

**UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y
ARTES DE CHIAPAS**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA NUTRICIÓN Y
ALIMENTOS**

TESIS PROFESIONAL

**MICROENCAPSULACIÓN MEDIANTE
SECADO POR ASPERSIÓN DE
EXTRACTOS DE CHILE CHOCOLATE
(*Capsicum annum var. Acuminatum
fingerth*).**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
**LICENCIADO EN CIENCIA Y
TECNOLOGÍA DE
ALIMENTOS**

PRESENTA
**CARLOS ALBERTO BALCAZAR REYES
CARLOS IVAN RUEDA ROJAS**

DIRECTOR DE TESIS
**M.C. MARÍA EMPERATRIZ DOMÍNGUEZ
ESPINOSA**

ASESOR EXTERNO
DR. JUAN CARLOS BUSTILLOS RODRÍGUEZ



AGRADECIMIENTOS

Carlos A. Balcazar R.

<<” El futuro mostrara los resultados y juzgara a cada uno de acuerdo a sus logros”>>.

<<” Nuestras virtudes y nuestros defectos son inseparables como la fuerza y la materia, cuando se separan el hombre deja de existir”>>.

Nikola Tesla

Agradezco infinitamente a todos y todas aquellas que me acompañaron en esta travesía oportuna donde hicieron presencia intra e interpersonal siempre motivando a mi persona en particular y primera fila a: Balcazar Reyes Laura Angelica, Alma, Ana, Laura, Vitalina, Verónica, Sabino, Carmelita, Eloísa, Regulo Rey, Juan, Gladis, María de los A., Tía Lucy, Mariel, Jiva, Morris, Tonijua, Cachi, Ceci, Mtro. Bartolomé, Tía Nena, Aderlay, Violeta, Julio Jr., Dra. Emperatriz, Mtro. Arturo, Mtro. Mario, Mtro. Abelardo, Mtro. Raciél, Dr. Juan, Jeffrey, Jorge, Ivan Rueda, Luffy, Simba, Nami, Ponyo y Salem (negrito), Peluchina, Capullo y Toto.

Gracias a todos y cada uno de ustedes.

Agradecimiento al **INSTITUTO DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN DEL ESTADO DE CHIAPAS (ICTI)** por el beneficio y otorgamiento de apoyo económico de la convocatoria “**BECA TESIS LICENCIATURA 2022**”, donde dicho recurso fue destinado para la impresión en formato físico y digital de este trabajo realizado para el fortalecimiento científico y tecnológico en nuestro estado de Chiapas.

De antemano muchas gracias.

AGRADECIMIENTOS

Carlos Ivan Rueda Rojas

A Dios

Por haberme dado la bendición de nacer bien y obsequiarme a unos padres maravillosos, por ponerme siempre en el camino personas que me aconsejaban y cuidaban, por brindarme amigos en las buenas y en las malas, por hacerme compartir con mis seres queridos un viaje más de tantos en la vida.

A los docentes

Sus palabras fueron sabias, sus conocimientos rigurosos y precisos, a ustedes mis profesores queridos, les debo mis conocimientos. Donde quiera que vaya, los llevaré conmigo en mi transitar profesional. Su semilla de conocimientos, germinó en el alma y el espíritu. Gracias por su paciencia y amistad, gracias por compartir sus conocimientos de manera profesional y personal, por su dedicación, perseverancia y tolerancia, muchas gracias mis queridos maestros por todo el camino que recorrimos juntos.

A mi madre

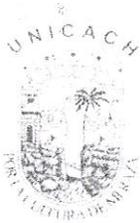
Tú que siempre has sido el motor que impulsa mis sueños y esperanzas, quien estuvo siempre a mi lado en los días y noches más difíciles durante mis horas de estudio, aun cuando llegabas cansada de trabajar. Siempre has sido mi mejor guía de vida. Hoy que concluyo mis estudios, te dedico a ti este logro mamá, como una meta más conquistada. Estoy orgulloso de haberte elegido como mi madre y que estés a mi lado en este momento tan importante, gracias por estar en mi vida y ser mi mejor amiga. Gracias por ser mi más grande orgullo... Te amo mamá. Gracias por creer en mí.

A mi padre

Tú que siempre estuviste ahí para aconsejarme y pedirme a no desistir de mis sueños y aspiraciones, por ser un amigo y demostrarme que tú también podías lograr tus metas, por enseñarme que no hay obstáculo que no se pueda superar por más difícil que parezca, gracias por ser mi amigo y mi papá, es un orgullo el ser tu hijo, gracias papá... Te amo. Gracias por creer en mí.

A mis compañeros

Mis amigos y compañeros de viaje, hoy culminan esta maravillosa aventura y no puedo dejar de recordar cuantas tardes y horas nos juntamos a lo largo de nuestra formación. Hoy nos toca cerrar y crear un nuevo capítulo maravilloso en esta historia de vida y no puedo dejar de agradecerles por su apoyo, animo, hermandad, confianza y constancia, al estar en las horas más difíciles, por compartir horas de estudio y debate. Por estar ahí para lograr nuestras metas y logros. En todos los aspectos muchas gracias por estar siempre allí y ser mis amigos.



UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS
DIRECCION DE SERVICIOS ESCOLARES
DEPARTAMENTO DE CERTIFICACION ESCOLAR



Autorización de Impresión

Lugar y Fecha: Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, 04 de agosto de 2022

C. Carlos Alberto Balcázar Reyes

Pasante del Programa Educativo de: Ciencia y Tecnología de Alimentos

Realizado el análisis y revisión correspondiente a su trabajo recepcional denominado:

Microencapsulación mediante secado por aspersión de extractos de chile chocolate (*Capsicum annuum var, Acuminatum fingerth*).

En la modalidad de: Tesis Profesional

Nos permitimos hacer de su conocimiento que esta Comisión Revisora considera que dicho documento reúne los requisitos y méritos necesarios para que proceda a la impresión correspondiente, y de esta manera se encuentre en condiciones de proceder con el trámite que le permita sustentar su Examen Profesional.

ATENTAMENTE

Revisores

Firmas

M.C. María Emperatriz Domínguez

Mtro. Mario Alberto Morales Ovando

Mtro. José Abelardo Castillo Archila



UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS
DIRECCION DE SERVICIOS ESCOLARES
DEPARTAMENTO DE CERTIFICACION ESCOLAR



Autorización de Impresión

Lugar y Fecha: Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, 04 de agosto de 2022

C. Carlos Iván Rueda Rojas

Pasante del Programa Educativo de: Ciencia y Tecnología de Alimentos

Realizado el análisis y revisión correspondiente a su trabajo recepcional denominado:

Microencapsulación mediante secado por aspersión de extractos de chile chocolate (*Capsicum annuum var, Acuminatum fingerth*).

En la modalidad de: Tesis Profesional

Nos permitimos hacer de su conocimiento que esta Comisión Revisora considera que dicho documento reúne los requisitos y méritos necesarios para que proceda a la impresión correspondiente, y de esta manera se encuentre en condiciones de proceder con el trámite que le permita sustentar su Examen Profesional.

ATENTAMENTE

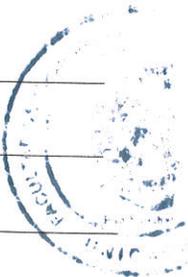
Revisores

Firmas

M.C. María Emperatriz Domínguez

Mtro. Mario Alberto Morales Ovando

Mtro. José Abelardo Castillo Archila



[Handwritten signatures]

COORDINACIÓN

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	1
JUSTIFICACIÓN.....	3
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	5
General.....	6
Específicos.....	6
MARCO TEÓRICO.....	7
ANTECEDENTES.....	7
Características y generalidad del chile chocolate.....	10
Secado de alimentos.....	15
Clasificación de los métodos de secado.....	17
Criterios para la selección del método de secado.....	20
Secado por aspersión, atomización o Spray Dryer.....	20
Etapas de un sistema de secado por aspersión.....	23
Componentes del sistema de secado por atomización.....	24
Parámetros a considerar en el proceso de secado por aspersión.....	25
Tipo de atomizador.....	25
Variables del proceso.....	28
Uso de los secadores por aspersión en la industria alimentaria.....	29
Microencapsulación.....	30
Efecto tecnológico.....	31
Agentes encapsulantes.....	31
Maltodextrina.....	33
Cambios de color en el procesamiento de alimentos.....	34
Color.....	34
Diferencias de color.....	35
Estabilidad de productos en polvo.....	36
Propiedades de rehidratación de los microencapsulados secados por atomización.....	37
Compuestos fenólicos.....	39
Clasificación de polifenoles.....	40
HIPÓTESIS.....	42

METODOLOGÍA	43
DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	43
MUESTRA	43
Figura 10. Zona de estudio Villa de Acapetahua, Chiapas.....	44
VARIABLES DEPENDIENTES	44
VARIABLES INDEPENDIENTES	44
INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN	44
DESCRIPCIÓN DE LAS TÉCNICAS UTILIZADAS EN EL ANÁLISIS DEL CHILE CHOCOLATE.	45
DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	56
CONCLUSIONES	77
GLOSARIO	79
REFERENCIAS DOCUMENTALES	80
ANEXO FOTOGRÁFICO	93

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estado maduro del chile chocolate (<i>Capsicum annum</i> var. <i>Acuminatum</i> Fingerth).	11
Figura 2. Mapa de distribución en México de los chiles Cascabel, Chocolate, De onza, Escuchito, La Joyero y Pardo.....	13
Figura 3. Esquema de un sistema Spray Dryer.....	22
Figura 4. Atomizador centrífugo.	26
Figura 5. Atomizador a presión.	26
Figura 6. Atomizador neumático.	27
Figura 7. Tipos de contacto aire-gota.	28
Figura 8. Diferencia de color.....	36
Figura 9. Clasificación de los compuestos fenólicos.....	41
Figura 10. Zona de estudio Villa de Acapetahua, Chiapas	44
Figura 11. Microscopia electrónica de barrido de <i>C. annum</i> var. <i>Acuminatum</i> Fingerth.....	62
Figura 13. Microscopia óptica de <i>C. annum</i> var. <i>Acuminatum</i> Fingerth.	64
Figura 14. Determinación de polifenoles totales (mg EAG/g ms) de chile chocolate mediante el método de Folin-Ciocalteu.	72
Figura 15. Actividad antioxidante de chile chocolate mediante el método de ABTS.....	75
Figura 16. Actividad antioxidante de chile chocolate mediante el método de DPPH.....	76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación científica del chile chocolate (<i>C. annum</i> , var. <i>Acuminatum</i> Fingerth) ..	12
Tabla 2. Composición química del fruto del chile chocolate (<i>C. annum</i> , var. <i>Acuminatum</i> Fingerth)	14
Tabla 3. Materiales de protección en la industria alimentaria	33
Tabla 4. Propiedades organolépticas atribuidas a los compuestos fenólicos	39
Tabla 5. Diámetro, longitud y peso de chile chocolate (<i>C. annum</i> var. <i>Acuminatum</i> Fingerth).	56
Tabla 6. Análisis químico proximal de la madurez del chile chile (<i>C. annum</i> var. <i>Acuminatum</i> Fingerth)	58
Tabla 7. Rendimiento de polvo de chile chocolate (<i>C. annum</i> var. <i>Acuminatum</i> Fingerth) ...	60
Tabla 8. Promedios de la microscopía óptica de <i>C. annum</i> var. <i>Acuminatum</i> Fingerth secado por aspersión	63
Tabla 9. Resultados del color de los extractos del chile chocolate (<i>C. annum</i> var. <i>Acuminatum</i> Fingerth)	65
Tabla 10. Colorimetría de polvos de extracto de chile chocolate (<i>C. annum</i> , var. <i>Acuminatum</i> Fingerth)	66
Tabla 11. Actividad de agua (aw) de <i>C. annum</i> var. <i>Acuminatum</i> Fingerth	68
Tabla 12. Determinación de polifenoles totales (mg EAG/g ms) de chile chocolate mediante el método de Folin-Ciocalteu.	71
Tabla 13. Determinación de capacidad antioxidante de chile chocolate mediante el método de ABTS en diferentes extractos	74
Tabla 14. Determinación de capacidad antioxidante de chile chocolate mediante el método de DPPH en diferentes extractos.	75

INTRODUCCIÓN

El chile, es uno de los cultivos agrícolas más importantes en México y el mundo porque sus frutos se consumen tanto frescos como secos para proporcionar color, sabor y aroma a infinidad de platillos, lo que lo sitúa entre las principales especias utilizadas en la preparación de alimentos (Aguirre y colaboradores, 2015). Este cultivo, posee otras cualidades que le han permitido ser incorporado en otras industrias, como son: la cosmetológica, la medicinal y la elaboración de insecticidas; sin embargo, el alto consumo entre la población se debe a que existe una gama de productos en la industria alimentaria como salsas, encurtidos, triturados o pulverizados y otros insumos como oleorresinas (aroma, sabor, olor, aceites) (Anguiano, 2010).

En el estado de Chiapas el cultivo del chile durante mucho tiempo se ha realizado por temporadas, de igual forma ocurre con otros cultivos, esto se debe a que las siembras están en función al ciclo de lluvias; en el municipio de Acapetahua, Chiapas la siembra de *Capsicum annuum* var. *Acuminatum* Fingerth se lleva a cabo durante los meses de octubre-noviembre y se recoge la cosecha en el periodo enero-febrero, de las consideraciones anteriores, se puede decir que, el chile en el municipio de Acapetahua se comercializa en fresco limitando a ser comercializado a distintos canales de comercio ante la ausencia de tecnologías que permitan preservar las propiedades organolépticas y nutricionales.

En la actualidad existen diversos métodos para la conservación de alimentos, dentro de estos, la deshidratación es uno de los más recurridos a través de sus diferentes metodologías: secado al sol o en cámaras, secado de tambor, secado por aspersion, por mencionar algunos, ya que, estos métodos impiden de cierta manera cualquier actividad microbiana o enzimática al eliminar una gran cantidad de agua en ellos (Orozco, 2006).

El secado representa una alternativa de conservación para el chile, de tal forma que pueda ser conservado y consumido durante todo el año, por lo anterior, el propósito de la presente

investigación es evaluar el efecto del secado por aspersión sobre las propiedades fisicoquímicas, antioxidantes y tiempo de conservación de extractos de *C. annuum* var. *Acuminatum* Fingerth.

JUSTIFICACIÓN

En el municipio de Acapetahua, perteneciente a la zona del Soconusco del estado de Chiapas, se llevan a cabo cultivos que son catalogados como “de temporada”, esto significa que su producción natural se lleva a cabo durante una época del año. El chile es un alimento de temporada y altamente perecedero que puede descomponerse por diversos factores destacando la temperatura, humedad, presión, entre otros.

En el caso del chile, la necesidad de buscar nuevas alternativas para su conservación que no dañen las propiedades funcionales del producto inicial ha motivado diferentes investigaciones. Los chiles son ricos en capsaicina, vitamina C (ácido ascórbico), provitamina A (caroteno), calcio y capsaicinoides (Bogusz y colaboradores, 2018; Cerecedo-Cruz y colaboradores, 2018), los cuales tienen importantes usos en la industria farmacéutica (Ayob y colaboradores, 2021), cosmética y agronómica, la medicina tradicional lo asocia al alivio del dolor reumático por el aumento de la circulación (Farhhoudi, Amin y Dong-Jin, 2017), bactericida (Ayob y colaboradores, 2021), anticoagulante, ayuda a la fácil digestión, anticancerígeno (Alcalá-Hernández y colaboradores, 2017) y antígenotóxico, esto gracias a su capacidad antioxidante (Alcalá-Hernández y colaboradores, 2017; (Ayob y colaboradores, 2021) y quimiopreventivo (Moo-Huchin, Sauri y Ortiz, 2019), etc., los procesos convencionales las reducen, por lo que, mantenerlas impulsa el desarrollo de nuevos procesos, los cuales, además de preservarlas permitan ahorrar tiempo, recursos económicos y espacio.

El secado por aspersión, es una alternativa viable para la conservación de diferentes alimentos, la utilización de este método sobre el chile pimienta de cayena “*C. annuum var. Acuminatum Fingertb*” o chile chocolate como es conocido localmente, busca obtener una oleoresina liofilizada de tal manera que se prolongue su vida de anaquel, así mismo, obtener materia prima para la elaboración de nuevos productos funcionales con todas las características organolépticas y nutritivas propias del chile.

El aprovechamiento de esta materia prima podría promover el desarrollo económico, si se le da un valor agregado a esta especie de chile, sus diferentes productos pueden llegar a incursionar en las industrias farmacéuticas, biotecnológicas y por supuesto la alimentaria, ya que de momento es una especie semi-silvestre de chile cosechada de manera tradicional, que se puede encontrar en esta región del estado.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Chiapas es un estado rico en recursos naturales, los cuales favorecen diferentes cultivos, entre estos el chile, según el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), durante el 2020 en el estado se sembraron y cosecharon 2,945 ha de chile y se obtuvieron 19,702 Ton, estas cifras no engloban cultivos en huertos caseros y de traspatio. En el municipio de Acapetahua perteneciente a la zona del Soconusco gran parte de la producción de chile chocolate cosechado se queda dentro de la misma región puesto que el consumo de especies semisilvestres es más frecuente, por ser el área de reproducción, mientras tanto en zonas urbanas se consumen los domesticados y mayormente comercializados.

Muchas veces, el desconocimiento de herramientas para conservar alimentos percederos propicia que estos se distribuyan localmente para evitar pérdidas económicas. En el municipio de Acapetahua, Chiapas, un porcentaje de productores no cuenta con las herramientas necesarias para aplicar técnicas de aprovechamiento en fresco de este cultivo, por lo que se cosecha y conserva de manera tradicional, así mismo las tecnologías de conservación son rudimentarias ya que se ocupa mayormente el secado al sol.

Las técnicas de conservación en alimentos son importantes para mantener funcionales y que estos brinden sus nutrientes, el desconocimiento de herramientas es perjudicial debido a que la maduración y los factores climáticos contribuyen al deterioro de alimentos, de la misma manera los canales de comercialización no establecidos del todo. El secado por aspersión es un método que se presenta como una alternativa de conservación dado que la microencapsulación no altera las propiedades organolépticas y capacidad antioxidante en chiles (Gil-Garzón y colaboradores, 2011), ya que muchos de los compuestos bioactivos presentes en los extractos del chile como el chile chocolate suelen ser propensos a la degradación debido a la exposición al medio ambiente (luz, calor y oxígeno), con esto el chile presentaría un mayor rendimiento y menos pérdidas puesto que el polvo obtenido se puede ocupar para diferentes usos tecnológicos en la industria alimentaria y su conservación es más prolongada.

OBJETIVOS

General

Evaluar la eficiencia de la microencapsulación de extractos acuosos de chile chocolate obtenidos en cuatro estados de maduración mediante secado por aspersión como medio de conservación de la capacidad antioxidante.

Específicos

- a) Caracterizar morfológica y fisicoquímicamente al chile chocolate en cuatro estados de maduración.
- b) Determinar la capacidad de microencapsulación de extractos acuosos de chile chocolate con maltodextrina DE-18 mediante secado por aspersión
- c) Caracterizar los microencapsulados de chile chocolate por Microscopia (Electrónica de Barrido (SEM) y Óptica), colorimetría y Actividad de agua (Aw).
- d) Evaluar la capacidad antioxidante de los microencapsulados de chile chocolate a través de la metodología ABTS y DPPH

MARCO TEÓRICO

ANTECEDENTES

Murga (2014), realizó el secado de jugo de guayaba (*Psidium guajava*) en diferentes parámetros de secado, al mejor resultado de secado evaluó el contenido de vitamina C, polifenoles totales y capacidad antioxidante por método de espectrofotometría. El mejor ensayo se llevó a una temperatura de 170 °C, un flujo de alimentación: 10 mL/min, concentración de goma arábiga 4%, obteniendo un polvo microencapsulado con 3.8% de humedad con contenido de vitamina C de 233.07 ± 18.1 mg/100g contenido de vitamina C en fruta fresca fue de 76.97 ± 1.13 mg/100g. El contenido de polifenoles totales en pulpa fresca de guayaba fue: 145 ± 15.91 mg equiv. AG/100g y en guayaba atomizada: 665.09 ± 56.93 mg equiv. AG/100g (6.9134 mg/g m.s). Las propiedades físicas de humedad: 3.8 ± 0.1 %, densidad: 0.44 ± 0.056 g/cm³, humectabilidad: 170.66 ± 4.652 s, Higroscopicidad: 0.96 ± 0.043 g de agua/Kg sólido seco (min), Solubilidad: 85.38 ± 2.359 %. Se en los diferentes tratamientos diferencia significativa en atributos de sabor, aroma entre la pulpa fresca y atomizada.

Casanova (2013) evaluó los parámetros óptimos de secado por atomización del jugo de camu-camu (*Myrciaria dubia*), para lo cual se utilizó método de superficie de respuesta sobre las cuales se aplicó un Diseño Factorial, donde se definió 7 puntos experimentales (4 puntos factoriales y 3 repeticiones en el punto central). Se trabajó con variables de concentración de maltodextrina (%) y temperatura de entrada de aire (°C). En el mejor tratamiento se determinó una temperatura de secado a 153 °C, concentración de maltodextrina 15 % obteniendo los siguientes resultados, rendimiento de secado 65.121 %, contenido de vitamina C 7.397 % (70.99 % retención de vitamina C), actividad de agua (a_w) 0.252. Obteniendo resultados por encima de los parámetros óptimos para secado de jugo de frutas.

Ferrari (2012) realizó un estudio de secado por atomización en jugo de mora (*Rubus ulmifolius*). El objetivo fue evaluar la influencia de la temperatura del aire de (160 y 180 °C) y la concentración de maltodextrina (5, 15, 25 %), sobre las características físico- químicas del jugo de mora negra en polvo. El ensayo realizado a una temperatura de 160 °C con un 5 % de maltodextrina fue el más efectivo en la retención del contenido de antocianinas de los polvos, ya que la retención de estos pigmentos fue alrededor del 80 %, los ensayos con alta temperatura (180 °C) se obtuvieron productos secos con pérdidas de antocianinas en mayor proporción.

Morales y colaboradores., (2010) analizaron los efectos producidos durante el secado de zarzamora (*Rubus spp.*) sobre los componentes fisicoquímicos-funcionales y propiedades fisicoquímicas. Se cuantificaron en el polvo de zarzamora compuestos como antocianinas, fenoles totales y capacidad antioxidante en donde además se evaluaron las características fisicoquímicas propias un alimento en polvo como lo son parámetros de color (L^* , a^* , b^*), humedad e higroscopicidad. De acuerdo a las condiciones de secado propuestas se tiene que el tratamiento D (TAE= 80 °C, PA=3kPa/m² y FA=3.5mL/min) se tiene una humedad de 6.40%, humedad recomendada para los alimentos en polvo, también los parámetros de color ($L^*=21.08 \pm 0.33$ $a^*=33.87 \pm 0.74$ $b^*=16.92 \pm 0.32$) fueron muy similares a los del fruto y jugo fresco, e higroscopicidad de 28.27 %, mientras que para las propiedades fotoquímicas - funcionales el tratamiento F (TAE = 70 °C, PA = 3kPa/m² y FA = 2.5 mL/min) con 440.34 \pm 9.21 mg equiv. cianidin-3-glucosido/100g, fenoles totales de 1.134 \pm 0.73 mg equiv. AG/100 g y capacidad antioxidante de 2.49 \pm 0.57 μ mol ET/100 g.

Núñez (2019) evaluó la colorimetría de harina de lúcuma en tres temperaturas (50, 60 y 70 °C) secados por aspersión, evaluaron parámetros de L^* , a^* , b^* , C , H° , observando disminuciones significativas en valores de luminosidad (L^*) siendo notoria en temperaturas de 50 (79.02 \pm 0.43) y 70 (78.45 \pm 1.34) °C. En relación con la tonalidad rojo-verde (a^*) este incremento en temperaturas de 50 (7.58 \pm 1.59) y 70 (6.49 \pm 0.69) °C, muestran una tendencia hacia el enrojecimiento. En cuanto al componente amarillo-azul (b^*), se observó un incremento significativo a la temperatura de 42.37 \pm 2.85°C. En cuanto al ángulo H° , se observaron

tonalidades que varía desde el rojo hasta el amarillo $79.93 \pm 1.47/82.46 \pm 0.42/80.91 \pm 1.04$. Para Cromo (C^*) generalmente, los procesos de secado dieron como resultados un aumento durante el tratamiento térmico siendo este significativamente mayor a $50\text{ }^\circ\text{C}$ (43.05 ± 3.08). Santiago (2018) evaluó la colorimetría de jugos de jitomate (*Solanum lycopersicum*) en parámetros L^* , a^* y b^* , del secado obtuvo polvos muy finos y de color rosado. Los agentes microencapsulantes (maltodextrina, extracto de semilla de mango, suero láctico) produjeron efectos diferenciales en los parámetros de color. La presencia de maltodextrina a concentraciones mayores tiende a incrementar el valor de L^* , lo cual fue observable más claramente en el tratamiento 7 (T7) (83.9 ± 0.7). Para la variable a^* se observa una dependencia entre las variables ya que estas son parecidas entre sí. En cuanto a la variable b^* la más cercana al amarillo el tratamiento T1 (17.9 ± 0.7) fue el mayor mientras que el T7 fue el menor (13.0 ± 0.1).

Arrazola y colaboradores (2014) determinaron la actividad de agua (a_w) de polvos de berenjena obtenidos usando maltodextrina como agente encapsulante en concentraciones del 15, 20 y 30 %. La actividad de agua de las antocianinas microencapsuladas mostraron una influencia significativa de la temperatura de entrada, siendo menor a $180\text{ }^\circ\text{C}$. Además, el tratamiento con agente encapsulante a una concentración del 15 % exhibió la mayor actividad de agua, mientras que las concentraciones del 20 y 30 % no difieren significativamente entre sí. Los pigmentos microencapsulados mediante el secado por aspersión con 30 % de maltodextrina y una temperatura de secado de $180\text{ }^\circ\text{C}$ presentaron menores contenidos de humedad (3.43%) y actividad de agua (0.26), la menor actividad de agua (0.25) con 20 % de sólidos y $180\text{ }^\circ\text{C}$. Sin embargo, el rendimiento más alto (90.74 %) se obtuvo con concentración de maltodextrina del 30 % de los polvos obtenidos.

Olguín (2019) en su trabajo de investigación acerca del secado por aspersión de extractos de chile habanero se observó que las variables del proceso evaluado no tienen efecto significativo ($p < 0.05$) sobre la actividad del agua (a_w) de las micropartículas obtenidas. Los valores que obtuvo

se encuentran en el rango de 0.21-0.43. La goma arábica presentó los mayores contenidos de humedad (1.6-4.9 %) esto concuerda con resultados obtenidos de otros autores.

Caez (2012), estudió el efecto de la temperatura de secado en la microencapsulación del jugo de mango (*Mangifera indica L.*) utilizando maltodextrina DE 19 (dextrosa equivalente) como encapsulante. Se trabajó con las temperaturas de entrada: 120, 140 y 160 °C, y resultando las siguientes temperaturas de salida de 80, 88 y 90 °C, respectivamente. Los resultados de la microencapsulación del mango, mostraron como al utilizar la temperatura de entrada de 140 °C, se logró obtener un polvo microencapsulado con un valor de humedad de 2.030 ± 0.108 %, cenizas 0.429 ± 0.065 % y un rendimiento del 52.9 %, lo cual se encuentra entre los rangos recomendados para productos en polvo.

Cahuaya (2017), estudió el rendimiento del zumo de naranja (*Citrus × aurantium*) atomizado en tres concentraciones de maltodextrina (5, 7 y 9 %) y tres temperaturas de secado (140, 150 y 160 °C). Donde observó que el tratamiento con un mayor rendimiento (21.87 %) fue donde se utilizó una temperatura de entrada de 160 °C y una concentración de 9% del agente encapsulante. Mostrando que el rendimiento del zumo de naranja encapsulado aumenta directamente al incrementar la concentración de maltodextrina, esto debido al incremento de la concentración de sólidos solubles.

Características y generalidad del chile chocolate.

El chile chocolate (*C. annuum var. Acuminatum Fingerth*) es una planta de anual herbácea de crecimiento determinado, que va de una altura de 60 a 120 cm, su raíz es pivotante con numerosas raíces adventicias, alcanzando profundidad de 70-90 cm, es de tallo leñoso, ramificación verde, sus flores son frágiles, de color blanco (Tojin, 1984; Meza, 2015). Su fruto es cónico alargado de color verde y en estado de maduración es de color rojo, es poco picante (Figura 1). La carnosidad del pimiento también varía según la especie, la cual se utiliza para fines industriales y a nivel casero. El fruto en algunas variedades se hace curvo cuando se acerca a la

madurez; el color verde de los frutos se debe a la alta cantidad de clorofila acumulada (Meza, 2015).

La forma de propagación es mediante semillas que se mantienen viables hasta por tres años si se conservan en un ambiente adecuado. Está compuesto en gran porcentaje por agua, en promedio 74 %, el contenido de proteína es de 2.3 % y el de carbohidratos es de 15.8 %, otros componentes son vitaminas y minerales (Tojin, 1984; Meza, 2015).



Figura 1. Estado maduro del chile chocolate (*Capsicum annuum* var. *Acuminatum* Fingerth).

El género *Capsicum* incluye un promedio de 25 especies y tiene su centro de origen en las regiones tropicales y subtropicales de América. El cultivo del chile ha tenido importancia en la historia, tradición y cultura de México, ha llegado a ser un producto agrícola con alta demanda mundial, ubicado entre las siete hortalizas más cultivadas del mundo, con una producción mundial estimada de 24 millones de toneladas (Pérez y colaboradores, 2008). La importancia del consumo del chile va más allá de su uso como condimento o ingrediente en la cocina mexicana, existiendo estudios de su empleo como medicamento o auxiliar en el tratamiento de enfermedades desde tiempos prehispánicos (Cichewicz y Thorpe, 1996).

Después del descubrimiento de América, las especies pertenecientes a este cultivo, principalmente *Capsicum annum*, han sido llevadas a distintas regiones del mundo y rápidamente han pasado a ser la principal "especia" o condimento de comidas típicas de muchos países, por lo que su cultivo, aunque generalmente reducido en superficie, se encuentra ampliamente extendido, siendo China, Estados Unidos y México los principales productores en el ámbito mundial (Morales, 2016; SIAP, 2020). Según Krarup (1970) y Meza (2015), se puede clasificar científicamente el chile en la siguiente tabla (ver Tabla 1).

Tabla 1. Clasificación científica del chile chocolate (*C. annum*, var. *Acuminatum* Fingerth)

Reino	<i>Plantae</i>
Sub-reino	<i>Tracheobionta Magnoliophyta</i>
Clase	<i>Asteridae</i>
Sub-clase	Solanales
Orden	<i>Solanaceae</i>
Familia	<i>Solanoideae</i>
Sub-familia	<i>Capsiceae</i>
Tribu	<i>Capsicum</i>
Género	<i>annuum</i>
Especies	<i>var. Acuminatum Fingerth</i>

Fuente: (Krarup, 1970; Meza, 2015).

En el caso de México, debido a su variación orográfica, climática y el vasto desarrollo de culturas en su territorio, se domesticaron especies como maíz, frijol, calabaza, chile, entre otras, que en la actualidad son muy importantes en todo el mundo (Lépiz y Rodríguez, 2006). Los nombres de los chiles pueden ser bastantes confusos, esto debido a que con frecuencia el mismo chile recibe otro nombre en un lugar diferente, aun entre los que cultivan comercialmente. En algunos lugares el chile ancho es conocido como "pasilla". El chile gordo puede llamarse jalapeño o poblano. También es frecuente que a un chile guajillo en un lugar se le llame "cascabel" y en otro "mirasol" (Krarup, 1970; Meza, 2015).

En el caso particular del chile (*Capsicum spp*), existen cinco especies cultivadas (*C. annuum*, *C. chinense*, *C. pubescens*, *C. frutescens* y *C. baccatum*) y alrededor de 25 silvestres y semicultivadas (Hernández y colaboradores, 1999; Meza, 2015). Por la extensión de su cultivo y el valor económico que representa su producción, *C. annuum* es la especie cultivada más importante en todo el mundo, y es en México donde se encuentra la mayor diversidad. Por otro lado, en el ámbito nacional solo algunos tipos de chile del país son ampliamente conocidos, entre los que se pueden mencionar los chiles jalapeño, ancho, guajillo, pasilla, serrano, manzano, habanero, de árbol y piquín (Figura 2). La mayor parte de la diversidad, solo es conocida y utilizada a nivel regional o local (Pozo y colaboradores, 1991; Meza, 2015).

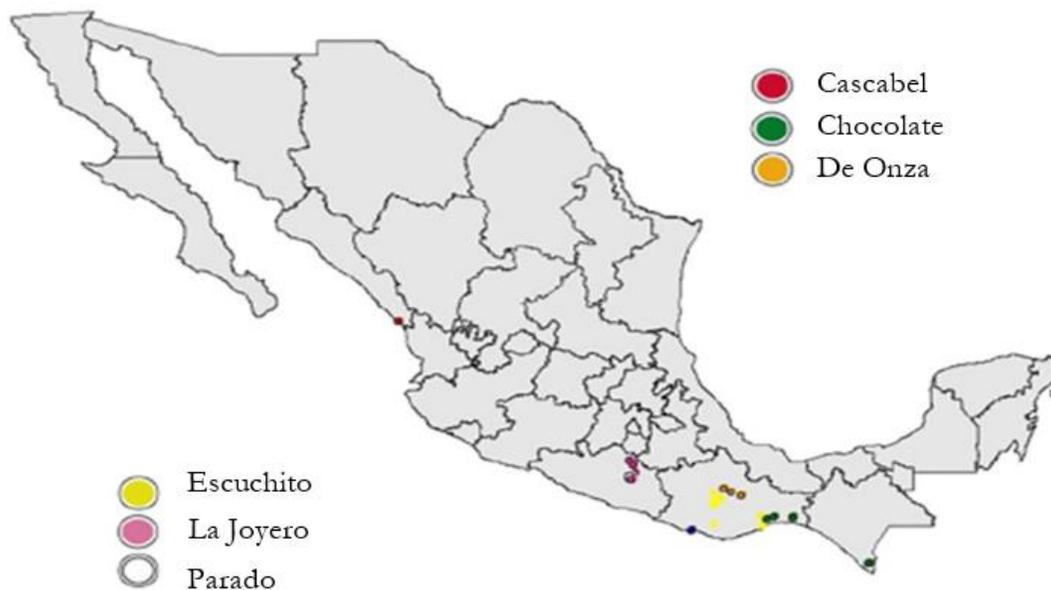


Figura 2. Mapa de distribución en México de los chiles Cascabel, Chocolate, De onza, Escuchito, La Joyero y Pardo.

La amplia aceptación que tiene esta especie se debe a las características de picor, sabor, aroma... entre otras cuyas propiedades son indispensables en la elaboración de la comida mexicana y de otros países (Bosland, 1996; Meza, 2015), además producen metabolitos secundarios como

carotenoides, alcaloides (capsaicinoides), compuestos fenólicos, ácido ascórbico y otros antioxidantes que les confieren importancia económica, valor nutricional (Tabla 2), medicinal e incluso cosmético; estos compuestos varían en su concentración de acuerdo con la especie, el nivel de madurez, las condiciones de estrés, la fertilización, el manejo postcosecha de los frutos, e incluso la vida de anaquel. También hay variación en el contenido total de estos compuestos, entre los componentes del fruto. Los capsaicinoides, capsaicina y dihidrocapsaicina, responsables del sabor picante, se sintetizan en la placenta de los frutos, donde constituyen alrededor del 90% del contenido total de capsaicinoides (de la Cruz-Ricardez y colaboradores, (2020).

Tabla 2. Composición química del fruto del chile chocolate (*C. annuum*, var. *Acuminatum Fingerth*)

Componente	Contenido (%) y (g.)
Agua	94 %
Hidratos de carbono	3.7 %
Fibra	1.2 %
Lípidos	0.2 %
Proteínas	0.9 %
Sodio	0.5 mg/100 g
Calcio	12 mg/100 g
Hierro	0.5 mg/100 g
Potasio	186 mg/100 g
Fosforo	26 mg/100 g
Ácido ascórbico (Vit. C)	131mg/100 g
Retinol (Vit. A)	94 mg/100 g
Tiamina (Vit. B1)	0.05 mg/100 g
Riboflavina (Vit. B2)	0.04 mg/100 g
Ácido fólico (Vit. B3)	11 microgramos/100

Fuente: (Krarup, 1970; Meza, 2015)

Secado de alimentos

El secado o deshidratación es una técnica de conservación de alimentos cuyo objetivo principal es la disminución de la actividad del agua de los mismos. Desde la antigüedad se ha reconocido que los alimentos con mayor contenido en humedad son los más perecederos, de tal manera que el control del contenido en agua es una herramienta para su conservación. Se ha observado también que diferentes alimentos con el mismo nivel de humedad pueden ser muy diferentes en su estabilidad por lo que se deben tener en cuenta además las interacciones del agua con otros componentes del alimento (Contreras Monzón, 2006).

El secado como método de conservación de alimentos elimina el agua mediante tratamientos térmicos para reducir la actividad de agua del alimento y evitar el desarrollo microbiano, así como las reacciones químicas deteriorativas (Fellows, 2009). Este método ha sido uno de los más empleados para conservar frutas, vegetales, carnes y pescado. En el secado se reduce significativamente el peso y el volumen del alimento, lo que consecuentemente disminuye los costos de transporte y almacenamiento de estos productos. El secado también permite la transformación de estos productos en materias primas adecuadas para el mezclado y formulación de nuevos productos, como es el caso de sopas deshidratadas, frutas, cereales para el desayuno, salsas, jugos, purés, entre otros. Por otra parte, el secado puede llegar a provocar cambios indeseables en los alimentos afectando las propiedades nutritivas y funcionales (Santiago, 2018).

El secado se considera un método convencional de preservación que ha incrementado su vigencia en las últimas décadas y que tiene por objetivo prolongar la vida útil de alimentos naturales. El efecto principal de esta técnica de conservación se debe a que los microorganismos no pueden desarrollarse a bajas actividades de agua y es por eso que los alimentos secos se pueden almacenar por largos períodos de tiempo (Eskin y Robinson, 2001). Por la facilidad de manipuleo y consumo (tanto el mercado local, nacional e internacional) se exige que los alimentos naturales perecederos sean deshidratados/secados utilizando técnicas modernas de secado; que garantice, que el producto sea de buena calidad, exento de riesgos de contaminación

y degradación. Los tipos de secado más usados, son los que presentan alta eficiencia por tener grandes ventajas como: Tiempo de secado mínimo y por los altos coeficientes de transferencia de masa y calor, que permiten que el producto a secar no se degrade y sea aplicable para el secado de diferentes productos según conveniencia para casos especiales (líquidos) (Calla, 2012).

Actualmente, además de los productos ya clásicos como pastas secas, leche y chocolate en polvo, especias y frutas deshidratadas y en especial sopas y alimentos deshidratados instantáneos (café y jugos), se desarrollan productos que se adaptan a los nuevos ritmos de vida, son apreciados por el consumidor, aportan nutrientes valiosos, tienen poca o ninguna adición de aditivos y no es necesaria su refrigeración para mantenerlos almacenados (Quintero, 2015).

El proceso de secado de sólidos es de gran importancia práctica y económica en todas las industrias de procesos. En la actualidad se realizan muchos estudios sobre la disminución de la actividad de agua de los alimentos, esta tecnología impide el crecimiento microbiano y por lo tanto aumenta el tiempo de la vida útil del alimento. La reducción de actividad de agua puede ser obtenida por medio del secado (Cano, 2014).

En la actualidad el cambio en los estilos de vida ha motivado la necesidad de reducir tiempos en la preparación de alimentos; así como los nuevos hábitos de buena alimentación, donde el consumidor está cada vez más interesado en las relaciones entre la dieta y la salud, preocupándose no solo por la composición de los alimentos, sino también por aquellos efectos beneficiosos o perjudiciales que pudieran tener sobre su bienestar físico y mental, esta situación ha generado un rápido crecimiento de los alimentos funcionales. Es así como hoy día todos los países desarrollados y en vía de desarrollo, dentro de sus políticas de salud pública y seguridad alimentaria, impulsan acciones destinadas al bienestar en la salud o mejora en las dietas de los ciudadanos (Betoret y colaboradores, 2011).

Las ventajas que presenta el secar un producto respecto al manejo del material original de acuerdo a Barbosa y Vega, (2000) son:

- Se aumenta el tiempo de vida útil del producto.

- Se facilita el manejo del producto.
- Se reduce el espacio de almacenamiento del producto.
- Se reducen los costos de almacenamiento y embarque.

Clasificación de los métodos de secado.

Los métodos de conservación son procedimientos a los que se someten los alimentos con el objetivo de mantener su calidad y las condiciones higiénico-sanitarias para ser consumidos durante un tiempo preestablecido. En general los métodos de conservación se dividen en tres grandes grupos: físicos, químicos y mixtos. Para Díaz y colaboradores (2005) la clasificación de los equipos de secado se puede hacer con base a:

- a) Las características y propiedades físicas del producto húmedo. Procedimiento apropiado para la selección de un grupo de secadores para su estudio preliminar en un problema dado.
- b) El procedimiento para transmitir el calor al sólido húmedo. Más interesante industrialmente y revela diferencias en el diseño y funcionamiento de los secadores.

De acuerdo con este segundo criterio se distinguen los secadores directos, que utilizan gases calientes en contacto con el sólido húmedo para suministrar el calor y arrastrar el líquido vaporizado, los secadores indirectos en los que el calor se transmite al sólido húmedo a través de la pared que lo contiene, eliminándose el líquido vaporizado independientemente del medio calefactor, secadores dieléctricos y secadores por radiación.

Los equipos de secado son clasificados de manera general, en función al sistema de eliminación de agua aplicado como; (a) secado térmico, (b) deshidratación osmótica, y (c) secado mecánico. En el caso del secado térmico se usa un gas o un medio inerte para eliminar el agua del producto, y se divide en tres tipos; (a) secado por aire, (b) secado en atmosfera con bajo contenido de aire, (c) secado en atmosfera modificada. En la deshidratación osmótica se utilizan solventes o disoluciones para eliminar el agua, mientras que en el secado mecánico se usa fuerza física. En

el secado mecánico se aplica presión o fuerza centrífuga al producto mientras una barrera mantiene separadas las fases sólidas y líquidas (Cano, 2014).

Contreras Monzón (2006) expresa que son diversos los tipos de secadores que se utilizan y estos depende de las características y propiedades físicas del producto húmedo y/o del procedimiento que se desea ocurra en la transmisión de calor, entre ellos se encuentran:

- Secadores directos: se caracterizan por utilizar gases calientes para suministrar el calor en contacto directo con el alimento, fundamentalmente por convección, y arrastrar el líquido vaporizado. Ejemplo de este tipo son los secadores de horno o estufa, de bandejas o de armario, de túnel, de cinta transportadora, de torre o bandejas giratorias, de cascada, rotatorios, de lecho fluidizado, por arrastre neumático, por atomización.

Los gases calientes pueden ser:

- Aire calentado por vapor de agua
- Productos de la combustión
- Gases inertes
- Vapor recalentado
- Aire calentado por radiación solar

Este tipo de secadores pueden ser continuos o intermitentes, siendo el costo de funcionamiento menor en los primeros y utilizándose los segundos para bajas capacidades de producción y para el tratamiento de productos que exigen manipulación especial.

- Secadores indirectos: el calor se transmite al alimento por conducción a través de la pared que lo contiene, eliminándose el líquido vaporizado independientemente del medio calefactor; entre ellos se encuentran los secadores de bandeja a vacío, por sublimación (liofilizadores), de tornillo sin fin, de rodillo.

La fuente de calor puede ser:

- Vapor que condensa.
- Agua caliente.
- Aceites térmicos.
- Gases de combustión.
- Resistencia eléctrica.

Los secadores indirectos permiten la recuperación del disolvente y son apropiados para la desecación a presiones reducidas y en atmósferas inertes, lo que les hace recomendables para deshidratar productos termolábiles o fácilmente oxidables, pudiendo utilizar métodos de agitación para asegurar una mejor transmisión de calor y eliminar los gradientes de humedad en el producto.

- Secadores por radiación. Se basan en la transferencia de energía radiante para evaporar a humedad del producto. Esta energía se produce eléctricamente (infrarrojos) o por medio de refractarios únicamente calentados con gas. El costo de la energía necesaria para este método es de dos a cuatro veces mayor que el costo del combustible en los secadores descritos anteriormente.
- Secadores dieléctricos. Se caracterizan por generar calor en el interior del propio sólido, en virtud de un campo eléctrico de alta frecuencia que provoca una gran agitación de las moléculas polares, cuya fricción genera el calor necesario para la evaporación. Puesto que el campo eléctrico es uniforme en todo el espesor del dieléctrico, el calentamiento es prácticamente uniforme y simultáneo en toda la masa del sólido, lo que lo hace interesante para la deshidratación de piezas de gran tamaño sin peligro de recalentamiento en la superficie.

El campo de aplicación es todavía muy reducido debido a su alto costo de operación que puede ser diez veces superior al del combustible necesario en los secadores directos y al elevado costo del equipo auxiliar requerido para generar este tipo de energía.

Criterios para la selección del método de secado.

Existen criterios que hay que tener en cuenta para la selección del método que mejor se adapte al secado de una sustancia (Shafiur y Conrad, 2003):

- El modo de funcionamiento del aparato.
- La naturaleza y calidad del producto a secar.
- La fuente de calor y el modo de transmisión del mismo.
- Seguridad
- Consumo de energía
- La facilidad para controlar el tiempo de tratamiento.
- La elección del método de secado es generalmente una situación ponderada de todos estos factores.
- El modo de funcionamiento puede ser discontinuo o continuo.
- Capital a invertir y los costos del proceso.

La selección del método de secado depende de la importancia de la producción. La preparación, modo de manejo, fuente de calor a utilizar, modo de transmisión y concepción de los sistemas de aireación, dependen de la naturaleza del producto a secar. Pudiendo tratarse de líquidos, pastas, materiales pulverizados, granulados, fibrosos o compactos (Land Van't, 1984).

Secado por aspersion, atomización o Spray Dryer.

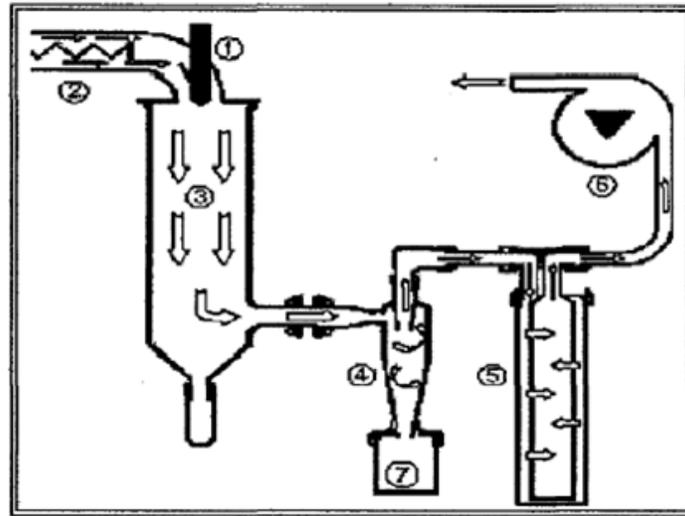
El Secado por aspersion (pulverización) es un método muy utilizado para la transformación de una amplia gama de productos alimenticios líquidos en forma de polvo. El proceso implica pulverizar soluciones finamente atomizadas en una cámara donde el aire seco caliente, evapora

rápidamente la solución dejando las partículas secas por pulverización. Los polvos secos se pueden almacenar a temperatura ambiente durante períodos prolongados, sin comprometer su estabilidad, son más baratos de transportar y fácil de manejar en las plantas de fabricación, son económicos de producir en comparación con otros procesos, tales como la liofilización, congelación, además de que no requiere de costos adicionales en el almacenamiento y manipulación (Cuq y colaboradores, 2011).

El secado por pulverización tiene muchas aplicaciones, en particular en la industria alimentaria, farmacéutica y agroquímica. La conversión de los materiales alimenticios de alto valor, tales como extractos de frutas y vegetales, en forma de partículas no es fácil debido a la presencia de una alta proporción de azúcares de bajo peso molecular en su composición, que conducen al problema de la pegajosidad, donde las partículas se adhieren unas a otras, al secador o a las paredes del ciclón (parte del secador donde ocurre la separación de la fase sólida con la gaseosa), permaneciendo allí y formando depósitos de pared gruesa, mientras que muy poco producto sale por la salida del secador. Esto podría conducir a problemas de bajo rendimiento y de mal funcionamiento del equipo (Igual y colaboradores, 2014).

Valgas (2007) menciona que un sistema de secado por aspersión o Spray Dryer puede ser explicado siguiendo el esquema presentado en la Figura 3. Por un sistema de bombeo, la suspensión es aspirada hasta la parte superior, siendo asperjada (2) hasta una temperatura (de entrada, o "INLET"), apropiada para atomización. A través de una boquilla (o boquilla de aspersión) (1) con salida para los dos fluidos, la suspensión y el gas (aire o N₂) son inyectados al mismo tiempo en la cámara de secado (3). El proceso de atomización es iniciado cuando la masa líquida, sobre efecto de compresión del gas, es goteada por el pequeño orificio de la boquilla y es secada por el efecto de la temperatura. Debido a un sistema de succión (6), el polvo atomizado pasa por un reservorio donde el gas se mueve de forma circular, formando un ciclón (4), que sirve para separar partículas finas de los aglomerados. Los aglomerados, más pesados, se depositan por gravedad en el colector de producto (7), y los finos siguen el flujo de succión hasta que queden retenidos en un filtro (5). La microencapsulación por el método de secado por

aspersión es el método más común de encapsulación de ingredientes alimenticios, como ejemplos se tienen: vitaminas (C y E), ácido fólico, aromas, orégano, citronela, aceite de cardamomo, bacterias probióticas, lípidos, ácido linoléico, aceites vegetales; minerales como hierro; pigmentos de antocianina y leche entre otros alimentos (Parra, 2011).



- (1) Boquilla para dos fluidos; (2) Sistema de calentamiento de la suspensión; (3) Cámara de secado; (4) Ciclón para separación de partículas; (5) Filtro de remoción de las partículas finas; (6) Aspirador para generación de fluido; (7) Colector de producto.

Figura 3. Esquema de un sistema Spray Dryer.

En comparación con otros métodos, el secado por aspersión proporciona una eficiencia de encapsulación relativamente alta. La mayor eficiencia de encapsulación que se alcanza con el secado por aspersión, se encuentra entre 96 y 100 %. Además de ser un método rápido, continuo y relativamente sencillo con respecto a otros existentes, brinda principalmente la posibilidad de ser escalado hasta nivel de producción (López y Gómez, 2008).

Etapas de un sistema de secado por aspersión

El secado por aspersión consiste en cuatro etapas:

- a) Atomización de la solución: La atomización de líquidos en pequeñas gotas puede llevarse a cabo por la presión o energía centrífuga. El objetivo de esta etapa es crear una superficie máxima posible de transferencia de calor entre el aire seco y el líquido con el fin de lograr la evaporación y optimizar la transferencia de masa. Cuanto más pequeñas sean las gotas, mayor la superficie y más fácil la evaporación y consecuentemente una mayor eficiencia térmica. Con respecto al secado, lo ideal es que todas las gotitas atomizadas fueran de un tamaño uniforme, lo cual significaría que el tiempo de secado sería el mismo para todas ellas; sin embargo, todavía no se ha logrado diseñar un atomizador que produzca una pulverización completamente homogénea. (Masters, 1985; Calla, 2012).
- b) Contacto aire caliente – gota: Existen tres formas básicas de contacto aire caliente - gota de acuerdo con la posición del atomizador en comparación con el distribuidor de aire caliente, (Masters, 1985; Filková, Huang y colaboradores, 2006): flujo en paralelo o corriente, flujo en contracorriente y mixto. En el flujo paralelo, el líquido es atomizado en la misma dirección que el flujo de aire caliente a través del equipo, la temperatura de entrada del aire caliente puede ser entre 150 y 220 °C, la evaporación se produce de forma instantánea y el producto seco se expondrá a temperaturas moderadas (50 – 80 °C), lo cual limita las degradaciones térmicas.
- c) Evaporación del agua: La velocidad de evaporación se lleva a cabo en dos periodos: periodo de velocidad constante y periodo de velocidad decreciente. En el periodo de velocidad constante la difusión de humedad desde dentro de las gotas permite tener la superficie saturada de líquido, el tamaño de la gota disminuye y la temperatura de la superficie permanece constante; la temperatura del aire de secado desciende a medida que gana humedad. En el periodo de velocidad decreciente la velocidad de migración de la humedad a la superficie no es suficiente para mantenerla saturada, en este momento aparecen áreas secas sobre la superficie, alcanzándose el punto crítico de humedad en donde la gota ya no puede contraerse más en volumen y su temperatura empieza a

ascender; en este punto el aire de secado llega a la temperatura crítica y a una humedad crítica, su temperatura sigue disminuyendo hasta fijada por el final del proceso aumentando su humedad. La velocidad y el tiempo requerido de secado son dependientes de la temperatura del aire de secado, el coeficiente de transferencia de calor y el diámetro de la gota a secar (Cahuaya, 2017).

- d) Recuperación del producto: La separación del producto se puede realizar primero en la base de la cámara de secado (separación primaria), seguida de la recuperación de finos (separación secundaria), que puede estar constituido por ciclones, filtros bolsa, precipitadores electrostáticos o filtros húmedos. Los separadores ciclónicos son los más empleados para la separación y recolección de polvos, por ser de bajo costo, eficientes y de fácil limpieza. En estos el aire cargado de polvo entra en forma tangencial a una cámara cilíndrico - cónica girando rápidamente y sale por la parte central superior. El producto seco, debido a su inercia, tiende a moverse hacia la pared exterior del separador donde continúa hasta caer en un receptor (Calla, 2012).

Componentes del sistema de secado por atomización

1. Cámara de secado: Es el lugar dónde se produce el contacto entre la gota y el aire caliente, debe tener el tamaño requerido para que el tiempo de residencia de las gotas sea el requerido para el secado.
2. Calentador de aire: El cual consta de un ventilador para impulsar el aire y un quemador o un conjunto de resistencias eléctricas que se encargan de elevar la temperatura del aire a la requerida.
3. Tanque de almacenamiento del extracto: Almacena la pasta líquida de los productos a secar.
4. Bomba del extracto: Debe ser capaz de bombear el líquido hasta el atomizador con el caudal requerido en el proceso.

5. Atomizador: Se encarga de pulverizar el producto generando millones de gotas para mejorar el proceso de evaporación.
6. Ciclón: Es el encargado de separar el producto seco del aire que se expulsa a la atmósfera.
7. Ventilador de extracción de aire y filtro: En la etapa final el aire pasar por un filtro para eliminar todas las partículas del sólido seco y evacuar el aire a través del ventilador de extracción (Adco, 2018; CITE Agroindustrial, 2019; AKRIBIS, 2021).

Parámetros a considerar en el proceso de secado por aspersión

- a) Material de alimentación: Temperatura, caudal, concentración inicial.
- b) Atomización: Presión de alimentación (boquilla), presión de aire, velocidad de rotación del atomizador.
- c) Flujo de aire de entrada: Temperatura, caudal, humedad.
- d) Contenido de sólidos de la alimentación y de su temperatura.
- e) Velocidad del disco o la presión de la boquilla.
- f) Dirección del gas entrante y de su temperatura (flujo paralelo, en contracorriente o mixto).
- g) Flujo de aire de salida: Temperatura, humedad (Iguar y colaboradores, 2014).

Tipo de atomizador

El tipo de atomizador a utilizar también es un parámetro que influye en el secado por atomización debido a que este define como, con qué velocidad y en qué cantidad entra la alimentación a la cámara de secado (Adco, 2018; CITE Agroindustrial, 2019).

Atomizador centrífugo: Consiste en un disco que gira al extremo de un eje (Figura 4). Existen cabezas atomizadoras de diferente tamaño, desde discos de 5 cm que giran a 50,000 rpm a ruedas de 76 cm que giran a 3,450 rpm. Pueden producir partículas muy finas, pero también gruesas, trabajar con líquidos viscosos y a velocidades lentas (Adco, 2018, Salazar y Yunga, 2019).

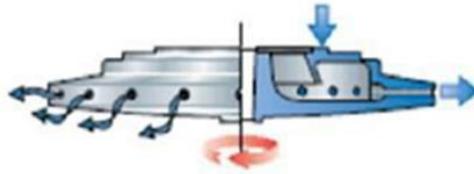


Figura 4. Atomizador centrífugo.

Atomizador a presión: El líquido se bombea a presión alta a través de un orificio pequeño formando una niebla de líquido en forma de cono hueco (Figura 5), (Cárdenas, 2014).



Figura 5. Atomizador a presión.

Atomizador neumático: Utiliza una alta velocidad del gas que permite crear fuerzas de fricción elevada que causa la rotura del líquido en gotas. Este mecanismo usa como medio gaseoso aire y vapor (Figura 6) (Calla y Canaza, 2012)



Figura 6. Atomizador neumático.

Flujo paralelo: El asperjado y el aire caliente se introducen en la zona superior de la cámara y viajan en la misma dirección a través del secador (Figura 7). El aire caliente contacta inicialmente a las gotas atomizadas. Esto favorece a los materiales termolábiles, ya que éstos son protegidos de las altas temperaturas por enfriamiento evaporativo. El gas de secado se va enfriando al pasar a través de la cámara y las partículas secas se encuentran con aire más frío a la salida del equipo. Cuando se utiliza un atomizador rotatorio se presenta un perfil homogéneo de temperaturas dentro de la cámara de secado (Orna, 2012).

Flujo a contracorriente: El aire de secado y el asperjado se mueven en direcciones opuestas en la cámara de secado (Figura 7). Debido a que las partículas secas se ponen en contacto con el gas más caliente y el tiempo de exposición es mayor, el diseño se propone para productos no termolábiles. En estos casos, el producto seco sale a una temperatura tan alta como la del gas de secado. Este arreglo se utiliza cuando se quiere impartir ciertas cualidades al producto como, por

ejemplo, una alta densidad a granel para el caso de detergentes (Orna, 2012; Palacios Corredor, 2020).

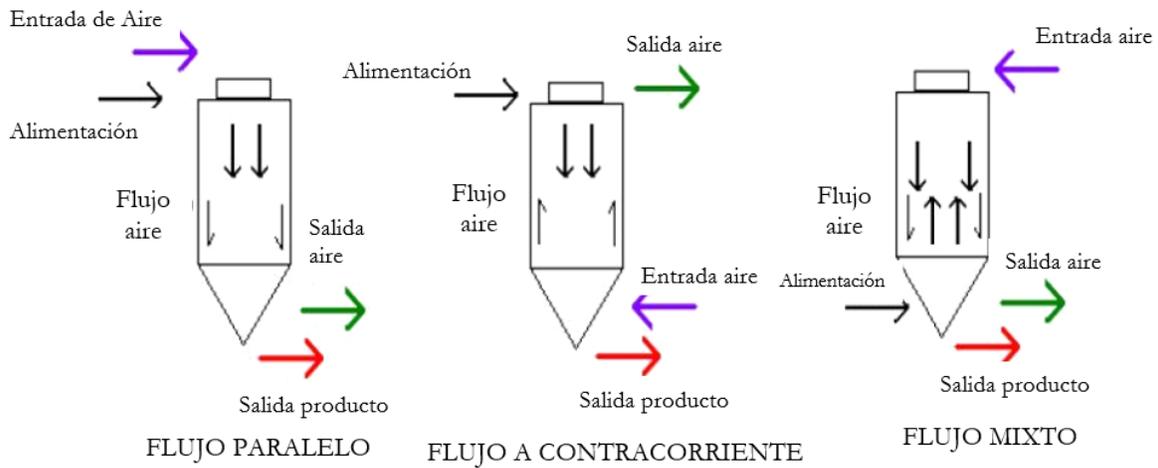


Figura 7. Tipos de contacto aire-gota.

Flujo mixto: Una boquilla se coloca en el fondo de la cámara, dirigida hacia arriba, dentro de la corriente descendente del gas, cuya entrada se encuentra en el techo de la cámara (Figura 7). Este arreglo no se recomienda para productos termolábiles ya que las partículas secas están en contacto con el aire más caliente, sin embargo, se recomienda para partículas gruesas en cámaras pequeñas, ya que la longitud del patrón de viaje de las partículas es grande. Se ha observado que estas partículas pueden presentar movimiento dentro de la cámara tanto del tipo paralelo como en contracorriente (Orna, 2012; Cárdenas, 2014; Palacios Corredor, 2020).

Variables del proceso

- El contenido de sólidos del producto antes del secado.
- El gasto del producto.
- El gasto del aire.
- La temperatura de entrada del aire, por lo general entre 150 °C y 210 °C (Calla, 2012).

Asimismo, se muestra a continuación las ventajas y desventajas de variables del proceso.

- Ventajas
 1. Conservar la calidad y las propiedades funcionales del producto.
 2. Realizar simplicidad y facilidad de regulación del sistema.
 3. Utilización de energía comparable con la de otros métodos de secado.
 4. Conservación de la mayoría de los compuestos volátiles.
 5. Se consigue un alto nivel de homogeneidad en la producción.
 6. Se lleva a cabo un proceso continuo.
 7. Es un proceso controlado (*IDEM*).

Se encuentra la técnica de secado por aspersión, siendo esta una de las más importantes y utilizadas en la industria alimentaria para la microencapsulación de alimentos (Parra, 2011).

- Desventajas
 1. Alta inversión inicial.
 2. Tamaño de la partícula difícil de controlar.
 3. Requiere una alimentación que pueda manejarse por medio de bombas.
 4. Problemas con la recuperación del producto y los polvos.

Uso de los secadores por aspersión en la industria alimentaria

El secado por aspersión es generalmente usado en la industria alimenticia para disminuir el contenido de humedad y la actividad acuosa, asegurar una estabilidad microbiológica de los productos, evitar el riesgo de degradaciones químicas y/o biológicas, reducir los costos de transporte y almacenamiento, y obtener un producto con propiedades específicas como por ejemplo la solubilidad instantánea. Dentro de los parámetros más importantes a controlar durante el secado por aspersión se encuentran: las temperaturas de entrada y salida del aire de secado, el flujo de alimentación del producto a secar, el tiempo de residencia y el acondicionamiento de la materia prima (García y colaboradores, 2004).

Existe una amplia gama de productos que requieren el uso del sistema de secado por aspersión, que mantiene las propiedades físico - químicas de los productos y que en algunos casos llega a

mejorar esas propiedades. A través de una solución, emulsión, suspensión o pasta, es enorme la diversidad de productos que se pueden secar por medio de este sistema en las industrias Química y Alimenticia (Cano, 2014).

El Secado por Atomización o Secado Spray es también usado para la preservación de los alimentos. Mediante este proceso simple y ultrarrápido, se consigue secar los sólidos y sólidos solubles, con alta calidad, preservando las características esenciales de los mismos. Este proceso también ofrece ventajas en la reducción de los pesos y volúmenes (Cano, 2014). Existe un rango muy amplio de productos secos por aspersión muy conocidos como la leche en polvo de varias composiciones, jabón y detergentes en polvo, como la de tanino, extractos de café, etc. De igual manera hay productos comestibles (quesos, huevos, caldo), vegetales (plátanos, tomates, soya, pectinas), proteínas, enzimas fungicidas y vitaminas al igual que otros productos orgánicos e inorgánicos. Entre los alimentos que son tratados con secado por aspersión se encuentran: Ovoproductos, leches, café, té, concentrado de frutas, sueros, papillas, mezclas para helado, extractos de carne, proteínas comestibles, mantequilla y queso (Calla 2012).

Microencapsulación

La microencapsulación es una alternativa tecnológica para estabilizar y proteger un principio activo atrapándolo con un material que lo aísla de condiciones ambientales como luz, aire y humedad (Saikia y colaboradores, 2015). A través de este proceso se producen partículas a escala micrométrica que en su interior contienen fármacos, compuestos bioactivos, aditivos alimentarios, nutrimentos, entre otros (Jafari y colaboradores, 2016). Guevara, (2008); estos compuestos se preservan dentro de matrices que prolongan su periodo de vida y funcionalidad permitiendo posteriormente la liberación controlada del componente encapsulado.

El método de encapsulación se elige de acuerdo a la aplicación requerida, el tamaño de cápsula deseado, el elemento a encapsular, el costo y las propiedades físicas y químicas del recubrimiento. Jafari y colaboradores (2016), señalan que existe una variedad de agentes de recubrimiento que se seleccionan dependiendo del tipo y naturaleza de los materiales de núcleo, el destino de los

ingredientes microencapsulados, así como el tipo de técnica de microencapsulación. Completada la etapa anterior, el agente encapsulante en solución es mezclado con el material a encapsular; posteriormente esta mezcla es deshidratada mediante técnicas de atomización o liofilización (Chranioti y Tzia, 2014). Como consecuencia se obtiene un polvo que puede ser fácilmente usado como fármaco, nutracéutico e insumo para la industria alimentaria (Nalawade y Gajjar, 2016).

Efecto tecnológico

Dentro de las consideraciones tecnológicas que intervienen en el proceso de microencapsulación se incluyen el tipo de encapsulante, la combinación de encapsulantes, la concentración de sólidos, temperatura, entre otros; en tanto, este impacto es evaluado a través de indicadores como la Eficiencia de Encapsulación (E.E.) en función a un metabolito o sustancia de interés (López, 2010). De acuerdo a la técnica de microencapsulación empleada se pueden obtener partículas de tamaño y forma heterogéneas que conducen a la conservación deficiente de los compuestos de interés (Roy y colaboradores, 2018). Tanto el tamaño, forma y estructura superficial de las micropartículas dependen de los encapsulantes y métodos utilizados para su preparación (Tonon y colaboradores, 2009).

La estructura de las micropartículas determina las propiedades tecnofuncionales de los polvos (Cano y colaboradores, 2005); en tal sentido, es prioritario comprender el proceso de formación de la superficie de las microcápsulas en términos de composición para mejorar condiciones durante el proceso de secado por atomización (Porrás y colaboradores, 2015), puesto que de ello dependerá su solubilidad, liberación, estandarización, entre otras.

Agentes encapsulantes

Existen actualmente una gran variedad de materiales que se emplean como agente acarreador o encapsulante, entre los cuales figuran proteínas y carbohidratos como almidón, maltodextrina, pectina, gomas, entre otros polímeros (Saikia y colaboradores, 2015). El encapsulante ideal

debería ser capaz de formar películas, emulsificar, biodegradarse, resistir las condiciones del tracto intestinal, ofrecer baja viscosidad y alto contenido de sólidos, presentar poca higroscopicidad y un costo bajo (Rocha y colaboradores, 2016). Luna-Guevara y colaboradores (2016) señalan que es importante seleccionar correctamente el material encapsulante, dado que de ello depende la eficiencia de encapsulación y la estabilidad de la microcápsula; asimismo, el encapsulante debe ser compatible con la naturaleza del compuesto activo (peso molecular, funcionalidad química, polaridad y volatilidad relativa). Lo anterior, sumado a los parámetros del proceso de encapsulación, determinan las propiedades funcionales de la microcápsula y la forma en que puede ser utilizada.

Los materiales de encapsulación más eficaces para aplicaciones alimentarias son los polisacáridos (Nedovic y colaboradores, 2011), dentro de los cuales destacan goma arábiga (GA) y maltodextrina (MD) con diferentes equivalentes de dextrosa (Jafari y colaboradores, 2016). Ambos son ampliamente empleados en microencapsulación mediante secado por atomización por sus propiedades tecnológicas (Jafari y colaboradores, 2016), además son reconocidos como ingredientes GRAS (Generally Recognized As Safe). Tanto la goma arábiga como las maltodextrinas son incoloras, ofrecen alta solubilidad en agua, baja viscosidad en solución, tienen un costo relativamente bajo, y aseguran una protección adecuada de compuestos sensibles a oxidación (Jafari y colaboradores, 2016).

Los materiales de protección se definen como materiales que se aplican sobre una superficie y aparece ya sea como una película continua o discontinua, después del secado. Las propiedades de las películas de recubrimiento están determinadas según el tipo de aglomerantes, pigmentos y aditivos que se emplean en la formulación. Algunos factores que se espera que mejoren los materiales de protección corresponden a durabilidad, reproducibilidad, fácil aplicación y que tenga una relación costo efectividad aceptable y que sea amigable con el medio ambiente (ver Tabla 3) (Desai y colaboradores, 2005).

Tabla 3. Materiales de protección en la industria alimentaria.

Categoría	Materiales de protección	Métodos
Carbohidratos	Almidón, maltodextrinas, quitosano, sólidos de jarabe de maíz, dextrano, almidón modificado, ciclodextrinas.	Secado por atomización, aspersión por enfriamiento, extrusión, coacervación, inclusión molecular.
Celulosa	Carboximetilcelulosa, metilcelulosa, etilcelulosa, celulosa acetato-ftalato.	Coacervación, secado por aspersión y películas comestibles.
Goma	Goma arábiga, agar, alginato de sodio, carragenina.	Secado por aspersión, método de la jeringa.
Lípidos	Cera, parafina, cera de abejas, diacilgliceroles, aceites, grasas.	Emulsión, liposomas, formación de película.
Proteína	Gluten, caseína, gelatina, albúmina, péptidos.	Emulsión, secado por aspersión.

Fuente: (Desai y colaboradores, 2005).

Maltodextrina

Las maltodextrinas son derivados de almidón frecuentemente utilizadas, solas o en combinación con otros materiales, para el procesamiento de extractos, aditivos aromáticos, carotenoides y vitaminas (Sansone, Mencherini y colaboradores, 2011). Tienen numerosas propiedades de interés como la formación de películas y reducción de la permeabilidad al oxígeno. Las maltodextrinas se forman por hidrolización parcial de la harina de maíz con ácidos o enzimas y se clasifican de acuerdo con el valor DE. Este parámetro mide el grado de hidrólisis del almidón.

Las maltodextrinas tienen la habilidad de formar matrices encapsulantes (Shahidi y Han, 1993; García, 2014) y además presentan una buena relación entre coste y efectividad. Se caracterizan por tener baja viscosidad cuando se encuentran en emulsiones con alto porcentaje de sólidos. Como inconvenientes se ha discutido sobre la falta de capacidad emulsificante y la baja retención de volátiles. Las maltodextrinas con DE inferiores a 20, poseen baja higroscopicidad, los materiales encapsulados con este producto resultan en polvos con flujo libre, el aumento de los sólidos en la alimentación del atomizador puede aumentar la eficiencia económica de la

operación. Las soluciones con maltodextrina presentan baja viscosidad, excelente solubilidad en agua fría y facilitan la liberación del material activo, aliado a estas propiedades se suma el bajo costo relativo (Saikia y colaboradores, 2015).

Cambios de color en el procesamiento de alimentos

Cuando un fruto o vegetal es procesado se modifican diversos factores físicos y químicos, entre ellos el color. Este último es uno de los atributos más importantes para la determinación de la vida útil de un producto y es una cualidad muy apreciada por el consumidor. Existen básicamente tres tipos de reacciones no enzimáticas asociadas con los cambios de color en alimentos deshidratados (1) las reacciones de azúcares reductores y aminoácidos (reacción de Maillard), (2) reacciones de oxidación, como la conversión de fenoles en quinonas, y (3) la degradación de los pigmentos (Cortés y Chiralt, 2008). Los pigmentos sufren deterioro por factores físicos y químicos durante los diferentes procesos de secado. La exposición a la luz, a las temperaturas elevadas, así como la presencia de oxígeno y pH extremos, contribuye al deterioro de los pigmentos (Schwarzbatch y Masters, 2001).

Color

El color es un importante atributo de la calidad de los alimentos deshidratados, y un indicador del proceso mismo, además de ser uno de los atributos organolépticos de mayor impacto sobre la decisión de los consumidores de adquirir un producto (Ávila y Silva, 1999). En la mayoría de los productos alimenticios deshidratados se presentan reacciones de pardeamiento no enzimático, las cuales muestran un promedio máximo a humedades intermedias, debido al doble papel que juega el agua al actuar como solvente y como producto de la reacción y por lo tanto como inhibidor. Si bien el punto máximo de pardeamiento depende del producto, los jugos de frutos concentrados y los productos de humedad intermedia son los más susceptibles al pardeamiento no enzimático. Para diferentes alimentos, entre ellos las frutas deshidratadas, la velocidad de pardeamiento a una determinada temperatura aumenta cuando se incrementa el

contenido de agua por encima de un máximo, el cual depende de cada producto. El pardeamiento enzimático tiene baja posibilidad de ocurrir durante tratamientos térmicos ya que las enzimas responsables se desnaturalizan a altas temperaturas. Los tratamientos térmicos generalmente llevan a cambios en el color de la superficie del producto. La reacción de Maillard depende de la temperatura y del tiempo que dura el tratamiento térmico (Murat y Onur, 2000). El color de un producto se puede especificar con tres coordenadas obtenidas con el colorímetro. El sistema que utiliza la escala CELAB, que define L^* , a^* y b^* , es el que se emplea con mayor frecuencia para medir color en alimentos. L^* mide la luminosidad, b^* indica el cambio de color de azul a amarillo y a^* indica el cambio de verde a rojo (Ávila y Silva, 1999).

Diferencias de color

Aún si dos colores parecen los mismos a una persona, se pueden encontrar diferencias ínfimas cuando son evaluados con un instrumento de medición de color. Si el color de una muestra no cumple con el estándar, la satisfacción del consumidor se ve comprometida y la cantidad de trabajo y costos aumenta. Es por ello, que identificar diferencias de color entre una muestra y el estándar antes de la producción masiva es muy importante (Cahuaya, 2017).

La diferencia de color es definida como la comparación numérica de una muestra con el estándar. Indica las diferencias en coordenadas absolutas de color y se la conoce como Delta (Δ). Deltas por L^* (ΔL^*), a^* (Δa^*) y b^* (Δb^*) pueden ser positivas (+) o negativas (-). La diferencia total, Delta E (ΔE^*), sin embargo, siempre es positiva (Figura 8).

Éstas son expresadas como:

ΔL^* = Diferencia en luz y oscuridad (+ = más luminoso, - = más oscuro)

Δa^* = Diferencia en rojo y verde (+ = más rojo, - = más verde)

Δb^* = Diferencia en amarillo y azul (+ = más amarillo, - = más azul)

ΔE^* = Diferencia total de color.

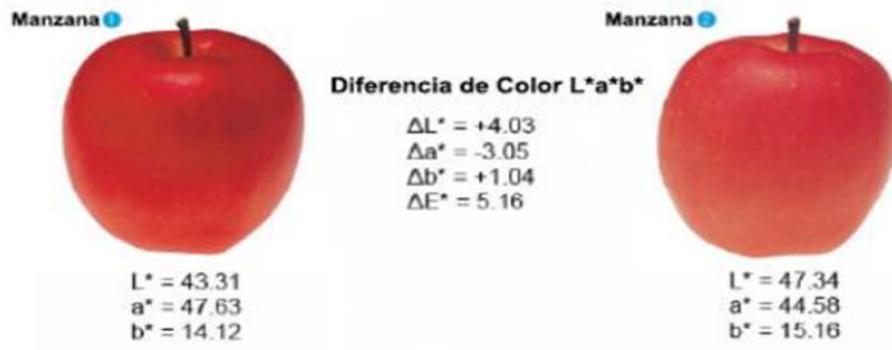


Figura 8. Diferencia de color.

Para determinar la diferencia total de color entre las tres coordenadas, se debe usar la siguiente ecuación 1:

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2} \quad \text{Ecuación (1)}$$

Los instrumentos de medición de color pueden detectar diferencias no visibles por el ojo humano e instantáneamente mostrar esas diferencias en forma numérica o en un gráfico de reflectancia espectral. El ΔE permite medir los cambios de matiz y densidad. El observador medio se lo percibe diferencias superiores a 5 o 6 AE. Sólo un ojo bien preparado percibe diferencias de 3 a 4 AE. El ojo humano es mucho más sensible a los cambios en los niveles de gris y tonos medios. En esos casos, puede llegar a percibir hasta una diferencia de 0.5 A b. Luego de identificar las diferencias de color usando los valores L^* , a^* , y b^* , se debería decidir si la muestra es aceptable o no (MacDougall, 2002).

Estabilidad de productos en polvo

La vida útil se define como el tiempo máximo en el que un producto alimenticio se puede almacenar bajo condiciones ambientales específicas sin ningún deterioro apreciable en la calidad

y aceptabilidad. Los factores ambientales que afectan la estabilidad de los alimentos incluyen la humedad, el oxígeno, vapores tóxicos, contaminación física, la luz y el historial de tiempo temperatura del producto. Las pruebas de vida útil es una práctica estándar que se utiliza para estimar la calidad y la estabilidad de un determinado alimento durante su almacenamiento. Dependiendo de la naturaleza del producto, diferentes propiedades o índices de calidad se deben evaluar experimentalmente en función del tiempo, con el fin de evaluar la degradación de la calidad del producto (Achour, 2006).

Las propiedades higroscópicas de los productos en polvo son de gran importancia para el desarrollo del proceso de secado y para determinar las condiciones de almacenamiento de este; estas condiciones pueden determinarse mediante la evaluación de sus propiedades termodinámicas como isotermas de desorción - adsorción y el calor isostérico de sorción. Las isotermas de sorción de agua se pueden explicar cómo una relación de equilibrio entre la capacidad de retención de agua de los alimentos sólidos y la actividad de agua (a_w) o la humedad relativa del entorno de almacenamiento a temperatura constante, las cuales juegan un papel clave en los estudios de conservación de alimentos deshidratados (Labuza, 1968; Cahuaya, 2017).

El agua tiene un papel muy importante en la estabilidad de los alimentos debido a su contribución a las reacciones químicas, físicas y microbiológicas. El agua disponible en un cierto tipo de alimento, capaz de causar que estas reacciones se produzcan, se puede eliminar fácilmente por procedimientos de secado y está estrechamente relacionado con la a_w (Barbosa y colaboradores, 2007).

Propiedades de rehidratación de los microencapsulados secados por atomización

La transformación de componentes líquidos a forma cristalina (polvo, gránulos). El secado por atomización produce una reducción de la higroscopicidad de productos granulados, evitando la absorción de humedad y reduciendo de este modo el crecimiento de patógenos que puedan

disminuir la vida útil del producto. Así mismo para establecer su viabilidad de uso se debe caracterizar sus propiedades de rehidratación evaluándose la:

- *Higroscopicidad*: Es la capacidad de los materiales para absorber la humedad atmosférica. Para cada sustancia existe una humedad que se llama de equilibrio, es decir, un contenido de humedad tal de la atmósfera a la cual el material ni capta ni libera humedad al ambiente. Si la humedad ambiente es menor que este valor de equilibrio, el material se secará, si la humedad ambiente es mayor, se humedecerá (Bell y Labuza, 2000).
- *Solubilidad*: Ceballos (2008), señala que es una medida de la capacidad de disolverse de una determinada sustancia (solute) en un determinado medio (solvente). Los factores que afectan la solubilidad de los sólidos en líquidos son las fuerzas intermoleculares entre el soluto, solvente y la temperatura. El efecto de la temperatura se puede predecir basándose en el principio de Le Chatelier. Si bajo condiciones de equilibrio el calor total de disolución es exotérmico, la solubilidad disminuye con el aumento de temperatura y en forma inversa, si es endotérmico, la solubilidad aumenta con el aumento de la temperatura.
- *Densidad aparente*: Cai y Corke (2000), mencionan que es la masa por unidad de volumen de un material y está relacionado con el peso específico. La densidad aparente se define como el peso seco de una unidad de volumen de suelo. Los factores que la afectan son principalmente tres: la textura, la estructura y la presencia de materia orgánica.
- *Humedad*: Es la cantidad de agua presente en el alimento. Los productos secados por atomización presentan un contenido de humedad de 4 a 9 % haciendo de ellos productos poco perecibles.
- *Rendimiento*: es la proporción que surge entre los medios empleados para obtener algo y el resultado obtenido (Bakowska y colaboradores, 2011).

Compuestos fenólicos

Los compuestos fenólicos son sustancias con uno o más anillos aromáticos y, al menos, un sustituyente hidroxilo (Badui, 2013). Los fenoles son sintetizados de *novo* por las plantas y son regulados genéticamente, tanto a nivel cualitativo como cuantitativo, aunque a este nivel también existen factores ambientales. Se han identificado más 8000 (Ignat y colaboradores, 2011; Pandey y Rizvi, 2009). Además, actúan como fitoalexinas (las plantas heridas secretan fenoles para defenderse de posibles ataques fúngicos o bacterianos) (García & Urría, 2009) y contribuyen a la pigmentación de muchas partes de la planta (p. ej. las antocianinas son los responsables del color rojo, naranja, azul, púrpura o violeta que encontramos en las pieles de las frutas y hortalizas). Los fenoles se encuentran casi en todos los alimentos de origen vegetal. Son alimentos ricos en fenoles la cebolla, el té, el vino tinto, el cacao, el aceite de oliva virgen, etc (ver Tabla 4). Estas sustancias influyen en la calidad, aceptabilidad y estabilidad de los alimentos, ya que actúan como colorantes, antioxidantes y proporcionan sabor (Gimeno-Creus, 2004).

Tabla 4. Propiedades organolépticas atribuidas a los compuestos fenólicos

Características	Descripción
Color	Como las antocianinas, responsables de los tonos rojos, azules y violáceos de muchas frutas, hortalizas y derivados: fresas, ciruelas, uvas, berenjena, col lombarda, rábano, vino tinto, etc.
Sabor amargo	Como las flavanonas de los cítricos (naringina del pomelo, neohesperidina de la naranja) o la oleuropeína en las aceitunas
Astringencia	Como las proantocianidinas (taninos condensados) y los taninos hidrolizables, por ejemplo, en el vino
Aroma	Fenoles simples como el eugenol en los plátanos

Fuente: Gimeno-Creus (2004)

Además de las estructuras monoméricas y diméricas, existen importantes grupos de polímeros fenólicos, como las ligninas y los taninos. También se encuentran unidades fenólicas entre los

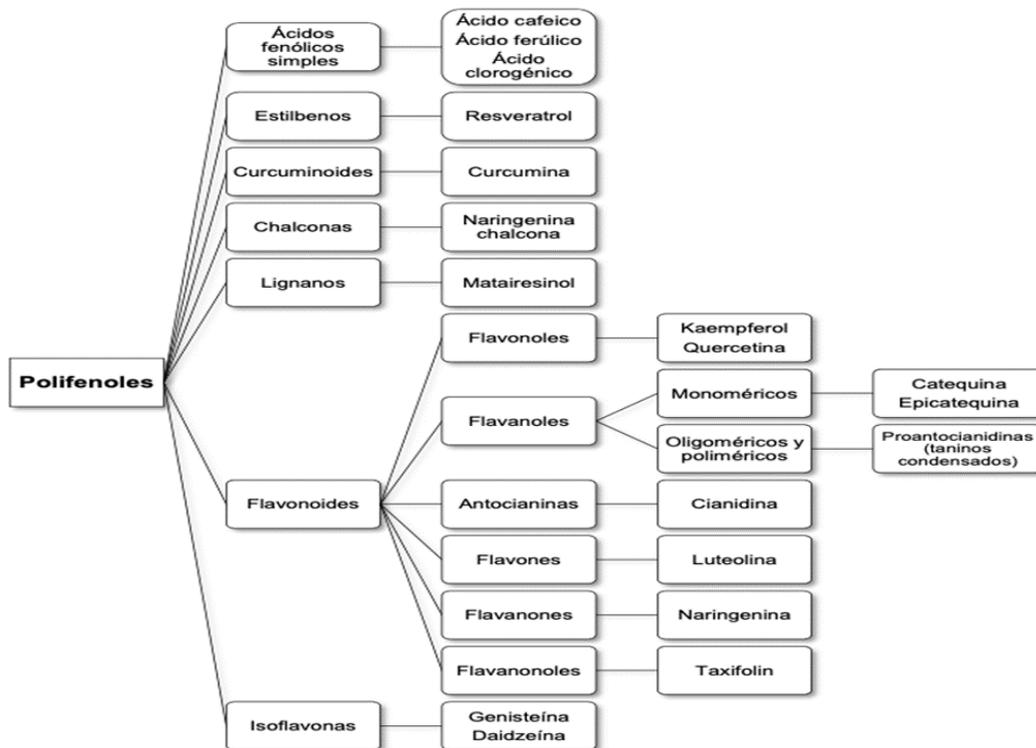
compuestos nitrogenados, de los que un buen ejemplo es el aminoácido aromático tirosina. Los fenoles tienen importancia, desde diversos puntos tanto económicos como de salud y producción de alimentos, porque contribuyen al sabor, el aroma y el color de alimentos y bebidas. Como por ejemplo el aroma y el sabor del té están relacionados con el contenido de polifenoles de la hoja. Asimismo, el amargor de la cerveza se debe a que contiene un derivado del floroglucinol, la humulona; mientras que el color rojo del vino es debido a la presencia de antocianinas. También cabe destacar las interacciones moleculares entre fenoles vegetales, como los taninos, y las uniones peptídicas de las proteínas en la llamada reacción de “curtido” (Gimeno-Creus, 2004).

Sin embargo, actualmente hay un interés creciente debido a su capacidad antioxidante, tanto como captadores de radicales libres como quelantes de metales. Estas propiedades antioxidantes son el motivo de sus posibles implicaciones en la salud humana, como son la prevención del cáncer, de las enfermedades cardiovasculares o incluso de enfermedades neurodegenerativas como el Alzheimer, antialérgicos, antiinflamatorios, antimicrobianos (Shahidi y Ambigaipalan, 2015) y la capacidad para modular la actividad de diferentes enzimas, y para interferir consecuentemente en mecanismos de señalización y en distintos procesos celulares, puede deberse, al menos en parte, a las características fisicoquímicas de estos compuestos, que les permiten participar en distintas reacciones metabólicas celulares de óxido-reducción (Gimeno-Creus, 2004; Quiñones y colaboradores, 2012; Gómez-Maqueo y colaboradores, 2018).

Clasificación de polifenoles

Se han propuesto varias clasificaciones de los polifenoles, ya que constituyen numerosas estructuras heterogéneas, Harborne en 1989 propuso una clasificación según su cadena de carbono clasificando estos compuestos en 16 clases principales: fenoles simples (C6), benzoquinonas (C6), ácidos fenólicos (C6-C1), acetofenonas (C6-C2), ácidos fenilacéticos (C6-C2), ácidos hidroxicinámicos (C6-C3), fenilpropenos (C6-C3), cumarinas (C6-C3), cromonas (C6-C3), naftoquinonas (C6-C4), xantonas (C6-C1-C6), estilbenos (C6-C2-C6), antraquinonas

(C6-C2-C6), flavonoides (C6-C3-C6), lignanos y neolignanos (C6-C3) 2, y ligninas (C6-C3). Esta clasificación es útil desde el punto de vista químico. Tapiero en el 2002 los clasifica según su abundancia como fuentes dietéticas definiendo dos grupos: el más abundante (flavonoides) y el menos abundante (ácidos fenólicos) (Figura 9). El primer grupo representa dos tercios de la ingesta dietética total, mientras que el segundo grupo representa aproximadamente un tercio (Vicente, 2019; Gómez-Maqueo y colaboradores, 2020).



Modificado de Vicente, 2019; Gómez-Maqueo y colaboradores 2020

Figura 9. Clasificación de los compuestos fenólicos.

HIPÓTESIS

Los microencapsulados con maltodextrina obtenidos mediante secado por aspersión conservan los compuestos bioactivos y la capacidad antioxidante de los extractos de chile chocolate diferenciándose con base a su estado de maduración.

METODOLOGÍA

DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.

La presente investigación es experimental y se rige bajo el paradigma de investigación cuantitativa, esto debido a que se recolectaron datos numéricos para comprobar la hipótesis, mediante el uso de estrategias estadísticas basadas en la medición. Es descriptiva ya que comprende el registro y la interpretación de la naturaleza actual y la composición o proceso de los fenómenos. El enfoque se hace sobre realidades de hecho, y su característica fundamental es de presentar una interpretación correcta. En este trabajo se describe el proceso del secado por aspersión, la evaluación de la colorimetría y la actividad de agua (a_w) de polvos obtenidos de las emulsiones de chile en diferentes estados de madurez y el rendimiento estimado de los polvos obtenidos durante el proceso de secado.

MUESTRA

Para el desarrollo de la investigación fueron recolectados 5 kilogramos del chile chocolate en el municipio de Villa de Acapetahua, Chiapas, ubicado en las coordenadas 15°16'19"N 92°41'26"W (Figura 10)., los cuales se transportaron al Laboratorio de Análisis de Alimentos II localizado en Ciudad Universitaria de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, Tuxtla Gutiérrez, en el Estado de Chiapas, los chiles se agruparon en cuatro estados de madurez para la elaboración de los extractos, el secado por aspersión de los extractos se llevó a cabo en el Laboratorio de Investigación y Desarrollo de Productos Funcionales de la misma sede. Para evaluar la composición químico proximal se utilizaron 50 g de chile deshidratado. Para colorimetría se utilizaron 15 g de muestra microencapsulada del chile chocolate y 3 g de muestra seca para actividad de agua (a_w).



Figura 10. Zona de estudio Villa de Acapetahua, Chiapas

VARIABLES DEPENDIENTES

Para llevar a cabo la investigación se identificaron y evaluaron las siguientes variables: morfología (longitud, diámetro y peso), composición químico proximal (humedad, cenizas, lípidos, proteínas y fibra cruda), color, actividad de agua, rendimiento del polvo y tamaño y forma de la partícula, cantidad de antioxidantes y polifenoles presentes.

VARIABLES INDEPENDIENTES

En este aspecto fueron consideradas: concentración de material encapsulante (maltodextrina) y estado de maduración.

INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

Los equipos que fueron empleados para la realización del análisis químico proximal, secado por Spray, colorimetría, actividad de agua y Microscopia Electrónica de Barrido (SEM) en los chiles chocolate (Humedad, cenizas, lípidos, fibra cruda, proteína) fueron: Estufa YAMATO DX402,

balanza analítica PIONNER OHAUS ítem PA124, Extractor de Fibra Cruda modelo A50290, Placa de Calentamiento NOVATECH PC-500D, Mufla NOVATECH modelo KJR, Sistema de extracción Soxleth, unidad de digestión Microkjeldahl, destilador, parrilla eléctrica. Para el secado por Spray se empleó un Mini Spray Dryer marca LABFREEZ INSTRUMENTS modelo SD-18A, para la colorimetría un colorímetro marca MINOLTA modelo CR-300, determinación de actividad de agua un Higrometro de punto de rocío (AquaLab), para los °Brix un refractómetro digital POCKET REFRACTOMETER modelo PAL-1. Para el análisis morfológico se utilizó un microscopio electrónico de barrido marca JEOL (modelo IT300; Boston, MA, USA) y un microscopio óptico marca OLYMPUS BX41, equipado con una cámara fotográfica Infinity ®1.

DESCRIPCIÓN DE LAS TÉCNICAS UTILIZADAS EN EL ANÁLISIS DEL CHILE CHOCOLATE.

Caracterización morfológica

Para la evaluación fenotípica de los chiles se usaron 15 chiles al azar, midiéndoseles longitud, diámetro y peso.

Técnicas:

Longitud: Se midió utilizando un vernier, midiendo el fruto desde la punta hasta la base del pedúnculo.

Diámetro: Se obtuvo midiendo en la parte central del fruto utilizando un vernier, mismo instrumento anteriormente mencionado.

Peso: Se determinó utilizando una balanza analítica.

Composición fisicoquímica del chile chocolate.

Los chiles recolectados, clasificados y previamente limpiados, con estados de madurez variada, evidenciada por una diferencia en coloración desde el verde hasta el rojo intenso, se agruparon en 4 estados de madurez: verde, amarillo-naranja, naranja y rojo, posterior a esto se secaron para empaquetarse para análisis posteriores.

Determinación de humedad A.O.A.C. 934.01 (2002)

Para la determinación del contenido de humedad del chile chocolate, se utilizó el siguiente procedimiento:

- a) Se colocaron 3 charolas de aluminio en la estufa de secado a una temperatura de 60 °C, hasta peso constante (PC).
- b) Se distribuyeron 5 g de muestra en el interior de la charola de aluminio (PI) a peso constante y se extendió la muestra.
- c) Se introdujo la charola con la muestra en la estufa de secado para evaporar el agua a 60 – 65 °C durante 24 horas (hasta peso constante).
- d) Se retiró la charola de la estufa, posteriormente se introdujo en el desecador, y se esperó a que se enfriaran las muestras, para pesar las charolas con la muestra seca (PF).
- e) Se realizaron los cálculos de acuerdo con la ecuación 2.

$$\%H = \left[\frac{P_I - P_F}{P_I - P_C} \right] \times 100 \quad \text{Ecuación (2)}$$

Donde:

%H= Porcentaje de humedad

P_I= Peso de charola con muestra fresca (g)

P_F: Peso de charola con muestra seca (g)

P_C: Peso de charola sin muestra (g)

Determinación de cenizas totales A.O.A.C. 942.05 (2002)

Para el contenido de cenizas totales del chile chocolate se realizó el siguiente procedimiento.

- a) Se colocaron tres crisoles en la estufa de secado, previamente etiquetados a una temperatura de 60 °C durante 24 horas hasta obtener peso constante.
- b) Posteriormente se transportó a un desecador, para pesar (A) y se adiciono 1 g (M) de muestra molida en cada crisol.
- c) Se carbonizo sobre una parrilla de calentamiento hasta que dejó de liberarse humo, cuidando que no se incendie.
- d) Se introdujeron en la mufla para incinerarlo a temperatura de 550 a 600 °C, hasta que las cenizas tengan un color blanco a gris-blanco (aproximadamente 3 horas)
- e) Se retiraron los crisoles y se dejaron enfriar en el desecador durante 30 minutos, para ser pesados los crisoles (B).
- f) Se realizo los cálculos correspondientes con la ecuación 3.

$$\%C = \left[\frac{B-A}{M} \right] \times 100 \quad \text{Ecuación (3).}$$

Dónde:

%C= Porcentaje de cenizas

A= Peso de crisol vacío (g)

B= Peso del crisol con cenizas (g)

M= Peso de la muestra (g)

Determinación de Lípidos A.O.A.C. 954.02 (2002)

En el contenido de lípidos del chile chocolate se utilizó el siguiente procedimiento:

- a) Se introdujo el matraz bolo de fondo plano (A) junto con las perlas de ebullición y los 3 cartuchos a una estufa de secado para obtener peso constante, una vez obtenido se transportaron en un desecador y se pesaron.
- b) Se tomo 3 g de muestra seca y se pusieron dentro del cartucho previamente pesado (M).
- c) Se peso el matraz bolo de fondo plano.
- d) Se pusieron los cartuchos en la trampa del extractor y se añadieron 3 sifonadas de hexano al extractor.
- e) Se realizo la extracción por 10 (hasta 16) horas (cuidando de que siempre haya paso de agua y hexano suficiente), dependiendo del contenido de grasa de la muestra.
- f) Una vez extraído la grasa se colocaron los cartuchos con la muestra sin grasa a peso constante cuando se haya evaporado el solvente (B).
- g) Se realizo los cálculos correspondientes con la ecuación 4.

$$\%EE = \left[\frac{(B-A)}{M} \right] \times 100 \quad \text{Ecuación (4)}$$

Dónde:

%EE= Porcentaje de extracto etéreo

A=Matraz a peso constante (g)

B= Matraz con extracto etéreo (g)

M= Peso de la muestra (g)

Determinación de proteína cruda A.O.A.C. 954.01 (2002)

Para determinar el contenido de proteína del chile chocolate, utilizando el siguiente procedimiento:

- a) Se pesaron entre 0.2 a 0.1 g de muestra libre de grasa y seca, se adicionaron a un matraz Micro-Kjeldahl de 30 mL

- b) Se agregaron 2 g de catalizador Micro-Kjeldahl (1.9 g de K₂SO₄ + 40 mg de HgO) y 2 mL de ácido sulfúrico a cada matraz, junto con las perlas de vidrio.
- c) Se colocaron en el digestor de 1 a 1.5 horas (cuando la muestra se volviera transparente, se calentó 1 hora más).
- d) Lo obtenido se transfirió al aparato de destilación y se lavó el matraz de 5 a 6 veces con porciones de agua.
- e) Posteriormente, se colocó un matraz de 125 mL con 5 mL de ácido bórico y 3 gotas de indicador, bajo el extremo del condensador cuidando que la manguera quede sumergida en la solución de ácido bórico; se le agrego 10 mL de la solución Sosa-Tiosulfato, y destilar.
- f) Se colecto 50 mL de destilado y titular con HCl 0.02 N ó 0.05 N hasta la aparición de un color rosa. Se realizo lo mismo con sin muestra (blanco).
- g) Se realizo los cálculos correspondientes con la ecuación 5 y 6.

$$\% N = \frac{14 \cdot N \cdot V}{M} \times 100 \quad \text{Ecuación (5)}$$

$$\% PC = \% N \cdot 14.007 \quad \text{Ecuación (6)}$$

Dónde:

%N= Porcentaje de nitrógeno total

%PC= Porcentaje de proteína cruda

V= Volumen de HCL gastado en titular la muestra (mL)

eqN= 14.007

N= Normalidad de HCL (0.01)

M= Peso de la muestra (mg)

Factor: 6.25

Determinación de fibra cruda A.O.A.C. 925.10 (1997)

La fibra cruda se emplea como una medida del contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina, materiales indigeribles en los alimentos. Por este método la fibra se separa del material soluble

en ácidos y álcalis diluidos. Los minerales insolubles se cuantifican por calcinación y la diferencia indicada el contenido de fibra cruda presente.

- a) Se colocan tres papeles filtro etiquetados a peso constante, y se pesaron usando guantes de látex.
- b) Se transfirieron 0.50 g de muestra sin grasa a cada vaso Berselius de 600 mL, se le adicionando 30 mL del reactivo S-K.
- c) Los vasos se colocaron en el condensador de fibra cruda para que hiervan por 30 minutos (girándose periódicamente para evitar que los sólidos se adhirieran a las paredes).
- d) Se filtraron en caliente a través de un embudo Büchner usando el papel filtro a peso constante, enjuagando el vaso con 50-70 mL de agua hirviendo, después se lavó con acetona hasta que se obtuvo la decoloración.
- e) Finalmente, el papel filtro con los residuos se llevaron a la estufa de secado para peso constante, posteriormente se pesaron.
- f) Se realizo los cálculos correspondientes con la ecuación 7.

$$\%F = \frac{(P_1 - P_0)}{P_m} \times 100 \quad \text{Ecuación (7)}$$

Dónde:

P₁: Papel filtro a peso constante (g)

P₀: Papel filtro con residuo (g)

P_m: Peso de la muestra (g)

SECADO POR SPRAY-DRYER DE EXTRACTOS DE CHILE CHOCOLATE

Preparación de las muestras

Se emplearon 1.5 Kg de chile chocolate, estos fueron lavados y desinfectados, posteriormente se agruparon en 4 estados de madurez, una vez hecho esto, se llevó a cabo la preparación de los

extractos de chile de cada grupo utilizando una proporción de 1:2 de chile y agua destilada, llevándose a cocción durante 30 minutos, para luego ser triturado en un licuadora (HAMILTON BEACH, MODELO: HBB-908) durante 5 minutos, la mezcla resultante se filtró en una malla gruesa y posteriormente en una tamiz de 80 μm .

Secado por aspersión

El proceso de secado se llevará a cabo bajo la metodología de Olguín y colaboradores (2017). Para el secado por aspersión se utilizó un mini Spray-Dryer (Marca LABFREEZ INSTRUMENTS, Modelo SD - 18A). El secado se trabajó con las siguientes condiciones: se empleó una temperatura estándar de entrada de 150 °C, el aspirador a 100 %, el flujo de entrada de 7 mL/min y una limpieza de nariz de aspersión de 5 frecuencias. Para el secado por aspersión se colocaron 50 mL de agua destilada con 30 gramos de maltodextrina en un vaso de precipitado sobre una parrilla de agitación (solución 10,000 rpm), durante la agitación se agregaron 50 mL de extracto de chile, luego se hizo pasar la mezcla a través del equipo Mini Spray Dryer, los datos importantes a tomar en cuenta durante el secado fueron la temperatura de entrada (T_e) y la temperatura de salida (T_s).

CARACTERIZACIÓN DE LOS MICROENCAPSULADOS

Análisis por Microscopia Electrónica de Barrido (SEM) y Microscopia Óptica.

Se realizó un análisis morfológico de SEM de los microencapsulados del chile chocolate. Se utilizó un microscopio electrónico de barrido marca JEOL (modelo 6010 Plus). Las condiciones de operación fueron 10 kV como voltaje de aceleración, la señal de electrones secundarios fue utilizada para conocer la topografía de la muestra. Las muestras se adhirieron con cinta de grafito de doble cara de forma individual en porta muestras de cobre, se cubrieron con una película delgada de oro para hacerlas conductoras al haz de electrones y finalmente se introdujeron a la cámara del microscopio para su observación

Se realizó un análisis para la medida del diámetro de las partículas por el método de microscopía óptica esto permitió el análisis de partículas que se encuentran en un rango de 50 y 150 micrómetros. Una gota de agua se adicionó con el material seco por aspersión para ser observados con un microscopio óptico (Olympus BX41) equipado con una cámara fotográfica (Infinity® 1).

Colorimetría de extractos y polvos obtenidos de chile chocolate.

La determinación del color del extracto y de la muestra seca se realizó sobre el punto central de las muestras, se evaluaron las variables (L^* , a y b^*), para lo cual se utilizaron un colorímetro marca MINOLTA modelo CR-300. El parámetro a^* (cromatismo verde-rojo) tomando valores positivos para colores rojizos y valores negativos para colores verdosos, mientras que el parámetro b^* (cromatismo azul-amarillo) tomar valores positivos para colores amarillentos y valores negativos para colores azulados. L^* es una medición aproximada de luminosidad, la cual es una propiedad mediante la que cada color puede ser considerado como el equivalente a un punto de la escala gris, entre el negro y el blanco, incluyendo valores en el rango de 0-100 adicionalmente, a partir de los valores de a^* y b^* se calcularon los valores de ángulo de matiz o tonalidad (h) y croma (C), de acuerdo a las siguientes ecuaciones (8) y (9), las cuales se obtendrán datos numéricos y se analizaron mediante el análisis descriptivo.

$$H_* = \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \quad \text{Ecuación (8)}$$

$$C_* = \sqrt{((a^*)^2 + (b^*)^2)} \quad \text{Ecuación (9)}$$

Determinación de actividad de agua en muestras de polvos de extracto de chile chocolate.

Se empleo un Higrómetro de punto de rocío a 25 °C (Aqualab serie 3TE, Decagon Devices Pullman WA, USA). Este método se asentó en la condensación de vapor de agua (rocío) en la superficie de un espejo que se enfría a la temperatura de rocío de una atmósfera dentro de la cual se encuentra la muestra en estudio. El punto de rocío se puede detectar fotoeléctricamente. Se colocaron 3 g de muestra seca en pequeños recipientes, para su inmediata lectura en el Higrómetro, el tiempo de lectura fue de 5 minutos y el proceso se realizó por triplicado.

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE POLIFENOLES Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE EN LOS MICROENCAPSULADOS DE EXTRACTO DE CHILE CHOCOLATE EN DIFERENTES ESTADOS DE MADURACIÓN

PREPARACIÓN DE MUESTRAS

Se obtuvieron extractos etanólicos, metanólicos y acuosos a partir de los microencapsulados y de chiles chocolate deshidratados en diferentes estados de maduración en proporción 1:1.

Determinación de polifenoles totales por el método de Folin-Ciocalteu.

De los extractos antes indicados se cuantifico el contenido de compuestos polifenólicos totales mediante el método Folin-Ciocalteu, que consiste en mezclar 200 µL de cada extracto con 200 µL de carbonato de sodio 0.01 M y dejándose reaccionar por 5 min, después se le adiciona 200 µL de reactivo Folin-Ciocalteu (1:1) y nuevamente se deja reposar por 5 min, para luego adicionar 1250 µL de agua destilada, finalmente se deja reaccionar por 30 min y se lee en un espectrofotómetro a 790 nm. Para la expresión del contenido se elaboró una curva de calibración con ácido gálico de 0 a 400 ppm para ser expresados en equivalentes de ácido gálico (EAG).

Capacidad antioxidante por DPPH (2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo)

El radical DPPH se preparó en a una concentración de 100 μ M (3.9 mL) disuelto en metanol absoluto. Posteriormente, se añade 0.1 mL de la muestra y homogenizando y manteniendo por 30 minutos en oscuridad. Finalmente, la absorbancia se midió a una longitud de onda de 517 nm en un espectrofotómetro.

Capacidad antioxidante por ABTS (acido 2,2'-Azino-bis(3-etil-benzotiazolin-6-sulfonico)

La actividad antioxidante por el método ABTS se realizó de la siguiente manera: el radical se preparó a una concentración de 45 mM, mezclándose en partes iguales con persulfato de potasio 17 mM y dejándose reaccionar por 16 h en ausencia de luz temperatura ambiente, transcurrido el paso anterior, se ajustó la absorbancia del radical a 0.7 con PBS 0.15 M de pH 7.2. Seguidamente se mezcló 1 mL de radical ABTS con 10 μ L muestra para dejarlo reaccionar 10 min a temperatura ambiente en ausencia de luz; después de ser incubadas se lee a la absorbancia 734 nm en un espectrofotómetro.

La actividad antioxidante evaluada por los dos métodos se expresó en % de captura de radicales libres mediante la siguiente ecuación 10:

$$\% \text{ de captura de radical} = \frac{\text{Abs de Radical} - \text{Abs de la muestra}}{\text{Abs de Radical}} \times 100 \quad \text{Ecuación (10)}$$

DESCRIPCIÓN DE ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

La investigación se realizó bajo un análisis estadístico comparativo derivado del uso del chile chocolate en cuatro estados de madurez: verde, amarillo-naranja, naranja y rojo. Asimismo, se realizó un análisis en los datos a través de comparaciones en la actividad antioxidante y polifenólica del chile chocolate (*C. annuum* var. *Acuminatum* Fingerth) donde las variables como estados de maduración, tratamientos y tipos de solventes fueron analizados por triplicado en un análisis factorial 4x2x3. Para ello, se aplicó el programa estadístico GraphPad bajo el paradigma de Tukey al ($p > 0.05$) completamente al azar con arreglo factorial para la comparación de medias de los tratamientos.

DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Composición fenotípica y fisicoquímica del chile chocolate.

Con el fin de confirmar que la variedad analizada mantenía sus características fenotípicas, se analizaron algunos de los atributos más representativos de los frutos en los respectivos estados de madures estudiados, como son el tamaño (longitud, diámetro) y el peso. Asimismo, la mayoría de los chiles en estado verde y amarillo-naranja eran alargados y anchos, conforme estos se iban acercando al grupo más rojo reducían su tamaño, grosor y peso esto debido a la pérdida de agua de los frutos que se produce durante las etapas de maduración, en la Tabla 6 se observa como el peso de los primeros grupos va disminuyendo de manera gradual hasta el rojo donde están los chiles más maduros.

En los resultados obtenidos según la prueba de Tukey al $P > 0.05$, el diámetro de los chiles osciló entre 8.59 ± 1.07 mm y 10.50 ± 2.31 mm respectivamente, la longitud de estos mismos entre 59.88 ± 7.87 mm y 71.31 ± 7.93 mm respectivamente, el peso osciló entre 1.50 y 2 g proporcionalmente (ver Tabla 5).

Tabla 5. Diámetro, longitud y peso de chile chocolate (*C. annuum* var. *Acuminatum Fingerth*).

Estados de madurez	Ø (mm)	Longitud (mm)	Peso (g)
Verde	9.08 ± 0.98^{ab}	70.14 ± 7.65^a	2.05 ± 0.45^a
Amarillo-naranja	10.50 ± 2.31^a	59.88 ± 7.87^b	1.61 ± 0.44^b
Naranja	9.20 ± 1.92^{ab}	67.12 ± 7.52^{ab}	1.83 ± 0.34^{ab}
Rojo	8.59 ± 1.07^b	71.31 ± 7.93^a	1.78 ± 0.52^{ab}

Mendoza (2013), presentó las dimensiones y pesos de 50 chiles jalapeños en estado de madurez verde (día 0) y en estado de madurez rojo (día 30). La longitud de los chiles fue de 8.9 cm para los chiles en el día 0 y 8.1 cm para el día 30. El peso de los chiles en estado de madurez verde fue de 40.66 y 32.67 g para los chiles en estado de madurez rojo en el estudio se registró una disminución del 19.66 % del peso, comparado con el chile verde fresco (día 0). Por otro lado, Ornelas y colaboradores (2010) reportaron una longitud de 7.6 y 9.0 cm para chiles verdes y rojos respectivamente, este registro para chiles jalapeños en estado verde y maduro un peso de 31.50 g para chiles verdes y 28.30 g para chiles rojos. Estas disminuciones en las dimensiones y pesos son probablemente al aumento en la pérdida de agua durante el almacenamiento, lo que pudiera estar asociado a descomposición celular, pérdida de la integración de la membrana y eliminación de las ceras epicuticulares (Kissinger y colaboradores, 2005).

Reyes (2011), en el estudio sobre el chile (*C. annuum L.*) encontró diferencias altamente significativas entre los tratamientos evaluados, arrojando un peso promedio de 14 g y un coeficiente de variación de 11.9 %, para los tratamientos evaluados los pesos mayores fueron 18 y 12 g estos resultados no superan los obtenidos por Acosta (2003) quien reportó un peso promedio de 24.5 g en chiles jalapeños, las diferencias se deben a la evaluada.

La mayoría de los estudios sobre el desarrollo de capsaicinoides en frutos de *Capsicum* han mostrado un aumento en la concentración de capsaicinoides en las primeras etapas del desarrollo del fruto y esto se mantiene durante la maduración, hasta que alcance su valor máximo (entre 40 y 60 días). Después de ese tiempo, hay una reversión en la tendencia de estos resultados que está asociado con la presencia de peroxidasas que son capaces de degradar la capsaicina y dihidrocapsaicina (Barbero y colaboradores, 2016).

El análisis fisicoquímico de *C. annuum var. Acuminatum Fingerth* se realizó de cuatro estados de madurez, la determinación demostró que en el estado verde hay mayor humedad 82.86 ± 0.70 %, mientras el estado rojo presento mayor porcentaje de cenizas 9.142 ± 0.29 %, el porcentaje

mayor de grasa lo presento el estado naranja $17.296 \pm 1.10 \%$, para el caso de proteína el grupo verde presento mayor porcentaje $11.03 \pm 1.209 \%$. (ver Tabla 6).

Tabla 6. Análisis químico proximal de la madurez del chile chile (*C. annuum* var. *Acuminatum Fingerth*).

Tratamientos	Verde	Amarillo-naranja	Naranja	Rojo
%Humedad	82.86 ± 0.70^a	77.95 ± 0.67^b	77.51 ± 0.79^b	74.89 ± 0.48^c
%Cenizas	8.18 ± 0.47^a	8.47 ± 0.34^a	8.65 ± 0.75^a	9.142 ± 0.29^a
%Grasa	11.3611 ± 0.13^b	16.7642 ± 0.04^a	17.296 ± 1.10^a	15.33 ± 2.79^{ab}
%Proteína	11.03 ± 1.209^a	10.49 ± 0.409^a	9.88 ± 0.336^a	10.42 ± 0.59^a
%Fibra	14.60 ± 3.03^a	13.93 ± 1.94^a	14.90 ± 2.53^a	19.07 ± 6.71^a

En la tabla anterior se puede observar todos los valores obtenidos del análisis químico proximal realizado a los cuatro estados de madurez del chile chocolate, en este se observa que el estado verde presenta el mayor porcentaje de humedad 82.86 ± 0.70 debido a que entre más cerca del grupo maduro se encuentre más porcentaje de agua se pierde, ya que en las membranas hay menor permeabilidad en chiles de color verde que rojos; por lo que la actividad de reacciones físicas, químicas, enzimáticas y microbiológicas son menores en estado verde que en estado maduro (rojo). Para el caso de las cenizas el grupo rojo es notablemente mayor 9.142 ± 0.29 , ya que muchos minerales sirven como elementos estructurales y cofactores en la síntesis de otros compuestos que se encuentran en mayores cantidades en estado de maduración.

Los porcentajes de grasas mayormente se presentaron en los estados de maduración Amarillo-naranja y Naranja 16.7642 ± 0.04 y 17.296 ± 1.10 , esto se debe a las ceras presentes en la cutícula de los chiles proporcionándole aromas y sabores característicos; ya que estos grupos de ácidos grasos se encuentran actuando en forma de barrera lo que no permite que ciertos compuestos que se forman durante la maduración se volaticen de manera rápida durante la

evapotranspiración. Por último, tenemos los valores de 11.03 ± 1.209 fue el valor mayor en proteína para el estado verde, lo cual es evidente que es el estado de maduración donde se desdoblaran ciertos compuestos nitrogenados como los aminoácidos para formar otros como el caso de síntesis de capsaicina; donde la fenilalanina que es un precursor de la vainillina y la vainillina precursor de la capsaicina lo que le da olor y pungencia al género *Capsicum*.

Al respecto Vogt (1986) citado por Becerra y Venturo (2017) menciona que la composición química de las frutas depende de la variedad, características del año, abonado, origen, edad, momento de la recogida y del almacenamiento esto explica su composición química. Meza (2015), menciona en su trabajo acerca del chile *C. annuum var. Acuminatum Fingerth*, que el contenido de humedad presente en esta variedad es de 94 %, lípidos 0.2 %, proteínas 0.9 % y fibra 1.2 %, en contenido químico de varía según la variedad en cuestión.

Mejía (2013), describe la composición química de dos variedades de *capsicum* (Pimiento y Ají). El porcentaje de humedad para el pimiento es de 82-92 %, ají 70 %; grasas 0.7-0.8 g para ambas variedades, proteína 1.3 g en pimientos y 6.3 g en ajís y finalmente en fibra 1.4 g para pimientos y 1.5 para ajís. Rincón (2017), menciona que para que caso de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) la composición química se distribuye de la siguiente manera; agua 92.1 %, grasa 0.19 g, proteína 0.89 g y fibra 2 g. en la cantidad de cenizas de un alimento es igual al contenido total de minerales, Castro (2007) citado de Mendoza (2013) reporta 1.38 ± 0.01 % para chile en estado de madurez rojo, lo cual es superior a lo encontrado en este estudio. El porcentaje de cenizas a partir del día 0 fue disminuyendo gradualmente a medida que se incrementaba el tiempo de almacenamiento, debido probablemente a que algunos minerales pueden funcionar como cofactores en la síntesis de compuestos; sin embargo, durante los días 15 y 20 la cantidad de cenizas se mantuvo constante con un 0.51 ± 0.01 %.

Los capsaicinoides son los alcaloides responsables de la pungencia en los frutos de chile, los cuales son sintetizados a partir de intermediarios fenilpropanoides y ácidos grasos de cadena corta (Lopez, Ramirez y Rodriguez, 2020; Aranha, 2017). Los capsaicinoides únicamente se han

descritos en los frutos de las plantas del género *Capsicum*. Se cree que son producidos en frutos para proteger a las semillas de los ataques de patógenos (Haak y colaboradores, 2011). El pimiento morrón al igual que otros chiles de la familia *Capsicum* son los vegetales más completos en sustancias nutritivas, estas contribuyen a la digestión intervienen en la regulación del sistema nervioso y favorecen la resistencia del organismo a diferentes enfermedades (Fonseca y colaboradores, 2002).

Rendimiento de los polvos obtenidos durante el proceso de chile chocolate.

Para el secado por aspersión de las agrupaciones de chile, fueron utilizados extractos acuosos en 50 mL de agua destilada y 50 mL de extracto de chile sumando así 100 mL, se agregaron 8 g de maltodextrina, al final del proceso de secado se recuperó la mayor cantidad de material microencapsulado con la maltodextrina, lo que nos permite mencionar que rendimiento del agente encapsulante como producto final es redituable para el secado de los extractos de chile chocolate (ver Tabla 7).

Tabla 7. Rendimiento de polvo de chile chocolate (*C. annuum* var. *Acuminatum* Fingerth).

Estados de madurez	Rendimiento (%)
Verde	8.03 ± 0.35 ^a
Amarillo-naranja	7.50 ± 0.10 ^a
Naranja	8.00 ± 0.10 ^a
Rojo	7.93 ± 0.40 ^a

En la tabla anterior, se muestran los resultados obtenidos durante el secado por aspersión del chile chocolate en los diferentes grupos de madurez evaluados, para calcular el rendimiento se tomaron en cuenta las micropartículas recolectadas en el contenedor ubicado después del ciclón del equipo de secado por aspersión; el rendimiento de los polvos es favorable ya que se recupera

entre 80% a 83% de los microencapsulados. El rendimiento del proceso se ve influenciado por la humedad del producto, al tener un polvo más seco y fino, este no se retiene en el recolector y es arrastrado por el gas de secado hacia el filtro, el rendimiento mayor se presentó en el grupo naranja 8.00 ± 0.10 y verde 8.03 ± 0.35 , mientras tanto en el amarillo-naranja se presenta el menor rendimiento 7.50 ± 0.10 probablemente el bajo porcentaje de recuperación de polvo del grupo mencionado se debió a que parte de la muestra se pierde en el proceso de secado.

Los resultados obtenidos concuerdan con lo presentado por (Bhusari y colaboradores, 2014), quienes durante el proceso de secado por aspersión de concentrados de tamarindo reportan un rango de rendimiento del 46 a 77 %, mientras que Arrazola y colaboradores (2014) presentan un rendimiento del 90.74 % en el secado por aspersión de antocianinas. Por otra parte, los resultados obtenidos por Santiago (2018) en su trabajo sobre secado de jugo de jitomate muestran rendimiento del 43.5 y 62.5 % respectivamente para dos tratamientos analizados usando maltodextrina como agente en encapsulante. Goula y Adamopoulos, (2010), reportaron una recuperación de productos del 62 al 65 % en el secado de jugo de jitomate con una concentración de 14 al 18 %. mientras que Obón y colaboradores, (2009) reportaron rendimientos del 58 % para un colorante en polvo obtenido a partir de frutas de *Opuntia stricta* debido a las dificultades en la recolección de compuestos finos ya que no se depositan de manera eficiente en el ciclón.

Microscopia Electrónica de Barrido (SEM) y microscopia óptica.

Se realizó el análisis SEM para determinar el tamaño de los gránulos de *C. annuum var. Acuminatum Fingerth*. Se encontró que el tamaño promedio de los gránulos del chile chocolate varían según el estado de madurez, para el grupo verde el promedio oscilo en $2.66 \mu\text{m}$, en el grupo anaranjado-verde $3.43 \mu\text{m}$, el grupo naranja presento $6.89 \mu\text{m}$ de tamaño, y finalmente el grupo rojo presento tamaños de $7.43 \mu\text{m}$, Durante los procesos de secado las microcápsulas sufren una serie de cambios en su forma y tamaño (Figura 11).

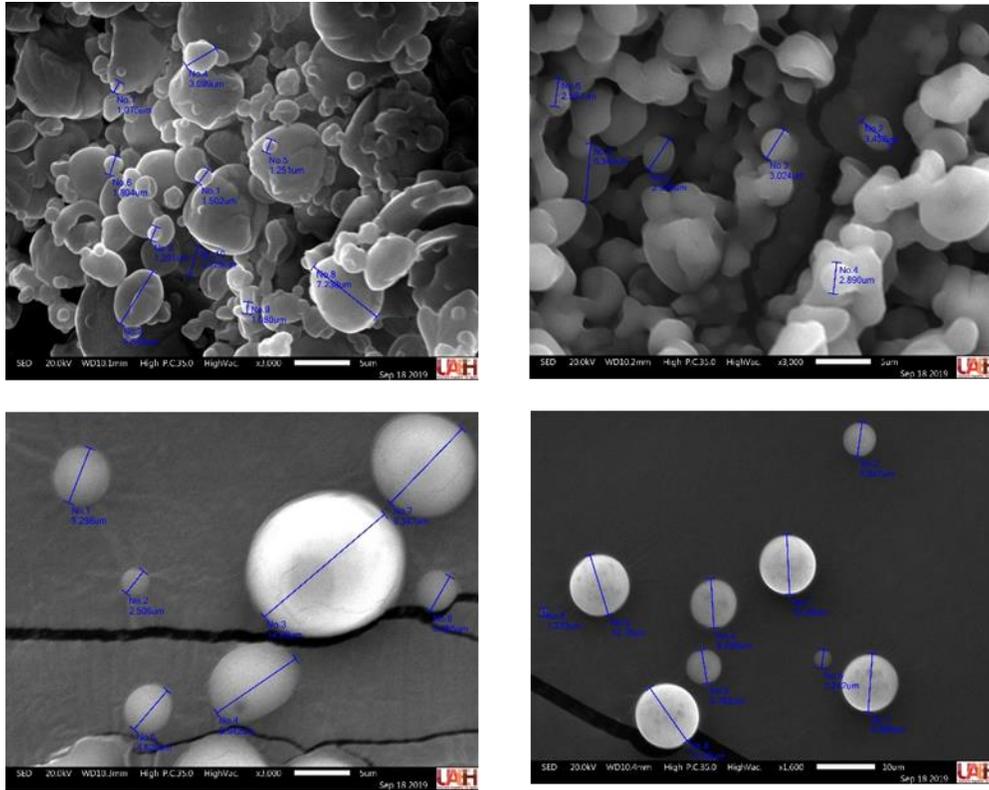


Figura 11. Microscopia electrónica de barrido de *C. annuum var. Acuminatum Fingerth.*

Las partículas de polvo raramente exhiben una forma uniforme, por lo que tanto las partículas regulares como irregulares pueden ser descritos como “diámetros equivalentes a una esfera” combinando de esta manera los parámetros de tamaño y forma (Patel & Chen 2007). En el estudio realizado por Vázquez (2016), reportó que las micrográficas obtenidas en diferentes acercamientos y escalas, de 5µm y 10µm, para observar la variación en el tamaño de las partículas, en el caso de los polvos obtenidos de la bebida analizada se generaliza un intervalo de 2 a 25 µm de tamaño.

Alcántara (2018), apreció que el rango obtenido para el diámetro de las partículas de los polvos de zumo de lima fue de 3.07 ± 0.52 a 6.20 ± 0.50 µm, encontrándose dentro de los valores considerados para los productos deshidratados por aspersion: 3 – 100 µm, como lo menciona Ray y colaboradores, (2016) y menores de 40 µm, según Zuidam y Heinrich (2010). Por otro

lado, García y colaboradores, (2015), mencionan que en el sabor cítrico de mandarina encapsulado utilizando 32 % de una mezcla de diferentes materiales de cobertura (maltodextrina 10 DE, goma arábica y proteína de soja), los tamaños de partícula oscilaron entre 0,6 y 2,7 μm . También informa haber encontrado esferoides casi completos sin prácticamente evidencia de microcápsulas rotas en un sabor cítrico de mandarina encapsulado en diferentes materiales de cobertura. Explica que esta característica es indicativa de la buena estructura de las microcápsulas encontradas en el producto final (polvo).

Tamaño de los gránulos de chile chocolate por Microscopía óptica.

Se realizó el análisis de microscopía óptica de los tratamientos del chile coloquialmente conocido como chocolate. El microscopio óptico se ha utilizado como una herramienta fundamental para proporcionar imágenes magnificadas de objetos imperceptibles a simple vista. Una imagen óptica es una representación discreta de distribución de intensidades en una superficie hacia la cual se dirigen los rayos que derivan de un objeto iluminado tras interactuar con un sistema óptico, (ver Tabla 8). La morfología que se presentó en las microcápsulas del secado por aspersión del chile chocolate fue de formas esféricas, algunas ovoides (Figura 13).

Tabla 8. Promedios de la microscopía óptica de *C. annuum var. Acuminatum Fingerth* secado por aspersión

Tratamientos	Tamaño (μm)
1	2.62 ± 0.53
2	3.19 ± 0.94
3	3.59 ± 1.06
4	3.31 ± 0.70

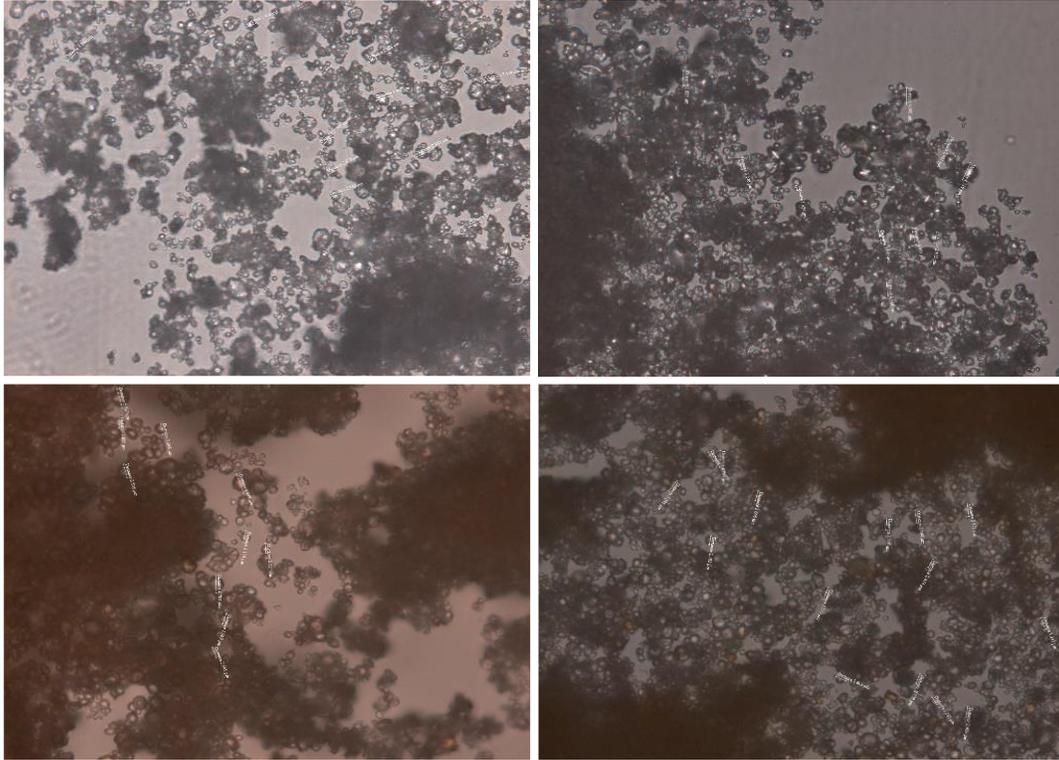


Figura 12. Microscopia óptica de *C. annuum* var. *Acuminatum* Fingerth.

La morfología que se presentó en las microcápsulas del secado por aspersión del chile chocolate fue de formas esféricas, algunas ovoides. El tamaño de la microscopia óptica de *C. annuum* var. *Acuminatum* Fingerth oscilo entre 2.62 ± 0.53 y $3.59 \pm 1.06 \mu\text{m}$, en la Figura 12 se puede observar partículas de mayor tamaño debido principalmente a fenómenos de aglomeración, este fenómeno de aglomeración en el proceso de secado por aspersión puede deberse principalmente a dos mecanismos; el primero se puede definir como una aglomeración física y se caracteriza por una interacción partícula-partícula. El segundo mecanismo es de una naturaleza química, esto debido a que las partículas pueden interactuar con el disolvente líquido y el resultado es la fusión de partículas en grupos en los que la partícula única ya no tiene una identidad distinta (Olguín-Rojas, 2019).

Colorimetría

Para evaluar el color de los extractos se usaron los mismos parámetros que para el fruto fresco; L^* , C^* y $^{\circ}Hue$ del espacio de color del CIELAB, con esto se establece la concordancia entre los colores obtenidos de los chiles frescos con los extractos obtenidos inicialmente del producto fresco. En el caso de L^* 45.012 ± 0.10 representa al color verde en la etapa de madurez, el grupo siguiente es cercano ya que las tonalidades son naranja-verde, para lo mismo con los grupos siguientes siendo así 44.37 ± 0.12 la lectura más alta y parecida al rojo, en C^* se presenta el descenso de las lecturas de forma escalonada del grupo verde al grupo rojo, de igual manera se observa en $^{\circ}Hue$ que las lecturas disminuyen del grupo verde al grupo rojo (ver Tabla 9).

Tabla 9. Resultados del color de los extractos del chile chocolate (*C. annum var. Acuminatum Fingerth*).

Estados de madurez	L^*	C^*	$^{\circ}Hue$
Verde	45.012 ± 0.10^a	22.15 ± 0.18^b	104.00 ± 0.30^a
Amarillo-naranja	45.16 ± 0.05^a	30.99 ± 0.03^b	75.92 ± 1.48^b
Naranja	44.37 ± 0.12^b	37.23 ± 18.51^{ab}	61.08 ± 0.19^c
Rojo	44.35 ± 0.14^b	50.31 ± 0.36^a	55.38 ± 0.25^d

Los extractos de chile se agruparon en verde, amarillo-naranja, naranja y rojo para la evaluación del color, en la Tabla 8 se observa que el parámetro L^* de luminosidad es mayor en el grupo amarillo-naranja: 45.16 ± 0.05 , mientras tanto el naranja y rojo 44.37 ± 0.12 y 44.35 ± 0.14 , presentaron valores cercanos esto debido a que los grupos se parecen en cuanto a madurez y presentaban colores anaranjado-rojo. En el caso de croma también llamada saturación o intensidad, el cual representa la pureza o intensidad de un color particular, la viveza o palidez del mismo se observa los valores de 22.15 ± 0.18 en verde y 50.31 ± 0.36 en rojo, igual se aprecia un aumento de manera escalonada del verde al rojo. En el parámetro $^{\circ}Hue$ el valor más alto

104.00 ± 0.30 se presentó en el grupo verde en la tabla se observa al contrario de parámetro croma una disminución gradual hasta el grupo rojo 55.38 ± 0.25.

Morales y colaboradores (2010), en la evaluación de los efectos de secado por aspersión de zarzamora (*Rubus spp*), mencionan haber encontrado valores en el caso de L^* 42.93 ± 0.89 en el jugo fresco, mientras que en C^* 32.45 ± 0.70 y finalmente en $^{\circ}Hue$ 0.40 ± 0.85 esto datos no presentaron una diferencia significativa entre los tratamientos analizados.

Colorimetría de los encapsulados obtenidos de las emulsiones de chile chocolate en diferentes estados de madurez.

Llevado a cabo el secado por aspersión de los extractos de chile en los cuatro estados de madurez se realizaron lecturas de colorimetría a los polvos recolectados al final del secado usando maltodextrina como agente encapsulante, las determinaciones de color se realizaron por triplicado a cada grupo. Se observó a simple vista la disminución de las tonalidades de los colores; el color rojo paso a rosa pálido, el verde a pálido verduzco, mientras que los dos grupos restantes eran anaranjado pastel, en L^* para el color verde la lectura registrada es 95.40 ± 1.81 y para el color rojo 76.56 ± 5.01, mientras que el grupo 2 y 3 fueron más cercanos, para C^* los valores, aumentaron escalonadamente del grupo verde al rojo, al contrario que en $^{\circ}Hue$ donde disminuyen las tonalidades del verde al rojo (ver Tabla 10).

Tabla 10. Colorimetría de polvos de extracto de chile chocolate (*C. annuum*, var. *Acuminatum Fingerth*).

Estados de madurez	L^*	C^*	$^{\circ}Hue$
Verde	95.40 ± 1.81 ^a	9.16 ± 0.95 ^d	100.10 ± 1.23 ^a
Amarillo-naranja	88.53 ± 2.567 ^b	20.96 ± 1.15 ^c	81.08 ± 0.82 ^b
Naranja	82.15 ± 1.93 ^c	38.33 ± 0.65 ^b	72.61 ± 0.83 ^c
Rojo	76.56 ± 5.01 ^d	47.96 ± 1.92 ^a	66.04 ± 2.40 ^d

Los polvos se obtuvieron del recolector que se encuentra al final del ciclón, estos son finos; en los primeros dos grupos, se apreció que a mayor presencia de maltodextrina se incrementa el valor L^* , donde al parecer, ejerce un efecto de dilución sobre el color rojo de los chiles; se recolectaron polvos en tonalidades rosas en los grupos naranjas-rojos 82.15 ± 1.93 y 76.56 ± 5.01 , mientras en el grupo verde y amarillo-naranja el color era verdoso 95.40 ± 1.81 y 88.53 ± 2.57 .

Caparino y colaboradores (2012) y Ahmed y colaboradores (2010) observaron los más altos valores de L^* , al adicionar maltodextrina en la obtención de polvos de mango y batata morada mediante secado en spray, respectivamente. En el parámetro Croma el valor menor lo obtuvo el verde 9.16 ± 0.95 , mientras el más alto el rojo 47.96 ± 1.92 , en Tabla 9 se observa como descienden los valores del primer grupo al último esto debido a que el parámetro C^* mide la saturación de los colores, en el caso de $^{\circ}Hue$ el valor 100.10 ± 1.23 (verde) descendió de forma escalonada hasta 66.04 ± 2.40 rojo. García (2014), en su investigación sobre cuatro especies de pitaya observó un valor alto en L^* al adicionar maltodextrina/pectina provocando una pérdida de color por la degradación de las betalaínas (pigmentos presentes en los jugos de pitaya) dando como resultado polvos menos oscuros en los tratamientos. Sousa y colaboradores, (2008) observaron un comportamiento similar en polvos de tomate. Por otro lado, respecto a $^{\circ}Hue$ el valor fue alto en los tratamientos de pitaya al incrementar las temperaturas de entrada lo que resulta una pérdida de color rojo-guinda. Grabowski y colaboradores, (2006) encontraron en polvos de camote que al incrementar la concentración de maltodextrina el valor de $^{\circ}Hue$ aumenta, indicando una pérdida del color rojo. El mismo estudio mostro que la saturación de C^* es menor cuando la T_e (temperatura de entrada) es alta en polvos PG (polvos producidos con jugo de pitaya guinda de *S. griseus*) y OR (polvos producidos con jugo de pitaya roja de *S. pruinosa*), mientras que al utilizar temperaturas de entrada bajas el índice de C^* es alto.

Actividad de agua (a_w) de los polvos obtenidos de las emulsiones de chile chocolate en diferentes estados de madurez.

En la tabla 11 se aprecia la actividad de agua de los grupos analizados durante esta investigación, donde el grupo verde presentó el mayor porcentaje 0.17 ± 0.01 mientras que el grupo rojo con un valor de 0.09 ± 0.01 el menor.

Tabla 11. Actividad de agua (a_w) de *C. annum var. Acuminatum Fingerth*

Estados de madurez	Actividad acuosa (a_w)
Verde	0.17 ± 0.01^a
Amarillo-naranja	0.11 ± 0.01^b
Naranja	0.11 ± 0.02^b
Rojo	0.09 ± 0.01^b

El uso de encapsulantes es una técnica que se ha aplicado para preservar y proteger numerosos ingredientes, este se considera una forma especial de empacar, en la que un material en particular puede ser cubierto de manera individual para protegerlo del ambiente, de la reacción con otros compuestos o para impedir que sufran reacciones de oxidación debido a la luz o al oxígeno. Se puede observar que el contenido de a_w es una importante respuesta, pues a través de ella se analiza la eficiencia de secado.

En el estudio realizado por Olguín (2019), menciona que las variables del proceso evaluadas en el caso del chile habanero o tienen efecto significativo ($p < 0.05$) sobre la actividad de agua de las micropartículas obtenida. Los valores obtenidos se encuentran en el rango de 0.21-0.43. Coronel (2015) muestra para la actividad de agua valores entre 0.24 - 0.27, mostrando un comportamiento similar al contenido de humedad. Además, los valores obtenidos son similares a los reportados por Jittanit y colaboradores, (2011) y Fang y Bhandari (2011), aspecto que le brinda estabilidad al producto frente a los microorganismos.

Evaluación de capacidad antioxidantes y polifenoles.

En la figura 11, se puede observar que los extractos etanólicos presentan mejor cantidad de extracción de compuestos fenólicos seguido por los extractos en metanol, esto indica que la mayoría de compuestos extraídos del chile chocolate son solubles en solventes orgánicos, mientras que en la extracción acuosa la cantidad de compuestos fenólicos es menor. Lo anterior, sugiere que dentro de la composición del chile chocolate existen muchos compuestos que no son hidrosolubles, por lo que la cantidad de arrastre en la extracción acuosa es menor en comparación con los otros solventes.

En la tabla 12, se comparan los resultados obtenidos en los microencapsulados y el material vegetal deshidratado en estufa, se puede observar que la mayor cantidad de polifenoles (mg EAG/g ms), principalmente los carotenoides, que se presentan en estados de maduración naranja (NAS) con 2.94 ± 0.58 en el extracto acuoso y con metanol 6.86 ± 1.25 y mayormente en estado rojo (RS) en extracto con etanol con 8.29 ± 1.36 del material vegetal de chile chocolate seco se debe al cambio de coloración y presencia de carotenoides y antocianinas. Por otra parte, el estado de maduración verde (VS) en los diferentes extractos obtenidos del chile chocolate, presenta, en el extracto acuoso, menor presencia de polifenoles con un valor de 2.09 ± 0.41 , seguido por el extracto metanólico con 5.34 ± 0.97 y con extracto etanólico 6.71 ± 1.10 , esto derivado a que contiene cantidades grandes de clorofila presentes en todo el pericarpio o piel del chile. Además, podemos decir que el estadio de maduración rojo (RS) es el que contienen mayor cantidad de compuestos polifenólicos con un valor de 8.29 ± 1.36 .

En cuanto a la evaluación de polifenoles de los encapsulados, los resultados obtenidos demuestran que, en extractos con etanol en estado de maduración rojo (RP), se obtuvo la mayor cantidad, con un valor de 0.63 ± 0.10 , lo que sugiere una mayor conservación de los bioactivos polifenólicos encapsulados, tales como, capsorrubina, violaxantina, capsantina, capsantina-5,6-

epóxido, anteraxantina, ciscapsantina, capsoluteína, zeaxantina, cis-zeaxantina, criptocapsina, β -criptoxantina y β -caroteno, lo que indica protección de factores medioambientales, como la temperatura, luz y oxidación.

Bustos-Hipólito (2012), reportó el efecto de respuesta de fenoles totales en 4 extractos de cascara de manzana obtenidos con metanol (80%), etanol (80%), agua hirviendo y agua a temperatura ambiente, encontró que el solvente que mejor extrae polifenoles totales es etanol al 80%; mientras que Pérez-Najera y colaboradores (2013), mencionan que el tipo de solvente empleado influye en la cantidad de fenoles extraídos. En chiles, están presentes los carotenos, que son insolubles en agua, pero solubles en solventes orgánicos, como acetona, etanol, metanol, éter etílico, y cloroformo (Torossi, 2007).

Cruz-Ricardez y colaboradores (2020), en su estudio sobre frutos de chiles en Tabasco indican que el género *Capsicum* produce metabolitos secundarios como carotenoides, alcaloides (capsaicinoides), compuestos fenólicos, ácido ascórbico y otros antioxidantes. Por otro lado, Bourges (2008), reporta a los carotenos como una familia de pigmentos lipídicos de color rojo, naranja o amarillo; Azcón-Bieto y Talón (2007) mencionan que los carotenoides que se encuentran presentes en todo el cloroplasto vegetal son el α -caroteno, el β -caroteno y cinco xantofilas: luteína, violaxantina, anteraxantina, zeaxantina y neoxantina; por lo que este alimento destaca por su potencial de compuestos polifenólicos que aumentan conforme lo hace su estado de madurez, principalmente en el pericarpio de chile (Cruz-Ricardez y colaboradores, 2020).

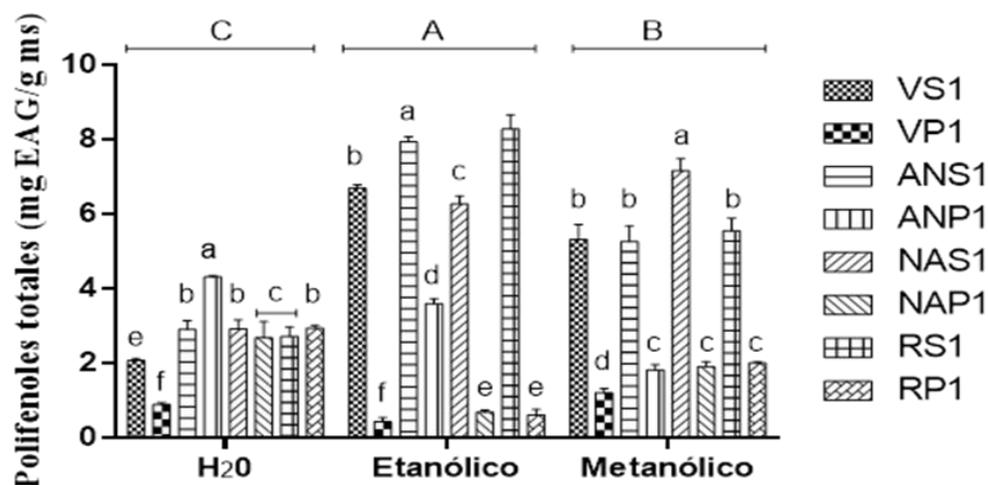
La microencapsulación obtenida con maltodextrina es efectiva cuando es secado por aspersión, ya que esta al ser una excelente matriz encapsulante, protege los bioactivos que son sensibles temperatura a la luz y a la oxidación, según Castromonte, Wacyk, Valenzuela (2020), Ríos-Aguirre y Gil-Garzón (2021) y Olguín (2019) la microencapsulación con maltodextrina por secado por aspersión logro proteger los bioactivos hasta 28 días a 25°C.

La MD favoreció al microencapsulamiento de polifenoles, a través del secado por aspersión, al minimizar el efecto de la oxidación, luz y temperatura (Martínez, 2015; Castromonte, Wacyk, Valenzuela, 2020; Ríos-Aguirre, Gil-Garzón 2021), al ser soluble en agua, la encapsulación tiende a romperse y/o agrietarse liberando el contenido de polifenoles, por lo que existe una mayor cantidad de polifenoles liberados en la evaluación; mientras que en los extractos metanólicos y etanólicos, el encapsulamiento retiene a los compuestos polifenólicos por su insolubilidad.

Tabla 12. Determinación de polifenoles totales (mg EAG/g ms) de chile chocolate mediante el método de Folin-Ciocalteu.

Muestras	Polifenoles totales (mg EAG/100g)		
	H ₂ O	Etanol	Metanol
VS	2.09 ± 0.41	6.71 ± 1.10	5.34 ± 0.97
VP	0.91 ± 0.18	0.44 ± 0.07	1.23 ± 0.23
ANS	2.92 ± 0.57	7.71 ± 1.27	5.04 ± 0.92
ANP	4.33 ± 0.85	3.62 ± 0.59	1.84 ± 0.34
NAS	2.94 ± 0.58	6.74 ± 1.11	6.86 ± 1.25
NAP	2.70 ± 0.53	0.70 ± 0.11	1.93 ± 0.36
RS	2.74 ± 0.54	8.29 ± 1.36	5.56 ± 1.02
RP	2.95 ± 0.58	0.63 ± 0.10	2.02 ± 0.38

R²=0.9959, Tukey P>0.5.



Verde Seco (VS); Verde Polvo (VP); Amarillo-Naranja Seco (ANS); Amarillo-Naranja Polvo (ANP); Naranja Seco (NAS); Naranja Polvo (NAP); Rojo Seco (RS); Rojo Polvo (RP).

Figura 13. Determinación de polifenoles totales (mg EAG/g ms) de chile chocolate mediante el método de Folin-Ciocalteu.

Los resultados obtenidos de las pruebas de capacidad antioxidante se pueden apreciar en las tablas 13 y 14, en donde se presenta la comparación de los ensayos experimentales de ABTS y DPPH, derivado de este análisis se puede concluir que el material vegetal seco presenta mayor presencia de antioxidantes que los microencapsulados. De lo anterior, la mayor actividad antioxidante se presentó en extractos acuosos de muestras verdes, amarillo-naranja y rojo, siendo significativas en comparación con los extractos etanólicos y en extractos con metanol para ABTS y por lo consiguiente, para la prueba de DPPH.

No obstante, los resultados (% captura de radicales libres) para los diferentes estadios de maduración presentaron en verde (VS) un valor 72.43 ± 0.19 y 68.92 ± 0.22 y rojo (RS) 73.14 ± 0.19 y 62.45 ± 0.26 de extractos acuosos y etanólicos para ABTS, mientras que en DPPH el estadio verde (VS) tiene un valor 35.05 ± 0.62 en extracto acuoso y 46.33 ± 0.49 en extracto con etanol, en el estadio amarillo-naranja presentan valores intermedios de 29.43 ± 0.64 en

extracto acuoso y 37.20 ± 0.57 en etanol y rojo (RS) 66.74 ± 0.31 de extractos con metanol. Por lo que, considerando estos datos y haciendo la comparación para ambos métodos de evaluación podemos decir que en las muestras verdes (VS) y amarillo-naranja la actividad antioxidante disminuye la absorción del radical hasta un 50% en extractos acuosos y etanólicos, de igual manera que naranja (NAS) y rojo (RS) de extractos con etanol y metanol.

Sin embargo, en cuanto a la evaluación de antioxidantes de los encapsulados podemos mencionar que resultaron ser muy eficientes, principalmente en los estadios verde y rojo de extractos acuoso y metanólico, ya que presentaron una diferencia significativa de los valores obtenidos de encapsulación de antioxidantes. Sin embargo, si comparamos el método ABTS y DPPH, este último presentó una reducción del 50% en la concentración total porcentual de antioxidantes o captura de radicales libres, principalmente de la capsaicina (8-metil-N-vanillil-6-nonenamida, $C_{18}H_{27}NO_3$), lo que se relaciona con una mayor concentración de estos compuestos en estados de maduración avanzada y principalmente en pericarpio y placenta otorgándole la coloración y la pungencia de estos chiles.

La potencialidad antioxidante de un alimento va a depender de la cantidad y calidad de sus componentes, principalmente de la concentración de vitamina E, carotenoides y sustancias de origen fenólico fundamentalmente. Torrenegra-Alarcon y colaboradores (2020), evaluaron la actividad antioxidante de *C. frutescens*, esta es relativamente alta, se obtuvieron 1007.9 ± 0.89 de fenoles totales en extractos etanólicos que se evaluaron por los métodos de DPPH y ABTS obteniendo valores de Índice de captación (IC_{50}) de 270.99 ± 1.50 y 137.95 ± 0.20 $\mu\text{g/mL}$, haciendo énfasis a la reducción de un 50% de la cantidad inicial. Mesa-Vanegas y colaboradores (2015) y Moon y Shibamoto (2009), mencionan que el método de DPPH (2,2 - difenil-1-picrilhidracilo) se basa en la premisa de que un hidrógeno donante es un antioxidante, este ensayo colorimétrico utiliza el DPPH radical, que cambia de púrpura a amarillo en presencia de antioxidantes y es ampliamente utilizado como un estudio preliminar y realizando mejor actividad en compuestos orgánicos como metanol, también relacionan la actividad ABTS•+ (2,20-azinobis (3etilbenzotiazolina-6-sulfónico) como un ensayo colorimétrico en el que el

radical ABTS•+ decolora en presencia de antioxidantes (carotenoides, fenólicos compuestos y otros). Este ensayo de decoloración mide la capacidad antioxidante total, tanto de sustancias lipofílicas e hidrófilas.

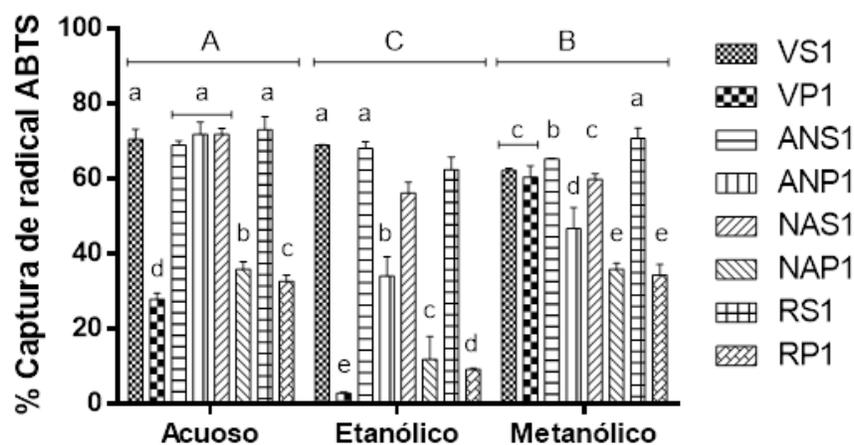
Lopez-Puc y colaboradores (2020), mencionan que la mayoría de los estudios realizados sobre capsainoides, en frutos de *Capsicum*, muestran un aumento de concentración de capsainoides durante las primeras etapas del desarrollo del fruto, manteniéndose hasta su maduración; entre 40 y 60 días después de este tiempo, comienza una reducción marcada del contenido de capsainoides que está relacionado con la oxidación de capsaicina y dihidrocapsaicina.

Tabla 13. Determinación de capacidad antioxidante de chile chocolate mediante el método de ABTS en diferentes extractos.

Muestras	Captura de radicales libres (%)		
	H ₂ O	Etanol	Metanol
VS	72.43 ± 0.19	68.92 ± 0.22	62.24 ± 0.26
VP	28.97 ± 0.50	2.95 ± 0.69	62.48 ± 0.26
ANS	68.92 ± 0.22	68.07 ± 0.22	65.26 ± 0.24
ANP	74.12 ± 0.18	37.69 ± 0.44	46.69 ± 0.37
NAS	71.87±0.20	56.19±0.31	64.84±0.25
NAP	37.27±0.44	18.17±0.59	36.99±0.44
RS	73.14±0.19	62.45±0.26	72.71±0.19
RP	31.68±0.48	9.21±0.64	34.32±0.46

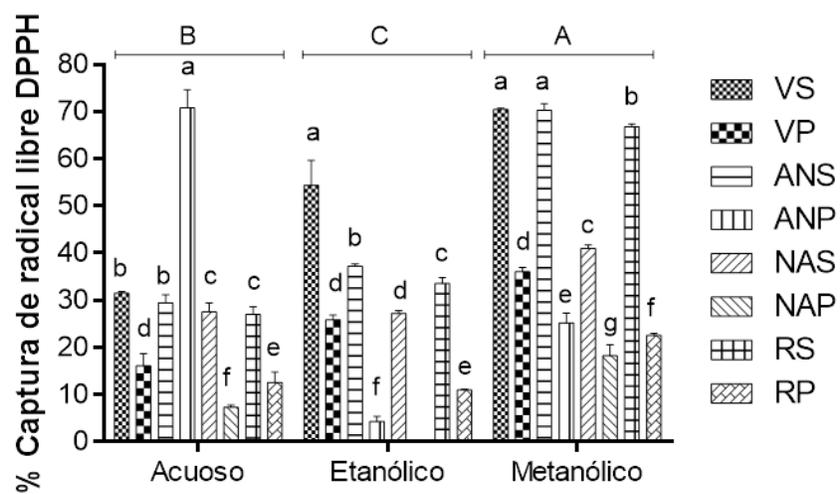
Tabla 14. Determinación de capacidad antioxidante de chile chocolate mediante el método de DPPH en diferentes extractos.

	Captura de radicales libres (%)		
	H ₂ O	Etanol	Metanol
VS	35.05 ± 0.62	46.33 ± 0.49	68.59 ± 0.29
VP	16.08 ± 0.76	26.36 ± 0.67	36.05 ± 0.59
ANS	29.43 ± 0.64	37.20 ± 0.57	70.23 ± 0.27
ANP	67.43 ± 0.29	6.56 ± 0.87	25.18 ± 0.70
NAS	27.50 ± 0.66	28.15 ± 0.65	40.95 ± 0.55
NAP	8.75 ± 0.84	0.16 ± 0.91	20.94 ± 0.76
RS	26.99 ± 0.66	33.55 ± 0.62	66.74 ± 0.31
RP	12.55 ± 0.79	2.92 ± 0.83	19.91 ± 0.72



Verde Seco (VS); Verde Polvo (VP); Amarillo-Naranja Seco (ANS); Amarillo-Naranja Polvo (ANP); Naranja Seco (NAS); Naranja Polvo (NAP); Rojo Seco (RS); Rojo Polvo (RP).

Figura 14. Actividad antioxidante de chile chocolate mediante el método de ABTS.



Verde Seco (VS); Verde Polvo (VP); Amarillo-Naranja Seco (ANS); Amarillo-Naranja Polvo (ANP); Naranja Seco (NAS); Naranja Polvo (NAP); Rojo Seco (RS); Rojo Polvo (RP).

Figura 15. Actividad antioxidante de chile chocolate mediante el método de DPPH.

CONCLUSIONES

La microencapsulación de *Capsicum annuum* var. *Acuminatum* Fingerth o como se conoce coloquialmente en la zona del soconusco de Chiapas, chile chocolate, usando maltodextrina como agente encapsulante fue posible mediante secado por aspersión. Las condiciones evaluadas del secado son capaces de preservar las características organolépticas propias del chile chocolate; el polvo obtenido del secado usando maltodextrina presentó una buena estructura morfológica, su rendimiento resultó ser redituable, los polvos no perdieron el picor que caracteriza a esta variedad en particular. La maltodextrina resultó ser adecuada para la microencapsulación y por ende para la conservación de este alimento, evitando deterioro de los compuestos bioactivos presentes. El secado por aspersión resultó ser una alternativa viable para la conservación de alimentos, usando los agentes encapsulantes correctos se preservan todas las características funcionales del alimento. La principal ventaja de contar con el sistema de secado por aspersión es la reducción del tiempo del proceso.

Respecto al color, los polvos del chile chocolate presentaron valores del parámetro L^* que indicaron que en los estados más maduros del chile chocolate (rojo) se reduce por las concentraciones de maltodextrina, esto se atribuye principalmente a un efecto de dilución del color por la presencia del color blanco del encapsulante, sin embargo, se confirma el efecto protector que ejerce este encapsulante sobre las características organolépticas del chile.

Los gránulos de *C. annuum* var. *Acuminatum* Fingerth se pueden considerar pequeños, lo que es favorable para su aplicación en alimentos, ya que a menor tamaño del gránulo mayor será la estabilidad en el alimento.

La concentración de polifenoles y capacidad antioxidante está relacionada con la maduración del fruto de chile chocolate, a mayor estado de maduración se obtuvo de manera proporcional el contenido de compuestos antioxidantes y polifenoles, principalmente en el pericarpio y placenta del fruto.

PROPUESTAS Y/O RECOMENDACIONES

El chile chocolate al ser una especie poco conocida y comercializada nos proporciona las ventajas de realizar estudios posteriores y con mayores detalles como pueden ser:

1. El estudio de las condiciones de mejoramiento en cosecha y producción de chile chocolate expuesto a diversos factores abióticos y el comportamiento de compuestos bioactivos en sus diferentes etapas de maduración.
2. El estudio de condiciones de temperatura en el secado por aspersion que permitan lograr un mayor rendimiento en la obtención de los polvos utilizando únicamente maltodextrina como agente encapsulante.
3. También realizar más ensayos comparativos de otras matrices encapsulantes como oleorresinas, gomas, almidones, etc. utilizando el método de secado por aspersion que permita obtener diferentes porcentajes, rendimientos, estructuras y características del encapsulado de extractos de chile chocolate, de tal manera que estas matrices sean utilizadas de forma individual o combinadas permitiéndonos obtener los mejores resultados de encapsulación en nuestro producto.
4. Además, deberían realizarse estudios comparativos de obtención de encapsulados por medio de extractos de chile chocolate en agua: etanol a través del método de secado por aspersion para determinar el costo-beneficio.
5. Realizar un perfil de compuestos bioactivos presentes en el chile chocolate que permita realizar investigaciones transversales con enfoque en la industria cosmética, farmacéutica, entre otras.
6. Realizar estudios económicos y productivos que lleven a este producto al mercado como sucede con otras variedades de Capsicum ya conocidas a nivel nacional e internacional.

GLOSARIO

A _w	Actividad de agua
h	Ángulo de tono (H°)
C*	Croma
L*	Luminosidad
a*	Coordenada de color (rojo o verde)
b*	Coordenada de color (amarillo o azul)
DE	Dextrosa Equivalente
SEM	Microscopia Electrónica de Barrido (siglas en inglés)
T _e	Temperatura del aire de entrada (°C)
T _s	Temperatura del aire de salida (°C)
Tukey	Análisis de varianza
µm	Micrómetro, unidad de longitud
GA	Goma Arábica
MD	Maltodextrina
ΔE	Cambios de matiz y densidad
mL	Mililitro
CIELAB	Commission International d'eclairage color model
FC	Folin-Ciocalteu
ABTS	ácido 2,2'-Azino-bis (3-etil-benzotiazolin-6-sulfónico)
DPPH	2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo

REFERENCIAS DOCUMENTALES

- ACHOUR, M., A new method to assess the quality degradation of food products during storage. *Journal of Food Engineering*. 75: 560–564, 2006.
- ACOSTA B., B. Producción orgánica de hortalizas con vermicomposta bajo condiciones de invernadero en la Comarca Lagunera. Tesis de licenciatura (Ingeniero Agrónomo). Torreón Coah. Méx. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro – Unidad Laguna, 2005, 50 p.
- ADCO W. CH., (2018), Propuesta de un sistema de secado por atomización para la obtención de polvo de grenetina, Tesis para obtener el título de Ingeniería, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú.
- AGUILAR R. V. H., Corona T. T., López L. P., Latournerie M. L., Ramírez M. M., Villalón M. H. y Aguilar C. J. A., Los chiles de México y su distribución. 1ª. Ed. Montecillo, Texcoco, Estado de México. SINAREFI, Colegio de Postgraduados, INIFAP, IT-Conkal, UANL, UAN. 2010. 114 p.
- AGUIRRE H. E. y Muñoz O. V. (2015). *El chile como alimento. Uso de plantas mexicanas*. Revista de la Academia Mexicana de Ciencia. México. Volumen 66. Número 3. P. 16-23.
- AHMED, M., M. Sorifa y J. Eun, (2010), Impact of α -amylase and maltodextrin on physicochemical, functional and antioxidant capacity of spray-dried purple sweet potato flour. *Journal Science Food Agricultural*, 90: 494–502.
- AKRIBIS, (2021), Proceso de Secado Spray, citado el 15 de marzo del 2022, <https://www.akribis.info/web/proceso-de-secado-spray/>
- ALCALÁ-HERNÁNDEZ C. F., De la Rosa L. A., Pedraza-Chaverri J., Medina-Campos O. N., Meza I., S. A., Wall-Medrano A., Plenge-Tellechea L. F., Y Álvarez-Parrilla E., (2017), Caracterización fitoquímica de un extracto de *Capsicum annuum* cv. “Jalapeño” y su actividad citotóxica en células 3T3-L1, *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, 48(3):28-36.
- ALCÁNTARA M. Y. Y. (2018). *Evaluación de la funcionalidad tecnológica y nutricional del zumo de lima (Citrus latifolia tanaka) Encapsulado en pulverizado de mesocarpo de pomelos (Citrus paradisi macf)*. [En línea]. Tesis de doctoral. Universidad de Murcia. [Consulta: 02 de Febrero 2022]. Disponible en: <https://digitum.um.es/digitum/handle/10201/65920>.

- ARRAZOLA G., Herazo I. y Alvis A. (2014). *Microencapsulación de antocianinas de berenjena (Solanum melongena L.) mediante secado por aspersión y evaluación de la estabilidad de su color y capacidad antioxidante*. [En línea] Universidad de Córdoba. Colombia. Vol. 25, No. 3. [Consulta: 13 de Febrero 2022]. ISSN 0718-0764. Disponible en: https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642014000300006.
- ÁVILA I. y Silva C. (1999) Modelling kinetics of thermal degradation of color in peach puree. *Journal of Food Engineering*. pag 39.
- ÁVILA J. (1994). Caracterización agronómica y bromatológica de 42 cultivares de chile (*Capsicum* sp.) nativos de Guatemala, en el valle de la Fragua, Zacapa. Tesis de Ing. Agr. Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía.
- AYOB O., Rashid P. H., Suradkar P., Naqash F., Ahmed R. S. Y Joshi S., Azaz A. A. Z. R., (2021), Evaluation of chemical composition and antioxidant activity of Himalayan Red chilli varieties, *LWT - Food Science and Technology*, 146:1-9.
- AZCÓN-BIETO, J. y Talón, M. Fundamentos de fisiología vegetal. Madrid, España, McGRAW-HILL, 2013. Pag. 651.
- BADUI, S., Química de los alimentos. México, Pearson Educación, 2013.
- BAKOWSKA B. y A. M., Kolodziejczyk, P.P., (2011). Black currant polyphenols: their storage stability and microencapsulation. *Industrial Crops and Products*. 34(2), pp. 1301–1309.
- BARBOSA, G. V. y Vega H. (2000). *Deshidratación de Alimentos*. España: Acribia. ISBN: 978-84-200-0918-6.
- BARBOSA-CÁNOVAS, G.V. Water activity in foods: fundamentals and applications. Ames: Blackwell Publishing Professional, 2007. PMid:17961286
- BELL L. y Labuza T., (2000), Moisture Sorption: Practical aspects of isotherm measurement ad use. 2da ed. Editorial American association of cereal chemist, Inc. USA.
- BETORET E., 2011. *Functional foods development: Trends and Technologies*. Trends in Food Science & Technology. Vol. 22. Pag. 498-508.

- BHUSARI, S., Muzaffar, M., y Kumar, P., (2014). Effect of carrier agents on physical and microstructural properties of spray dried tamarind pulp powder. *Powder Technology*, Vol. 266, Pag. 354-364.
- BOGUSZ S. J., Libardi S. H., G. Dias F. G., Coutinho P. Janclei, Bochi C. V., Rodrigues D., Melo A. M. y Godoy H., (2018), Brazilian *Capsicum* peppers: capsaicinoids content and antioxidant activity, *European Journal of Lipid Science and Technology*, 98(1), pp. 217-224.
- BOSLAND, P.W. (1996). *Capsicums*: Innovative uses of an ancient crop. P. 479.487. In: J. Janick (ed.). Progress in new crops. ASHS Press, Arlington, VA.
- BOURGES R. H. (2008), Nutrición, 561-577, ed. Manual Moderno.
- BUSTOS-HIPOLITO E., Legorreta-Sianez A. V., Jofre-Garfias A. L., Gonzalez-Gonzalez L. R., Arenas-Huertero F. J., García-Gil de M. F. y Buenrotro-Zagal J. F. (2012). Efecto de la extracción de los compuestos antioxidantes de la cáscara de manzana con solventes, sobre la bioactividad y su capacidad antioxidante, *Investigación Universitaria Multidisciplinaria*, 11(11), 123-130.
- CAEZ F. K. M. y Jaraba C. N., 2012, Microencapsulación del jugo de mango (*Mangifera Indica L.*) Para la obtención de un concentrado con la utilización de maltodextrina como material pared, Trabajo de grado presentado para optar el título de Ingeniero de Alimentos, [En Línea], Cartajena de Indias, Colombia, [Consulta: 8 de Enero 2022], Disponible en: <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache: BMI-LutOgJ:https://repositorio.unicartagena.edu.co/bitstream/handle/11227/1398/INFORME%2520OFICIAL%2520pdf.pdf%3Fsequence%3D1%26isAllowed%3Dy+&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=mx>
- CAHUAYA R. G. M., (2017), *Efecto del secado por aspersion en el contenido de vitamna c, capacidad antioxidante y características fisicoquimicas de jugo de naranja* [En línea], Peru, [Consulta: 8 de diciembre 2021], Disponible en: <https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/1583/Cahuaya%20RIVERA%20-%20TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y> .

- CAI, Y. y Corke, H. 2000. *Production and properties of Spray-dried amaranthus betacyanin pigments*. Journal of Food Science. p. 1248 -1252
- CALLA C. L. A. y Canaza C. J. (2012). *Construcción de un secador por atomización a nivel de laboratorio y su evaluación en la obtención de leche en polvo*. [En Línea]. Tesis. Universidad Nacional Del Altiplano. Puno, Perú. [Consulta: 18 de enero de 2022]. Disponible en: <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/3398>.
- CALLA L. A. CH., y Canaza J. C., (2012), Construcción de un secador por atomización nivel de laboratorio y su evaluación en la obtención de leche en polvo, Tesis para obtener el título de ingeniería, Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.
- CANO C. O., (2014). *Tipos de secado en alimentos*. [En línea]. Tesis. Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- CANO-CHAUCA, M; Stringheta, PC; Ramos, AM; Cal-Vidal, J. (2005). Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 6(4):420-428.
- CAPARINO, O. A. (2012). Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (Philippine Carabao var.) powder. *Journal of Food Engineering*, 111: 135–148
- CARDENAS J. M., (2014), Obtención de microesferas de alúmina por secado por aspersión, Tesis para obtener el título de ingeniería, Universidad Autónoma Metropolitana, Mexico D. F.
- CASANOVA, F. R., (2013). *Efecto de la temperatura de secado y concentración de encapsulante en el rendimiento y concentración de Vitamina C del jugo de Myrciaria Dubia (Camu-Camu) atomizado*. [En línea]. Quito, Perú. [Consulta: 22 de Enero 2022] Disponible en: <https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/handle/20.500.12737/1952>.
- CASTROMONTE, M., Wacyk, J., y Valenzuela, C. (2020). Encapsulation of antioxidant extracts from agroindustrial by-products: A review. *Revista Chilena de Nutricion*, 47(5), 836–847. <https://doi.org/10.4067/S0717-751820200005000836>
- CEBALLOS, A. M. (2008). *Estudio comparativo de tres sistemas de secado de polvos de frutas*. Universidad Nacional de Colombia, Manizales.

- CERECEDO-CRUZ L., Azuara-Nieto E., Hernández-Álvarez A. J., González-González C. R. Y Melgar-Lalanne G., (2018), Evaluation of the oxidative stability of Chipotle chili (*Capsicum annuum* L.) oleoresins in avocado oil, *GRASAS Y ACEITES*, 69(1):1-12.
- CHRANIOTI, C y Tzia, C. (2014). Arabic Gum Mixtures as Encapsulating Agents of Freeze-Dried Fennel Oleoresin Products. *Food and Bioprocess Technology*. 7(4):1057-1065.
- CICHEWICZ, R.H. y Thorpe, P.A. (1996), The antimicrobial properties of chile peppers (*Capsicum species*) and their uses in Mayan medicine. *Journal of Ethnopharmacology*, 52(2):61-70
- CITE AGROINDUSTRIAL, (2019), Secado de alimentos por atomización, Unidad de Vigilancia Tecnológica e Inteligencia Competitiva, Boletín No. 10, Ministerio de Producción, Peru. [En línea] citado el 15 de marzo del 2022, https://issuu.com/citeagroindustrialica/docs/bo-19-018_secado_por_atomizaci_n.
- CONTRERAS M. C. (2006). *Influencia del método de secado en parámetros de calidad relacionados con la estructura y el color de manzana y fresa deshidratadas*. Tesis doctoral. Universidad Politécnica De Valencia; Departamento de Tecnología de Alimentos. Valencia, España.
- CORONEL D. A. Y. (2015). *Efecto de las condiciones de secado por aspersión en la obtención de un colorante natural a partir de extractos líquidos de cúrcuma (Curcuma longa L.)*. Tesis de maestría. Universidad Nacional de Colombia. Posgrado en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Facultad de Ciencias Agrarias. Medellín, Colombia.
- CÓRTEZ, M. y Chiralt, A. (2008). Cinética de los cambios de color en manzanas deshidratadas por aire fortificada con vitamina E. *Vitae*, 15(1), 8-16.
- CRUZ-RICARDEZ, D. D., Ortiz-García, C. F., Lagunes-Espinoza, L., Cruz M. T. y Hernández-Nataren, E. (2020). Compuestos fenólicos, carotenoides y capsaicinoides en frutos de *capsicum* spp. de Tabasco, México. *Agrociencia*, 54(4), 505–519.
- CUQ, B., RONDET E. y Abecassis J. (2011). Food powders engineering, between knowhow and science: Constraints, stakes and opportunities. *Powder Technology*. 208: 244–251
- DESAI, K., y Park, H. (2005). Recent developments in microencapsulation of food ingredients. *An International Journal*, 23(7):1361-1394.

- FANG, Z. y Bhandari, B., (2011), Effect of spray drying and storage on the stability of bayberry polyphenols, *Food Chemistry*, 129(3):1139-47.
- FARHOUDI R., Amin M. M., y Dong-Jin L., (2017), Antioxidant activities and bioactive compounds of five Jalopeno peppers (*Capsicum annuum*) cultivars, *Natural Product Research*, 33(6):871-874.
- FELLOWS, P. (2009). Food processing technology: principles and practice. 3rd ed. Woodhead Publishing Ltd., Cambridge, UK.
- FERRARI, C., (2012). Secagem por atomização de polpa de amora-preta usando maltodextrina como agente carreador. *Brazilian Journal of Food Technology*, 15(2), 157–165.
- FILKOVÁ I., Huanh L. X. y Mujumdar A. S., (2006). Industrial spray drying. In: Handbook of Industrial Drying. Mujumdar, A. S. (Ed). CRC Press. Taylor and Francis Group, pp. 215-255.
- FONSECA R.; Chailloux M. y Tamayo V., (2002), El humus de lombriz como alternativa de fertilización en pimiento “Medalla de oro”. En Memorias II Taller Internacional de Agricultura Sostenible en condiciones de Montaña
- GARCIA A. Á. y Urria Pérez E. C., (2009) Metabolismo secundario de plantas. *Reduca (Biología). Serie Fisiología Vegetal*. 2 (3): 119-145.
- GARCÍA L. K. A. (2014). *Propiedades físicas de jugos de pitaya secados por aspersión*. Tesis de maestría. Instituto Politécnico Nacional. Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México.
- GARCÍA-CÁRDENAS, J., Ciro-Velásquez, H. y Largo-Ávila, E. (2015). Encapsulation of mandarin Citrus flavor using spray drying technology and different wall materials. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 18(1), 251-260.
- GIMENO-CREUS E. (2004). Compuestos fenólicos. *Ámbito Farmacéutico Nutrición*, 23; 80-84.
- GÓMEZ-MAQUEO A., Escobedo-Avellaneda Z. Y Welti-Chanes J., (2020) Phenolic Compounds in Mesoamerican Fruits-Characterization, Health Potential and Processing with Innovative Technologies. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(21): 1-41.
- GOULA, A. y Adamopoulos, K. (2010). A new technique for spray drying orange juice concentrate, *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 11(2), 342-351.

- GRABOWSKI, J. A., Truong, V. D., y Daubert, C. R. (2006). Spray-drying of amylase hydrolyzed sweetpotato puree and physicochemical properties of powder. *Journal of Food Science*, 71(5):209-217.
- GUEVARA-BRETÓN N. A., Jiménez-Munguía M. T., (2008). Materiales utilizados en la encapsulación. *Temas selectos de ingeniería de alimentos 2*, 22-27
- HERNÁNDEZ V., Dávila A. P., y Oyama K. 1999. Síntesis del conocimiento taxonómico, origen y domesticación del género *Capsicum*. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 64: 65-84.
- IGNAT I., Volf I. y Popa V. I., (2011), A critical review of methods for characterisation of polyphenolic compounds in fruits and vegetables. *Food Chem*, 126(4): 1821-1835.
- IGUAL M. R., Ramires S., Mosquera L.H. y Martínez N. N., (2014). Optimization of spray drying conditions for lulo (*Solanum quitoense L.*) pulp. *Powder Technology*. 256: 233–238.
- JAFARI S. M., Mahdavi-Khazaei K. y Hemmati-Kakhki A. (2016). Microencapsulation of saffron petal anthocyanins with cress seed gum compared with Arabic gum through freeze drying. *Carbohydrate Polymers*. 140:20-25.
- JITTANIT W., Chantara M., Deying T. y Ratanavong W., (2011), Production of tamarind powder by drum dryer using maltodextrina and Arabic gum as adjuncts. *Songklanakarin Journal of Science Technology*, 33(1):33-41.
- KISSINGER M., Tuvia-Alkalai S., Shalom Y., Fallik E., Elkind Y., Jenks M. y Goodwin M. S., (2005). Characterization of physiological and biochemical factors associated with postharvest water loss in ripe pepper fruit during storage. *Journal American Society Horti Science*, 130:735-741.
- KRARUP, A. (1970). Clasificación y descripción de algunos ajíes y pimentones cultivados en Chile. U.Austral de Chile, Boletín N°8, Valdivia, Chile, 37p.
- LABUZA, T.P. (1968). Sorption phenomena in foods. *Food Technology*. 22 (3): 263-272.
- LAND VAN'T, C.M. (1984). Selecting Dryers en Chemical Engineering. EE. UU, 9(5).

- LÉPIZ I., R. y E. Rodríguez G. (2006). Los recursos fitogenéticos de México. En: J. C. MOLINA M. y L. Córdoba T., (2006), Recursos Fitogenéticos de México para la Alimentación y la Agricultura: Informe Nacional: SAGARPA y SOMEFI. pp: 1-17.
- LÓPEZ D. y Gómez M., (2008), Preparación de microesferas mediante secado por aspersión. *Rev. Cubana Farm.* 42(3).
- LÓPEZ O., (2010), Microencapsulación de sustancias oleosas mediante secado por aspersión. *Revista Cubana de Farmacia*, 44(3):381-389.
- López-Puc, G., Ramirez-Sucre. M. O., y Rodriguez-Buenfil I. M., (2020). Capsaicinoides en chile habanero (*Capsicum chinense* J.) y factores que afectan su producción. (capitulo de libro). 95-116
- LUNA G. J. J., López F. J. M., Jiménez G. O y Luna G. L., (2016). Microencapsulación de algunos compuestos bioactivos mediante secado por aspersión. *Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias.* 5(10):39-49.
- MACDOUGALL D. B., (2002). Colour in food: improving quality. CRC Press Boca Ratón, FL, USA.
- MASTERS K. (1985). Spray drying. George Godwin. London, pp. 684.
- MEJÍA Y. F. M., (2013). Aislamiento y caracterización fisicoquímico de la Capsaicina de tres variedades de Ají. Tesis de grado. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Quito, Ecuador.
- MESA-VANEGAS, A. M.; Zapata-Uribe, S.; Arana, L. M.; Zapata, I. C.; Monsalve, Z. y Rojano, B., (2015). Actividad antioxidante de extractos de diferente polaridad de *Ageratum conyzoides* L., *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas.* 14(1): 1-10.
- MEZA V. E. M., (2015), Evaluación de densidades de siembra y programas de fertilización en chile chocolate (*capsicum annum var. Acuminatum fingerth*). Tesis de grado de licenciatura, Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas, Escuintla, Guatemala.
- MOO-HUCHIN V. M., Vargas MA. L V., Tamayo-Cortez J. A., López-Sauri D. A., Sauri-Duch E., Ortiz-Fernández A., Can-Cauich C. A., y Betancur-Ancona D., (2019), Solvent Extraction and Measurement of Antioxidant Activity and Total Phenolic Content from

Capsicum chinense Jacq. Cv Habanero at Different Maturity Stages, *Chiang Mai J. Sci.*, 46(4): 661-671

- MOON J. y Shibamoto T., (2009), Antioxidant assays for plant and food components. *J Agric Food Chem.*, 57: 1655 - 1666.
- MORALES J., Medina M., Andrade E., Guzmán S. y Hernández D., (2010), Evaluación de los efectos del secado por aspersión sobre los compuestos fitoquímicos-funcionales y características fisicoquímicas en encapsulados de zarzamora (*Rubus* spp.). XI Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Guadalajara. México.
- MURAT O. y Onur D., (2000) Analysis of color development during roasting of hazelnuts using response surface methodology. *Journal of Food Engineering*, 45(1):17-24.
- MURGA, R. y Gilda, E., 2014. Estudio del secado por atomización de la pulpa de Guayaba (*Psidium guajaval.*) del ecotipo rosado. [en línea]. Universidad Agraria de la Selva, Perú. [Consulta: 22 de Enero 2022] Disponible en: <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/313>.
- NALAWADE P. B. y Gajjar A. K., (2016), Microencapsulation of lutein extracted from marigold flowers (*Tagetes erecta L.*) using full factorial design (en línea). *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 33:75-87.
- NEDOVIC V., Kalisevic A., Manojlovic V., Levic S. y Bugarski B., (2011), An overview of encapsulation technologies for food applications. *Procedia Food Science*, 1:1816-1815.
- NÚÑEZ B. A. Y., (2019), Compuestos bioactivos y aromáticos de harina de lúcuma obtenido mediante secado en cabina y atomización. Tesis de maestría Universidad Nacional Agraria, la Molina, Escuela de Posgrado. Lima, Perú.
- OLGUÍN R. J. A., (2019). Microencapsulación de extractos de chile habanero (*Capsicum chinense*) empleando secado por aspersión y CO₂ supercrítico. Tesis de doctorado. Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico de Veracruz. Universidad de Cádiz. Veracruz, Veracruz, México.
- OLGUÍN-ROJAS J.A., Morales-Guillermo M.; Contreras Escobar J.; Ramirez-Velazquez M.; Torres-Cadena J.; Garcia-Alvarado M. A.; Rodríguez-Jimenez G.C., (2017), Secado por aspersión de extractos de chile habanero empleando goma arábiga

como material de soporte. *Avances de la ciencia en México*. Centro de investigación en óptica (pp.3424-3432)

- ORNA J., (2012), Estandarización del diseño de secaderos por aspersión de materiales pastosos (tesis de grado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- ORNELAS-PAZ J., Martínez-Burrola M. J. M., Ruíz-Cruz S., Santana-Rodríguez V., Ibarra-Junquera V., Olivás I. G., Pérez-Martínez J. D., (2010), Effect of cooking on the capsaicinoids and phenolics contents of Mexican peppers, *Food Chemistry*, 119:1619–1625.
- OROZCO A. C., Osorio R., Guillermo M. G., Romo I. N. T., y Serratos C. I., (2006), Revista de Ciencia y Desarrollo. Secado de alimentos por aspersión. http://www.conacyt.gob.mx/comunicacion/revista/192/articulos/alimentos_secado.html
- PALACIOS L. M. C., (2020), Secado por aspersión de mieles de caña como base para la obtención de productos instantáneos de panela, Tesis para obtener el título de Doctorado, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- PARRA R. (2011) Microencapsulación de alimentos. Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín,63(2):5669 5684
- PATEL, K. C., & Chen, X. D. (2007). Production of spherical and uniform-sized particles using a laboratory ink-jet spray dryer. *Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering*. 2, 415-430.
- PÉREZ C., L. M., Castañón Nájera, G., & Mayek P. N. (2008). Diversidad morfológica de chiles (*Capsicum* spp.) de Tabasco, México. Cuadernos de biodiversidad, n° 27 (septiembre 2008); pp. 11-22.
- PÉREZ-NÁJERA V. C., Lugo-Cervantes E.C., Gutiérrez-Lomelí M. y Del-Toro-Sánchez C.L. (2013). Extracción de compuestos fenólicos de la cáscara de lima (*Citrus limetta* Risso) y determinación de su actividad antioxidante, *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud*, 15(3), 18-22.
- PORRAS-SAAVEDRA J; Palacios-González E; Lartundo-Rojas, I; Garibay-Febles V; Yáñez-Fernández J., Hernández-Sánchez H., Gutiérrez-López G., y Alamilla-Beltrán L.,

- (2015). Microstructural properties and distribution of components in microparticles obtained by spray-drying. *Journal of Food Engineering*, 152:105-112.
- POZO C., O., S. Montes H. y E. Redondo J., (1991), Chile (*Capsicum* spp.) En: R. Ortega P., G. Palomino H., F. Castillo G., V. A. González H. y M. Livera M. (Eds.). Avances en el Estudio de los Recursos Fitogenéticos en México. SOMEFI. Chapingo, Méx. pp: 217-238.
 - QUINTERO R. N. A., (2015), Efecto del secado y almacenamiento en la calidad de geles pécticos deshidratados de rosa mosqueta (*Rosa Rubiginosa* L). Tesis de doctorado. Universidad Nacional de La Plata. La Plata Argentina.
 - RAY, S., Raychaudhuri, U. Y Chakraborty, R. (2016). An overview of encapsulation of active compounds used in food products by drying technology. *Food Bioscience*, 13, 76-83.
 - REYES G. J. (2011). Rendimiento de chile húngaro (*Capsicum annuum* L). en mezclas de vermicompost y arena en casa sombra. Tesis de grado. Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” Unidad Laguna. Torreón, Coahuila, México.
 - RINCÓN A. A. L. (2017). Cuantificación de la capacidad antioxidante en pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) fresco y deshidratado por liofilización. Tesis de grado. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
 - RIOS-AGUIRRE, S., y Gil-Garzón, M. A. (2021). Microencapsulación por secado por aspersión de compuestos bioactivos en diversas matrices: una revisión. *TecnoLógicas*, 24(51), e1836.
 - ROCHA-PARRA D. F., Lanari M. C., Zamora M.C., y Chirife, J. (2016). Influence of storage conditions on phenolic compounds stability, antioxidant capacity and colour of freeze-dried encapsulated red wine. *LWT - Food Science and Technology* 70:162-170.
 - ROY J. C., Giraud S., Ferri A., Mossotti R., Guan J., y Salaün F., (2018), Influence of process parameters on microcapsule formation from chitosan —Type B gelatin complex coacervates. *Carbohydrate Polymers*. 198:281-293.
 - SAIKIA S., Mahnot N. K. y Mahanta C. L., (2015). Optimization of phenolic extraction from *Averrhoa carambola* pomace by response surface methodology and its microencapsulation by spray and freeze drying. *Food Chemistry*., 171:144-152.

- SALAZAR M. J. F., y Yunga Y. E. A., (2019), Ingeniería a detalle para una planta de secado por atomización de pulpa de frutas, Tesis para obtener el título de Ingeniería, Universidad Central de Ecuador, Quito, Ecuador.
- SANSONE F., Mencherini T., Picerno P., D'amore M., Aquino y Lauro M. R., (2011), Maltodextrin/pectin microparticles by spray drying as carrier for nutraceutical extracts. *Journal of Food Engineering*. 105: 468 – 476.
- SANTIAGO S. F. J. (2018). Secado de jugo de jitomate por aspersión con coadyuvantes y antioxidantes naturales para mejorar la retención de compuestos bioactivos. (Tesis de maestría). Universidad Tecnológica de la Mixteca. Huajuapán de León, Oaxaca, México.
- SHAFIUR R. y Conrad O. P., (2003) manual de conservación de los alimentos. Editorial Acribia
- SHAHIDI F. y Ambigaipalan P. (2015), Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects, *Functional Foods*., 18:820-897.
- SHAHIDI, F. y And X. Han. (1993). Encapsulation of food ingredients. *Critical Reviews in Food Science and Human nutrition*. 33:67-103.
- SOUSA, A. S. D., Borges, S. V., Magalhaes, N. F., Ricardo, H. V., & Azevedo, A. D. (2008). Spray-dried tomato powder: reconstitution properties and colour. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 51(4):607-614.
- TAMARA DÍAZ L. T., Cardona G. M., Caballero T. Á., Morejón M. P., Sánchez A. Y., (2005), Caracterización de la conservación de alimentos en diferentes instalaciones. Revista CENIC. *Ciencias Biológicas*, 36.
- TOJIN J., (1984). Caracterización de 25 cultivares de chile (*Capsicum* spp.) del sur-oriente de la República de Guatemala. Tesis de Ing. Agr. Guatemala. Universidad de San Carlos. Facultad de Agronomía. 134p
- TONON R. V., Brabet C., y Hubinger M. D., 2009. Influencia da temperatura do ar de secagem e da concentração de agente carreador sobre as propriedades físico-químicas do suco de açaí em pó (en línea). *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 29(2):444-450.

- TOROSI BAUDINO F. D., (2007), Una experiencia sencilla con fundamentos complejos: la separación de pigmentos fotosintéticos mediante cromatografía sobre papel, *Anales Química*, 103(4), 45-51.
- TORRENEGRA-ALARCÓN M., Granados-Conde C. Y León-Mendez G. (2019), Actividad antioxidante del extracto etanólico de *Capsicum frutescens* L. *Bistua:Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*. 17(2). 102-111
- VALGAS L., (2007). Influencia de las variables de procesamiento sobre las propiedades eléctricas de varistores de SnO₂ atomizados vía "spray dryer". Tesis de Doctorado, Universidad Federal de Paraná, Curitiba. Ciudad de México, México.
- VÁZQUEZ V. A. L., (2016). "Diseño de un producto base en polvo para la elaboración de bebidas reconstruidas". Tesis de grado. Instituto Politécnico Nacional. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas.
- VICENTE M. P., (2019), Determinación de capacidad antioxidante y fenoles totales en frutos de *Vitis vinifera* L. "vid", del valle de cañete. (Tesis). Huacho, Perú. Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión. Pp: 110.
- ZUIDAM, N. J., y Heinrich, E. (2010). Encapsulation of aroma. In Encapsulation technologies for active food ingredients and food processing (pp. 127-160). Springer New York.

ANEXO FOTOGRAFICO

- a) Carta de color de los cuatro estados de madurez de *C. annuum* var. *Acuminatum Fingerth* evaluados en el presente.



Estado Rojo

Estado Naranja

Estado Amarillo-
Naranja

Estado verde

- b) Obtención de extractos de chile a partir de su estado fresco



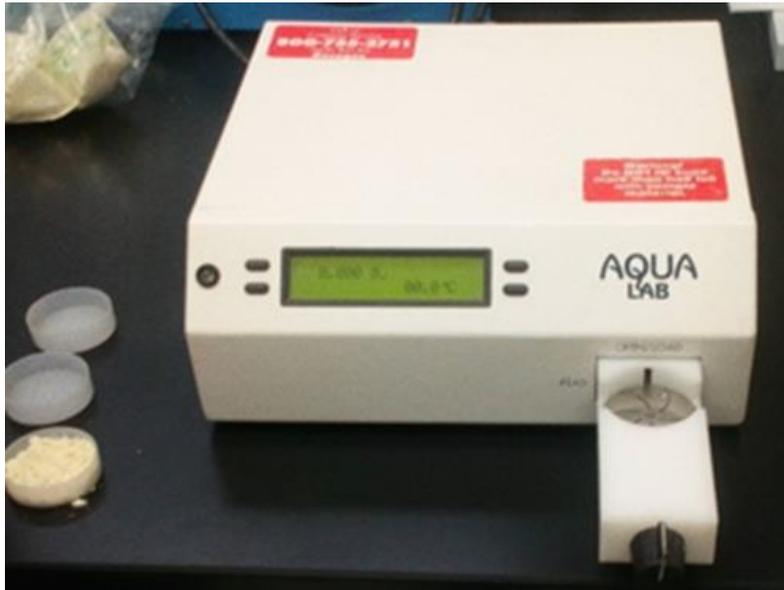
c) Colorimetría de los extractos de *C. annuum* var. *Acuminatum* Fingerth



d) Colorímetro marca MINOLTA modelo CR-300



e) Higrómetro de punto de rocío AquaLab para medir aw.



f) Equipo de secado por spray marca Büchi modelo B-290.



g) Proceso de secado por aspersión de *C. annum* var. *Acuminatum* Fingerth.



h) Polvos de los microencapsulados: a) muestra verde b) muestra amarillo-naranja
c) muestra naranja y d) muestra roja

