering*, 59(4), 391-403.
- Kumar, A., Islam, S., Dash, K. K., & Sarkar, S. (2017). Optimization of Process Parameters for Osmotic Dehydration of Chayote Cubes by Response Surface Methodology. *International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology*, 10(6), 725-737.
- Lewicki, P. P., Witrowa-Rajchert, D., & Mariak, J. (1997). Changes of structure during rehydration of dried apples. *Journal of Food Engineering*, 32(4), 347-350.
- Lira, R. S. (1996). Chayote. *Sechium edule* (Jacq.) Sw. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops 8.
- Lozano, A. y., & Rojas, C. (2005). *Caracterizacion fisicoquimica, bromotologica del chayote (sechium edule) de la region del estado de veracruz.*(tesis de licenciatura). Instituto Tecnologico de Orizaba.Orizaba,Mexico.

Martinez-Mendoza, C. (2012). *Efecto de los fructanos sobre las características fisicoquímicas y sensoriales de mango y platano durante el proceso de secado* (tesis de Maestria) Instituto Tecnológico de Orizaba.Orizaba,Mexico.

Medrano, S., (2001). Humedad relativa. Guía metas. <http://www.metas.com.mx/GuiaMetAs>

Melquíades, Y. I., López, C., & Rosas, M. E. (2009). Estudio de la cinética de rehidratación de zanahoria (*Daucus carota*) deshidratadas. *Información tecnológica*, 20(3), 65-72.

Morton, J. F. (1981). The chayote, a perennial, climbing, subtropical vegetable [Florida]. In *Proceedings of the... annual meeting of the Florida State Horticultural Society (USA)*.

Mujić, I., Jokić, S., Martinov, M., Prgomet, Ž., Dudaš, S., & Rončević, K. (2009, January). The influence of drying procedures on the color and rehydration ability of *Asparagus maritimus* L. In *37th International Symposium on Agricultural Engineering*.

Muñoz Lopez, C. (2014). *Proceso de secado por charolas y liofilización de ciruela mexicana (Spondias purpurea)*. (tesis de Maestria) Instituto Tecnológico de Orizaba.Orizaba,Mexico.

Nee, M. (1993). *Cucurbitaceae.Flora de Veracruz.Fascículo 74*. Sosa V. (Ed en Jefe) Instituto de Ecología A.C. y Universidad de California-Riverside. Mexico

OEIDRUS. (2017). Oficina Estatal para El Desarrollo Rural Sustentable .Obtenido de www.oeidrus.gob.mx

Olguín Hernández, G., Valdovinos Ponce, G., Cadena Íñiguez, J., & Arévalo Galarza, M. (2013). Etiología de la marchitez de plantas de chayote (*Sechium edule*) en el Estado de Veracruz. *Revista mexicana de fitopatología*, 31(2), 161-169.

Ordóñez, A. A. L., Gómez, J. D., & Vattuone, M. A. (2006). Antioxidant activities of *Sechium edule* (Jacq.) Swartz extracts. *Food chemistry*, 97(3), 452-458.

Parkin, K. L., Marangoni, A., Jackman, R. L., Yada, R. Y., & Stanley, D. W. (1989). Chilling injury. A review of possible mechanisms. *Journal of Food Biochemistry*, 13(2), 127-153.

Pérez, R. (2006). Efecto del ácido cítrico sobre las propiedades fisicoquímicas del chayote (*Sechium edule*). Durante el proceso de secado. (Tesis de Maestria) Instituto Tecnológico de Orizaba.Orizaba,Mexico.

Pérez. Francisco, J. (2008). *Optimización del proceso de secado por charolas del chayote (Sechium edule)*. (Tesis de Maestría) Instituto Tecnológico de Orizaba.Orizaba,Mexico.

Perry, R., & Green, D. (1992). Manual del Ingeniero Químico. Traducido del inglés por Fernando Corral García. *Sexta edición. México, DF*.

- Reyes, G., Corzo, O., & Bracho, N. (2005). Optimización de la deshidratación osmótica de sardina mediante la metodología de superficies de respuesta. *Revista científica*, 15(4):377-384
- Ruiz-López, I. I., Huerta-Mora, I. R., Vivar-Vera, M. A., Martínez-Sánchez, C. E., & Herman-Lara, E. (2010). Effect of osmotic dehydration on air-drying characteristics of chayote. *Drying Technology*, 28(10), 1201-1212.
- SAGARPA. (2017). *Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación*. Obtenido de www.siacon.sagarpa.gob.mx
- SIAP. (2016). *Servicio de Información, Agropecuario y Pesca*. usos y producción del chayote. Obtenido de <http://snics.sagarpa.gob.mx/rfaa/Paginas/Hortalizas/Chayote/UsosProduccionNacional.aspx>
- SINAREFI. (2015). *Sistema Nacional de Recursos Filogenéticos para la alimentación y la agricultura*. Obtenido de http://www.sinarefi.org.mx/redes/red_chayote.html
- Solís-Ruiz, G. (2007). *Efecto del proceso de secado osmótico sobre las propiedades fisicoquímicas del chayote (Sechium edule)*. (tesis de Maestría) Instituto Tecnológico de Orizaba. Orizaba, México.
- Walti-Chanes, J., & Vergara, B. F. (1997). *Actividad de agua. Concepto y aplicación en alimentos con alto contenido de humedad. Temas en tecnología de alimentos*, 1, 11-43.
- Xotlanihua- Soto, C. (2011). *Efecto de las condiciones de almacenamiento sobre las características fisicoquímicas de chayote deshidratado (Sechium edule)*. (Tesis de Maestría) Instituto Tecnológico de Orizaba. Orizaba, México.

IX. Anexos





Secretaría de Educación de Veracruz

otorga el presente

RECONOCIMIENTO

a: *Alejandra Alvarez Morales ;
Guadalupe Luna Solano ; Alejandra Ramirez Martinez*

Por haber obtenido el Tercer lugar en el concurso de carteles efectuado en el marco de las actividades del Congreso Nacional Agroalimentario.

Boca del Río, Ver., a 23 de Mayo, 2018.


Lic. Enrique Pérez Rodríguez
Secretario de Educación