



INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE HUATUSCO

DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DEL SECADO CONVECTIVO, EVALUACION SENSORIAL Y ALMACENAMIENTO DEL CHILE MANZANO (*Capsicum pubescens*)

TESIS

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

**PRESENTA:
CONSUELO SANCHEZ GARCIA**

**DIRECTOR(ES) DE TESIS:
DRA.ALEJANDRA RAMIREZ MARTINEZ
DRA.GUADALUPE LUNA SOLANO**

HUATUSCO, VER.

JUNIO DE 2018.

Huatusco, Ver., a 29 de junio de 2018.

C. CONSUELO SANCHEZ GARCIA
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 (opción I) titulada:

**"DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DEL SECADO CONVECTIVO, EVALUACION
SENSORIAL Y ALMACENAMIENTO DEL CHILE MANZANO (*Capsicum pubescens*)"**

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

ATENTAMENTE.



ING. DAVID GERARDO VELASCO GONZÁLEZ
DIRECTOR DEL ITSH.



INSTITUTO TECNOLÓGICO
SUPERIOR DE HUATUSCO
CLAVE 30EIT0013Z
DIRECCION GENERAL



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



Huatusco, Ver., a 28 de Junio de 2018

Asunto: Liberación del informe final

ING. CARINA ACOSTA SÁNCHEZ
JEFE 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.

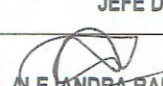
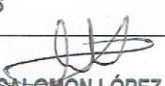
Nombre de la o el Egresado:	C. Consuelo Sánchez García
Carrera:	IIAI-2010-219
No. de Control:	123Z0505
Nombre del Proyecto:	DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DEL SECADO CONVECTIVO, EVALUACION SENSORIAL Y ALMACENAMIENTO DEL CHILE MANZANO (<i>Capsicum pubescens</i> L.)
Producto:	I. TESIS

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

ATENTAMENTE



ING. DALILA REYES SAMPERI
JEFE DE CARRERA DE ING. EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

 DRA. ALEJANDRA RAMIREZ MARTINEZ	 DR. OSCAR ANDRÉS DEL ÁNGEL CORONEL	 ING. SALOMÓN LÓPEZ SERRANO
Nombre y Firma del Asesor	Nombre y Firma del Revisor	Nombre y Firma del Revisor

C.C.P.- División de ISIC- 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



AGRADECIMIENTOS

A la Dra. Alejandra Ramírez Martínez por ser una excelente persona y profesora porque a pesar de tener poco tiempo de conocerme siempre creyó en mí, me dio parte de su valioso tiempo, compartió conmigo sus conocimientos, me orientó y me guió para que este proyecto finalice siendo excelente, y sobre todo por enseñarme a creer y no dudar de mí.

A la Dra. Guadalupe Luna Solano por abrirme las puertas del INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ORIZABA, por apoyarme con el material que necesite para llevar a cabo el proyecto.

Al doctor Óscar Andrés Del Ángel Coronel por su apoyo durante la carrera y por ser un gran profesor, por la orientación que me ofreció durante mi carrera.

A la Ing. Dalila Reyes Sampieri porque más que una profesora me otorgo su amistad y me animo en los momentos difíciles además de brindarme su apoyo durante toda mi formación académica. Por cada uno de sus consejos y palabras de aliento que me motivaron.

A todos los docentes que contribuyeron en mi formación y que algunos de ellos me brindaron también su amistad. Gracias

**A TODAS LAS PERSONAS QUE DE FORMA DIRECTA O
INDIRECTAMENTE PUSIERON SU GRANITO DE ARENA PARA QUE
ESTE TRABAJO HOY SEA UNA REALIDAD.**

DEDICATORIAS:

A Díos:

Por permitirme haber llegado hasta esta etapa de mi vida, que fue un sueño y que en varias ocasiones dude en alcanzarlo. Por todas las lecciones buenas y malas que he tenido y que me han ayudado a ser la persona que ahora soy. Por enseñarme a continuar a pesar de todos los momentos difíciles y llevarme por el camino para aprender que si algo no es difícil es porque realmente no vale la pena. Por estar conmigo en cada momento y no abandonarme nunca.

A mi mamá Ángeles y a mi papá Roberto

Por darme la fortaleza que tengo y enseñarme a luchar día a día a pesar de las adversidades. Por cada uno de sus sacrificios, por el gran amor y apoyo que me han dado desde que llegue a su vida Y enseñarme el valor de ella. Porque siempre eligieron las mejores palabras para alentarme en mi camino.

Gracias por su apoyo incondicional y por darme la mejor herencia: la educación. Este es ahora uno de sus mayores triunfos ¡LOS AMO CON TODO MI CORAZÓN!

A MI PEQUEÑA HIJA MIREYA MASLIN

Por haber cambiado mi vida desde que llegaste, en el transcurso de este camino. Por ser el mayor motivo que me impulsa a seguir adelante y no rendirme. Por tu sonrisa y travesuras que siempre terminan alegrando mi día. Por cada uno de los momentos que hemos compartido juntas aprendiendo tú de mí pero yo más de ti. Por permitirme ser tu madre y porque te amo con todo mi corazón... te amo ¡mi bebé!

A FRANCO

Por lograr juntos esta meta que un día nos propusimos. Ahora ambos estamos viviendo esta maravillosa etapa.

Por apoyarme en todo momento en la vida y por y darle sentido a ella. Por compartir conmigo cada uno de tus días en alegrías, tristezas y demostrándome siempre tu amor y apoyo incondicional. Porque has sabido comprenderme desde el primer instante en que nos conocimos. Por soportarme tantos años juntos y tenerme tanta paciencia.

A mis hermanos

Juana y Roge, Gerardo, Janet y Guille. Por el apoyo en todos los momentos divertidos que pasamos desde la infancia hasta ahora. Están en mi corazón.

A mis amigos y conocidos

Porque sé que no alcanzarían las hojas para agradecerles con todo el corazón por su apoyo y buenos deseos. Sé que son muchos nombres, aunque no los mencione aquí. Cada uno de ustedes está en mi mente y corazón, los quiero y extraño.

¡Muchas gracias!

INDICE GENERAL

INDICE DE FIGURAS	10
INDICE DE TABLAS.....	11
RESUMEN	12
ABSTRACT	13
I. INTRODUCCIÓN.....	14
II. MARCO TEÓRICO.....	16
2.1 El chile manzano	17
2.2 Componentes principales del chile	18
2.3 Clasificación del picor de los chiles.....	19
2.4 Usos y valor nutrimental de <i>Capsicum pubescens</i>	21
2.5 Producción de <i>Capsicum pubescens</i> en México	22
2.6 Proceso de secado.....	23
2.7 Mecanismos del proceso de secado	24
2.8 Equipos de deshidratación.....	27
2.9 Secado por charolas	27
2.10 Cinética de secado	29
2.11 Velocidad de secado	31
2.12.1 Humedad relativa (HR)	31
2.12.2 Humedad de equilibrio (X^*):	32
2.13 Propiedades fisicoquímicas de los alimentos	34
2.13.1 Actividad de agua (a_w)	34
2.13.2 Contenido de humedad.....	36
2.14 Color	37
2.15 Evaluación sensorial.....	38
2.16 Almacenamiento.....	39
III. JUSTIFICACIÓN	40
IV. PROBLEMAS A RESOLVER	42
V. OBJETIVO GENERAL	42
VI. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:.....	42
VII. MATERIALES Y MÉTODOS.....	43
7.1 Selección de la materia prima	44

7.2 Acondicionamiento de la muestra	44
7.3 Proceso de secado	45
7.4 Metodología del secado	46
7.5 Caracterización fisicoquímica de <i>Capsicum pubescens</i> Ruiz & Pav., antes y durante el secado del producto	48
7.5.1 Determinación de actividad de agua (a_w)	48
7.5.2 Determinación de humedad	50
7.6 Análisis de color	51
7.7 Evaluación sensorial	51
7.7.1 Presentación de las muestras	52
7.8 Almacenamiento de <i>Capsicum pubescens</i> en polvo	52
7.9 Análisis estadístico	52
VIII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	53
8.1 Cinéticas de secado de <i>C. pubescens</i>	54
8.2 Luminosidad	57
8.3 Parámetros fisicoquímicos de muestras de chile manzano <i>C. pubescens</i> durante el proceso de secado	59
8.4 Prueba de análisis sensorial	60
IX. CONCLUSIONES	61
BIBLIOGRAFÍA	62
ANEXOS	

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ejemplares de <i>C. pubescens</i> . Dónde: A) verde- amarillo, B) verde- rojo y C) amarillo maduro	18
Figura 2.Tabla de Scoville 1912 (Bonilla, 2014).....	20
Figura 3. HPLC (Biochemistry, 2015).....	21
Figura 4. Trayectoria de vapor de agua durante la deshidratación (Fellow, 1994).....	25
Figura 5. Curva de velocidad de secado (Geankoplis, 1998)	26
Figura 6. Secador de charolas (Foust et al., 2006).....	28
Figura 7. Curva de equilibrio del secado de un sólido.....	30
Figura 8. Curva típica, variación del contenido de humedad. (Porter et al., 1973).....	30
Figura 9. Isoterma de adsorción de la humedad	33
Figura 10. Grafica de isotermas de adsorción y desorción	35
Figura 11. Coordenadas de color del sistema Hunter Lab	38
Figura 12. <i>Capsicum pubescens</i> cortado a 0.5 y 1 cm	44
Figura 13. Secador de charolas del Instituto Tecnológico Superior de Orizaba	45
Figura 14. Colocación de rodajas en las charolas.	46
Figura 15. Medidor de actividad de agua del ITO	49
Figura 16. Termobalanza	50
Figura 17. Colorímetro MiniScan XE plus marca Hunter Lab	51
Figura 18. Cinéticas de secado de rodajas de <i>C. pubescens</i> Ruiz & Pav., de 1 cm (◆= 50° C, ●=60°C, ▲=70°C).	54
Figura 19. Cinética de secado de rodajas de <i>C. pubescens</i> Ruiz & Pav., de 0.5cm (▲= 70°C, ●=60°C, ◆=50°C).	55
Figura 20. Cinéticas correspondientes a L en grosores de 1 y 0.5 cm.....	57
Figura 21. Cinéticas correspondientes al parámetro a en grosores de 0.5 y 1cm.....	58
Figura 22. Cinéticas correspondientes al parámetro b* en grosores deshidratados de 0.5 y 1cm.....	58

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Diseño experimental aplicado en el proceso de deshidratación de <i>Capsicum pubescens</i> Ruiz & Pav.	47
Tabla 2. Constante de velocidad y coeficiente de difusión.	55
Tabla 3. ΔE y a_w (después de 300 minutos) en diferentes condiciones de secado.	60

Determinación de parámetros del secado convectivo, evaluación sensorial y almacenamiento del chile manzano (*Capsicum pubescens* Ruiz & Pav.)

Realizado por: Consuelo Sánchez García

Asesor: Dra. Alejandra Ramírez Martínez

Dra. Guadalupe Luna Solano

RESUMEN

Capsicum pubescens Ruiz & Pav., es una especie de chile presente en el sur de México (estado de Veracruz) el cual registra una pérdida del 30% debido a las limitaciones del mercado. Por lo tanto, el objetivo de este proyecto fue determinar los parámetros físicos y químicos de *Capsicum pubescens* Ruiz & Pav., así como evaluar la cinética de secado de esta especie. Las pruebas de color revelaron que las muestras cuyo color fue menos afectado por las condiciones de secado ($p < 0.05$) corresponden a aquellas donde el producto se deshidrató 60°C (0.5 cm de espesor) y 50°C (0.5 y 1 cm de espesor). Estas condiciones coinciden con la preferencia de la población encuestada. Por lo tanto, *Capsicum pubescens* Ruiz & Pav. Se puede secar en estas condiciones.

Palabras Clave: *Capsicum pubescens* Ruiz & Pav., cinética de secado, parámetros fisicoquímicos, condiciones de secado.

Determination of convective drying parameters, sensory analysis and shelf life of manzano chile (*Capsicum pubescence* Ruiz & Pav.)

By: Consuelo Sánchez García

Advisor: Dra. Alejandra Ramírez Martínez

Dra. Guadalupe Luna Solano

ABSTRACT

Capsicum pubescens Ruiz & Pav., is a species of chile present in southern Mexico (state of Veracruz) which records a loss of 30% due to market limitations. Therefore, the objective of this project was to determine the physical and chemical parameters of *Capsicum pubescens* Ruiz & Pav., as well as to evaluate the kinetics of drying of this species. The color tests revealed that the samples whose color was less affected by the drying conditions ($p < 0.05$) correspond to those where the product was dehydrated 60°C (0.5 cm thick) and 50°C (0.5 and 1 cm thick). These conditions coincide with the preference of the surveyed population. Therefore, *Capsicum pubescens* Ruiz & Pav., can be dried under these conditions.

Keywords: *Capsicum pubescens* Ruiz & Pav., drying kinetics, physicochemical parameters, drying conditions.

I. INTRODUCCIÓN

El chile es una solanácea que pertenece al género *Capsicum* el cual incluye más de 26 especies donde solo doce son utilizadas por el hombre y solo cinco han sido domesticadas y cultivadas. Dentro de éste género se encuentra el chile manzano o perón también llamado rocoto o locoto en América del sur (*Capsicum pubescens* Ruiz & Pav.) (Zewdie, 2001). Esta especie se originó en las zonas altas y frías de Perú y Bolivia pero se cultiva en diversos países como lo es México donde es favorecido por su capacidad de adaptación ya que generalmente crece en zonas altas y frías (1200 a 3000m) incluyendo las zonas montañosas en el estado de Veracruz (Torres, 2016). *Capsicum pubescens* Ruiz & Pav., se cultiva principalmente en los meses de agosto a enero y en menor cantidad en los meses de enero a julio. Los sistemas de producción más comunes de esta especie son en invernadero y en campo abierto (Torres, 2016). Existen pocos reportes acerca de la pérdida de este producto tanto en campo como en invernadero (Pérez, 2008) sin embargo, un productor de la comunidad de Ateopa, municipio de Alpatláhuac, Veracruz (sitio en donde se obtuvieron las muestras para el presente trabajo) reportó que la comunidad registra pérdidas de hasta el 30% de la producción (Rogelio Murillo, comunicación personal, 1 de agosto de 2017).

Las variedades de chile manzano son apreciables tanto en forma como color el cual cambia de verde (en su estado inmaduro) a amarillo, naranja o rojo (en su estado maduro). Este chile es consumido en varios estados Mexicanos y es apreciado por su sabor y picor en mercados Europeos (Zewdie, 2001). Su sabor y pungencia son atribuidos a su contenido de capsaicinoides totales, entre ellos a la capsaicina (trans-8-metil-N-vallinil-6-noneamida) y dihidrocapsaicina los cuales varían de acuerdo con el estado de madurez de la planta, clima y manejo postcosecha del fruto (Long, 2005). Asimismo, investigaciones reportan que el consumo de chile manzano puede ser utilizado como antioxidante, además de ser resistente naturalmente a algunas plagas comunes en otras especies de chile (Bosland y Engels, 1996).

A pesar de que *Capsicum pubescens* Ruiz & Pav., es apreciado en mercados nacionales e internacionales debido a que posee cualidades particulares que lo distinguen de otros pimientos y que posee propiedades nutraceuticas, existen pocos reportes sobre su conservación en postcosecha (Espinosa, 2014) así como de evaluaciones sensoriales del producto.

Una técnica para conservar alimentos es el secado. Este método de conservación reduce las pérdidas postcosecha y permite que se disponga de producto durante todo el año. Considerando lo anteriormente expuesto, el presente proyecto consistió en evaluar las cinéticas de secado y parámetros físicos y químicos de muestras de rodajas de *Capsicum pubescens* Ruiz & Pav. Estas rodajas fueron molidas para obtener muestras en polvo a las cuales se les realizó un análisis sensorial. Las muestras en polvo también fueron almacenadas para verificar el crecimiento de hongos durante 60 días.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 El chile manzano

El chile es uno de los alimentos más importantes y representativo de la dieta Mexicana (Pérez., 1997). La cultura indígena y europea contribuyó ampliamente en la diversificación de sus formas de consumo (López, 2007). Este producto alimenticio es un fruto esférico, carnoso, hueco en cuyo interior se encuentran las semillas. Es en la placenta en donde se produce y se encuentra más concentrada la capsaicina, la cual es mejor conocida como vena del chile que al de acuerdo al escozor de éste, es añadida o despojada de los caldos y comidas. Aunque el género *Capsicum* incluye más de 26 especies, solo doce especies más algunas variedades son utilizadas por el hombre y de éstas solo cinco han sido domesticadas y se cultivan. Estas especies son: *Capsicum annum* (jalapeño, serrano, ancho, pasilla, mirasol o guajillo, de árbol, piquín); *Capsicum baccatum*; *Capsicum chinense* (habanero); *Capsicum frutescens* y *Capsicum pubescens* Ruiz & Pav., (Riquelme, 2003; Laborde, 1984). Entre los cinco pimientos de *Capsicum* o chile domesticado se encuentra la especie de *Capsicum pubescens* (**Figura 1: A, B y C**)



A)



B)



C)

Figura 1. Ejemplares de *C. pubescens* Ruiz & Pav., Dónde: A) verde- amarillo, B) verde-rojo y C) amarillo maduro

El chile manzano (*C. pubescens* Ruiz & Pav.) se originó en Perú y Bolivia. En México se cultiva favorecido por su capacidad de adaptación a lugares fríos y altos como las altas montañas del estado de Veracruz. Requiere un ambiente fresco, libre de congelación y una larga temporada de crecimiento para alcanzar su madurez (Laborde, 1984). Las variedades de esta especie de chile varían en forma y el color cambia de verde (en su estado inmaduro) a amarillo, naranja o rojo (en su estado maduro)(Hernández., 2012).

2.2 Componentes principales del chile

La capsaicina (8-metil-N-vanillil-6-nonenamida) es una oleorresina que es estado puro es un compuesto lipofílico, inodoro, incoloro, parecido a la cera(UNAM, 2015). Este compuesto es el principal componente activo que da el escozor a los pimientos picantes (*Capsicum*).

La acumulación de capsaicinoides en los frutos de chile está relacionada con la edad y el estado de desarrollo del fruto. Los capsaicinoides empiezan a

acumularse en las primeras etapas de desarrollo y alcanzan su máxima concentración en las etapas finales (Ishikawa, 1994; Estrada 1997). Asimismo, la variación en el picor del chile está determinada por factores genéticos y ambientales y por la interacción genotipo×ambiente (Bosland, 2000).

Aparte de la capsaicina, el chile contiene otros compuestos que de acuerdo a su naturaleza se clasifican en:

- Compuestos fenólicos: dihidrocapsaicina, norhidrocapsaicina, homocapsaicina.
- Carotenoides: capsantina, capsorrubina.
- Flavonoides: apiósido, luteína.
- Otros: Cobre, vitamina B1, vitamina B2, Vitamina C.

2.3 Clasificación del picor de los chiles

El picor de un chile se ve influido por varios factores, el clima, el agua y los minerales. Por lo general, los chiles de menor tamaño son más picantes que los de tamaño grande y la planta que produce en etapa de sequía tiende a ser más picante que otra que haya producido en condiciones más controladas (Long, 2005). El chile que crece en la parte inferior de la planta es el que madura primero y tiende a ser más picante que los que crecen en los extremos. De la misma manera, los agrónomos aseguran que las altas temperaturas nocturnas afectan el grado de picor de los chiles, haciéndolos más acres (Long, 2005).

Antiguamente, no era fácil calcular lo picante de un chile, puesto que la capsaicina carece de olor, sabor y color. Para medirla, hace unas décadas se llevaba a cabo una prueba basada en el gusto humano, un método llamado Scoville, propuesto por el farmacólogo Wilbur Scoville quien lo inventó en 1912 (**Figura 2**).

Unidades Scoville	Tipo de chile
15.000.000–16.000.000	Capsaicina pura
8.600.000–9.100.000	Varios capsaicinoides
2.000.000–5.300.000	Aerosol de pimienta en EE.UU
2.200.000	Carolina Reaper
1.300.000–2.000.000	Naga Viper, Trinidad Scorpion Butch T
855.000–1.041.427	Naga Jolokia
350.000–580.000	Habanero Savinas Roja
100.000–350.000	Chile habanero, Scotch Bonnet, Chile datil, Capsicum chinense
100.000–200.000	Rocoto, chile jamaicano picante, piri piri
50.000–100.000	Chile thai, chile malagueta, chile chiltepín, chile piquín
30.000–50.000	Cayena, ají escabeche, chile tabasco, algunos chipotle
10.000–23.000	Chile serrano, algunos tipos de chile chipotle
5.000–8.000	Variedad de Nuevo México del chile anaheim, chile húngaro de cera
2.500–5.000	Chile jalapeño, Pimiento de Padrón, Salsa Tabasco
1.500–2.500	Chile rocotillo
1.000–1.500	Chile poblano
500–1.000	Chile anaheim
100–500	Pimiento, pepperoncini
0	No picante, pimiento verde

Figura 2.Tabla de Scoville 1912(Bonilla, 2014)

El número de unidades Scoville (SHU, del inglés Scoville Heat Units) indica la cantidad presente de capsaicina. El método Scoville ha sido parcialmente reemplazado en algunas empresas por una prueba de laboratorio más elaborada que no depende del estado emocional de los catadores. Actualmente, la cantidad de capsaicina que posee el chile se determina por cromatografía líquida de Alta Pureza (HPLC del inglés: High Purity Liquid Chromatograph). Las técnicas cromatográficas son muy variadas, pero en ellas hay una fase móvil que consiste en un fluido (gas, líquido) que arrastra a la muestra a un flujo constante de presión proporcionado por una bomba hasta llegar al punto donde es introducida la muestra. Siguiendo el flujo de presión la lleva a una columna donde se encuentra la fase estacionaria (sólido o líquido fijado en un sólido) y se separan, pasan por un detector general que puede depender de la concentración y del tipo de compuesto. Sus partes se describen en la **Figura 3**.

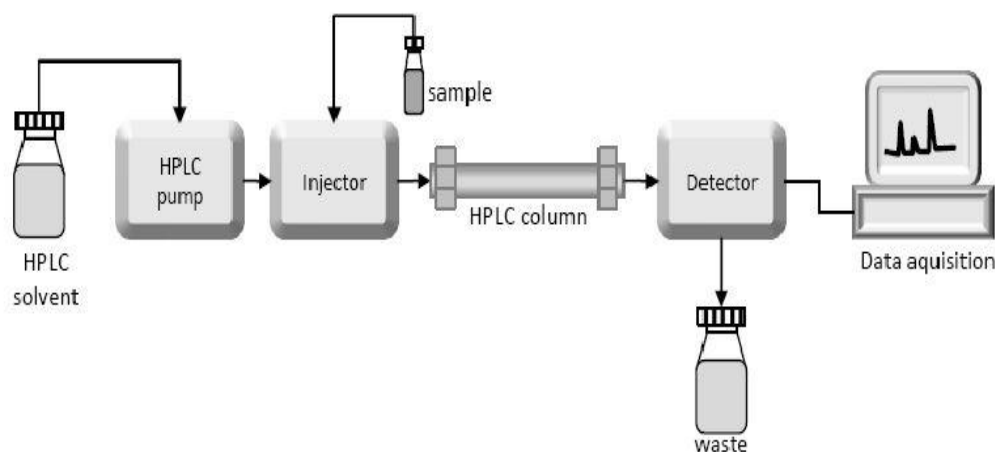


Figura 3. HPLC (Biochemistry, 2015)

2.4 Usos y valor nutrimental de *Capsicum pubescens* Ruiz & Pav.

En general, los chiles además de dar sabor a las comidas poseen cualidades nutritivas por su contenido de vitaminas A y C (Maroto, 2002). Estos frutos tienen mayor contenido de vitamina C que otras hortalizas y frutas reconocidas como fuentes de esta vitamina (Dürüst, 1997; Fawell, 1998). Según (Byers, 1992.), la vitamina C es un factor preventivo del cáncer por la capacidad de inhibir la síntesis de compuestos N-nitrosos en el estómago además de estimular el sistema inmune. Las diferencias en niveles de vitaminas en el chile se deben a diferencias en cultivares, clima en el que se desarrolle, madurez del fruto, manejo agronómico de la planta inclusive al método analítico que se utilice para determinarlo (Mozafar, 1994). Particularmente, Oboh y Rocha (2008) encontraron que *C. pubescens* (en estado maduro e inmaduro) inhibe la peroxidación lipídica en cerebro de rata in vitro lo que sugiere que el consumo de esta especie puede evitar enfermedades neurodegenerativas. Asimismo, Bosland y Engels (1996) reportaron que *C. pubescens* es más resistente que otras especies comunes de chile (*C. annum*) a los áfidos, una plaga. También se ha informado que esta especie contiene un número relativamente mayor de capsaicinoides individuales y muestra una mayor diversidad en los perfiles de capsaicinoides que otras especies de *Capsicum*.

Además, su relación capsaicina: dihidrocapsaicina es diferente de *C. annuum*, lo cual muestra la particularidad del sabor de *C. pubescens* Ruiz & Pav., (Zewdie y Bosland, 2001).

2.5 Producción de *Capsicum pubescens* en México

El chile manzano es cultivado principalmente en las zonas altas y frías del país, en altitudes de 1700-2400m(Pérez, 2008). La producción en México se caracteriza por ser principalmente temporal, lo cual provoca una concentración de la producción en los meses de agosto a diciembre y una carencia casi absoluta de enero a julio (Luis, 2010). Luis (2010)menciona que las principales zonas de producción se encuentran ubicadas en los estados de Michoacán, Puebla, Estado de México y Veracruz, y, en menor escala, en Chiapas y Oaxaca. Su consumo es insustituible en zonas de la sierra norte de Puebla, en Toluca, Michoacán y Morelia, donde forma parte de los hábitos alimenticios.

En México se ha incrementado la producción del chile manzano en años pasados(Peréz *et al*, 2004). Esta especie posee ciertas particularidades como su forma y apariencia que lo hacen atractivo para el consumidor, por lo que incluso se exporta. La producción de chile manzano es una alternativa para pequeños agricultores que habitan zonas altas de regiones serranas, sobre todo si incorporan un pequeño invernadero para proteger a las plantas de heladas, además de que obtendrían cosecha todo el año aunque la mayoría de las plantas de chile manzano crecen de forma silvestre. El problema de este cultivo es que si llega a haber heladas la planta muere. Además, el hongo (*Phytophthora capsicum*) daña particularmente a este cultivo. Este hongo es semiacuático y se puede presentar cuando hay mucha humedad relativa o constante en el sustrato, lo cual propicia el desarrollo de la enfermedad y la muerte de las plantas(yaqui, 2013). El sistema intensivo de producción de chile manzano en invernadero trata de evitar que esto suceda. Además, el chile producido en invernadero puede durar 15 a 20 días sin refrigeración(Villa, 2008).

2.6 Proceso de secado

La deshidratación es una de las técnicas antiguamente utilizadas para la conservación de alimentos. El secado de frutas, granos, vegetales, carnes, y pescados ha sido ampliamente utilizado desde los albores de la humanidad proporcionando al hombre una posibilidad de subsistencia en épocas de carencias. Hoy en día, existe una gran demanda de alimentos de alta calidad en el mercado, entre los cuales se encuentran los alimentos deshidratados que deben de poseer altas propiedades nutricionales y organolépticas con los niveles similares a los de un producto fresco. El secado de los alimentos es un método complejo que implica procesos de transferencia de cantidad de movimiento, calor y masa por lo que se define mejor como la operación básica por la que el agua que contiene un sólido o una disolución (generalmente concentrada) se transfiere la fase fluida que lo rodea debido a los gradientes de actividad de agua (a_w) entre ambas fases (Geankoplis, 1998).

El propósito de la deshidratación de materiales biológicos (en especial los alimentos), es aumentar su vida de anaquel, mediante la reducción de la actividad de agua (a_w) lo que se inhibe el crecimiento microbiano y la actividad enzimática. Los microorganismos que provocan la descomposición de los alimentos no pueden crecer y multiplicarse en ausencia de agua. Además, muchas de las enzimas que causan los cambios químicos en alimentos y otros materiales biológicos no pueden realizar su función sin agua. Los microorganismos dejan de ser activos cuando el contenido de agua (humedad, X) se reduce por debajo del 10% en peso. Sin embargo generalmente es necesario reducir este contenido de humedad por debajo del 5% en peso de los alimentos, para preservar su sabor y valor nutritivo. Los alimentos secos pueden almacenarse durante periodos bastante largos (Geankoplis, 1998).

Otro de los objetivos de la deshidratación de los alimentos es la transformación de estos en materias primas adecuadas para el mezclado y formación de nuevos productos y obtener formas físicas deseadas (por ejemplo polvos, copos,

gránulos) como es el caso de la fruta deshidratada, cereales para el desayuno, leches en polvos entre otros. La deshidratación conlleva a una apreciable reducción de peso y volumen de los alimentos consiguiéndose así una importante reducción en los costos de transporte y almacenamiento de estos productos. Sin embargo, este proceso también puede afectar la calidad nutritiva y el sabor de los alimentos(Sharma, 2003). Es por esto que durante el proceso de deshidratado, se busca mejorar y preservar las cualidades originales del producto a secar al favorecer o evitar cambios que tengan que ver con la aceptación o rechazo del producto obtenido, su utilidad, su calidad nutricional o su seguridad al no tener compuestos o sustancias tóxicas.

La temperatura o la exposición prolongada del producto al oxígeno presentes en el proceso de secado son factores importantes que producen o favorecen cambios en los alimentos. El estudio de estos cambios generalmente se hacen mediante cinéticas químicas u otros procedimientos de análisis más complicados (Villegas *et al.*, 2007).

2.7 Mecanismos del proceso de secado

La transferencia de materia a través de un sólido poroso, como suelen ser los sólidos que se deshidratan en las industrias agrícolas, es un fenómeno complejo. Teniendo en cuenta que el alimento sometido a deshidratación es en general un sistema trifásico (matriz sólida, fracción líquida y fracción gaseosa o porosa) pueden distinguirse varios mecanismos de transporte de materia según se trate de agua líquida, agua líquida más solutos o vapor de agua en forma de vapor por mecanismo turbulento.

Cuando el aire caliente entra en contacto con un alimento húmedo, su superficie se calienta y el calor transmitido se utiliza como calor latente de evaporación, con lo que el agua que contiene pasa a estado vapor. El vapor de agua, que atraviesa por difusión la capa de aire en contacto con el alimento, es arrastrado por el aire en movimiento (**Figura 4**) generándose sobre aquel una zona de baja presión y creándose entre el aire y el alimento una gradiente de presión de vapor. Este

gradiente proporciona la fuerza impulsadora que permite eliminar agua (Fellow, 1994).

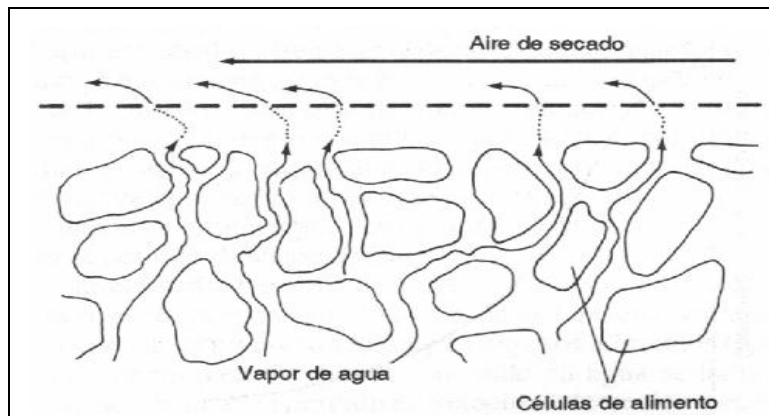


Figura 4. Trayectoria de vapor de agua durante la deshidratación (Fellow, 1994)

De acuerdo a lo anterior los mecanismos de transferencia de materia en el interior del sólido son: el movimiento de agua debido a fuerzas capilares, difusión provocada por las diferencias de concentración de los solutos entre las distintas partes del alimento, difusión de agua absorbida en diversas capas sobre la superficie de los componentes sólidos de los alimentos y difusión gaseosa provocada por el gradiente de presión de vapor que existe en el interior del alimento.

En el secado la transferencia de calor hacia la interface puede realizarse por los tres mecanismos conocidos: convección, conducción y radiación. En algunas ocasiones es alguno de estos mecanismos el que predomina, mientras que otras el calor se transmite por combinación de ellos (Antonio, 2007; Maupey *et al*, 2001).

El proceso de secado de materiales puede ser descrito por una serie de etapas en las cuales la velocidad de secado es importante. **La Figura 5** muestra la curva de velocidad para condiciones de secado constante. Empezando en tiempo de cero, el contenido inicial de humedad libre corresponde al punto A. Al inicio el sólido va en aumento. Al llegar al punto B, la temperatura de la superficie alcanza su valor de equilibrio. Por otra parte, si el sólido está bastante caliente al principio de la

operación, la velocidad de secado puede iniciarse en un punto A ; este periodo inicial de ajuste en estado no estacionario suele ser bastante corto y por lo general se pasa por alto en el análisis de los tiempos de secado. La curva es recta entre los puntos B y C, por lo que la pendiente y la velocidad son constantes durante este periodo. Este periodo de velocidad constante de secado corresponde a la línea BC. En el punto C de la Figura 5, la velocidad de secado comienza a disminuir en el periodo de velocidad de creciente, hasta llegar al punto D, la velocidad corresponde a la línea CD, y por lo general es lineal. En el punto D la velocidad de secado disminuye con más rapidez aún, hasta que llega al punto E, donde el contenido de humedad de equilibrio en el secado de algunos materiales, la región CD no existe o bien, constituye la totalidad del periodo de la velocidad decreciente.

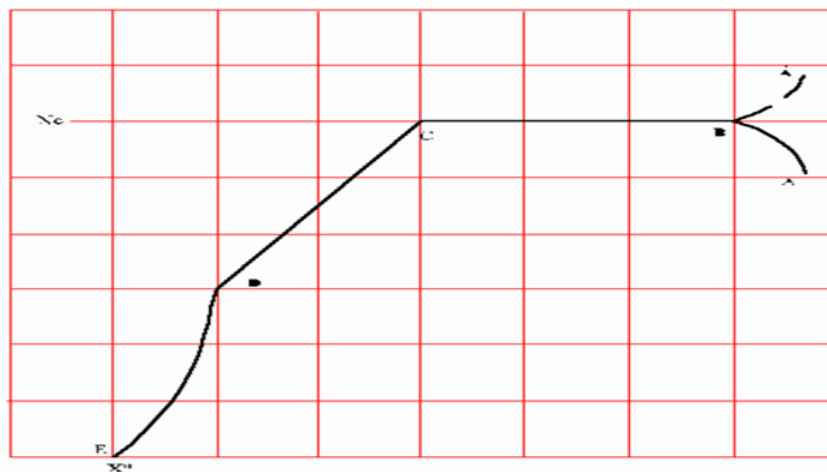


Figura 5. Curva de velocidad de secado (Geankoplis, 1998)

El secado de diversos sólidos bajo diferentes condiciones constantes de secado casi siempre producen curvas de forma variable en el periodo de velocidad decreciente, pero en general siempre están presentes en dos zonas principales de la curva de velocidad de secado; el periodo de velocidad constante y el periodo de velocidad decreciente (Geankoplis, 1998).

2.8 Equipos de deshidratación

Los métodos de secado se clasifican tomando en cuenta todas las consideraciones como la forma en que se transfiere el calor al material y puede ser directo, en este caso la transmisión de calor para la desecación se realiza por contacto directo entre sólido húmedo y gases calientes. El líquido vaporizado es arrastrado y desalojado, es decir, por los gases calientes; los secadores directos podrían llamarse también secadores por convención, indirectos donde el calor para la desecación se transmite al sólido húmedo a través de las partes de las partes que lo separan del medio calentador. El líquido vaporizado se desaloja independientemente del medio caliente. La intensidad de la desecación depende del contacto de la materia húmeda con las superficies calientes. Los secadores indirectos podrían también llamarse secadores por conducción o de contacto. También podemos encontrar calor radiante cuando las fuentes transmiten su energía mediante calor radiante (Helaman y Singh, 1981).

2.9 Secado por charolas

Uno de los equipos de secado más ampliamente utilizado en la industria es el de charolas (**Figura 6**) y se utiliza generalmente para operaciones a baja capacidad. Como se ve en la figura 6, este equipo consiste esencialmente en un gabinete en el que se coloca el material a secarse sobre charolas o carretillas. En el primer caso, las charolas se descargan sobre carretillas que se empujan hasta el interior del secador y en el segundo caso, las charolas se cargan directamente en bastidores fijos dentro del secador. Las carretillas están provistas de ruedas con pestaña que corren sobre carriles, o bien, de ruedas 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 éstas. Las charolas pueden ser cuadradas o rectangulares, con una superficie de 0.37 a 0.75 m²/charola y se fabrican de cualquier material que sea compatible con las condiciones de corrosión y temperatura prevalecientes. El secador puede tener espacio para diez

o más charolas las cuales pueden ser entrepaños de fondo sólido con aire circulando a través de la parte superior e inferior del entrepaño o pueden tener una base de malla con la circulación de aire controlada, de tal manera que pasa a través de la charola y los sólidos que contiene (Foust *et al.*, 2006).

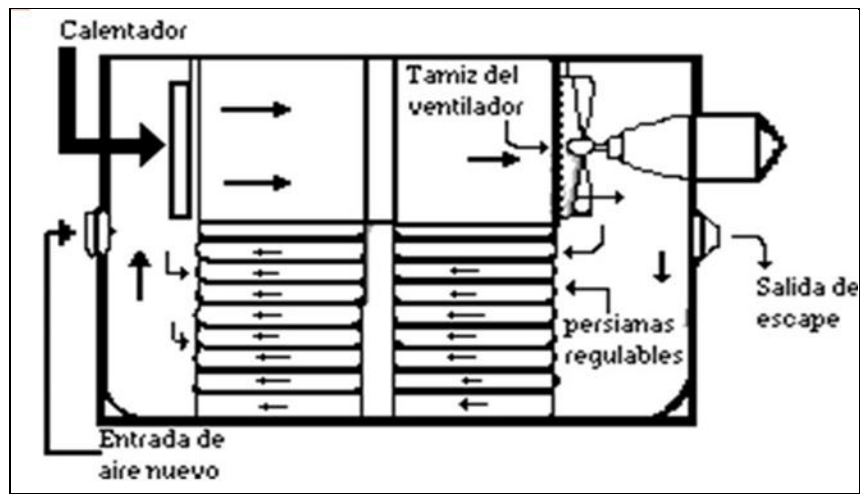


Figura 6. Secador de charolas (Foust *et al.*, 2006).

En general, se prefieren las charolas metálicas, ya que conducen el calor con mayor facilidad. Las cargas de charolas varían comúnmente de 1.25 a 10.1 cm de profundidad, el aire 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 las charolas, los calentadores y los ductos es, casi siempre el orden de 2.5 a 5 cm de agua. La recirculación del aire es usualmente del orden del 80 al 95 %, excepto durante la etapa inicial de desecación de evaporación rápida (Cruz, 2014)

El funcionamiento satisfactorio de los secadores de charolas depende del mantenimiento de una temperatura constante y una velocidad de aire uniforme sobre todo el material que se éste secando. Es conveniente 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 con el propósito de eliminar aire estancado. La corriente

de aire adecuada para este género de secadores depende de que el ventilador tenga una capacidad suficiente, el 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.(Vernon, 2011)

2.10 Cinética de secado

La cinética de secado se basa en los cambios de la cantidad promedio de humedad con el tiempo. El cambio de humedad depende de la transferencia de calor y masa entre la superficie del cuerpo, ambiente y el interior del material a secar. Es indispensable saber que la intensidad del secado refleja la cantidad de humedad a través del tiempo que es removida la cual es influenciada por los parámetros de secado como son la temperatura, humedad, velocidad relativa del aire, entre otros. El proceso de secado es usualmente descrito por diagramas contruidos con las siguientes coordenadas (**Figuras 7 y 8**):

1. Contenido de humedad del material *contra* tiempo de secado (curva de secado).
2. Velocidad de secado *contra* contenido de humedad del material (curva de velocidad del secado).
3. Temperatura del material *contra* contenido de humedad (curva de temperatura).

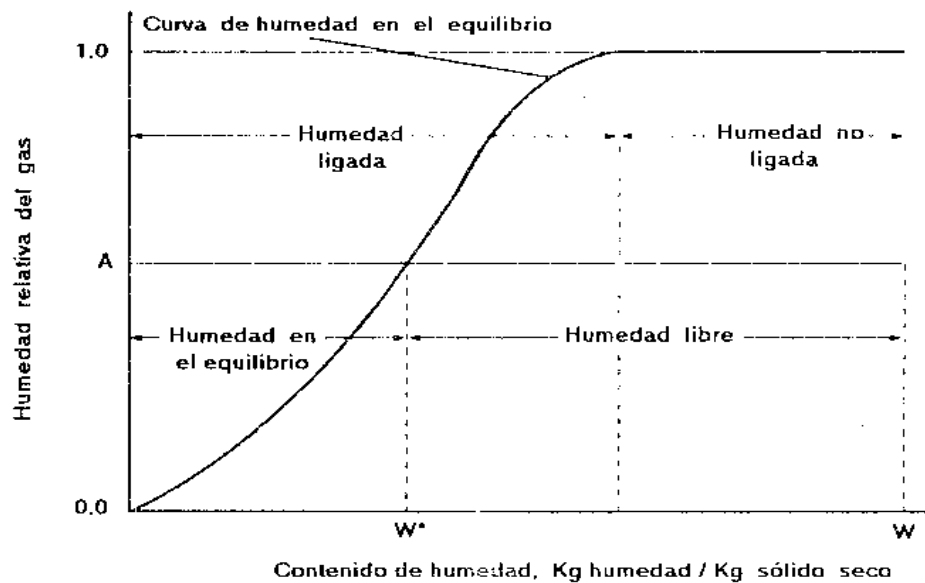


Figura 7. Curva de equilibrio del secado de un sólido

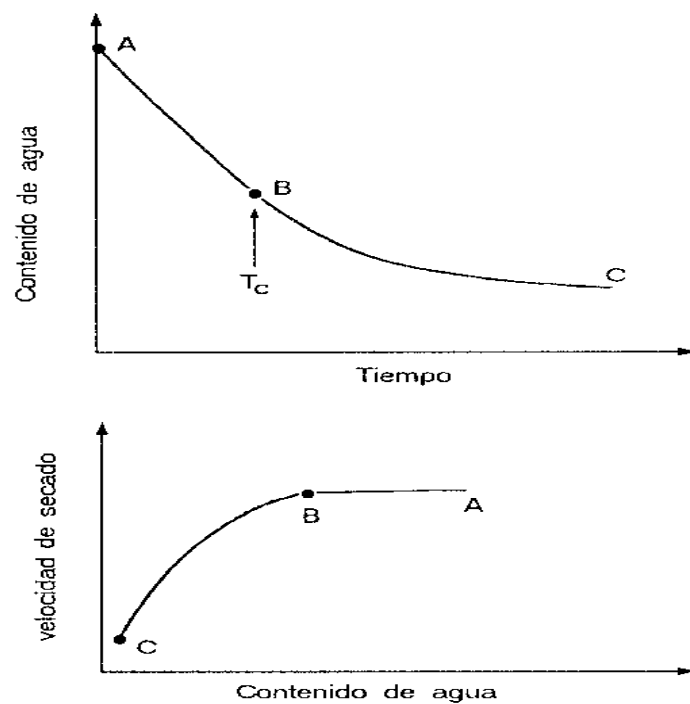


Figura 8. Curva típica, variación del contenido de humedad. (Porter *et al.*, 1973)

2.11 Velocidad de secado

La velocidad de secado de un material se ve influida por la velocidad del aire, estructura interna del material, humedad del aire, tiempo de secado entre otros factores. En general, la velocidad de secado se divide en dos etapas:

- Velocidad constante. La superficie de un sólido contiene humedad por lo que la vaporización del agua contenida se lleva a cabo a partir de ahí. En esta etapa de secado se observa la difusión del vapor del agua a través de la interface aire/sólido. Hacia el final del periodo constante, la humedad es transportada del interior del sólido hacia la superficie por fuerzas capilares y la velocidad del aire no eleva la tasa de evaporación de agua del sólido al ambiente.
- Velocidad decreciente. Dado que la profundidad media del nivel de humedad del sólido incrementa progresivamente y la conductividad de calor de las zonas externa secas es muy pequeña, la velocidad de secado es cada vez más influenciada por la conducción de calor. Sin embargo, si el producto seco tiene una densidad alta y cavidad pequeña con poros pequeños, el secado es determinado no tanto por la conducción de calor sino por una resistencia alta a la difusión dentro del producto. Como la concentración de humedad disminuye por el secado, la velocidad de movimiento de humedad interna también disminuye (Geankoplis, 1998).

2.12 Variables que intervienen en el secado de alimentos

2.12.1 Humedad relativa (HR)

La humedad relativa de una muestra de aire depende de la temperatura y de la presión a la que se encuentra (Medrano, 2001). La humedad relativa es el porcentaje de la humedad de saturación, que se calcula normalmente en relación con la densidad de vapor de saturación. El contenido de humedad relativa en el

aire es importante para la estabilidad de un alimento cuando se utiliza un empaque totalmente impermeable y se exprese matemáticamente de acuerdo a la ecuación 5:

$$HR = \frac{e}{E} (100) \quad (5)$$

En donde HR es el porcentaje de humedad relativa, e es igual a la presión de vapor de agua en Pa, E es igual a la presión de saturación de vapor de agua en Pa

2.12.2 Humedad de equilibrio (X^*):

Cuando una sustancia se expone al aire (no saturado) comenzará a evaporarse o condensarse agua en él hasta que las presiones parciales del vapor contenido en el aire y del líquido contenido en el sólido se igualen. Entonces el sólido y el aire estarán en equilibrio, llamándose humedad en equilibrio (X^*) al contenido de agua en base seca que tiene el sólido en ese momento y siempre que no cambien las circunstancias externas (temperatura o humedad principalmente). Para una temperatura dada, la humedad relativa que tenga el aire. Al representar gráficamente HR frente a X_e (o viceversa) se obtiene una curva de equilibrio, que será distinta para cada sustancia y para cada temperatura (Geankoplis, 1998).

La isoterma de adsorción (**Figura 9**) se usa para relacionar el comportamiento de un producto dependiendo de su contenido inicial de humedad, el cual perderá o ganará (adsorber) agua durante el proceso de equilibrio con la atmósfera que rodea al producto.

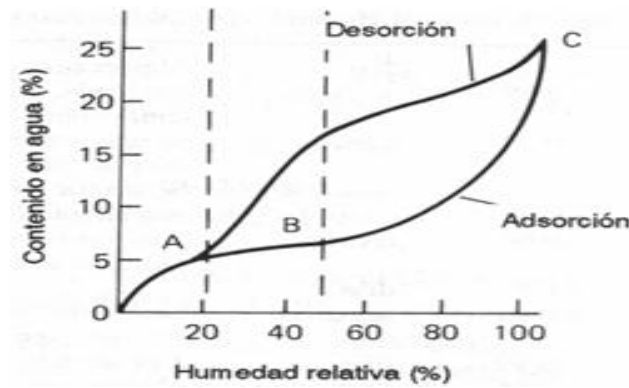


Figura 9. Isotherma de adsorción de la humedad

2.12.3 Grosor de la muestra

A nivel macroscópico, se han realizado diversos estudios sobre secado donde se concluye que los alimentos se secan mejor si se dividen en piezas pequeñas ya que al ser secados presentan mayor pérdida de agua que al estar enteros. Ejemplo de ello es el trabajo realizado por Krokida *et al.*, (2003) quienes secaron a diferentes tratamientos papa y zanahoria.

La teoría general del secado establece que según el proceso se halle en su etapa de velocidad constante o decreciente, la velocidad de secado se verá afectada de manera diferente tal como se describió en el apartado anterior (apartado 1.11.5). En la etapa de secado decreciente se considera que la evolución de la humedad puede ser descrita por la ley de Fick, (1978) y que este se ve afectado, entre otros parámetros, por el grosor:

$$\ln M_R = \ln \frac{8}{\pi^2} - \left(\frac{\pi^2 D_{eff} t}{4L^2} \right) \quad (6)$$

En donde M_R corresponde al contenido de humedad adimensional, D_{eff} corresponde a la difusividad del agua en m^2/s , t es el tiempo en s y L es el espesor de la muestra en m. La humedad adimensional M_R puede calcularse como:

$$M_R = \frac{X}{X_0} \quad (7)$$

En donde X corresponde a la humedad de las muestras en base seca en diferentes tiempos y X_0 es la humedad inicial de la muestra. Asimismo, es común calcular una velocidad global del secado (la cual comprende el periodo creciente y decreciente) según la siguiente ecuación:

$$M_R = \frac{X}{X_0} = e^{-kt} \quad (8)$$

En donde k corresponde al parámetro que representa una velocidad global de transferencia de agua en 1/m.

2.13 Propiedades fisicoquímicas de los alimentos

Se busca alargar la vida de anaquel de muchos de los alimentos que son consumidos en el mundo. La deshidratación es una de las operaciones unitarias más utilizadas para este propósito ya que es económicamente viable y puede reducir la actividad de agua (a_w) a un nivel en el cual los microorganismos no se pueden desarrollar. Sin embargo, esta técnica tiene desventajas como posibles pérdidas de nutrientes en el alimento así como cambios físicos. Por estas razones, es importante analizar los cambios que ocurren en las propiedades físicas y químicas de los alimentos durante el proceso de deshidratación para que finalmente se puedan obtener productos de alta calidad y con bajo riesgo de degradación microbiana.

2.13.1 Actividad de agua (a_w)

Se define como la relación que existe entre la presión de vapor de un alimento dado en relación con la presión de vapor del agua pura a la misma temperatura (a_w del inglés water activity). El concepto de actividad de agua se ha utilizado como un indicador de estabilidad en el control de calidad de los alimentos frente a los procesos de deterioro. La actividad de agua se define de acuerdo a la siguiente ecuación (ecuación 1):

$$a_w = \frac{p}{p^0} \quad (1)$$

En donde a_w es la actividad de agua, p es la presión parcial de vapor en un alimento y p^0 es la presión de vapor en el agua pura. De la ecuación 1 se desprende que la actividad de agua toma valores entre cero y uno.

Dado que la mayor parte de los alimentos son mezclas heterogéneas de varias sustancias puede contener cantidades de agua de los tres tipos (**Figura 10**) (Foust *et al.*, 1996):

- Zona A: es el agua fuertemente ligada correspondiente a una a_w de 0.2-0.3 ó inferior. El agua se encuentra en forma monomolecular que se desarrolla cuando una fracción de agua presente interacciona con la superficie del alimento.
- Zona B: es el agua moderadamente ligada ($a_w=0.3-0.7$) y corresponde a las multicapas de agua. Es una zona en la que un pequeño cambio en el contenido acuoso se traduce en grandes variaciones de los valores de su actividad.
- Zona C: es el agua poco ligada. Corresponde a una a_w de 0.7 y superior. El alimento presenta actividades bastante próximas a la del agua pura. Se elimina con facilidad llegando solo a un valor de 0.8 y es la responsable de cualquier tipo de reacción y crecimiento microbiano.

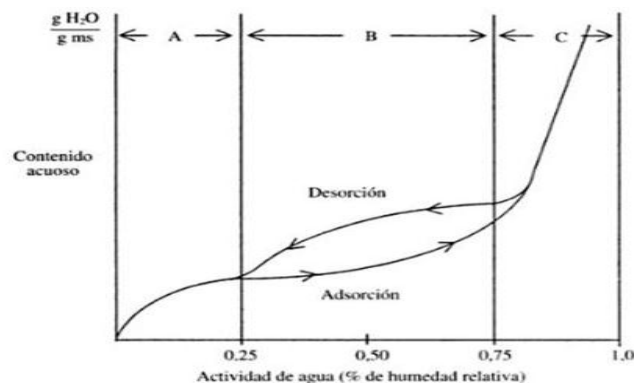


Figura 10. Grafica de isoterma de adsorción y desorción

En el equilibrio la a_w del agua también se relaciona con la humedad relativa (HR) (Macias et al., 1990) del medio ambiente que lo rodea mediante la siguiente relación (ecuación 2):

$$a_w^*(100) = \% \text{ de humedad relativa de equilibrio} \quad (2)$$

La actividad acuosa de un alimento se puede reducir aumentando la concentración de solutos en la fase acuosa de los alimentos mediante la eliminación de agua (secado) o la adición de nuevos solutos.

2.13.2 Contenido de humedad

La humedad (X) indica la cantidad de agua presente en una muestra y puede expresarse en base seca o base húmeda. En los cálculos de secado resulta más conveniente referir la humedad a base seca, debido a que es constante a lo largo del proceso de secado. Entonces el contenido de humedad en base seca sólida es el contenido de humedad con relación a la masa totalmente seca sólida (Macias et al., 1990) y se expresa mediante la siguiente ecuación (ecuación 3):

$$X_{b.s.} = \frac{g \text{ agua}}{g \text{ de sólido seco}} \quad (3)$$

En donde $X_{b.s.}$ representa la humedad en base seca, $g \text{ agua}$ la cantidad de agua del sólido en g y $g \text{ de sólido seco}$ el peso del sólido seco en g. Por el contrario, el contenido de humedad en base húmeda es la cantidad de humedad en relación a la masa total del sólido (ecuación 4):

$$X_{b.h} = \frac{g \text{ de agua}}{g \text{ de sólidos} + g \text{ de agua}} \quad (4)$$

En donde X *b.h.* corresponde a la humedad en base húmeda y g *de sólidos* representa el peso de los sólidos de la muestra en g.

2.14 Color

El espacio de color es un método para expresar el color de un objeto usando algún tipo de notación como pueden ser los números. La Commission Internationale de l'Éclairage (CIE), ha definido espacios de color, incluyendo CIE XYZ, CIE L^*C^*h y CIE $L^*a^*b^*$, para comunicar y expresar el color objetivamente. El espacio de color $L^*a^*b^*$, también referido como CIELAB, es actualmente uno de los espacios de color más populares y uniformes para evaluar el color de un objeto. Es ampliamente usado por que relaciona los valores numéricos de color persistentemente con la visión humana. Se usa para evaluar los atributos de color, identificar inconsistencias y expresar precisamente sus resultados a otros en términos numéricos. (Calva y Duran, 1997).

El sistema hunter (espacio de color hunter Lab) es un espacio de color rectangular de tres dimensiones basada en la teoría de colores opuestos de Henring. Con estas nuevas coordenadas se define un espacio cartesiano en el que L corresponde a la claridad, a^* y b^* a la cromaticidad como se ve en la **Figura 11**. Concretamente a^* define el componente rojo-verde, rojo para los valores positivos y verde para los colores negativos. El parámetro b^* define el componente amarillo-azul; amarillo para los positivos y azul para los negativos. Los colores son tanto más saturados para los negativos cuando más separados se encuentran del centro del grafico los puntos que los definen (Calva y Duran, 1997).



Figura 11. Coordenadas de color del sistema Hunter Lab

2.15 Evaluación sensorial

La evaluación sensorial surge como una necesidad de mantener constante la calidad de los alimentos procesados y por ende mantener el liderazgo en el mercado y es en esta industria donde ha tenido mayor desarrollo (Fenneman, 2007). Sus principios científicos están basados principalmente en la fisiología, psicología, psicofísica y estadística. Su propósito es estudiar como las propiedades de los alimentos u otros materiales son percibidas por los sentidos de la vista, olfato, gusto, tacto y oído. Las técnicas sensoriales requieren que todos los métodos de medida sean rigurosos, precisos y válidos, y estos también están relacionados con la percepción y preferencia de los consumidores.

Uno de los objetivos de la evaluación sensorial es el entendimiento de la importancia de las características sensoriales y el papel que juega en la experiencia sensorial que lleva a cabo el consumidor al momento de decidir su aceptación o agrado hacia el producto.

Los métodos sensoriales en forma general pueden ser separados en dos grupos: métodos analíticos y métodos afectivos. El propósito de los métodos analíticos es

evaluar las características de los alimentos utilizando para ello jueces entrenados, mientras que los métodos afectivos evalúan la respuesta o lo que provoca (gusto, desagrado, entre otros) en el consumidor (Hernández, 2005).

Las pruebas afectivas, son aquellas en las que los panelistas expresan su nivel de agrado, aceptación y preferencia de un producto alimenticio, una de las pruebas es la de satisfacción, en ella se utiliza la prueba hedónica verbal donde se les pide a los panelistas que indiquen el grado de satisfacción en una escala que puede tener 5 o más puntos siempre que sean impares con un punto intermedio, son descritas con los siguientes: me gusta muchísimo, me disgusta muchísimo, y como intermedio: ni me gusta ni me disgusta. (Hernandez, 2005).

2.16 Almacenamiento

El almacenamiento es una medida importante para asegurar la inocuidad de un alimento y requiere principalmente de condiciones necesarias para evitar riesgos de contaminación por acción de plagas, presencia de insectos y microorganismos y otros daños que provoquen la reducción de su calidad y en casos extremos la pérdida total (Fenneman, 2007).

Algunos factores que podrían afectar la conservación del chile *Capsicum pubescens* Ruiz & Pav., es la humedad que posea el producto, la temperatura del medio, así como las características genéticas de la especie, la reacción postcosecha del chile, el grado de madurez, la manipulación durante el proceso, entre otros. Ya que la temperatura del medio y la luminosidad son factores que pueden afectar el color de *C. pubescens* Ruiz & Pav., es importante mantenerle en recipientes oscuros para evitar el cambio de color en el producto. Con estas medidas el producto puede conservarse durante una mayor cantidad de tiempo.

III. JUSTIFICACIÓN

El chile es un ingrediente fundamental y representativo de la dieta alimenticia de los mexicanos. A éste se le considera como el primer cultivo domesticado en el continente Americano. Dentro de éste género se encuentra el chile manzano o perón (*Capsicum pubescens* Ruiz & Pav.). Esta especie crece en zonas altas y frías (1200 a 3000m) incluyendo las zonas montañosas en el estado de Veracruz (Torres, 2016). *C. pubescens* se cultiva principalmente en los meses de agosto a enero y en menor cantidad en los meses de enero a julio. Existen pocos reportes acerca de la pérdida de este producto en campo e invernadero ya que es un producto poco explotado (Pérez, 2008). Reportes de un productor del municipio de Alpatláhuac, Veracruz (Rogelio Murillo, comunicación personal, 1 agosto de 2017) menciona que se registran pérdidas de hasta el 30% de la producción en campo.

El alimento al ser deshidratado, reduce su peso y volumen, además de reducir las pérdidas del producto (Geankoplis, 1998). En algunos casos, la deshidratación sirve también para poner al alcance del consumidor una mayor variedad de alimentos de más cómoda utilización. La deshidratación altera en cierto grado tanto a las características organolépticas como el valor nutritivo de los alimentos. Uno de los objetivos en el diseño y el manejo de las instalaciones de deshidratado consiste en conseguir reducir el mínimo las modificaciones que los alimentos experimentan durante el proceso utilizando el mismo los parámetros adecuados para cada alimento. Ya que este método de conservación es una excelente opción para la conservación de *C. pubescens* Ruiz & Pav., es importante encontrar condiciones que permitan conservar las propiedades naturales de este fruto así como aumentar su vida útil.

El chile manzano, además de ser un producto poco explotado, representa para algunos agricultores de la región, una fuente de trabajo e ingresos económicos. Aunque es un producto de temporal, se pretende que al obtener chile deshidratado se puedan analizar las características óptimas para obtener así un nuevo subproducto que ayude a aumentar su comercialización llevándolo en una nueva presentación que sea aceptada por los consumidores.

IV. PROBLEMAS A RESOLVER

El chile manzano (*Capsicum pubescens* Ruiz & Pav.) es un producto poco comercializado además de presentar muchas pérdidas (Torres, 2016). Entrevistas con un productor de la región revelaron que las pérdidas de esta especie pueden ser de hasta el 30% de la producción en campo, por lo que es necesario generar alternativas para su comercialización.

En México existen pocos estudios para prolongar la vida de anaquel de *Capsicum pubescens* Ruiz & Pav., sobre todo, a partir de un proceso de secado por charolas. Considerando esto, el presente proyecto pretende encontrar las condiciones adecuadas para el deshidratado de rodajas de chile manzano para posteriormente pulverizarle. El producto obtenido puede constituir una alternativa para la comercialización del chile manzano.

V. OBJETIVO GENERAL

Determinar los parámetros del secado conectivo, evaluación sensorial y almacenamiento del chile manzano (*Capsicum pubescens* Ruiz & Pav.)

VI. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Obtener y evaluar las cinéticas de secado a las diferentes temperaturas y grosores propuestos.
- Determinar parámetros físicos y químicos de las muestras deshidratadas (humedad, color y actividad de agua).
- Realizar y evaluar pruebas de aceptación de las muestras molidas deshidratadas obtenidas.
- Realizar pruebas de almacenamiento generales de las muestras molidas obtenidas.

VII. MATERIALES Y MÉTODOS

7.1 Selección de la materia prima

Las muestras de chile *Capsicum pubescens* Ruiz & Pav., con las que se trabajó se recolectaron en su estado maduro en su forma de consumo (establecido por la presencia de color amarillo intenso) una zona rural llamada Ateopa del municipio de Alpatlahuac, Veracruz (México) con coordenadas geográficas de 97° 6' 0" longitud y 19° 7' 0" de latitud y una altitud de 1,860 msnm. Las muestras fueron recolectadas entre agosto 2017 y enero 2018. Después de ser recolectados, los frutos fueron transportados al Instituto Tecnológico de Orizaba (ITO). La figura 1 (que se muestra en los anexos) se muestra la metodología general seguida durante el proceso de secado, evaluación sensorial y almacenamiento al que se sometieron las muestras de *C. pubescens* Ruiz & Pav.

7.2 Acondicionamiento de la muestra

Las muestras seleccionadas de *Capsicum pubescens* Ruiz & Pav., seleccionadas fueron cortadas en rodajas de dos grosores distintos: 0.5 cm y 1 cm (**Figura 12**).



Figura 12. *Capsicum pubescens* cortado a 0.5 y 1 cm

7.3 Proceso de secado

El secador que se empleó para llevar a cabo el proceso de secado fue un secador de charolas a nivel plantas 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.



Figura 13. Secador de charolas del Instituto Tecnológico Superior de Orizaba

7.4 Metodología del secado

Inicialmente, se encendió el secador y se estabilizó la temperatura en la que deseamos secar el producto. Las condiciones establecidas en el secado son temperatura y tiempo de secado. Se utilizaron temperaturas de 50, 60 y 70°C y se deshidrató el producto durante un tiempo de 5 horas con el fin de disminuir el consumo energético. Las muestras de chile fueron cortadas en rodajas de 1 y 0.5 cm.

En la **Figura 14** se observan muestras de chile manzano colocadas en charolas del secador utilizado para llevar a cabo el proceso.



Figura 14. Colocación de rodajas en las charolas.

Durante el proceso de secado se tomaron muestras para hacer determinaciones de humedad (X) y actividad de agua (a_w) así como cambios en el color cada 15 min durante la primera hora, 30 min en la siguiente hora, y finalmente cada 60 minutos hasta completar 5 horas de proceso. Considerando el número de parámetros de secado se planteó un diseño experimental tal como se muestra en la Tabla 1:

Tabla 1. Diseño experimental aplicado en el proceso de deshidratación de *Capsicum pubescens* Ruiz & Pav.

Tratamientos / Muestras	Temperaturas (°C)	Grosor (cm)
1 (701)	70	1
2 (705)	70	0.5
3 (601)	60	1
4 (605)	60	0.5
5 (501)	50	1
6 (505)	50	0.5

Posterior al proceso de secado, se pulverizaron las muestras de chile obtenidas con una licuadora de uso doméstico marca Ostericer® hasta notar que no existiesen partículas de gran tamaño comparadas con el resto de la muestra pulverizada. Ulteriormente, 30 g de las muestras pulverizadas fueron mezcladas con 10 gramos de ajo y 10 gramos de sal hasta formar una mezcla homogénea.

7.4.1 Determinación de parámetros cinéticos y la difusividad del agua

Se determinó la difusividad del agua de las muestras de *C. pubescens* Ruiz & Pav ya que este es un parámetro que permite evaluar la pérdida de humedad de diferentes condiciones de secado. En la etapa de secado decreciente se considera que la evolución de la humedad puede ser descrita por la ley de Fick, (1978) y que este se ve afectado, entre otros parámetros, por el grosor:

$$\ln M_R = \ln \frac{8}{\pi^2} - \left(\frac{\pi^2 D_{eff} t}{4L^2} \right) \quad (6)$$

En donde M_R corresponde al contenido de humedad adimensional, D_{eff} corresponde a la difusividad del agua en m^2/s , t es el tiempo en s y L es el espesor de la muestra en m. La humedad adimensional M_R puede calcularse como:

$$M_R = \frac{X}{X_0} \quad (7)$$

En donde X corresponde a la humedad de las muestras en base húmeda en diferentes tiempos y X_0 es la humedad inicial de la muestra. Asimismo, es común calcular una velocidad global del secado (la cual comprende el periodo creciente y decreciente) según la siguiente ecuación:

$$M_R = \frac{X}{X_0} = e^{-kt} \quad (8)$$

En donde k corresponde al parámetro que representa una velocidad global de transferencia de agua en $1/m$.

7.5 Caracterización fisicoquímica de *Capsicum pubescens* Ruiz & Pav., antes y durante el secado del producto

Los análisis que se determinaron en todas las muestras de chile fresco y durante el proceso de secado fueron a_w , humedad (X) y color (L^* , a^* , b^* y ΔE) con el propósito de evaluar la condición de secado en donde los parámetros mostrasen valores comerciales aceptables y una menor variabilidad con respecto al producto fresco.

7.5.1 Determinación de actividad de agua (a_w)

Para determinar la actividad de agua de las muestras de *Capsicum pubescens* Ruiz & Pav., durante el periodo de secado por charolas, se utilizó un medidor de actividad de agua marca AquaLab™ serie 3 modelo TE. 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 15**). Como se mencionó anteriormente, se hicieron mediciones de a_w cada 15 minutos durante la primer hora, cada 30 minutos durante la segunda hora y posteriormente cada hora hasta un tiempo final de 300 min de proceso.

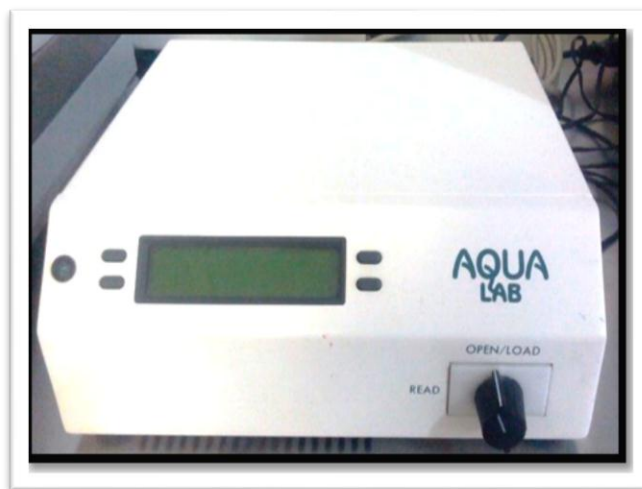


Figura 15. Medidor de actividad de agua del ITO

7.5.2 Determinación de humedad

La humedad del chile se determinó por medio de una termobalanza (**Figura 16**) marca SantouriousTM, modelo MA35. La determinación se llevó a cabo colocando un platillo de aluminio dentro de la cámara de secado, donde se colocó aproximadamente 3 gramos de muestra de chile. La determinación del porcentaje de humedad se logra mediante el uso de la balanza que tiene acoplada una fuente de rayos infrarrojos. Como se mencionó anteriormente, los datos se obtuvieron haciendo lecturas cada 15 minutos durante la primer hora, cada 30 minutos durante la segunda hora y, posteriormente, cada hora hasta llegar a 300 minutos. Las mediciones se realizaron por duplicado. A partir de los datos obtenidos se obtuvieron cinéticas de secado que se describen en la sección de Resultados y Discusión.

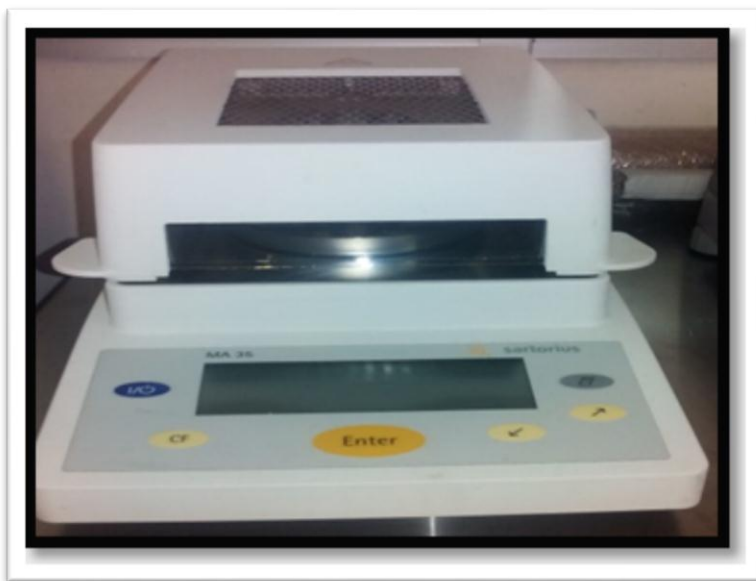


Figura 16. Termobalanza

7.6 Análisis de color

El color se determinó usando un colorímetro MiniScan™ XE plus, marca HunterLab (**Figura 17**) en el cual los datos de color se capturaron en una computadora integrada por medio del programa Universal Software versión 4.10 para de esta forma obtener la diferencia de color total.

Para obtener los parámetros de color se colocó la muestra en el interior del equipo adquiriendo así los parámetros correspondientes a la luminosidad y cromaticidad (L^* , a^* y b^*) los cuales indican la composición de la diferencia total de color (ΔE) la cual fue obtenida del mismo equipo. ΔE indica la diferencia entre un sólido de color de una lectura y otro sólido de color de otra lectura ya sea de la misma muestra o de muestras diferentes.



Figura 17. Colorímetro MiniScan XE plus marca Hunter Lab

7.7 Evaluación sensorial

Se analizó sensorialmente las muestras de chile manzano deshidratado y pulverizado, realizando pruebas de aceptación con 150 consumidores habituales de chile en dos poblaciones diferentes (Huatusco y Alpatláhuac). Los rangos de edades de las personas encuestadas oscilaron entre los 16 y 45 años. Se aplicó la prueba afectiva con una escala hedónica verbal de 7 puntos en la que se evaluó el

grado de satisfacción de la muestra de acuerdo con el picor ya que estas pruebas se secaron a distintas temperaturas.(Hernandez, 2005)

7.7.1 Presentación de las muestras

Las muestras fueron codificadas para su degustación (Tabla 3). Las muestras se presentaron simultáneamente; cada panelista evaluó cada muestra solamente una vez acompañándola con jícama. Se les solicitó que al terminar cada muestra tomaran agua como neutralizante para evitar interferencias con el siguiente tratamiento. A cada panelista se le solicitó indicar el grado de satisfacción a cada muestra, asignando un atributo según la categoría reportada en la escala (Figura 2 anexos), que fue desde “me disgusta muchísimo” hasta “me gusta muchísimo”. En esta prueba se permitió asignar la misma categoría a más de una muestra (Hernandez, 2005).

7.8 Almacenamiento de *Capsicum pubescens* en polvo

Teniendo el producto deshidratado, se empacó en bolsas de plástico (Figura 20) que posteriormente se sellaron, se guardaron en vasos de vidrio sellados herméticamente (Figura 3, anexos) y, posteriormente, en una caja de poliestireno expandido. El crecimiento de hongos se verificó de manera visual cada semana durante al menos dos meses.

7.9 Análisis estadístico

Las diferencias entre las cinéticas de secado y los parámetros fisicoquímicos de las muestras de *C. pubescens* Ruiz & Pav., con respecto a los parámetros de secado, así como la importancia en la preferencia de las muestras se analizaron mediante una prueba ANOVA. La varianza entre pares de muestras se realizó mediante una prueba t. Todas las pruebas estadísticas se realizaron con el software MiniTab16.

VIII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

8.1 Cinéticas de secado de *C. pubescens*

Las siguientes (Figuras 22 y 23) muestran las cinéticas de secado de rodajas de *C. pubescens* Ruiz & Pav., de dos diferentes espesores (0.5 y 1 cm) y tres temperaturas.

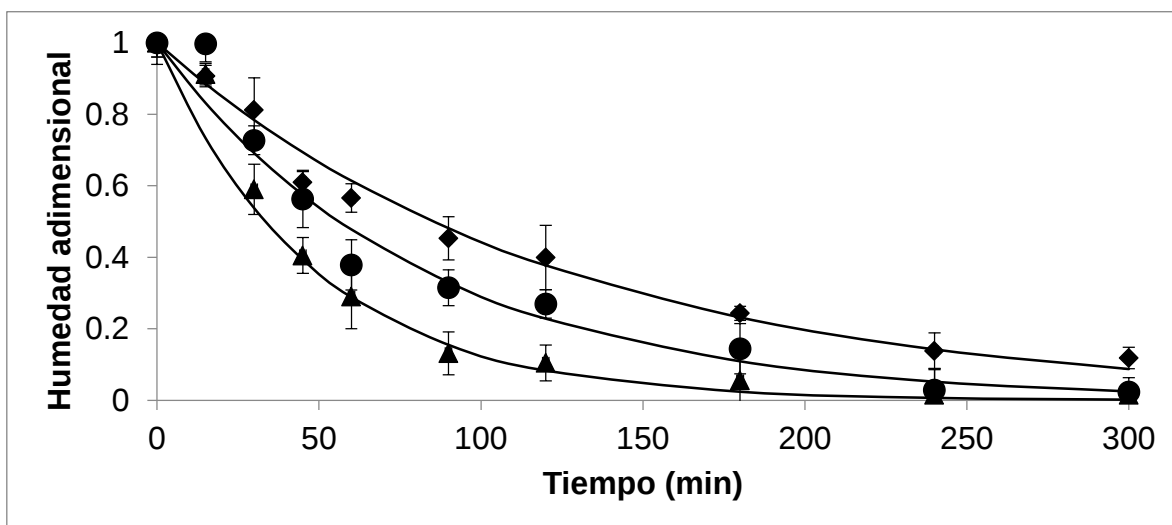


Figura 18. Cinéticas de secado de rodajas de *C. pubescens* Ruiz & Pav., de 1 cm (♦= 50° C, ●=60°C, ▲=70°C).

En la **Figura 18** se observa que la cinética obtenida durante el secado a 70°C muestra una mayor pérdida de humedad desde los primeros minutos. En general, la mayor pérdida de humedad se produce durante las primeras 3 horas de secado para todos los tratamientos lo que puede indicar que en este periodo se elimina el agua libre del alimento. Después de este tiempo, se observa que la pérdida de humedad es más lenta. Esto puede atribuirse a que el agua que debe eliminarse en el tiempo siguiente es agua ligada.

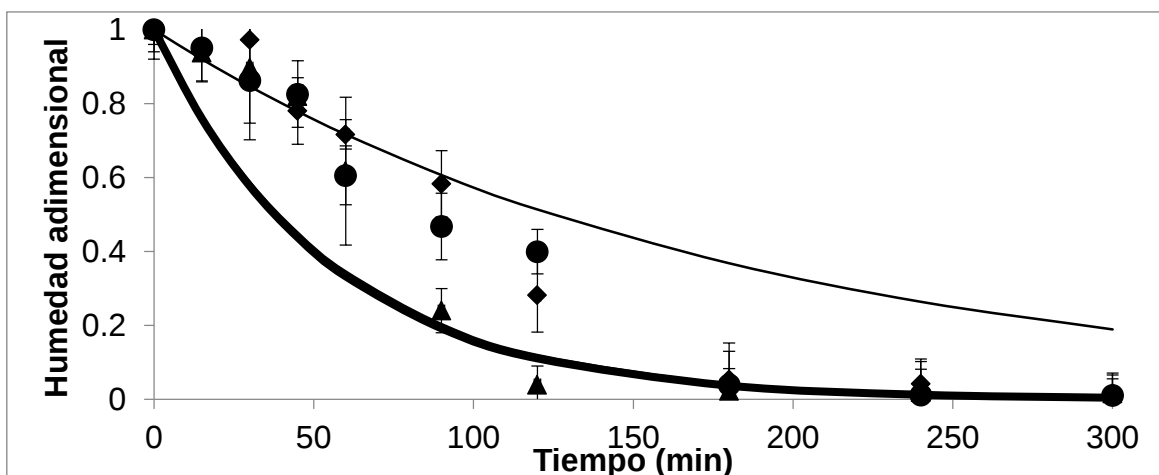


Figura 19. Cinética de secado de rodajas de *C. pubescens* Ruiz & Pav., de 0.5cm ($\blacktriangle$ = 70°C, $\bullet$ = 60°C, $\blacklozenge$ = 50°C). Las líneas punteadas representan la predicción del modelo.

Al igual que para las muestras de 1 cm, en la **Figura 19** se observa que las muestras deshidratadas a 50°C presentan una menor pérdida de humedad en general en comparación con las muestras deshidratadas a 70°C. La causa de esta diferencia es debida a la temperatura a la que se sometió el producto ya que a mayores temperaturas hay una mayor pérdida de agua por que la cantidad de calor transferida para su evaporación es mayor.

La Tabla 2 muestra los valores de las constantes de velocidad para el parámetro cinético de un modelo de primer orden (ecuación 6) así como el coeficiente de difusión para cada condición de secado (ecuación 8).

Tabla 2. Constante de velocidad y coeficiente de difusión.

Condición de secado	k (1/min)	Coeficiente de difusión (m^2/s)
50°C, 0.5 cm	0.0152	6.4516×10^{-10}
50°C, 1 cm	0.0075	1.2706×10^{-9}
60°C, 0.5 cm	0.0168	7.1135×10^{-10}
60°C, 1 cm	0.0129	2.1909×10^{-9}
70°C, 0.5 cm	0.0177	7.4706×10^{-10}
70°C, 1 cm	0.0149	2.5267×10^{-9}

El coeficiente de difusión es un parámetro utilizado en el proceso de secado para la predicción de datos y el análisis de la velocidad de difusión del agua (Corzo & Rodriguez, 2011). La Tabla 2 revela que el coeficiente de difusión está en el rango de 10^{-9} - 10^{-10} m²/s el cual es similar al valor de difusión reportado por Lucio Juárez et al (2012) para el chile habanero (*C. chinense*; 5.9470×10^{-10} m²/s). Esta especie tiene una estructura externa similar a *C. pubescens*. De acuerdo con los hallazgos de Niguyen y Prince (2007), los coeficientes de difusión para rodajas de banana más gruesas (1 cm) son mayores que las de las rodajas más finas (0.5 cm) lo que no se observan en todos los productos alimenticios ya que, como expresa la ecuación 8, la transferencia de agua depende del grosor. Tal como se expuso en este último estudio, la constante de velocidad de un modelo de secado cinético de primer orden (k) ($M_R = \frac{X}{X_0} = e^{-kt}$) abarca varios mecanismos de transferencia de masa que incluyen la difusión de agua en la velocidad de secado decreciente. En el deshidratado de *C. pubescens* Ruiz & Pav., el parámetro de velocidad k (ecuación 8 antes mencionada, Tabla 2), para la ecuación exponencial única (que generalmente está relacionada con el coeficiente de difusión) representa efectivamente las velocidades de secado para las muestras de 1cm de espesor pero es menos precisa para muestras de 0.5 cm de espesor (**Figura 19**) además el análisis estadístico reveló que la diferencia en el contenido de agua entre las muestras de chile de 0.5 y 1cm de espesor secadas a la misma temperatura no fue significativa ($p < 0.05$). Aunque no se realizaron estudios al respecto puede suponerse que este fenómeno puede explicarse por la estructura interna de *C. pubescens* Ruiz & Pav., que puede jugar un papel en la similitud del agua pérdida en ambos espesores de la muestra aunque deben realizarse estudios para confirmar lo anterior.

8.2 Luminosidad

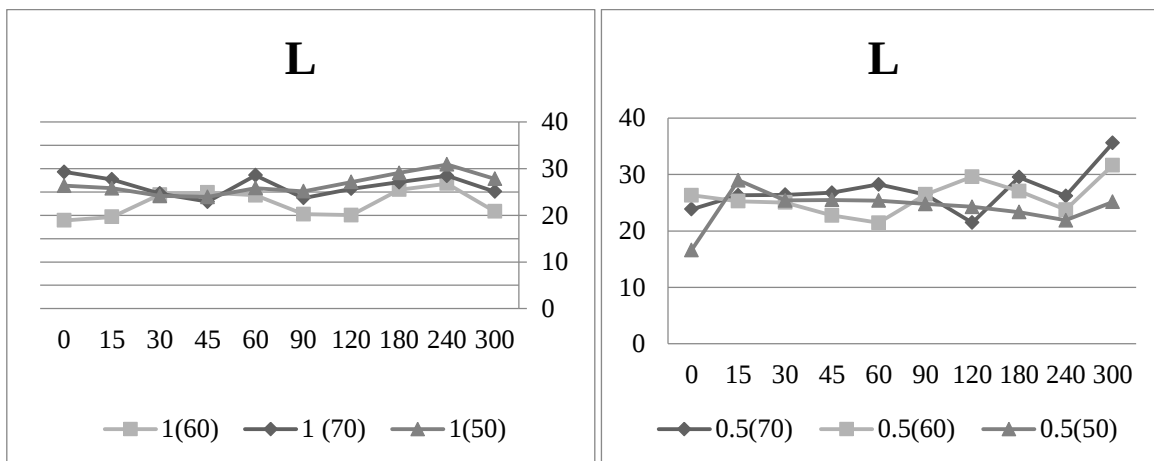


Figura 20. Cinéticas correspondientes a L en grosores de 1 y 0.5 cm

El color es el fenómeno de percepción que depende del observador y de las condiciones en las que se observe el material de manera objetiva el sistema de medida de color CIE. Para el parámetro L, los resultados de la luminosidad de las muestras deshidratadas a 70°C, 60°C y 50°C en grosores de 1cm y 0.5cm se muestran en la **Figura 20**. El análisis estadístico mostró que no existe diferencia significativa en el parámetro L entre las diferentes pruebas ($p < 0.05$) aunque se muestra que los tratamiento con un menor parámetro L fueron las muestras deshidratadas a 50°C y 0.5 cm y 60°C y 1 cm, 0.5(50) y 1(60), respectivamente).

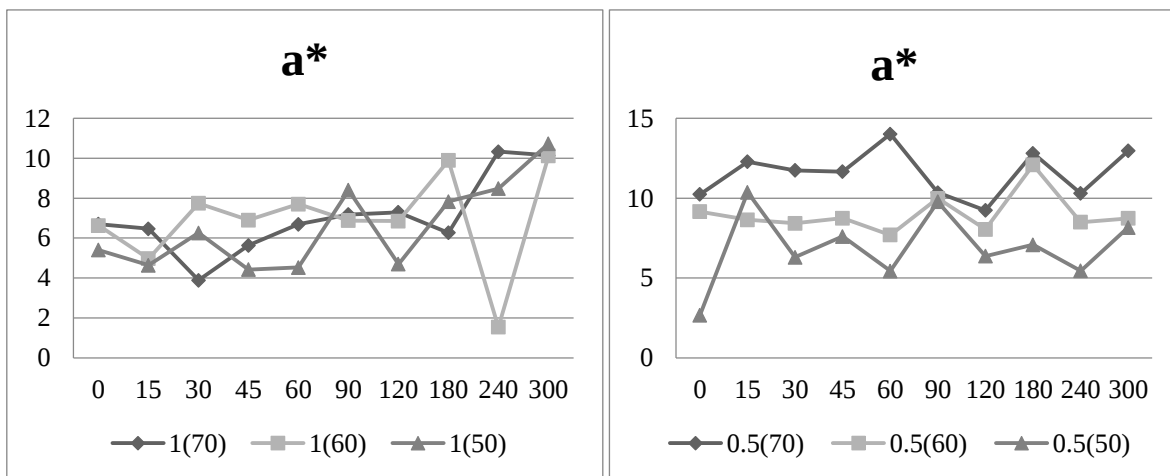


Figura 21. Cinéticas correspondientes al parámetro a^* en grosores de 0.5 y 1cm

El parámetro de secado a^* indica la coloración a rojo (a^+) o a verde (a^-). A diferencia del parámetro L , se encontró diferencia significativa en los valores del parámetro a entre las pruebas de 0.5 cm pero no de 1 cm ($p < 0.05$). Particularmente, la prueba deshidratada a 70°C y 0.5 cm (0.5 (70) ($p < 0.05$)) tiende a mostrar un valor mayor de este parámetro lo que puede significar que el color rojo fuera mayor en esta prueba.

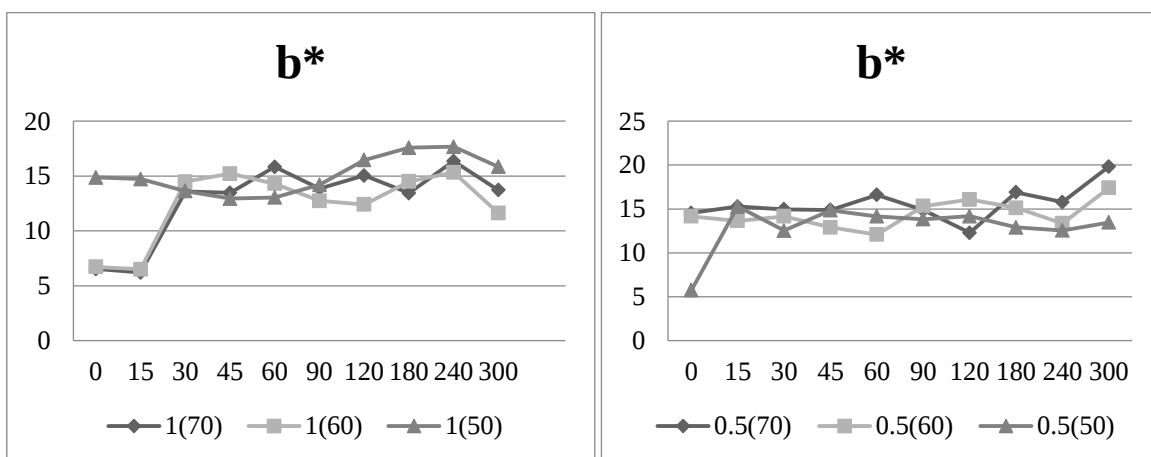


Figura 22. Cinéticas correspondientes al parámetro b^* en grosores deshidratados de 0.5 y 1cm.

El parámetro b^* (**Figura 22**) indica la diferencia entre el amarillo y el azul de un alimento. Como puede observarse los resultados del parámetro b^* para todas las muestras tiende al amarillo ($+b^*$) más que al azul ($-b^*$). El análisis estadístico mostró diferencia significativa ($p<0.05$) en la muestra deshidratada a 70°C y 0.5cm en lo que respecta a las muestras de este grosor. Asimismo, se observó una diferencia significativa ($p<0.05$) de la muestra deshidratada a 60°C y 1 cm con respecto a las otras muestras deshidratadas del mismo grosor. En función de estos resultados se observa que los mayores valores del parámetro b^* se observa en las muestras deshidratadas a 70°C y 0.5 cm y 60°C y 0.5 cm .

8.3 Parámetros fisicoquímicos de muestras de chile manzano *C. pubescens* Ruiz & Pav., durante el proceso de secado.

La Tabla 3 muestra los resultados de la diferencia de color y la actividad de agua después de 300 minutos de secado. Se observó un cambio de color general menor en las muestras secadas a 60°C y 0.5cm , y 50°C para ambos espesores de muestra (1cm y 0.5 cm). El color de *C. pubescens* Ruiz & Pav., (y de las especies de chile en general) está dado por carotenoides que pueden verse afectados por el calor por lo que es importante trabajar industrialmente con aquellas muestras en las que se observe un menor cambio de ΔE (Hernandez-Ortega, 2015).

En cuanto a la actividad de agua, después de 300 minutos de secado, todas las muestras de chile manzano estaban por debajo de 0.6 . La prueba de análisis reveló que la disminución de la actividad de agua no fue significativa entre las condiciones de secado estudiadas ($p<0.05$). La falta de diferencia entre las muestras sugiere que la pérdida de agua es similar independientemente del grosor. Esto respalda la idea de que hay una concentración del contenido de agua en las muestras más finas debido a causas naturales, como la estructura interna.

Tabla 3. ΔE y a_w (después de 300 minutos) en diferentes condiciones de secado.

Condición de secado	ΔE	a_w
50°C, 0.5 cm	12.26±0.12	0.391±0.55
50°C, 1 cm	9.6±0.22	0.524±0.71
60°C, 0.5 cm	7.79±0.03	0.378±0.07
60°C, 1 cm	15.41±0.57	0.367±0.21
70°C, 0.5 cm	14.24±0.09	0.301±0.02
70°C, 1 cm	15.34±0.12	0.405±0.10

En cuanto al almacenamiento de chile manzano Ruiz & Pav., no se obtuvo algún cambio físico ni crecimiento de hongo evidente, esto se debe al aislamiento del aire y la luz al que fue sometido.

8.4 Prueba de análisis sensorial

Las pruebas estadísticas (ANOVA) reveló una diferencia significativa entre las diferentes notas de agrado dada por los panelistas ($p < 0.05$). Las pruebas de análisis sensorial revelaron que 145 de 150 personas encuestadas calificaron a las muestras en polvo de chile manzano con notas de “me gusta mucho” y “me gusta muchísimo”. Contamos el tipo de muestra que fueron altamente aceptadas por los panelistas, y encontramos que casi el 75% prefería las muestras secas a 60°C y 0.5 cm de espesor y el 60% prefería la muestras deshidratadas a 50°C y 1 cm de espesor (estos valores suman más del 100% debido a que los participantes podían seleccionar más de una muestra). Estas condiciones de secado coinciden con aquellas en las que en las muestras mostraron un menor cambio de color general (Tabla 3). En la medida en que se invitó a la población encuestada a elegir la muestra en función de su sabor y no de su color específicamente, este último resultado sugiere que un menor cambio de color general y la preferencia de la población pueden estar relacionados.

IX. CONCLUSIONES.

- Las rodajas de *Capsicum pubescens* secadas en diferentes condiciones de secado mostraron valores de actividad de agua inferiores a 0.6 después de 300 minutos de proceso.
- El coeficiente de difusión de muestras más delgadas (0.5 cm) fue mayor que los valores observados en muestras más gruesas (1cm) de manera similar a lo observado en plátanos. Este comportamiento sugiere que hay una concentración del contenido de agua en las muestras más finas debido a causas naturales, como la estructura interna aunque deben hacerse más estudios al respecto.
- Las muestras deshidratadas con poco calor son las menos afectadas, por lo que se concluye que este producto se puede deshidratar en temperaturas de 60°C y 50°C
- Una prueba de análisis sensorial reveló que los panelistas preferían las muestras con menor cambio de color, en conclusión *C. pubescens* puede secar en rodajas a 60°C y 0.5 cm o 50°C y 1 cm para obtener un polvo agradable para el consumidor.
- Adicionalmente se observó que en cuanto al almacenamiento del chile manzano demostró que sellado correctamente y evitando la luz directa puede conservarse sin ninguna complicación ya que manteniendo las condiciones anteriormente mencionadas puede tener periodos de conservación de hasta un año o más.

BIBLIOGRAFÍA

- Antonio, P. (2007). *Microbiología General*. MEXICO.
- Bonilla. (2014). Como se mide el picante, ESCALA SCOVILLE. *el español*, 2-5.
- Bosland. (2000). *Evaluation of genotype, environment, and genotype-by-environment interaction for capsaicinoids in Capsicum annuum L. Euphytica*, 185-190.
- Byers, T. a. (1992.). Dietary carotens, vitamin C, and vitamin E, as proactive antioxidants in human cancers. *Annu. Rev. Nutr.* 12., 139-159.
- Corzo, O., & Rodriguez. (2011). *Determinacion experimental del coeficiente de difusión del agua durante el secado de laminas de coroba*. Multidisciplinaria del consejo de investigacion de oriente, 23(1).
- Cruz, A. (2014). *TIPOS DE DESHIDRATADORES*. México: uploaded.
- D.J.Fawell. (1998). A comparison the vitam C conten of fresh an frozen vegetables. *food chem*, 59-64.
- Espinosa, T. (2014). tipologia del mercado del chile manzano en México. *debate econimico*, (págs. 143-163). mexico.
- Estrada Berta, M. A. (1997). Capsaicinoids in Vegetative Organs of Capsicum annuum L. in Relation to Fruiting. *J. Agric. Food Chem*, 62-63.
- Geankoplis, C. J. (1998). Proceso de Transporte y Operaciones Unitarias. *Compañía editorial continental, S.A. de C.V.* .
- Hernandez. (2005). *evaluacion sensorial* . Bogota : inocua .
- Hernández., S. M. (2012). *Recopilación y analisis de la información existente de las especies del género capsicum que crecen y se cultivan en México*. Bajio : INIFAP.
- Hernandez-Ortega, M. (2015). Antioxidant, Antinociceptive, and anti-inflammatory effects of carotenoids extracted from dried peper(*Capsicum annumm. L.*). *BioMed Research International*, 1-10.
- Ishikawa, S. S. (1994). High-performance Liquid Chromatographic Analyses of Capsaicinoids and Their Phenolic Intermediates in Capsicum annuum to Characterize Their Biosynthetic Status. *Bioscience,Biotechnology and Biochemistry*, 1141-1142.
- Laborde, P. y. (1984). *Presente y Pasado del Chile en México*. méxico: Edicion especial no.85.
- Long, J. (2005). *LA JORNADA*, 1.
- Long, J. (2005). El chile, indispensable en la comida mexicana, nació en Sudamérica. *LA JORNADA* , (pág. 1). Mexico .
- Luis, E. T. marzo de 2010. Rentabilidad de chile manzano *Capsicum pubescens*. *mexicana de ciencias agricolas*, 1(1), 12-13.
- Macho. (2003). Nonpungent capsaicinoids from sweet pepper synthesis and evaluation of the chemopreventive and anticancer potential. *European Journal of Nutrition*, 42(1).

- Macias et al., 1. (1990). *Determinacion de humedad de equilibrio en panela* . Holanda : Agronomia Colombiana .
- Maroto, C. D. (2002). Supercritical carbon dioxide extraction of volatiles from spices: Comparison with simultaneous distillation–extraction. *Science direct*, 23-29.
- MILMO, C. (7 de febrero de 2007). Sustancia del chile mata células cancerígenas sin daño colateral. *la jornada* , págs. 1-2.
- Mozafar, A. (1994). *Plant Vitamins: Agronomic, Physiological and Nutritional Aspects.*, Fl. 412 p. Boca Raton: CRC Press.
- Nedime Dürüst, D. S. (1997). Ascorbic Acid and Element Contents of Foods of Trabzon (Turkey). *J. Agric. Food Chem*, 2085–2087.
- Peréz et al, .. (2004). Physiological characterization of manzano hot pepper (*Capsicum pubescens*). *hortScience*, 129(1):88-92.
- Perez et al. (2013). *Actividad fitotóxica de los extractos de chile manzano*. *Rev. Chapingo Serie Horticultura.*, 23-33.
- Pérez, G. M. (2008). El chile manzano. *Universidad Autónoma Chapingo (UACH)*, 1.
- Pérez., e. a. (1997). Mejoramiento Genético de Hortalizas. *Editorial Universidad Autónoma Chapingo.*, 380 p.
- R. C. (2013). Compuestos polifenólicos y capacidad antioxidante de especias típicas consumidas en México. *Nutricion Hospitalaria*, 1.
- Riquelme, G. O. (2003). Chilli la especia del nuevo mundo. *ciencia* 69 .
- SAGARPA. (2017). *4to INFORME*. MEXICO: SAGARPA.
- Sharma. (2003). Parametros en el secado. *Trop. Anim. Health Prod.*, 131-145.
- Torres, E. Y. (2016). Rentabilidad del chile manzano producido en invernadero. *revista Mexicana de Ciencias Agricolas*, 6.
- UNAM. (2015). ¿productos de higiene bucal con extracto de chile? *feria de la ciencia* , 1.
- Vernon, J. (2011). *Operaciones unitarias* . mexico .
- Villa. (2008). Regiones productoras de chile manzano. *Rev. Ext. Campo.*, 8-12.
- Yaqui, D. (2013). El chile manzano en invernadero . *SAGARPA* .
- Zewdie. (2001). Conbining ability and estimation in *Capsicum pubescens*. *hortiensjce*, 1315-1317.

ANEXOS:

Figura 1.- Diagrama de proceso de secado

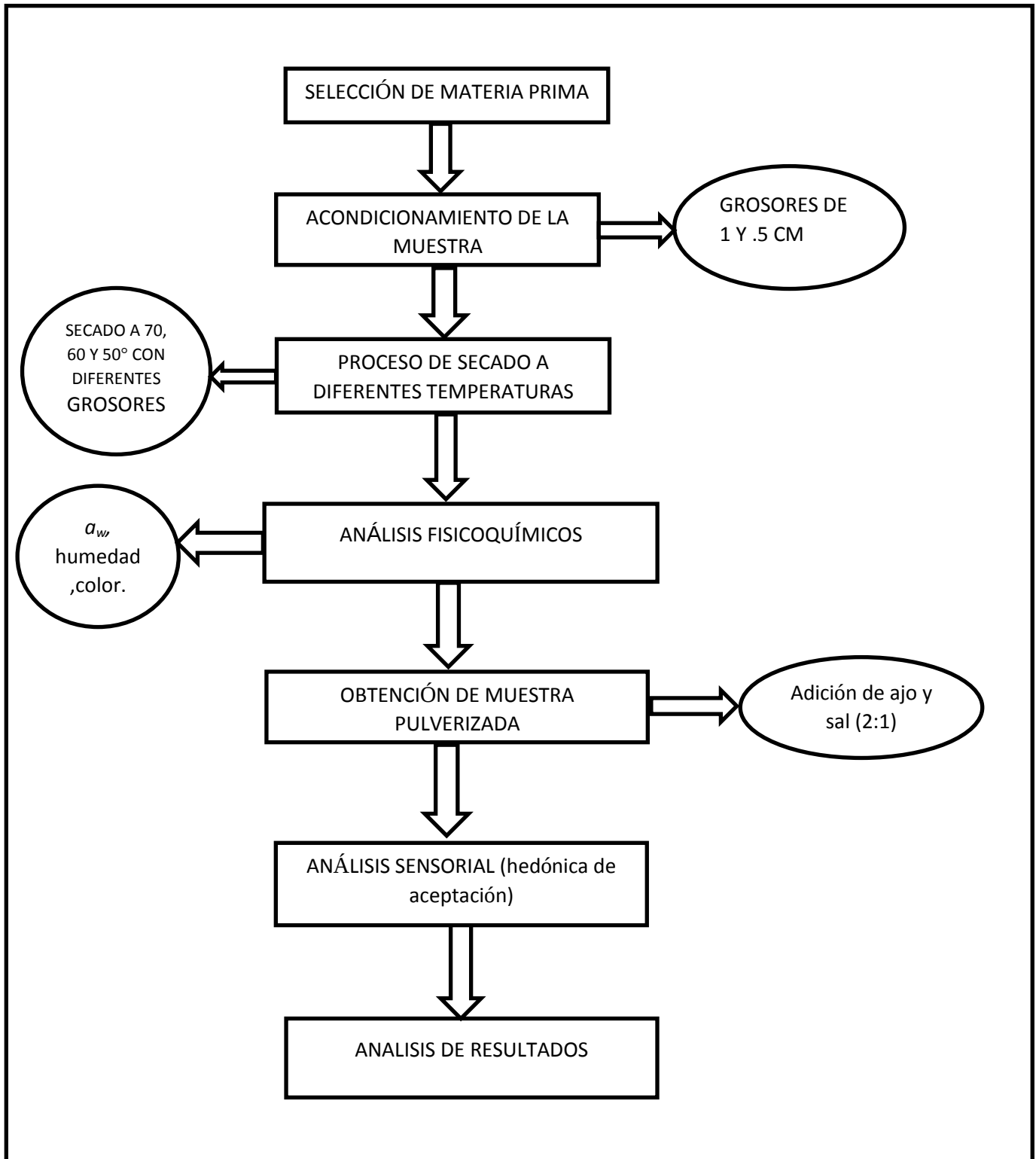


Figura 2.- Boleta utilizada para la prueba de preferencia

CUESTIONARIO ALTERNATIVO PARA PRUEBAS HEDONICAS VERBALES CON MAS
DE DOS MUESTRAS

Nombre:_____ Fecha:_____

Producto: chile (*capsicum pubescens*) en polvo.

Marque con una "x" en el lugar que indique su opinión acerca de cada muestra

ESCALA	505	105	605	106	705	107
<i>Me gusta muchísimo</i>	_____	_____	_____	_____	_____	_____
<i>Me gusta mucho</i>	_____	_____	_____	_____	_____	_____
<i>Me gusta ligeramente</i>	_____	_____	_____	_____	_____	_____
<i>Ni me gusta ni me disgusta</i>	_____	_____	_____	_____	_____	_____
<i>Me disgusta ligeramente</i>	_____	_____	_____	_____	_____	_____
<i>Me disgusta mucho</i>	_____	_____	_____	_____	_____	_____
<i>Me disgusta muchísimo</i>	_____	_____	_____	_____	_____	_____

Comentarios:_____

_____.

¡Muchas gracias!

Figura 3.- Imagen del chile manzano en polvo empaquetado en bolsas de plástico.



Figura 4.- Imágenes del almacenamiento del chile en polvo *Capsicum pubescens*. Ruiz & Pav.,



