



INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE HUATUSCO

**EFFECTO DEL SECADO POR ASPERSIÓN EN PROPIEDADES
FISICOQUÍMICAS, DE POLVO DE SÁBILA (*Aloe vera* L.) A
DIFERENTES PORCENTAJES DE MALTODEXTRINA.**

Tesis

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERIA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS.**

**PRESENTA:
DANIEL JIMENEZ AGUILAR.**

**ASESORES:
DR. ADAN CABAL PRIETO.**

DRA. ROSA ISELA CASTILLO ZAMUDIO.

HUATUSCO, VER.

NOVIEMBRE 2019.

Huatusco, Ver., a 18 de Noviembre 2019

C. DANIEL JIMENEZ AGUILAR
PASANTE DE LA CARRERA DE
INGENIERIA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS
P R E S E N T E.

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

"Efecto del secado por aspersión en propiedades fisicoquímicas, de polvo de sábila (Aloe vera L.) a diferentes porcentajes de malto-dextrina"

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

ATENTAMENTE.

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

SEP

SEV

INSTITUTO TECNOLÓGICO
SUPERIOR DE HUATUSCO
CLAVE 3061100132
DIRECCION GENERAL

Av. 28 de Febrero s/n. 2da. Edif. - Avenida Tecnológica
Huatusco, Veracruz, Veracruz, S.L.R. 94300

Tel. y fax: 01-229-4444444 y 01-229-4444444
www.estructuras.edu.mx



DEDICATORIA

Esta dedicación va dirigida a toda aquella persona que ha contribuido ayudándome, apoyándome en cada momento difícil y lleno de obstáculos durante mi formación profesional. A quien me ha dirigido correctamente por el camino de esta vida.

Gracias.

AGRADECIMIENTOS

A Mis Padres:

Luisa Aguilar Rosas y Mario Jiménez Viveros

Por su apoyo brindado durante todo este tiempo, porque sin ellos no hubiera empezado lo que hoy se está culminando.

A Mis Asesores:

Al Profesor Adán Cabal Prieto:

Por la motivación en la realización de este proyecto y por todas su enseñanzas durante todo este proceso.

A la Dra. Rosa Isela Castillo Zamudio:

Por su apoyo en la realización del proyecto de investigación, así como las facilidades brindadas.

Al Instituto Tecnológico Superior De Huatusco:

Por el tiempo en que se me brindo educación y enseñanza.

Al Colegio De Postgraduados Campus Veracruz:

Por permitirme realizar la presente investigación en sus instalaciones, por el apoyo y facilidades otorgadas.

Al Dr. Marco Antonio Arévalo Meza y Rocío Jiménez Romero

Por todo el apoyo, consejos y motivación durante este proceso.

A Denise Osorio Peña.

Por ser mi compañera y amiga en este transcurso difícil, por las aventuras y los momentos divertidos que hicieron de este trayecto más ameno.

A mis amigos:

Ana Patricia Madrid Báez, Dulce Yedith Pichardo García, José Luis Sosol Espejo.

Por ser mis compañeros y amigos en este viaje por los momentos divertidos y difíciles durante estos años. Por todo el apoyo ofrecido y consejos brindados.

RESUMEN

La sábila (*Aloe vera* L) es una planta que desde tiempos remotos ha sido utilizada para uso medicinal y cosmético. En la actualidad es de gran interés para la industria alimentaria, cosmética y farmacéutica debido a su composición química; la cual se le atribuye un efecto benéfico sobre la salud humana. El uso potencial que se le da a este cultivo en la obtención de productos a base de sábila implica el uso de procesos inadecuados, causando modificaciones irreversibles en los componentes bioactivos de la planta, teniendo como objeto de estudio el extracto de sábila (*Aloe vera* L).

En la realización de esta investigación se utilizó el método secado por aspersión a diferentes porcentajes de maltodextrina como material de protección (5%, 10%, 15% y 20%) para evitar la pérdida de dichos elementos en el proceso, a una temperatura de entrada de 250°C y temperatura de salida de 80°C utilizando una presión de aire de 26 kg/cm²; en donde el objetivo principal es la transformación de una solución líquida a baja temperatura de manera rápida en una partícula sólida (polvo) mediante un medio de secado caliente. Es por ello que se evaluó el efecto del secado por aspersión sobre las variables fisicoquímicas (A_w , color, humedad y rendimiento) del polvo obtenido en este procedimiento.

Los resultados mostraron lo siguiente: En actividad de agua los resultados no manifestaron diferencias significativas en los diferentes porcentajes de maltodextrina manteniéndose debajo de .500 A_w . En atributos de color las muestras mantuvieron un color blanco en todos los tratamientos. Los porcentajes de humedad en los tratamientos con menor proporción de maltodextrina muestran un mayor contenido de humedad mientras que los de mayor porcentaje de maltodextrina muestran un contenido menor, exhibiendo una relación inversa. En rendimiento se obtiene mayor producto recuperado a porcentajes de (5% y 10%) de maltodextrina mientras que a porcentajes mayores de (15%, 20%) lo recuperado es menor debido a la deposición en el secador.

ABSTRACT

Aloe vera (*Aloe vera L*) is a plant that since ancient times has been used for medicinal and cosmetic use. At present it is of great interest for the food, cosmetic and pharmaceutical industry due to its chemical composition; which is attributed a beneficial effect on human health. The potential use of this crop in obtaining products based on aloe vera involves the use of inappropriate processes, causing irreversible changes in the bioactive components of the plant, with the object of study being aloe extract (*aloe vera L*).

in the conduct of this investigation, the spray-dried method at different percentages of maltodextrin was used as a protective material (5%, 10%, 15% and 20%) to prevent the loss of said elements in the process, at a temperature of 250 ° C inlet and 80 ° C outlet temperature using an air pressure of 26 kg / cm²; where the main objective is the transformation of a liquid solution at low temperature quickly into a solid particle (powder) by means of a hot drying medium. that is why the effect of spray drying on the physicochemical variables (aw, color, humidity and yield) of the powder obtained in this procedure was evaluated.

The results showed the following: in water activity the results did not show significant differences in the different percentages of maltodextrin staying below .500 aw. In color attributes the samples maintained a white color in all treatments. Moisture percentages in treatments with a lower proportion of maltodextrin show higher moisture content while those with a higher percentage of maltodextrin show a lower content, exhibiting an inverse relationship. In yield, a higher recovered product is obtained at percentages of (5% and 10%) of maltodextrin while at percentages greater than (15%, 20%) the recovered is lower due to deposition in the dryer.

INDICE

DEDICATORIA	2
INDICE	4
ÍNDICE DE FIGURAS.....	6
INDICE DE TABLAS	8
INTRODUCCIÓN	9
ANTECEDENTES.....	10
MARCO TEORICO	12
Generalidades de la sábila (Aloe vera).....	12
Estructura de la sábila (Aloe vera).	12
Rasgos del cultivo.	14
Industrialización y comercialización de la sábila (Aloe vera L).	14
Composición química.	15
Compuestos bioactivos de interés presentes en sábila (Aloe vera L).	18
Polisacáridos.	18
Compuestos Fenólicos.	19
Método Folin- Ciocalteu.....	20
Antioxidantes.....	21
Capacidad antioxidante.....	22
Método ABTS (azinobis 3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfónico).	23
Método DPPH (Difenil Picril Hidrazilo).....	23

Vitaminas.	24
Minerales.	24
Secado por aspersión.	25
Atomización.	26
Principio de la atomización	26
Clasificación de los atomizadores.	27
Contacto de aire de pulverización	29
Evaporación de la humedad	31
Separación de las partículas.	33
Material de soporte.	34
Maltodextrina.	35
Actividad de agua.	35
Color.	36
Humedad.	37
JUSTIFICACIÓN Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	38
OBJETIVOS	40
General.	40
Específicos.	40
HIPÓTESIS.	41
MATERIALES Y METODOS	42
Obtención de la materia prima.	43
Secado por aspersión.	44
Determinación de actividad de agua (Aw).	44

Determinación de color.....	45
Determinación de humedad.	46
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	48
Determinación de actividad de agua (Aw)	48
Determinación de color.....	49
Determinación de humedad.	50
Rendimiento.....	51
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	53
LITERATURA CITADA	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Hoja madura de sábila (Aloe vera L).....	12
Figura 2 Estructura de la hoja de sábila (Aloe vera L).....	13
Figura 3 Principio de la atomización. (Anandharamakrishnan & Padma Ishwarya, 2015).....	26
Figura 4 Atomizador rotativo (Marca Niro).	27
Figura 5 Boquilla de presión (o hidráulica). (Anandharamakrishnan & Padma Ishwarya, 2015) ..	27
Figura 6 Boquilla de dos fluidos.....	28
Figura 7 Atomizador electrohidrodinámico. (Anandharamakrishnan & Padma Ishwarya, 2015). 29	
Figura 8 Tipos de flujo de aire en un secador de pulverización (a) Flujo corriente paralela (b) flujo contracorriente (c) flujo mixto. (Aundhia, y otros, 2011).....	30
Figura 9 (a) Variación de la humedad con el tiempo. (b) Evolución de la temperatura de la gota durante el secado. (Mondragón et al, 2013).....	32
Figura 10 Morfología de la gota en el secado por aspersión. (Esquivel González et al, 2015)....	33
Figura 11 Separación de partículas en el ciclón. (Esquivel González et al, 2015).....	34
Figura 12 Escala CIEL*a*b*. (Lucas A et al, 2011).....	36
Figura 13 Diagrama de flujo el proceso de obtención de polvo de sábila.	41
Figura 14 Secador APV por atomización marca anhydro.....	43
Figura 15 Higrómetro marca AquaLab.	44
Figura 16 Balanza analítica marca Santorius modelo M-power.....	45
Figura 17 Estufa de vacío marca Yamato modelo Vacuum Drying Oven ADP300C.	46
Figura 18 Comportamiento de actividad de agua.	48
Figura 19 Comportamiento en el color para ΔE , °Hue, Croma.....	49
Figura 20 Grafica de barras porcentaje de humedad por cada tratamiento.....	50
Figura 21 Grafica de barras rendimiento del producto.	51

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Producción de sábila en México durante el año 2005 datos reportados por el (CIMMYT) Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. (Álvarez Moreno, 2007)	14
Tabla 2 Componentes químicos presentes en la planta Aloe vera. (Hamman, 2008)...	15
Tabla 3 Composición del azúcar de los componentes de la pulpa de A. vera L., etanol precipitado de gel líquido, micropartículas y pared celular por FACE (Fluorophore-assisted carbohydrate electrophoresis) análisis (% de azúcares totales detectados). (Yates, Tizard, Ni, & Turner, 2004)	18
Tabla 4 Elementos de trazas presentes en cenizas de Aloe vera gel (mg/2g). (Rajasekaran, Sivagnanam, & Subramanian, 2005)	24
Tabla 5 Tratamientos y variables estudiadas.	41
Tabla 6 Resultados actividad de agua.	46
Tabla 7 Resultados de color obtenidos ΔE , °Hue, Croma.	47
Tabla 8 Resultados de humedad por cada tratamiento.	48
Tabla 9 Porcentaje de maltodextrinas por cada tratamiento.	49

INTRODUCCIÓN

La sábila (*Aloe vera* L), es una planta suculenta y perenne originaria de las zonas áridas y semiáridas en donde se le puede encontrar en estado silvestre, esta planta en los últimos años ha tomado gran importancia y despertado un enorme interés para quienes conocen sus efectos curativos.

Dentro de la industria del Aloe vera, la porción más valiosa de esta que se toma en cuenta es lo denominado “gel” el cual contiene toda una amplia gama de compuestos indispensables para la elaboración de diferentes productos benéficos para el hombre, ha adquirido gran valor comercial en los últimos años debido al amplio uso que tiene en la elaboración de productos medicinales, alimenticios y cosmetológicos, lo cual ha provocado una gran demanda convirtiéndose en un cultivo con grandes perspectivas para su comercialización.

Una de las problemáticas encontradas fue la perdida de los componentes bioactivos al usar procesos inadecuados en la obtención de producto así como una mala manipulación en la obtención del gel.

En el desarrollo de este proyecto se usó el secado por aspersión como un método no agresivo para la obtención de polvo de sábila a partir del concentrado de la misma preservando el material biológico.

El proceso de secado por atomización es capaz de transformar una disolución, una emulsión, una suspensión o una dispersión líquida en un producto totalmente seco y estable. Inicialmente, el líquido se introduce en el equipo por medio de una bomba y se atomiza, a continuación se elimina el disolvente por medio de una corriente de aire caliente, y como paso final los equipos utilizados en la industria presentan compartimentos de deposición de estas partículas para que al final sean recogidos en un vaso o recipiente cerrado. Los bajos tiempos de residencia que se emplean y el efecto refrigerador debido a la evaporación, posibilita trabajar eficazmente con productos sensibles a la temperatura.

ANTECEDENTES.

Nejatzadeh Barandozi. (2013) identifico y cuantifico varios ácidos fenólicos / polifenoles, fitoesteroles, ácidos grasos, índoles, alcanos, pirimidinas, alcaloides, ácidos orgánicos, aldehídos, ácidos dicarboxílicos, cetonas y alcoholes. Menciona que debido a la presencia de los polifenoles antioxidantes, índoles, y alcaloides, el gel de hoja de *A. vera* muestra capacidad antioxidante confirmada por los análisis de ORAC y FRAP. Ambos métodos analíticos utilizados muestran que los polifenoles no flavonoides contribuyen a la mayoría del contenido total de polifenoles. Se usaron tres solventes diferentes, como el acuoso, el etanol y la acetona para extraer el compuesto bioactivo de las hojas de *A. vera* para cribar la actividad antibacteriana seleccionados patógenos clínicos humanos por agar método de difusión. Las actividades antibacterianas máximas se observaron en extractos de acetona ($12 \pm 0,45$, $20 \pm 0,35$, $20 \pm 0,57$ y $15 \pm 0,38$ nm) distintos de los extractos acuosos y etanólicos. Concluye que de acuerdo a su composición fitoquímica, el gel de hoja de *A. vera* puede ser prometedor para aliviar los síntomas asociado con/o prevención de enfermedades cardiovasculares, cáncer, neurodegeneración y diabetes.

García *et al.* (2015) en este estudio demostraron que el gel de *Aloe vera* (sin coadyuvante de secado) se puede secar por atomización usando una temperatura del aire de secado de entrada mayor o igual a 200°C y a una temperatura entre 70°C -90°C el aire de secado de salida, en una disposición tipo fuente. Clasificaron en grupos de temperatura de secado alta o baja de acuerdo a los cambios en los valores de las propiedades M, aw y Tg de los polvos obtenido y evaluado a través de la función de densidad de distribución normal. Utilizaron el modelo de Gordon-Taylor y la ecuación de GAB para identificar los efectos de la temperatura de aire de secado en las propiedades físicas del material deshidratado así como para categorizar si la temperatura de secado de pulverización es baja o alta. Sin embargo no evaluaron los efectos en las propiedades químicas.

Krokida, Pappa, & Agaloti. (2011) estudiaron el efecto del secado convencional para la preservación de las sustancias funcionales del *Aloe vera*. Las diferenciaciones de secado sobre los polisacáridos, los componentes esenciales del gel, se examinaron mediante Espectrometría de Resonancia Magnética Nuclear (RMN) y Espectroscopia Infrarroja Transformada de Fourier (FT-IR). Las concentraciones de los constituyentes inorgánicos

como K, Na, Ca, Mg se determinaron mediante espectrometría de absorción atómica, Fe, Mn, Cu, Zn, Mb, Cr, Cd se determinaron mediante espectrometría de emisión atómica de plasma acoplado inductivamente (ICP / AES) y el contenido de P fue determinado por espectrometría visible, antes y después del secado. Se recogió gel de la parte interna de la hoja de aloe y liofilizado. Como resultado de su investigación encontraron que la concentración de polisacáridos se vio afectada significativamente por el proceso de secado, la concentración de minerales se mantuvo constante. Debido a que el gel de aloe contiene una cantidad significativa de componentes orgánicos, así como minerales recomiendan que para la conservación y el uso posterior de estas sustancias se puede lograr mediante el secado del gel de *Aloe vera*. Sin embargo, el proceso de secado causa un esparcimiento parcial de las moléculas orgánicas y la degradación del polvo generado de *Aloe vera*.

Chávez et al. (2016) el objetivo de su trabajo fue incrementar el rendimiento, reducir la deposición en la pared del secador y mejorar los atributos de calidad en el secado por aspersión de jugo de agave azul. El incremento en el rendimiento total de polvo se obtuvo cuando se hicieron cambios en la temperatura de salida, velocidad de aspersión y flujo de aire. La reducción máxima de la deposición y el mejor rendimiento fueron encontrados a temperatura de entrada de 198 °C y temperatura de salida de 80 °C, con un de flujo de aire de 720 m³h⁻¹ y con una velocidad de aspersión de 30,000 rpm.

Zhang, Zheng, Tang. (2018) evaluaron la influencia del secado por aspersión sobre las cualidades del polvo y microestructuras de xilooligosacáridos prebióticos (XOS) provenientes de granos de maíz, los resultados obtenidos mostraron que la retención de (XOS), retención de actividad antioxidante, contenido de humedad, temperatura de transición vítrea (Tg), rendimiento de secado, higroscopicidad, área superficial específica y atributos de color fueron afectados significativamente por la temperatura de aire de entrada y concentración de maltodextrina ($p < 0.05$).

MARCO TEORICO

Generalidades de la sábila (*Aloe vera*).

La sábila es una planta originaria de Arabia y noroeste de África, cuyos lazos con la humanidad datan de hace mucho tiempo. Su nombre común sábila, procede de la voz árabe " sabaira " que significa " amargo " y el género científico Aloe proviene de otra palabra árabe " Alloeh" que significa " sustancia brillante amargosa ". El acíbar, es decir, el jugo que se obtiene de las hojas de la sábila es uno de los medicamentos más antiguos conocidos por el hombre. Las primeras referencias de la sábila (*Aloe vera*) se encuentran en los Papiros de Ebers y existen numerosos documentos históricos de los egipcios, griegos, romanos, algerianos, árabes, tunecinos, indios y chinos, entre otros, que hablan de su empleo para uso medicinal y cosmético. (Schweizer, 1995) Domínguez Fernández et al. (2012)

En el Continente Americano, la introducción de la sábila fue realizada por Cristóbal Colón, quien la traía como parte de los " remedios " del botiquín de abordó. En nuestro país fueron los conquistadores españoles quienes trajeron la sábila, estableciéndola en los cascos de las haciendas de donde se propagó, algunas veces inducida por el hombre y otras escapadas al cultivo, a grado tal, que con el tiempo, llegó a naturalizarse en diferentes regiones del país.

La sábila (*Aloe vera*) es una planta con alrededor de 360 especies diferentes, pertenece a la familia de las asfodeláceas o liláceas, del genero Aloe y entre las cuales destaca la sábila (*Aloe vera* (L) Burm.) En México las especies cultivadas más frecuentes son: Aloe vera y A. ferox. (Reynolds, 2005)

Estructura de la sábila (*Aloe vera*).

La planta de esta especie son herbáceas, de tallo corto, perennes, con aspecto rosetado (rosetas basales), de color verde grisáceo que presenta manchas rojizas por la exposición prolongada al sol. Las hojas crecen alrededor del tallo a nivel del suelo, desde el centro hacia arriba crece el tallo que al florecer forma densos racimos de flores tubulares amarillas o rojas. Las hojas tienen formas lanceoladas y dentadas con pinchos que le sirven de protección a la planta (Fig. 1).

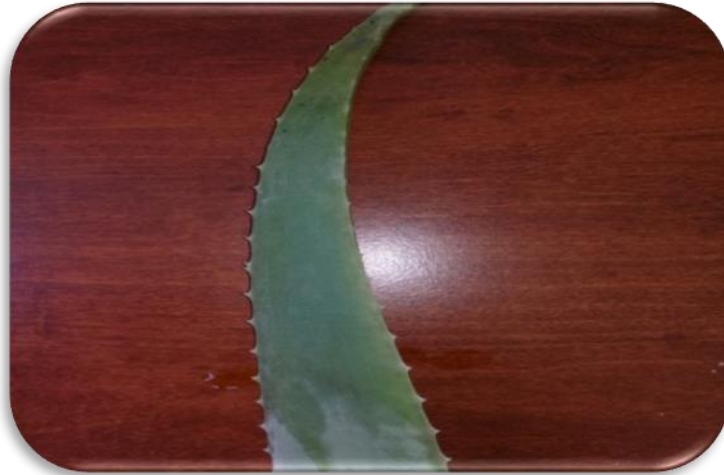


Figura 1 Hoja madura de sábila (*Aloe vera* L)

Fuente propia.

La estructura de las hojas está formada por el exocarpio o corteza, cubierta de una cutícula delgada y representa del 20% al 30% del peso total de la planta y es de color verde. El parénquima, conocido también como pulpa o gel es una masa gelatinosa e incolora se localiza en la parte central de la hoja y representa del 65% al 80% del peso de toda la planta (Fig. 2).

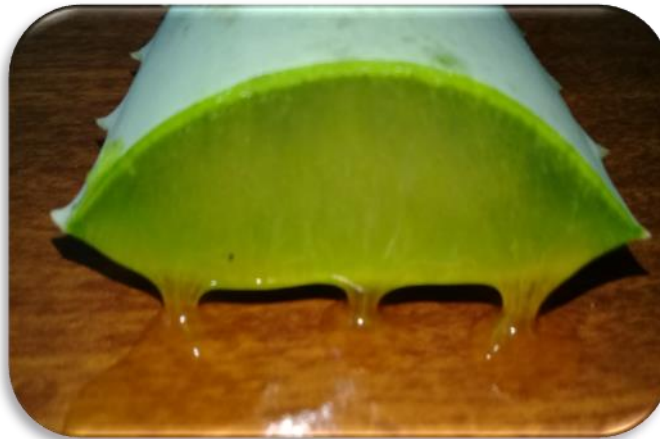


Figura 2 Estructura de la hoja de sábila (*Aloe vera* L)

Fuente propia

Rasgos del cultivo.

Debido a la gran demanda que ha adquirido en los últimos años, la sábila como cultivo se encuentra en crecimiento debido a diversos usos farmacéuticos, alimenticios y cosméticos basados en las propiedades benéficas a la salud humana.

Las características climáticas de nuestro país y la amplia adaptación de la sábila a diferentes condiciones, su cultivo y explotación pueden ser llevadas a cabo, ya sea a través de un establecimiento en condiciones de temporal, o bien como cultivo bajo riego. En las áreas sujetas a la precipitación pluvial, la sábila puede presentar una alternativa para el aprovechamiento de tierras marginales que por sus características presentan limitaciones para otro tipo de cultivo. En terrenos de mejor calidad y con disponibilidad de agua este cultivo puede significar una mayor rentabilidad y una diversificación de la producción de las comunidades donde se establezcan, generalmente se utiliza la reproducción por hijuelos, los cuales pueden ser recolectados de las poblaciones silvestres o provenientes de cultivo de explotación y éstos pueden ser reproducidos en viveros.

Gracias a las condiciones climatológicas de la entidad veracruzana, se logra el cultivo de sábila colocando a Veracruz como productor potencial en comparación con otros estados. El cultivo de sábila se promueve actualmente en la región seca, árida y semiárida de la zona centro de Veracruz, especialmente en los municipios de Comapa, Puente Nacional, Paso de Ovejas, Soledad de Doblado, Paso del Macho, Camarón y Manlio Fabio Altamirano.

Industrialización y comercialización de la sábila (*Aloe vera* L).

La sábila es de gran valor económico a través de grandes plantaciones comerciales y complejos agroindustriales que procesan la hoja de sábila. El valor remunerativo está dado por la alta cotización de los productos derivados de la hoja de sábila (jugo, gel y polvo), lo cual ha generado auténticos emporios empresariales que han impactado el mercado nacional e internacional. En México, a partir de la década de los 70's del siglo pasado, se inició un auge en el cultivo de esta planta.

La mayoría de las industrias de transformación de la sábila realizan el mismo procesamiento y aprovechamiento de la hoja de sábila, los pasos iniciales entre una y otra no difieren, generalmente existe variación para la obtención de productos a base de sábila

debido a la diversidad de productos que se pueden obtener de la misma. (Pedroza et al, 2009)

Los principales países productores de sábila a nivel mundial son Kenia, Nigeria, Sudáfrica, Taiwán, Corea, Malasia y Estados Unidos.

En el ámbito nacional, Tamaulipas ocupa el primer lugar en producción de sábila con 15 mil hectáreas y 15 plantas agroindustriales, este cultivo también predomina en los estados de Yucatán y Veracruz, sus formas principales de comercialización son la venta por hijuelo, hoja, gel o jugo (preindustrializado) y solo esporádicamente realizando el proceso en otras agroempresas fuera de la región, se produce polvo.

Según datos reportados por el (CIMMYT) Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo en el 2007 véase tabla 1, el 95% de la producción de hoja de sábila producida en México durante 2005, provino de 4 estados: Tamaulipas contribuyó con el 70% del volumen, Yucatán con el 16.5%, San Luis Potosí con el 8.4% y Veracruz 2.0%. (Álvarez Moreno, 2007)

Estado	Superficie (ha)	%	Producción (ton)	Rendimiento (ton/ha)
Tamaulipas	4 216	70.0	44 751	14.65
Yucatán	989	16.5	8 341	33.36
San Luis Potosí	509	8.4	10 612	40.65
Veracruz	120	2.0	360	12.00
Puebla	99	1.6	2 640	120.00
Morelos	83	1.4	4 037	48.46
Zacatecas	8	0.1	21	4.20
Nacional	6 024	100.0	70 762	19.10

Tabla 1 Producción de sábila en México durante el año 2005 datos reportados por el (CIMMYT) Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. (Álvarez Moreno, 2007)

Composición química.

Algunos autores reportan que la planta de *Aloe vera* está constituida por una mezcla compleja de compuestos como se muestra en la tabla 2 (Hamman, 2008).

Clase	Componente
Antraquinona/antrona	Aloe-emodina, ácido aloetico, antranol, aloína A and B (conocido comúnmente como barbaloina), isobarbaloina, emodina, éster de ácido cinámico.
Carbohidratos	Manano, manano acetilado, glucomanano acetilado, glucogalactomanano, galactano, galactogalacturano, arabinogalactano, galactoglucoarabinomanano, sustancia péctica, xilano, celulosa.
Cromonas	8- <i>C</i> -Glucosyl-(2'- <i>O</i> -cinnamoyl)-7- <i>O</i> -methylaloediol A, 8- <i>C</i> -glucosyl-(<i>S</i>)-aloesol, 8- <i>C</i> -glucosyl-7- <i>O</i> -methyl-(<i>S</i>)-aloesol, 8- <i>C</i> -glucosyl-7- <i>O</i> -methylaloediol, 8- <i>C</i> -glucosyl-noreugenin, isoaloesin D, isorabacromona, neoaloesin A
Enzimas	Fosfatanasa alcalina, amilasa, carboxipeptidasa, catalasa, cyclooxygenasa, cyclooxygenasa, lipasa, oxidasa, fosfoenolpiruvato carboxilasa, superóxido dismutasa.
Minerales	Calcio, cloro, cromo, cobre, hierro, magnesio, manganeso, potasio, fosforo, sodio, zinc.
Lípidos y compuestos orgánicos diversos	Ácido araquidónico, ácido γ -linolénico, esteroides (campestrol, colesterol, β -sitoesterol), triglicéridos, triterpenoides, giberelina, ligninas, potasio sorbato, ácido salicílico, ácido úrico.
Aminoácidos.	Alanina, arginina, ácido aspártico, ácido glutámico, glicina, histidina, hydroxipropilina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, fenilalanina, prolina, treonina, tirosina, valina
Proteínas	Lectinas, sustancias tipo lectina
Sacáridos	Manosa, glucosa, <i>L</i> -ramnosa, aldopentosa
Vitaminas	B1, B2, B6, C, β -caroteno, colina, ácido fólico, α -tocoferol

Tabla 2 Componentes químicos presentes en la planta Aloe vera. (Hamman, 2008)

Químicamente Aloe vera se caracteriza por la presencia de compuestos fenólicos que son clasificados en dos principales grupos: Las cromonas son componentes bioactivos en fuentes naturales, se utilizan como antiinflamatorios y antibióticos. Dentro de ellos podemos encontrar a aloesina, también denominada aloesin A y el aloesin B. (Domínguez Fernández et al, 2012)

Las antraquinonas son compuestos aromáticos polihidroxilados, que constituyen un numeroso grupo de sustancias polifenólicas, dentro de las antraquinonas se encuentran la aloína (Molero, Ettiere, & Vilorio, 2016) también llamada barbaloina, isobarbaloina,

aloemodina, antraceno, antranol, ácido aloético, emodina, aceite etéreo, ácido crisofánico, ácido cinámico y resistonoles. En el *Aloe vera* son uno de sus componentes más efectivos, tienen una amplia gama de funciones. Poseen propiedades laxantes, analgésicas y además tienen propiedades bactericidas y antivíricas. Su combinación hace que tengan un efecto analgésico en el dolor y las quemaduras. (Licoln & Zeiger, 2006)

Aloe vera es rico en mucílagos, se caracterizan por estar formados por ácidos galacturónicos, glucorónicos y unidos a azúcares como glucosa, galactosa y arabinosa. Los polisacáridos son componentes principales del *Aloe barbadensis* Miller (*Aloe vera*), (Zacatecas Ibañez et al, 2016) varios de ellos han sido detectados y aislados desde la pulpa de *Aloe vera*. Estudios han identificado a la manosa como el azúcar más importante presente en el gel de *Aloe vera* mientras que otros estudios han reportado la ausencia de este azúcar, encontrando a su vez a las sustancias pépticas como el mayor componente (Yates, Tizard, Ni, & Turner, 2004), (Simoes et al, 2012).

Las pectinas forman un grupo complejo de polisacáridos, que están constituidas de ácido galacturónico unidas por enlaces (1Æ4). Las discrepancias señaladas se deben principalmente a los diferentes lugares geográficos en donde se desarrolla la planta de *Aloe vera*.

Contiene algunas vitaminas hidrosolubles como: tiamina (B1), riboflavina (B2), niacina (B3), ácido fólico y ácido ascórbico (C); y entre las liposolubles las vitaminas A y E. En cuanto a la presencia de minerales en *Aloe vera*, han sido identificados: calcio, fósforo, potasio, hierro, sodio, magnesio, manganeso, cobre, cromo, zinc.

El *Aloe vera* contiene alrededor de 17 aminoácidos, los cuales fueron detectados cuando el extracto de *Aloe vera* a estudiar se encontraba en estado fresco, donde el aminoácido principal es arginina representando un 20% del total de los aminoácidos, además presenta enzimas como la oxidasa, catalasa y amilasa.

El glucomanano es una fibra muy soluble, que posee una excepcional capacidad de captar agua, formando soluciones muy viscosas. (Vega G et al, 2005)

Compuestos bioactivos de interés presentes en sábila (*Aloe vera* L).

Los componentes bioactivos de un alimento son aquellos compuestos químicos que ejercen un efecto benéfico, produciendo una mejora en la salud y reduciendo un riesgo de enfermedad. Estos componentes se encuentran en general en pequeñas cantidades en productos de origen vegetal. Se consideran como componentes bioactivos tanto a nutrientes utilizados en cantidades diferentes, en general superiores, a aquellas con las que se obtiene un efecto nutricional (vitaminas y minerales), como a otros presentes fundamentalmente en plantas (fitoquímicos) que inducen efectos metabólicos derivados de su actividad biológica constatada en modelos de laboratorio y asociada a efectos beneficiosos sobre la salud humana (mejoría de funciones o reducción de riesgo de enfermedad). (Olmedilla & Granado, 2007)

Polisacáridos.

Los polisacáridos constituyen un grupo heterogéneo de polímeros, en el que intervienen más de 10 monosacáridos unidos por distintos enlaces glucosídicos. No producen verdaderas soluciones, sino más bien dispersiones de tamaño coloidal; puros, no tienen color, aroma ni sabor. Se encuentran como cadenas lineales o ramificadas, que a su vez pueden estar integradas por un solo tipo de monosacárido (homopolisacárido) como el almidón y la celulosa o por varios tipos de monosacáridos (heteropolisacárido), como es el caso de la mayoría de las gomas. Sus componentes siempre están unidos regularmente con una secuencia y estructura repetitivas, representando polímeros con un alto grado de ordenación. Estos enlaces pueden darse entre los C1 o C2 y el C2, C3, C4, C5 o C6 del segundo residuo. Un polisacárido ramificado presenta más de dos tipos de enlace en una misma molécula.

Las características del *Aloe vera* dependen, entre otros factores, de la concentración del polímero. (Badui Dergal, 2006.)

Acemanano, un polímero lineal ordenado que consiste sustancialmente en monómeros de manosa acetilados es un polisacárido de almacenamiento presente en el protoplasto del parénquima de *Aloe vera*, y se considera por muchos para ser uno de los ingredientes activos principales de la planta *Aloe vera*. (Femenia, García Condesa, Simal, & Rosello, 2003) (Dominguez Fernandez et al, 2012)

Aparte de acemanosa, la presencia de un número considerable de otros polisacáridos, principalmente polímeros de pared celular, tales como como las pectinas, las hemicelulosas y la celulosa. (Femenia, Garcia Condesa, Simal, & Rosello, 2003)

En la tabla 2. Manosa es claramente un polisacárido soluble presente en el gel líquido y también la base para la viscoelástica del gel líquido. La riqueza de paredes celulares de ácido galacturónico sugiere fuertemente la presencia de alto nivel de sustancia péctica o pectina. Las micropartículas contienen el polisacárido rico en galactosa. Las micropartículas también pueden incluir algunos fragmentos muy pequeños de paredes celulares generados homogeneización, además de las células orgánulos. (Yates, Tizard, Ni, & Turner, 2004) (Chun-hui, Chang-hai, Zhi-liang, & Wang, 2007)

Componente	Gel liquido (etanol precipitado)	Micropartícula	Pared celular
Manosa	62.9	32.2	20.4
Fucosa	0	0	0
Glucosa	13.1	20.6	12.3
Galactosa	1.5	40.2	6.4
Gal A	0.6	2.8	38.4
Otros	21.9	4.2	22.5
Total	100	100	100

Tabla 3 Composición del azúcar de los componentes de la pulpa de A. vera L., etanol precipitado de gel líquido, micropartículas y pared celular por FACE (Fluorophore-assisted carbohydrate electrophoresis) análisis (% de azúcares totales detectados). (Yates, Tizard, Ni, & Turner, 2004)

Compuestos Fenólicos.

Los compuestos fenólicos son un grupo de moléculas bioactivas, constituyen un amplio grupo de sustancias presentes en las plantas como metabolitos secundarios, su estructura química está formada por un anillo aromático unido a uno o más grupos hidroxilo, tienen una estrecha relación con la calidad sensorial de los alimentos de origen vegetal, fresco y procesado. Actualmente es un grupo de gran interés nutricional debido a que intervienen como antioxidantes naturales en los alimentos, por lo que la obtención y preparación de productos con un alto contenido de estos contenidos supone una reducción en la utilización de aditivos antioxidantes pudiendo incluso englobarlos dentro de los alimentos funcionales. Desde el punto de vista nutricional, esta actividad antioxidante se asocia con su papel

protector en las enfermedades cardiovasculares y el cáncer contribuyendo así al mantenimiento de la salud humana. (Porrás Loaiza & Lopez Malo, 2009)

Okamura et al. (1998) aislaron cinco nuevos componentes de cromona del gel de hojas de Aloe vera estableciendo sus estructuras como 8-C-glucosyl-noreugenina, 4-O- glucosyl-isoaloesin DI, 4-O-glucosyl-isoaloesin DII, 8-C-Glucosyl-(2-O-cinnamoyl)-7-O-methylaloediol A y 8-C-Glucosyl-(2-O-cinnamoyl)-7-O-methyl-aloediol B mediante estudios espectroscópicos.

La aloína o barbaloina es un antraquinona-C-glucósido presente en Aloe vera. Este compuesto es extremadamente variable entre diferentes especies y depende en gran medida de las condiciones de crecimiento de las plantas. La cuantificación de aloína en diferentes preparaciones de extracción ha sido un problema frecuente debido a la alta inestabilidad del compuesto. (Sanchez Machado et al, 2017) (Dominguez Fernandez et al, 2012)

Okamura, Asai, Hine, & Akira. (1996) desarrollaron un procedimiento para la determinación de aloesina, 2-O-feruloylaloetin, aloerresina A, barbaloina, isobarbaloina, aloenin, aloe-emodina, 8-C-glucosil-7-O-metil-(S)-aloesol, isoaloesin D y aloerresina E componentes fenólicos presentes en el aloe. Este método se aplicó para determinar estos compuestos en *Aloe Barbadensis* Miller, *A. Arborescens* Miller Var. *Natalensis* Berger, *A. Vera* Var. *Chinensis* Berger, *A. Marlothii* Berger y *A. Striata* Haw.

Método Folin- Ciocalteu.

La actividad biológica de los compuestos fenólicos está relacionada con su carácter antioxidante, el cual es debido a su habilidad para secuestrar metales, inhibir la actividad de la enzima lipoxigenasa y actuar como neutralizadores de radicales libres dependerá de la concentración relativa en la matriz muestra. La cantidad de compuestos polifenólicos y tipos presentes en un alimento varía en función de la especie vegetal, variedad y parte vegetal considerada, horas de exposición solar, grado de madurez, condiciones de cultivo, procesado, condiciones de almacenamiento. Actualmente se cree que los compuestos que más contribuyen a la actividad antioxidante de las frutas y verduras son los compuestos fenólicos. (Gokturk Baydar, Ozkan, & Yasar, 2007)

Muchos compuestos polifenólicos tienen un efecto sobre la calidad de los alimentos que los contienen, puesto que son responsables de algunas propiedades sensoriales y cambios de color.

El método Folin-Ciocalteu se utiliza como medida del contenido en compuestos fenólicos totales en productos vegetales. Se basa en que los compuestos fenólicos reaccionan con el reactivo Folin-Ciocalteu, a un pH básico, dando lugar a una coloración azul susceptible de ser determinada espectrofotométricamente a 765 nm. Este reactivo contiene una mezcla de wolfrato sódico y molibdato sódico en ácido fosfórico y reacciona con los compuestos fenólicos presentes en la muestra. El ácido fosfomolibdotungstico (formado por las dos sales en el medio ácido), de color amarillo, al ser reducido por los grupos fenólicos da lugar a un complejo de azul intenso, cuya intensidad es la que medimos para evaluar el contenido de polifenoles. (Garcia Martinez, Fernandez Segovia, & Fuentes Lopez)

Antioxidantes.

Un antioxidante es una sustancia natural o sintética que previene la oxidación o inhibe las reacciones promovidas por el oxígeno o por peróxidos en la matriz en la que se encuentra. Los compuestos con actividad antioxidante se utilizan para limitar la peroxidación lipídica, la cual representa uno de los principales mecanismos de deterioro de los alimentos durante las etapas del proceso y almacenamiento. Se sabe que el estrés oxidativo es causado por aumentando las especies reactivas de oxígeno (ROS) que causan un desequilibrio con antioxidantes naturales que influyen en la muerte celular y los lípidos peroxidación. (Min-Cheol et al, 2014)

Chun-hui, Chang-hai, Zhi-liang, & Wang. (2007) reportan las propiedades antioxidantes dependen del grado de acetilación, el peso molecular, el tipo de azúcares y el enlace glucosídico de los polisacáridos presentes en la sábila; ellos realizaron estudios en la planta de sábila entera así como de sus componentes estructurales (gel y piel) caracterizaron los componentes químicos y evaluaron las actividades antioxidantes de los polisacáridos extraídos del gel y del exocarpio de hojas de la sábila. Encontraron que polisacáridos aislados denominados GAPS-1 (gel) y SAPS-1 (exocarpio) están compuestos de manosa: glucosa: galactosa en proporciones de 120:2:3 y 296:36:1 y con pesos moleculares de 1.74×10^5 y 3.97×10^4 Da, respectivamente. Una fuerte actividad de eliminación del radical

superóxido fue encontrada para los dos polisacáridos extraídos, por otra parte, actividades moderadas de eliminación del radical hidroxilo y de inhibición de peroxidación lipídica fueron encontradas. Por último, concluyeron que el polisacárido extraído del gel tiene una mayor actividad antioxidante que el aislado del exocarpio, y esto puede ser debido a que tiene una mayor concentración de grupos acetilo.

Capacidad antioxidante

La actividad antioxidante es la capacidad de una sustancia para inhibir la degradación oxidativa (por ejemplo, la peroxidación lipídica), de tal manera que un antioxidante actúa, principalmente, gracias a su capacidad para reaccionar con radicales libres y, por lo tanto, recibe el nombre de antioxidante terminador de cadena. Sin embargo, es necesario distinguir también entre actividad estabilizadora de radicales libres o antiradicalaria (en inglés, scavenger) y actividad antioxidante. La primera está determinada completamente por la reactividad de un antioxidante frente a radicales libres, lo cual puede ser caracterizado por la velocidad de esa reacción. Por su parte, la segunda mide la capacidad para retardar la degradación oxidativa.

La determinación de la actividad antioxidante de los alimentos es importante para predecir el potencial antioxidante in vitro de los mismos antes de ser ingeridos; así mismo, nos permite determinar la protección frente a la oxidación y el deterioro del alimento que disminuye su calidad y valor nutricional.

Los métodos de determinación de la actividad antioxidante se basan en distintos sistemas generadores de radicales libres. Dichos radicales reaccionarían con la muestra y en virtud de la capacidad antioxidante de esta se inhibiría la generación de los primeros. Así, lo que se determina realmente es el efecto antioxidante ya que la actividad antioxidante no se puede medir de forma directa. (Agudo Medina, 2010)

La extracción de fluido supercrítico (SFE) se estudió como una tecnología alternativa en la industria farmacéutica para la separación de α -tocoferol del gel y la piel del *Aloe vera* y las hojas de almendra, como resultado *Aloe vera* skin (AVS) es la fuente más rica de α -tocoferol (vitamina E) entre estas materias primas. En general, los resultados indicaron que la extracción supercrítica es confiable y técnica prometedora para la producción en masa de

productos farmacéuticos muy valiosos compuestos anticancerosos tales como a-tocoferol. Además, este método es superior con respecto a la extracción de solvente líquido debido a las ventajas del dióxido de carbono supercrítico en comparación con disolventes líquidos tóxicos. (Bashipour & Ghoreishi, 2014)

Frutas de frambuesa (*Rubus spp.*) se recubrieron con gel de *Aloe vera* y se analizó la capacidad antioxidante, antocianina total, fenol total, actividades enzimáticas antioxidantes y calidad poscosecha, las frutas de frambuesa tratadas con gel de *Aloe vera* mantuvieron niveles más altos de capacidad antioxidante, fenol total, antocianina total y enzimas antioxidantes durante los períodos de almacenamiento. (Hassanpour, 2015)

Método ABTS (azinobis 3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfónico).

Este método se fundamenta en la capacidad de un antioxidante para estabilizar el radical catión coloreado ABTS•⁺, el cual es formado previamente por la oxidación del ABTS (2,2'-azinobis (3-etilbenzotiazolina-6- ácido sulfónico)) por metamioglobina y peróxido de hidrógeno. Los resultados son expresados como equivalentes de Trolox o TEAC (por su nombre en inglés, Trolox Equivalent Antioxidant Capacity).

Entre las ventajas de este método está que los valores de TEAC de una amplia gama de alimentos están reportados lo que permite establecer comparaciones; además de que el ABTS•⁺ es soluble tanto en medio acuoso como orgánico y permite la evaluación de antioxidantes hidrofílicos y lipofílicos. Entre las desventajas están que el ABTS•⁺ debe ser generado previamente, que no es un radical fisiológico y que la cinética de reacción con algunos antioxidantes suele ser bastante lenta y, por lo tanto, el punto final de medición debe fijarse de manera arbitraria. (Londoño Londoño, 2010)

Método DPPH (Difenil Picril Hidrazilo).

El DPPH es uno de los pocos radicales orgánicos estable, presenta una fuerte coloración violeta, es comercialmente disponible y no tiene que ser generado *in situ* como el ABTS•⁺. El ensayo se fundamenta en la medición de la capacidad de un antioxidante para estabilizar el radical DPPH•, esta medición puede hacerse espectrofotométricamente siguiendo el decaimiento de la absorbancia a 517 nm.

Los resultados se suelen expresar como EC₅₀, es decir, la concentración de antioxidante necesaria para estabilizar un 50% del DPPH•. Sin embargo, han surgido otros parámetros como la eficiencia anti-radicalaria (EA) basada en la cinética de la reacción y que involucran, además de la concentración de antioxidante, el tiempo necesario para ejercer su efecto. Entre las ventajas de este método están su simplicidad y el bajo requerimiento instrumental; sin embargo, entre las desventajas están la dificultad de interpretar los resultados cuando se tienen sustancias cuyo espectro de absorción se solapa con el del radical; adicionalmente el DPPH• es un radical estable, centrado en nitrógeno, que dista mucho de parecerse a las especies reactivas de importancia biológica; de hecho muchos antioxidantes que reaccionan rápidamente con radicales peroxilo no lo hacen así con DPPH•, debido al impedimento estérico que representa la estructura química que rodea al radical, lo cual hace que sustancias pequeñas generalmente muestren una mayor actividad. (Londoño Londoño, 2010)

Vitaminas.

Las vitaminas son un amplio grupo de compuestos orgánicos, facilitan el metabolismo de otros nutrimentos y mantienen diversos procesos fisiológicos vitales para todas las células activas, tanto vegetales como animales. Las vitaminas, actúan en el control de diversas reacciones propias del anabolismo y del catabolismo de hidratos de carbono, de proteínas y de grasas, que a su vez generan energía y propician la síntesis de otros compuestos, además de que facilitan algunos mecanismos fisiológicos. (Badui Dergal, 2006.)

El *Aloe vera* es único ya que tiene la capacidad para mejorar la absorción de la vitamina C y E, debe considerarse como un complemento hacia las personas que toman suplementos vitamínicos. (J.A, H, & L, 2005)

Minerales.

Los elementos minerales sirven como componentes estructurales de los tejidos, constituyentes de los fluidos corporales, las enzimas vitales en las principales rutas metabólicas y son esenciales para la función de todas las células.

En la tabla 4 se muestran el análisis de elementos inorgánicos en *Aloe vera* Leaf Gel Ash; dos gramos de ceniza fueron digeridos con una mezcla de ácido clorhídrico y ácido nítrico

en la relación 1: 3. La muestra digerida se disolvió en 50 ml de agua destilada y se usó para el ensayo de oligoelementos mediante espectroscopia de absorción atómica (AAS-Varion 200AA) utilizando lámparas de cátodo hueco. El sodio y el potasio fueron estimados por un Fotómetro de llama. (Rajasekaran, Sivagnanam, & Subramanian, 2005)

Elementos	Concentración de elementos (mg/2g)
Hierro (Fe)	3.5
Cobre (Cu)	0.15
Calcio (Ca)	0.141
Zinc (Zn)	0.378
Manganeso(Mn)	0.631
Plomo(Pb)	0.138
Cromo (Cr)	0.146
Vanadio (V)	0.32
Potasio (K)	0.397
Sodio(Na)	0.162
Magnesio (Mg)	0.157

Tabla 4 Elementos de trazas presentes en cenizas de Aloe vera gel (mg/2g). (Rajasekaran, Sivagnanam, & Subramanian, 2005)

Secado por aspersión.

Por definición, "Secado por aspersión es la transformación de la alimentación de una suspensión o disolución a una forma de partículas secas mediante la pulverización de la alimentación en un medio de secado caliente." (Mondragon, Enrique Julia, Barba, & Jarque, 2013) Un secador por pulverización funciona en modo de convección. El principio de trabajo es la eliminación de la humedad mediante la aplicación de calor al producto de alimentación y el control de la humedad del medio de secado.

El mecanismo se puede entender mejor cuando el proceso de secado por pulverización se divide en las operaciones de su unidad constituyente. Una alimentación líquida que ingresa al secador por pulverización sufre una serie de transformaciones antes de que se convierta en polvo. Los cambios se deben a la influencia de cada una de las cuatro etapas involucradas en el secado por aspersión, a saber:

1. La atomización de la solución de alimentación.
2. Contacto de pulverización con el gas caliente.

3. Evaporación de la humedad.
4. Separación de partículas.

Atomización.

La atomización es la principal etapa del secado por pulverización, y es el primer proceso de transformación al que se somete la alimentación durante el secado por pulverización. Aunque existen varias definiciones de atomización, una de las definiciones iniciales del proceso, de Samuel Percy, es tan interesante como precisa: "llevar sustancias fluidas o sólidas a un estado de división minúscula". La ruptura del líquido a granel en un gran número de gotas impulsa el resto del proceso de secado por pulverización a reducir las resistencias internas a la transferencia de humedad desde la gota al medio circundante. Esto se debe al enorme aumento en el área superficial del fluido a granel a medida que avanza la fisión de las gotitas, y su inestabilidad aumenta de acuerdo con la intensidad de la atomización. La atomización es fundamental para el proceso de secado por pulverización, debido a su influencia en la forma, la estructura, la velocidad y la distribución del tamaño de las gotitas y, a su vez, el tamaño de las partículas y la naturaleza del producto final. En consecuencia, hay una pérdida mínima de compuestos sensibles al calor y, finalmente, se obtienen partículas de la morfología y las características físicas deseadas. (Anandharamakrishnan & Padma Ishwarya, 2015)

Principio de la atomización

El principio de funcionamiento de los atomizadores se rige por el fenómeno de desintegración de líquidos. Un chorro de líquido inicialmente de radio constante, cae verticalmente por gravedad. La longitud del líquido aumenta y alcanza un valor crítico. A este valor crítico, el chorro pierde su forma cilíndrica y se descompone en una corriente de gotas que se produce principalmente debido a la disminución de la tensión superficial.

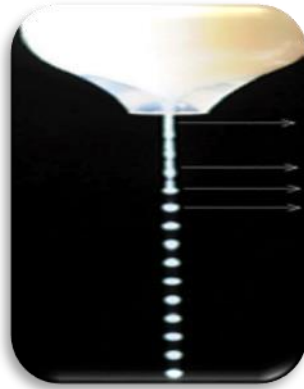


Figura 3 Principio de la atomización. (Anandharamakrishnan & Padma Ishwarya, 2015)

Clasificación de los atomizadores.

El dispositivo de atomización es vital para este proceso, y su selección juega un papel importante en la utilización del secado por pulverización como un método económico de secado. Antes de explorar el mecanismo y el funcionamiento de los atomizadores, comprender la lógica de su clasificación tiene importancia.

Atomizadores rotativos: Impulsado por la descarga a alta velocidad de líquido desde el borde de una rueda o disco. El líquido de alimentación se acelera centrífugamente a alta velocidad hasta el centro de una rueda giratoria con una velocidad periférica de 200 m / s. La alimentación que fluye hacia afuera con respecto a la superficie de la rueda giratoria acelera hacia la periferia y luego se desintegra en una pulverización de gotitas.



Figura 4 Atomizador rotativo (Marca Niro).

Fuente propia

Atomizador de boquilla de presión (o hidráulica): Facilitado por la descarga de líquido bajo presión a través de un orificio. La energía de presión se convierte en energía cinética, y la alimentación que emerge del orificio de la boquilla como una película de alta velocidad se rompe fácilmente en una pulverización de gotitas figura 2.



Figura 5 Boquilla de presión (o hidráulica). (Anandharamakrishnan & Padma Ishwarya, 2015)

Atomizador de boquilla de dos fluidos: Presentan la ruptura del líquido al impactar con aire a alta velocidad u otro flujo gaseoso. El aire comprimido crea un campo de corte, que atomiza el líquido y produce una amplia gama de tamaños de gota figura 3.



Figura 6 Boquilla de dos fluidos.

Fuente propia

Atomizadores ultrasónicos: La atomización ultrasónica se basa en un dispositivo electromecánico que vibra a una frecuencia muy alta. Dos discos piezoeléctricos, apretados entre un elemento amplificador mecánico y un elemento de soporte, constituyen el

dispositivo electromecánico del atomizador ultrasónico. El fluido que se va a atomizar pasa inicialmente sobre la superficie de los discos piezoeléctricos vibratorios, lo que establece vibraciones ultrasónicas dentro del líquido. Las vibraciones dentro del líquido hacen que las moléculas en la superficie del líquido se muevan, interrumpiendo la tensión superficial del líquido. Esto crea áreas en la superficie del líquido con tensión superficial reducida o nula, que son muy similares a los agujeros en un tamiz, y a través del cual pueden escapar gotas de líquido.

Atomizadores electrohidrodinámicos: Una técnica reciente para atomizar el líquido de alimentación es el uso de electrospray o aerosoles electrohidrodinámicos creados por carga electrostática figura 4. En el electrospray, el potencial eléctrico se aplica a la aguja para introducir carga libre en la superficie del líquido. La alta intensidad de la corriente eléctrica aplicada entre los dos electrodos de carga opuesta de un sistema de electrospray permite la producción de gotitas de distribución de tamaño de partícula estrecha. Cuando el potencial eléctrico aumenta a kilovoltios, el menisco líquido se desarrolla en una forma cónica, que tiene una carga libre altamente concentrada. La carga libre acelera las gotitas lejos de la aguja debido a la tensión eléctrica generada. Las partículas monodispersas se formarán cuando el chorro se rompa en partículas finas debido a inestabilidades varicosas.

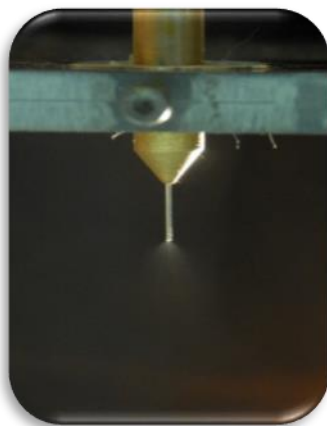


Figura 7 Atomizador electrohidrodinámico. (Anandharamakrishnan & Padma Ishwarya, 2015)

Contacto de aire de pulverización

Esta etapa, y las etapas posteriores del proceso de secado por pulverización, constituyen la fase de formación de partículas. Con la alimentación a granel atomizada en diminutas

gotitas, el siguiente paso es poner las gotitas en contacto íntimo con el gas caliente. Esto permite una evaporación rápida de la humedad de la superficie de todas las gotitas de manera uniforme. Aquí, el requisito crítico es un flujo uniforme de gas a todas las partes de la cámara de secado. Durante el contacto del aire de pulverización, las gotitas normalmente se encuentran con el aire caliente en la cámara de pulverización, ya sea en flujo de corriente paralela o flujo a contracorriente y flujo mixto véase figura 5.

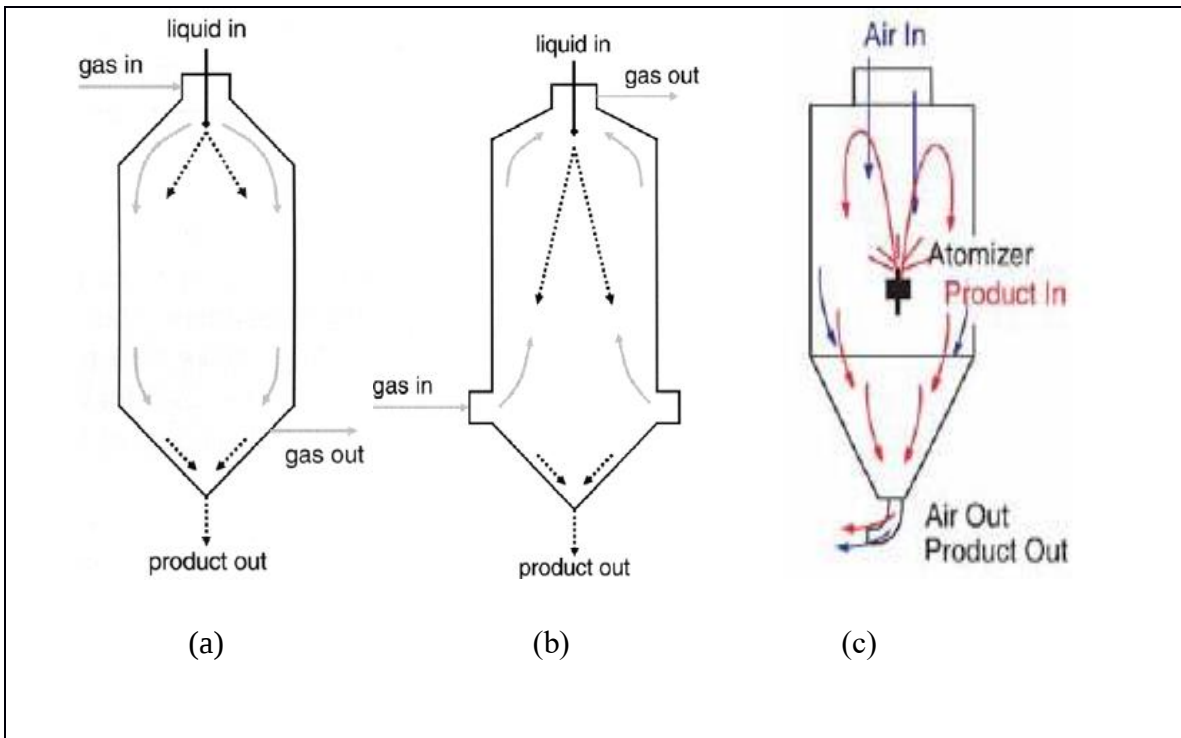


Figura 8 Tipos de flujo de aire en un secador de pulverización (a) Flujo corriente paralela (b) flujo contracorriente (c) flujo mixto. (Aundhia, y otros, 2011)

Las gotitas atomizadas que entran en la secadora entran en contacto con el aire de entrada caliente, pero su temperatura se mantiene baja debido a una alta tasa de evaporación y se encuentra aproximadamente en la bombilla húmeda temperatura. La temperatura de bulbo húmedo es la energía térmica del aire caliente utilizado para la evaporación (es decir, la eliminación del calor latente de vaporización del aire que lo enfría, y esto se denomina "enfriamiento por evaporación". Esto permite que la partícula se mantenga en una temperatura por debajo de la temperatura de salida del aire de secado). El aire frío, a su vez,

transporta neumáticamente las partículas secas a través del sistema. El tiempo de contacto del aire caliente con las gotas de pulverización es de unos pocos segundos, durante el cual se logra el secado y la temperatura del aire cae instantáneamente. Esto da como resultado ventajas de baja temperatura y bajo tiempo de residencia de las partículas, con la ventaja añadida de una menor degradación térmica de los productos sensibles al calor.

Evaporación de la humedad.

El paso más crítico en la formación de partículas, este paso del proceso está asociado con la morfología del producto final. La evaporación de la humedad durante el secado por pulverización se puede visualizar en dos etapas:

1. Período de velocidad constante.
2. Período de tasa decreciente.

Cuando una gota con gran cantidad de líquido entra en contacto con el aire caliente, ésta experimenta un proceso de secado como se muestra en la figura 9. Inicialmente, la gota experimenta un aumento de calor sensible hasta la temperatura húmeda correspondiente a la temperatura del aire de secado (tramo 0-1). En ese instante se inicia el primer periodo de secado o periodo de velocidad de secado constante (tramo 1-2). En esta etapa, el líquido se desplaza desde el interior de la gota lo suficientemente rápido como para mantener la superficie saturada de humedad. Como consecuencia, la evaporación de líquido se produce en la superficie y la tasa de evaporación iguala a la de una gota formada por líquido puro. Es en esta fase en la que se produce la contracción de la gota, cuyo diámetro al cuadrado varía de forma lineal con el tiempo (ley del d^2). Durante este periodo, la velocidad de secado permanece constante y su valor es el máximo alcanzado en todo el proceso. Si las condiciones ambientales de secado no varían, la temperatura de la gota permanece igual a la temperatura húmeda del aire en todo el intervalo de tiempo. En un determinado momento, se alcanza la humedad crítica (punto 3) en la que la migración de líquido ya no es capaz de mantener la superficie saturada. La concentración de líquido en la superficie de la gota se reduce a un valor mínimo y se inicia el segundo periodo de secado o periodo de velocidad de secado decreciente (tramo 3-5). En él, las partículas primarias forman una

costra de aglomerados sumergida en el líquido. (Mondragón, Enrique Julia, Barba, & Jarque, 2013)

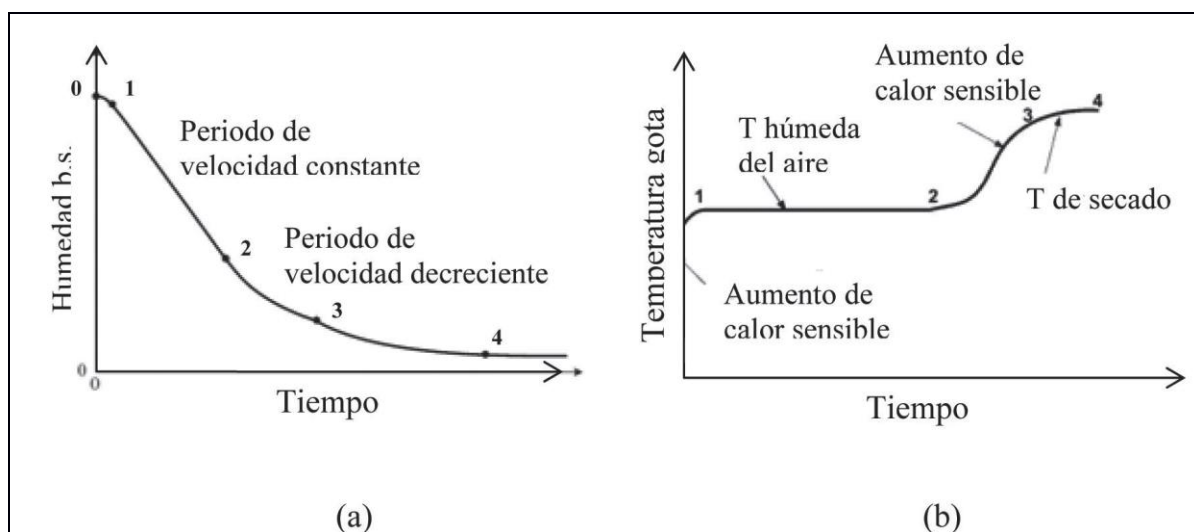


Figura 9 (a) Variación de la humedad con el tiempo. (b) Evolución de la temperatura de la gota durante el secado. (Mondragón et al, 2013)

En el secado posterior, la costra aflora a la superficie de la gota y se transforma en un costra seca, determinando el diámetro final del gránulo que deja de contraer. La gota puede considerarse como un gránulo húmedo de diámetro constante formado por dos zonas: costra sólida de estructura porosa, y el núcleo húmedo formado por líquido y sólido. La costra formada genera una resistencia adicional a la evaporación del líquido, que depende de la capacidad de difusión de los fluidos a su través. A medida que transcurre el proceso y el espesor de la costra aumenta, disminuye la velocidad de secado. Al formarse la costra y dejar la superficie de estar saturada de humedad, la temperatura del gránulo dejará de ser igual a la temperatura húmeda del aire y aumentará progresivamente hasta alcanzar la temperatura de secado. Dependiendo del material a secar, este periodo puede dividirse a su vez en subperiodos (tramos 2-3 y 3-4).

El proceso de secado continua hasta que el gránulo tiene el contenido en humedad final deseado. Si el tiempo de secado es suficientemente largo, esta humedad final será igual a la mínima humedad posible, que es igual al contenido de humedad de equilibrio con el aire de secado.

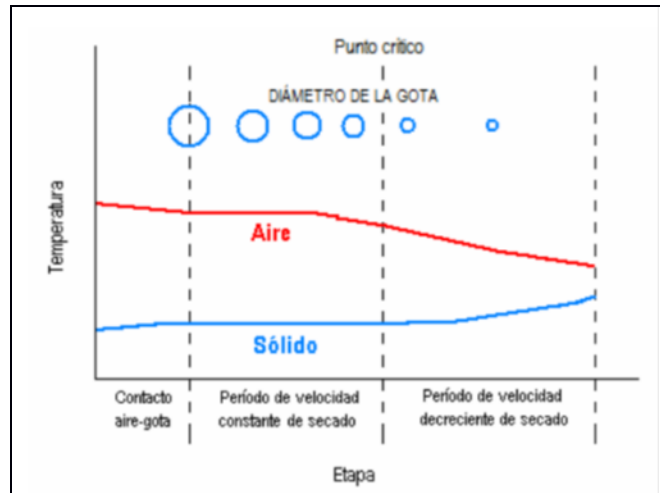


Figura 10 Morfología de la gota en el secado por aspersión. (Esquivel González et al, 2015)

Separación de las partículas.

Esta separación se hace a través de un ciclón colocado fuera de la cámara de secado, lo cual reduce las pérdidas del producto a la atmosfera: las partículas de mayor densidad son recuperadas en la base de la cámara de secado, mientras que las finas pasan a través del ciclón para ser separadas del aire húmedo. Además de los ciclones los secadores por aspersión comúnmente están equipados con filtros, usados para remover los polvos finos y lavadores químicos para remover el polvo restante o cualquier compuesto volátil. Los polvos obtenidos están hechos de partículas que se originan a partir de gotas esféricas tras contraerse. Dependiendo de la composición, el contenido de gas de la gota influye en la morfología de las partículas ya que pueden ser compactas o huecas, así también para evitar la emisión de partículas en al aire por razones ambientales. (Esquivel Gonzalez, Ochoa Martinez, & Rutiaga Quiñones, 2015)

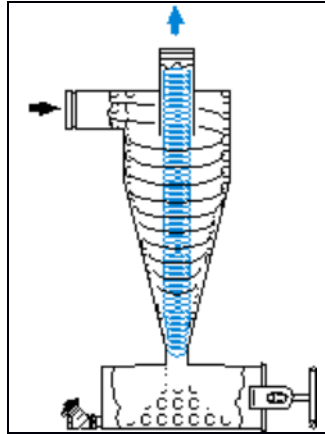


Figura 11 Separación de partículas en el ciclón. (Esquivel González et al, 2015)

Material de soporte.

El material de soporte utilizado dentro de la industria alimentaria debe cumplir muchos criterios, como la protección de componentes bioactivos, alta solubilidad en agua, peso molecular, transición vítrea, cristalinidad, difusibilidad, buenas propiedades de formación de película, buenas propiedades emulsionantes y bajo costo. En la literatura menciona el uso gomas naturales (goma arábica, alginatos, carragenanos, etc.), proteínas (proteínas lácteas, proteínas de soja, gelatina, etc.), carbohidratos (maltodextrinas y derivados de celulosa) y / o lípidos (ceras, emulsionantes) en procesos industriales. (Zuidam & Shimoni, 2010)

Poornima & Synthia. (2017) mencionan una de las razones más importantes para la encapsulación de los ingredientes activos es proporcionar una mejor estabilidad en los productos finales y durante el procesamiento, otro beneficio del coadyuvante de secado es menos evaporación y degradación de activos volátiles, como el aroma, que generalmente contiene una mezcla de compuestos orgánicos volátiles y olorosos. Además, los sabores suelen ser caros y, por lo tanto, los fabricantes de alimentos suelen estar preocupados sobre la preservación de aditivos aromáticos.

Los materiales de soporte más utilizados para el secado por pulverización en alimentos son mono y disacáridos, maltodextrina, sólidos de jarabe de maíz, almidones modificados, goma arábica, leche o proteínas de soja, gelatina hidrolizada y sus diversas combinaciones.

Maltodextrina.

Uno de los carbohidratos más utilizados en la industria alimentaria es la maltodextrina (MD) su fórmula general es $(C_6H_{10}O_5)_n \cdot H_2O$, es un polisacárido no dulce proviene de la hidrólisis parcial del almidón de maíz, la cual consiste en unidades de α -D-glucosa, unidas por enlaces glicosídicos 1-4 (cadena lineal de amilosa) y con un grado variable de oligosacáridos en los que las cadenas de glucosa se unen a la rama principal por enlaces 1-6 (amilopectina ramificada). Se describe en términos de Equivalentes de Dextrosa (DE, por sus siglas en ingles), los rangos de hidrólisis indican el poder reductor del conjunto de azúcares que están presentes en la mezcla, relativo al de la glucosa, se les asignan valores de 0-100, y es referido a peso seco (entre mayor sea el valor DE en la mezcla de hidrólisis, más intensa habrá sido la fragmentación del almidón), también indican la estabilidad y funcionalidad. Para que se le considere una maltodextrina debe presentar valores de DE entre 3 y 20. La maltodextrina se le considera como un compuesto totalmente soluble, de baja densidad y que metaboliza similar la almidón y es el más utilizado en diversos trabajos de investigación. (Serra Costa, Souza Machado, Martin, Bagnara, Ragadalli, & Rabello Costa Alves, 2015)

Cuando se lleva a cabo un secado por aspersión de alimentos, se utilizan maltodextrinas con bajos DE para lograr una efectiva transferencia de masa y calor que conlleva a reducir la adherencia de los polvos obtenidos y evitar que queden pegados a la cámara de secado. La maltodextrina ha sido empleada en muchos alimentos porque es un ingrediente que no aporta ningún sabor, encapsula sabores, da cuerpo a las mezclas y mantiene los componentes en resguardo e intactos. Este polisacárido es de alta solubilidad debido al gran número de grupos OH contenidos en su molécula, que forman puentes de hidrogeno con el agua, por su naturaleza ramificada, el volumen de hidratación es menor, adquiriendo una forma helicoidal tiene como resultado una mínima viscosidad, esto también dependerá de la materia prima utilizada.

Actividad de agua.

La actividad de agua (valor A_w), es la humedad en equilibrio de un producto, determinada por la presión parcial del vapor de agua en su superficie. El valor A_w depende de la composición, la temperatura y el contenido en agua del producto. De forma práctica viene a

significar una medida indirecta del agua que hay disponible en un determinado alimento para intervenir en las posibles reacciones químicas, bioquímicas o microbiológicas (Badui Dergal, 2006.) Agua Libre: También llamada agua congelable y agua capilar, es la que se volatiliza fácilmente, se pierde en el calentamiento, se congela primero y es la principal responsable de la actividad del agua. La relación de concentraciones entre la “libre” y la “ligada” se incrementa en la medida en que el producto contiene más agua, mientras que en los deshidratados, dicha relación se reduce considerablemente. En general, un alimento con actividad de agua inferior a 0.7 es estable a la mayoría de las causas de deterioro; por debajo de 0.6 es muy estable al deterioro de microorganismos. (Agudelo & Cardona Lancheros, 2016)

Color.

El Color, es el principal factor de calidad que tiene el consumidor a la hora de aceptar o rechazar un producto. Este factor en los alimentos depende fundamentalmente de la reacción de Maillard entre los azúcares reductores y aminoácidos que juega un papel importante en el proceso de coloración oscura. La forma más usada para la determinación del color es la escala CIELAB, ya que esta permite determinar los cambios de color en la misma forma que lo hace el ojo humano. En esta escala de color se miden los valores L^*a^*b para expresar la diferencia de color entre muestras, siendo la dimensión (L la claridad, la dimensión a matices rojos – verdes y b matices azul – amarillo, vease figura 12. (Lucas A, Quintero C, Vasco Real, & Cuellar Nuñez, 2011)

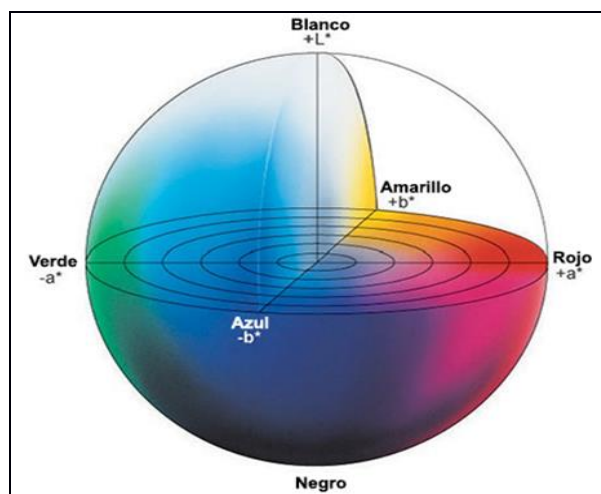


Figura 12 Escala CIEL*a*b*. (Lucas A et al, 2011)

Humedad.

El contenido de agua en los alimentos es uno de los criterios más importantes en la conservación de su calidad y comercialización. Los alimentos en estado natural están compuestos por materia seca y agua. El agua influye en la textura, sabor y calidad de los alimentos, pero también es una de las causas de su naturaleza perecedera, los productos se secan hasta un contenido específico de agua que les permita su conservación. La humedad en los alimentos se basa en el valor en el cual se logre la estabilidad del producto, tanto biológica, física y química. (Puerta Quintero, 2006)

La determinación de humedad es una de las técnicas más importantes y de mayor uso en el procesado, control y conservación de los alimentos. El control de la humedad es un factor decisivo en muchos procesos industriales tales como la molienda de cereales, el mezclado de productos sólidos finos, en la elaboración de pan, etc. Así mismo, en la evaluación de muchos procesos industriales es de gran importancia conocer el contenido de agua de los productos o materias primas para formular el producto y evaluar las pérdidas durante el procesado.

JUSTIFICACIÓN Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La sábila (*Aloe vera L*) es una planta que posee un gran valor económico en la industria alimentaria, cosmética y farmacéutica; siendo el gel el más usado, es de gran interés a nivel mundial y nacional debido a sus propiedades funcionales, antioxidantes y terapéuticas las cuales ejercen un efecto benéfico en el ser humano generando una alta cotización de los productos derivados de la hoja. Un adecuado aprovechamiento de la planta, está asociado al contenido de componentes bioactivos, microestructura y métodos para preservar y estabilizar dichos productos. En Veracruz se logra este cultivo gracias a las condiciones climáticas que se tienen, se comercializa mediante la venta de hijuelos, hoja, gel o jugo y polvo realizándolo en agroempresas fuera de la región o entidad.

En la zona centro de Veracruz no existe una agroindustria que pueda llevar a cabo el proceso para la obtención de gel así como el polvo de sábila (*Aloe vera L*) solo se realiza de manera artesanal, en consecuencia trasladar la materia prima a una empresa que pueda realizar el procedimiento generaría un mayor gasto al productor y la pérdida de elementos de interés.

Kim et al. (1998) mencionan que el uso de tratamientos inadecuados durante la preparación y estabilización del gel causan modificaciones irreversibles en componentes bioactivos como polisacáridos y compuestos antioxidantes afectando su estructura original y cambios importantes en las propiedades bioquímicas, haciendo que muchos de los productos contengan muy poco o casi ningún ingrediente bioactivo.

El secado convectivo del gel bajo condiciones controladas como el secado por aspersión es uno de los principales métodos empleados para la conservación de la sábila y a través de estos procesos obtener diferentes productos. Miranda, Maureira, Rodriguez, & Vega. (2009) han estudiado los efectos que tiene este tratamiento térmico en los componentes activos del gel, principalmente la disminución de su capacidad antioxidante y en caracterizar las cinéticas de secado del gel de sábila.

Nindo, Powers, & Tang. (2007) han obtenido polvo de la sábila por tres diferentes método de secado (lío-filización, aspersión y ventana reflectante) y se ha cuantificado la influencia del método de secado en parámetros tales como la temperatura de transición vítrea, viscosidad y color; demostrando que el método de secado por aspersión junto con la adición de maltodextrina provocan un desplazamiento en la temperatura de transición vítrea del polvo de Aloe y que su color fue más blanco y brillante en comparación a los otros dos método de secado empleados y no se observó una tendencia clara en los valores de viscosidad. Por lo mencionado anteriormente se desea contribuir con la obtención de un polvo funcional mediante el secado por aspersión, que pueda ser elaborado a una escala industrial en Veracruz, transportado y comercializado de una manera más rápida, fácil y económica que no genere gastos al productor sino ganancias así también que contenga componentes biológicos.

Es por ello, que el objetivo principal de esta investigación es evaluar el efecto del método secado por aspersión en jugo de sábila (*Aloe vera L*) a diferentes porcentajes de maltodextrina sobre los parámetros fisicoquímicos del producto obtenido (polvo).

OBJETIVOS

General

Evaluar diferentes concentraciones de maltodextrina para la obtención de polvo a partir de jugo de sábila mediante operación unitaria secado por aspersión a fin de determinar su efecto en parámetros fisicoquímicos.

Específicos

1. Caracterizar el material de secado para encontrar los porcentajes de maltodextrina adecuados en la obtención de polvo de sábila.
2. Evaluar el efecto del secado por aspersión sobre la actividad del agua, color, humedad y rendimiento en el producto final obtenido.

HIPÓTESIS.

Existe una relación directamente proporcional en el uso de maltodextrina a diferentes porcentajes en secado por aspersión de jugo de sábila (*Aloe vera* L) y las variables fisicoquímicas estudiadas.

MATERIALES Y METODOS

Proceso para la obtención de materia seca (polvo) a partir del extracto de sábila véase, figura 13.

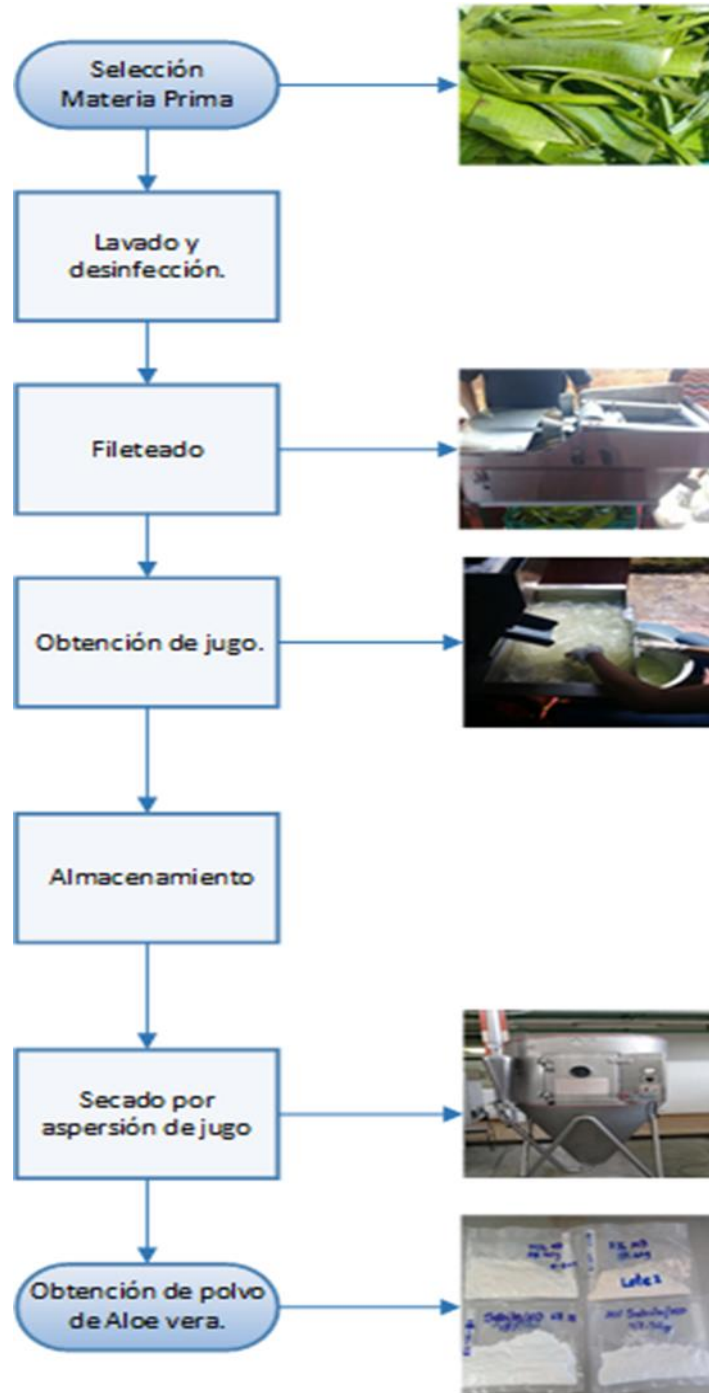


Figura 13 Diagrama de flujo el proceso de obtención de polvo de sábila.

Fuente propia.

Obtención de la materia prima.

Se obtuvo un jugo transparente a partir de las hojas de sábila (*Aloe vera* L.) recolectadas del pueblo de Conejos Municipio de Puente Nacional, llevadas al Colegio de Postgraduados Campus Veracruz (COLPOS) en donde se inició el proceso convencional para la obtención del extracto de *Aloe vera*.

Posteriormente el jugo extraído fue trasladado al Tecnológico de Veracruz para su transformación aplicando la operación unitaria secado por aspersión en donde se obtuvo una partícula solida (polvo).

Con el fin de evaluar el efecto del secado por aspersión sobre el jugo de *Aloe vera* se utilizaron los siguientes tratamientos:

1. Tratamiento 1: Se agregó el 5% de maltodextrina por cada litro de solución.
2. Tratamiento 2: Se incorporó el 10% de maltodextrina por cada litro de solución.
3. Tratamiento 3: Se adicionó el 15% de maltodextrina por cada litro de solución.
4. Tratamiento 4: Se añadió el 20% de maltodextrina por cada litro de solución.

Por ello se evaluaron 3 variables durante el proceso: porcentaje de maltodextrina, temperatura y presión de aire; ejecutando 4 tratamientos véase tabla 5.

Tratamiento	Porcentaje de maltodextrina	Temperatura	Presión de aire
1	5%	Te 250°C- Ts 80°C	26 kg/cm2
2	10%	Te 250°C- Ts 80°C	26 kg/cm2
3	15%	Te 250°C- Ts 80°C	26 kg/cm2
4	20%	Te 250°C- Ts 80°C	26 kg/cm2
Te: Temperatura de entrada. Ts: temperatura de salida.			

Tabla 5 Tratamientos y variables estudiadas.

Secado por aspersión.

El secado por aspersión se llevó a cabo en Instituto Tecnológico de Veracruz en la división de la (UNIDA) Unidad de Investigación y Desarrollo en Alimentos, en donde se utilizó el equipo Secador APV por atomización marca anhydro modelo Lab S1, figura 14.



Figura 14 Secador APV por atomización marca anhydro.

Fuente propia.

Fijando la presión de entrada de aire del compresor al equipo a 26 kg/cm² y una vez que el equipo alcanza una temperatura de entrada T_e 250°C - temperatura de salida T_s 80°C, la solución es bombeada al equipo mediante una bomba peristáltica regulando el caudal de alimentación manualmente dando inicio el secado por aspersión.

Determinación de actividad de agua (A_w).

Para la determinación de actividad de agua se empleó el higrómetro marca AquaLab figura 14, se coloca una pequeña cantidad de muestra (polvo de sábila) en el contenedor y se realiza la medición de actividad acuosa. La lectura proporcionada indica el agua disponible en el producto final, en alimentos deshidratados el resultado arrojado tiene que ser menor a .500 a_w para prevenir futuras reacciones químicas indeseadas.



Figura 15 Higrómetro marca AquaLab.

Fuente propia.

Determinación de color.

El color fue definido utilizando el colorímetro Hunter Lab MiniScan XE plus, Modelo no. D/8-L véase figura. Se pesaron 1.5 gr de muestra (polvo de sábila) y se colocaron en un contenedor tratando de cubrir toda la base de este, posteriormente se realizaron tres mediciones por cada producto final obtenido a diferentes porcentajes de maltodextrina (5%, 10%, 15% y 20%) en el secado por aspersión con sus repeticiones cada uno.

Los valores emitidos por el colorímetro fueron L*, a* y b* los cuales se utilizaron para determinar el cálculo E, °Hue y Croma.

Para establecer la diferencia total de color se utiliza la siguiente formula.

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

ΔE^* = Variación de color

ΔL^* = Variación de L

Δa^* = Variación de a

Δb^* = Variación de b

Para conseguir el valor °Hue se usa la fórmula:

$$^{\circ}\text{Hue } (^{\circ}\text{H}) = \arctg = \frac{b^{*}}{a^{*}}$$

Para obtener el valor croma se emplea la fórmula:

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

Determinación de humedad.

De acuerdo a la NORMA MEXICANA OFICIAL NMX-F-083-1986. ALIMENTOS. DETERMINACIÓN DE HUMEDAD EN PRODUCTOS ALIMENTICIOS. Se determinó la humedad en el polvo de sábila por cada porcentaje de maltodextrina, se colocaron charolas de aluminio en la estufa de secado por 24 horas a 100°C a peso constante, posteriormente se retiraron y se colocaron en un desecador por 30 min. Después se procedió a pesar las charolas, así como 3.5 gramos de muestra con sus diferentes repeticiones en una balanza analítica marca Santorius modelo M-power como se muestra en la figura 16.



Figura 16 Balanza analítica marca Santorius modelo M-power.

Fuente propia.

Consecutivamente se colocaron las muestras en la estufa de vacío marca Yamato modelo Vacuum Drying Oven ADP300C a una temperatura de 60°C durante 24 horas véase figura 16 al final se pesaron nuevamente para calcular el porcentaje de humedad perdido.



Figura 17 Estufa de vacío marca Yamato modelo Vacuum Drying Oven ADP300C.

Fuente propia.

Para el cálculo del porcentaje de humedad se utilizó la formula siguiente:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{p-p_1}{p_2} \times 100$$

P = Peso del recipiente con la muestra húmeda, en gramos.

P₁ = Peso del recipiente con la muestra seca.

P₂ = Peso de la muestra en gramos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Determinación de actividad de agua (A_w)

Se evaluó la actividad de agua (A_w) por cada tratamiento como se muestra en la tabla 6, donde se observa que el contenido de agua varía proporcionalmente en función del porcentaje de maltodextrina aplicado:

1. En el tratamiento 1 el valor de A_w es mayor en comparación con el tratamiento 4 en donde es menor dicho valor.
2. El porcentaje de maltodextrina utilizado influye en la actividad del agua a la temperatura de secado usada 250°C - 80°C .
3. Todos nuestros tratamientos se encuentran por debajo de 0.6 A_w en donde los alimentos son muy seguros al deterioro de microorganismos llegando a la conclusión que nuestro polvo es muy estable.

Tratamiento	Porcentaje	A_w
1	5%	0.467 ± 0.07
2	10%	0.398 ± 0.07
3	15%	0.376 ± 0.07
4	20%	0.276 ± 0.07

Tabla 6 Resultados actividad de agua.

En la figura 20, se presenta el grafico sobre el comportamiento de la actividad de agua por cada tratamiento.

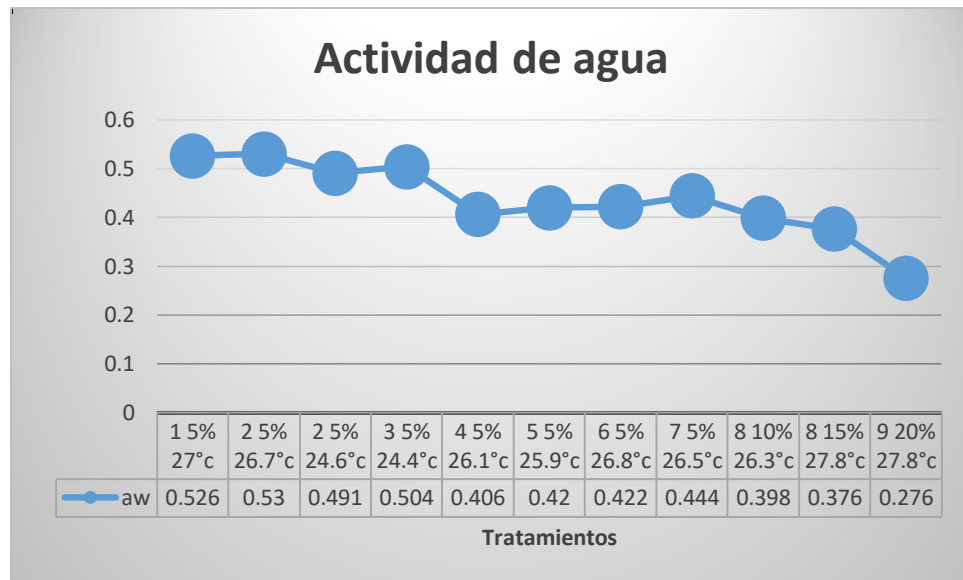


Figura 18 Comportamiento de actividad de agua.

Determinación de color.

El análisis de color se determinó mediante los valores E, °Hue y Croma por cada tratamiento como se muestra en la tabla.

1. Se observa que los valores obtenidos ΔE , °Hue, Croma no presentan diferencias significativas entre uno y otro.
2. El uso de maltodextrina a diferente porcentaje, una temperatura de entrada 250°C y temperatura de salida 80°C no afecta al atributo color obteniendo así polvos color blanco.

Tratamiento	Porcentaje	E	°Hue	Croma
1	5%	13.77±0.09	1.56337919±1.45	2.97125114±0.5
2	10%	13.69±0.09	-1.39506603±1.45	1.76162803±0.5
3	15%	13.91±0.09	-1.34609716±1.45	2.41177666±0.5
4	20%	13.80±0.09	-1.29402865±1.45	2.22261108±0.5

Tabla 7 Resultados de color obtenidos ΔE , °Hue, Croma.

En la figura 21 se observa el comportamiento de color en los 4 tratamientos para ΔE , Hue, Croma.

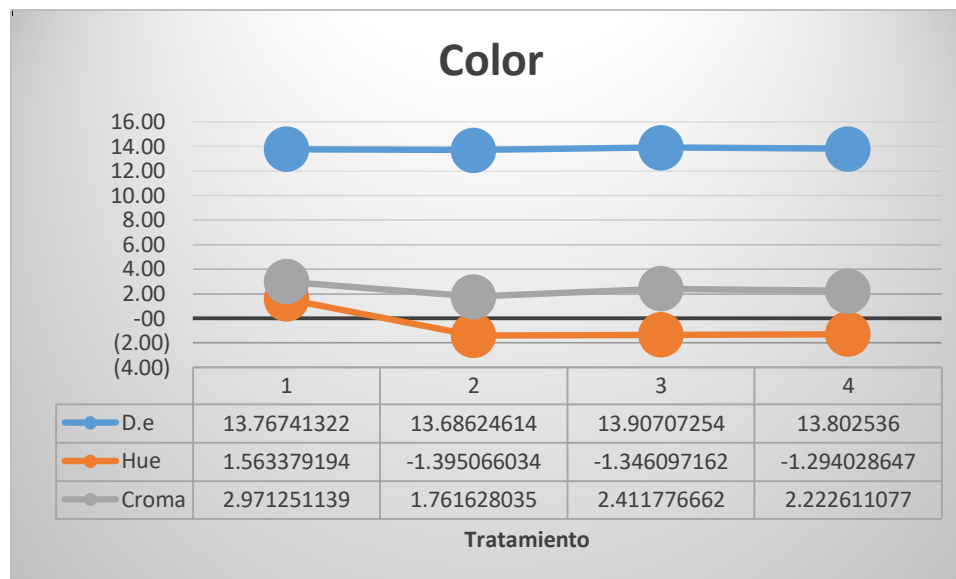


Figura 19 Comportamiento en el color para ΔE , $^{\circ}\text{Hue}$, Croma.

Determinación de humedad.

En la tabla se observa el porcentaje de humedad para los 4 tratamientos en donde se observa lo siguiente:

1. Los tratamientos 1, 2 y 3 el porcentaje de humedad es menor al 2%, no hay diferencias significativas en estos tratamientos ya que se usó la misma temperatura de entrada a 250°C y una de salida de 80°C para todos los tratamientos.
2. El tratamiento número 1 y 2 presentan mayor porcentaje de humedad debido al uso en proporción menor de maltodextrinas debido a la interacción que existe entre la temperatura y el agente encapsulante (maltodextrinas). Este comportamiento ha sido observado por Bakowska-Barczak y Kolodziejczyk (2011), Ersus y Yurdagel (2007), Jittanit et al. (2011) y Silva et al. (2013) los cuales estudiaron el efecto de la temperatura de entrada de aire de secado sobre la humedad de extractos microencapsulados de grosella negra, zanahoria negra, tamarindo respectivamente.
3. El uso de maltodextrinas no afectó los tratamientos 1, 2 y 3 en comparación con el tratamiento 2 donde hay una diferencia significativa

Tratamiento	Porcentaje	%Humedad
1	5%	1.88751706±0.3
2	10%	2.44839865±0.3
3	15%	1.86870206±0.3
4	20%	1.51929421±0.3

Tabla 8 Resultados de humedad por cada tratamiento.

En la figura 22 se muestra el diagrama de bloques del porcentaje de humedad para cada tratamiento observando los diferentes valores.

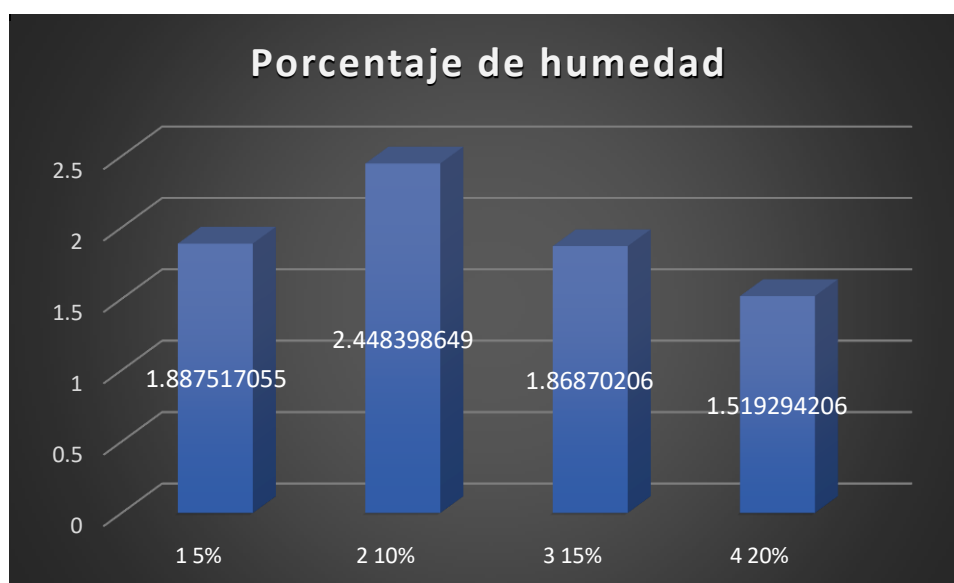


Figura 20 Grafica de barras porcentaje de humedad por cada tratamiento.

Rendimiento

En la tabla 9 se presenta el rendimiento de maltodextrinas que se obtuvo durante el proceso de secado por aspersión manifestando lo siguiente:

1. En el tratamiento 2 se obtiene el mayor porcentaje de producto recuperado durante el proceso, ayudado por el uso de aditivos (maltodextrinas) favoreciendo el rendimiento del producto ya que actúan como coadyuvantes del secado.
2. El tratamiento 1, 3 y 4 presentan el menor rendimiento debido a la deposición del producto en el secador.

Tratamiento	Porcentaje	Rendimiento
1	5%	30.73
2	10%	47.04
3	15%	44.31
4	20%	39.46

Tabla 9 Porcentaje de maltodextrinas por cada tratamiento.

En la figura 23 se exhibe la gráfica de barras del rendimiento de maltodextrinas por cada tratamiento evidenciando el tratamiento con mayor recuperación de producto.

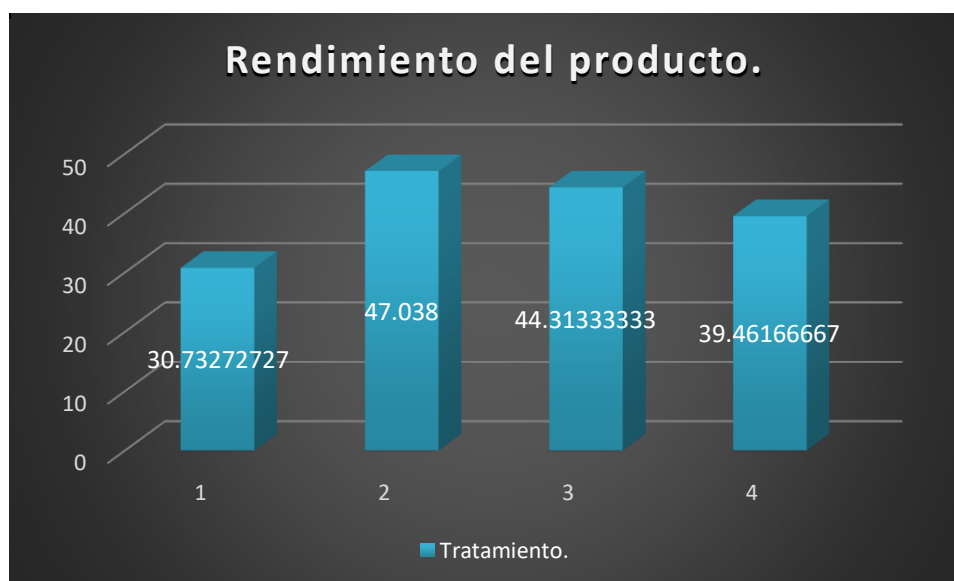


Figura 21 Grafica de barras rendimiento del producto.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

El objetivo de esta investigación fue estudiar el “Efecto del secado por aspersión en propiedades fisicoquímicas, de polvo de sábila (*Aloe vera* L) a diferentes porcentajes de maltodextrina.” concluyendo lo siguiente:

- La actividad de agua en todos los tratamientos presento un valor promedio menor a .500 Aw siendo una cantidad aceptable para su conservación y evitar la proliferación de hongos y bacterias.
- En la variación de color (ΔE) no hubo diferencias significativas en los diferentes tratamientos la mayoría no presentaron cambios drásticos siendo el color blanco brillante el más presentado en nuestras muestras.
- Se evidenció que el tratamiento 2 presenta mayor porcentaje de humedad de acuerdo a lo establecido por la NORMA MEXICANA OFICIAL NMX-F-083-1986 en comparación los demás tratamientos 1, 3 y 4 cuyo porcentaje es menor y son los más óptimos para su conservación y almacenamiento.
- En cuanto al rendimiento obtenido en el tratamiento 2 se obtuvo el mayor porcentaje de producto recuperado en comparación con los tratamientos 1, 3 y 4 siendo el factible a realizar en operaciones futuras.

Para la extracción del jugo de *Aloe vera* se recomienda una manipulación adecuada aplicando las buenas prácticas de manufactura en la obtención del concentrado.

Se exhorta a no exponer el jugo de *Aloe vera* al medio ambiente por tiempo prolongado; debido a los componentes sensibles que son de nuestro interés, si va a ser reservado en una cámara de enfriamiento mantener una temperatura controlada adecuada para el producto.

Utilizar licuadora tipo industrial en la homogenización del jugo de *Aloe vera* y maltodextrinas.

Se exige dar mantenimiento a los aparatos: Compresor, secador por aspersión y bomba peristáltica antes de ser utilizados en manipulaciones posteriores.

Empacar al alto vacío el polvo de sábila obtenido para su conservación, análisis y comercialización.

LITERATURA CITADA

- Agudelo, C., & Cardona Lancheros, C. F. (2016). Desarrollo de una bebida completamente natural y nutritiva utilizando como materia prima aloe vera variedad barbadensis miller cultivada bajo los principios de producción limpia en el municipio de santa rosa de cabal en risaralda colombia. *Tesis*.
- Agudo Medina, L. (2010). Tecnicas para la determinacion de compuestos antioxidantes en los alimentos. *Revista de la educacion en extramadura. ANPE (Sindicato Anpe Extramadura)*.
- Alvarez Moreno, G. (2007). Potencialidades para la producción y comercialización integral de sábila en Jaumave, Tamaulipas. *Tesis Doctoral*.
- Anandharamakrishnan, C., & Padma Ishwarya, S. (2015). *Spray Drying Techniques for Food Ingredient Encapsulation*. United Kingdom: Wiley Blackwell.
- Aundhia, C. J., Raval, J. A., Patel, M. M., Shah, N. V., Chauhan, S. P., Sailor, G. U., y otros. (2011). Spray dryingin the Pharmaceutical Industry-A rewiev. *Indo American Journal of Pharmaceutical Research.*, 125-138.
- Badui Dergal, S. (2006.). *Quimica de los alimentos.Cuarta edicion*. Mexico: Person Educacion.
- Bashipour, F., & Ghoreishi, S. M. (2014). Response surface optimization of supercritical CO2 extraction of a-tocopherol from gel and skin of aloe vera and almond leaves. *The Journal of supercritical Fluids*, 348-354.
- Chavez Rodriguez, A., Farias Cervantes, V. S., Luna Solano, G., Chavez Rodriguez, A. M., Ortiz Basulto, R. I., & Andrade Gonzalez, I. (2016). Atributos de calidad y deposicion de particulas del secado por aspersión del jugo de agave azul. *Revista Mexicana de Ingenieria Quimica*, 15(2), 493-502.

- Chun-hui, L., Chang-hai, W., Zhi-liang, X., & Wang, Y. (Junio de 2007). Isolation, chemical characterization and antioxidant activities of two polysaccharides from the gel and the skin of Aloe barbadensis Miller irrigated with sea water. *Procces Biochemistry, Elsevier*, 42, 961-970.
- Dominguez Fernandez, R. N., Arzate Vazquez, I., Chanona Perez, J. J., Welthi Chanes, J. S., Alvarado Gonzalez, J. S., Calderon Dominguez, G., y otros. (2012). El gel de aloe vera: Estructura, composicion quimica, procesamiento, actividad biologica e importancia en la industria framaceutica y alimentaria. *Revista mexicana de ingenieria quimica., vol.II* (num.1), 23-43.
- Dominguez Fernandez, R. N., Arzate vazquez, I., Chanona Perez, J. J., Welti Chanes, J. S., Alvarado Gonzalez, J. S., Calderon Dominguez, G., y otros. (2012). EL GEL DE Aloe vera: ESTRUCTURA, COMPOSICIÓN QUÍMICA, PROCESAMIENTO, ACTIVIDAD. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 23-43.
- Esquivel Gonzalez, B. E., Ochoa Martinez, L. A., & Rutiaga Quiñones, O. M. (2015). Microencapsulaion mediante secado por aspersion de compuestos bioactivos. *Revista Iberoamericana de Tecnologia Postcosecha*, 180-192.
- Femenia, A., Garcia Condesa, M., Simal, S., & Rosello, C. (2003). Effect of heat treatment and dehydration on bioactive polysaccharide acemannan and cell wall polymers from Aloe barbadensis Miller. *Cabohydrate Polymers. Elsevier.*, 397-405.
- Garcia Luna, I. N., Porras Saavedra, J., Vergara Balderas, F., Welthi Chanes, J., Gutierrez Lopez, G. F., & Alamilla Beltran, L. (2015). Defining High and Low Spray Drying. *Water Stress in Botanical, Chemical, Pharmaceutical and Food Systems.*, 319-327.
- Garcia Martinez, E., Fernandez Segovia, I., & Fuentes Lopez, A. (s.f). Determinación de polifenoles totales por el metodo de Folin-Ciocalteu. *Universidad Politecnica de Valencia*.
- Gokturk Baydar, N., Ozkan, G., & Yasar, S. (2007). Evaluation of the antiradical and antioxidant potential of grape extracts. *Food Control*, 18, 1131-1136.

- Hamman, J. H. (2008). Composition and applications of aloe vera leaf gel. *Molecules.*, 13, 599-616.
- Hassanpour, H. (Enero de 2015). Effect of Aloe vera gel coating on antioxidant capacity, antioxidant enzyme activities and decay in raspberry fruit. *Food Science and technology, Elsevier.*, 60, 495-501.
- J.A, V., H, A., & L, A. (2005). Effect of Aloe vera preparations on the human bioavailability of vitamins C and E. *Phytomedicine 12, Elsevier.*, 760-765.
- Krokida, M., Pappa, A., & Agaloti, M. (2011). Effect of drying on Aloe s functional components. *Procedia Food Science.,Elsevier.*, 1523-1527.
- Licoln, T., & Zeiger, E. (2006). "Secondary Metabolites and Plant Defense". *Plant Physiology, Fourth Edition*(Capitulo 13).
- Londoño Londoño, J. (2010). Antioxidantes: Importancia biologica y metodos para medir su actividad. En *Capitulo 9* (pág. Parte III).
- Lucas A, J. C., Quintero C, V. D., Vasco Real, J. f., & Cuellar Nuñez, L. (2011). Evaluacion de los parametros de calidad durante la fritura de rebanadas de papa criolla. *Scientia et Technica Año XVI*(48).
- Min-Cheol, K., Seo Young, K., Yoon Taek, K., Eun-A, K., Seung-Hong, L., Seok-Chun, k., y otros. (2014). In vitro and in nivo antioxidant activities of polysaccharide purified from aloe vera (Aloe barbadensis) gel. *Carbohydrate Polymers.*, 365-371.
- Molero, T., Ettiere, G., & Viloría, M. (2016). Determinación de aloína en poblaciones de Aloe vera L. (Aloe barbadensis M) del occidente de Venezuela. *Revista Arbitrada Multidisciplinaria.*, 16(2), 143-152.
- Mondragon, R., Enrique Julia, J., Barba, A., & Jarque, J. C. (2013). El proceso de secado por atomizacion: formacion de granulos y cinetica de secado de gotas. *Boletin de la sociedad española de ceramica y vidrio*, 159-168.

- Nejatzadeh Barandozi, F. (2013). Antibacterial activities and antioxidant capacity of Aloe vera. *Organic and medical Chemistry letters*, 3-5.
- Okamura, N., Asai, M., Hine, N., & Akira, Y. (11 de October de 1996). High-performance liquid chromatographic determination of phenolic compounds in Aloe species. *Journal of Chromatography A, Elsevier.*, 746, 225-231.
- Okamura, N., Hine, N., Tateyama, Y., Nakazawa, M., Fujioka, T., Mihashi, K., y otros. (1998). Five chromones from Aloe vera leaves. *Phytochemistry, Elsevier.*, 219-223.
- Olmedilla, B., & Granado, F. (2007). Componentes bioactivos. Alimentos funcionales: aproximacion a una nueva alimentacion. *Instituto de Nutricion y Transtornos Alimentarios.*
- Pedroza Sandoval, A., Gomez lorence, F., Samaniego, G., Trejo, J. A., Calzada, R., & Ruiz Torres, J. (Enero de 2009). Caracterizacion del proceso de industrializacion y comercializacion del a sabila: Estudio de caso. *Revista Chapingo Serie Zonas Aridas.*
- Poornima, K., & Synthia, R. (October de 2017). Application of Various Encapsulation Techniques in Food Industries. *International Journal of Latest Engineering Research and Applications (IJLERA).*, 2, 37-41.
- Porras Loaiza, A. P., & Lopez Malo, A. (2009). Importancia de los grupos fenolicos en los alimentos. 121-134.
- Puerta Quintero, G. I. (2006). Humedad controlada del grano, preserva la calidad del cafe. *Gerencia Tecnica*, 352-359.
- Rajasekaran, S., Sivagnanam, K., & Subramanian, S. (2005). Mineral Contents of Aloe vera Leaf Gel and Their Role on Streptozotocin- Induced Diabetic Rats. *Copyright 2005 by Humana Press Inc.*, 108.
- Reynolds, T. (2005). *Aloes: the genus Aloe*. Taylor & Francis e-Library.

- Sanchez Machado, D. I., Lopez Cervantes, J., Mariscal Dominguez, M. F., Cruz Flores, P., Campas Baypoli, O. N., Cantu Soto, E. U., y otros. (2017). An HPLC Procedure for the Quantification of the Aloin in latex and gel from Aloe barbadensis Leaves. *Journal Of Chromatographic Science, Oxford.*, 55, 251-257.
- Schweizer, M. (1994). *Aloe Vera , La planta que cura*. Paris (Francia): NOUVELLE IMPRIMERIE LABALLERY.
- Schweizer, M. (1995). *Aloe Vera, La planta que cura*. Paris, Francia.: .
- Serra Costa, S., Souza Machado, B. A., Martin, A. R., Bagnara, F., Ragadalli, S. A., & Rabello Costa Alves, A. (September de 2015). Drying by spray drying in the food industry: Micro-encapsulation, process parameters and main carrier used. *African Journal of Food Science*, 9, 462-470.
- Simoes, J., Nunes, F. M., Domingues, P., Coimbra, M. A., & Domingues, M. R. (2012). Mass spectrometry characterization of an Aloe vera mannan presenting immunostimulatory activity. *Carbohydrate Polymers*, 229-236.
- Vega G., A., Ampuero C., N., Diaz N., L., & Lemus M., R. (Diciembre de 2005). El aloe vera (Aloe Barbadensis Miller) como componente de alimentos funcionales. *Revista chilena de nutricion*.
- Yates, K. M., Tizard, I., Ni, Y., & Turner, D. (2004). Isolation and characterization of structural components of Aloe vera L. leaf pulp. *In International Immunopharmacology*, 4, 1745-1755.
- Zacatecas Ibañez, J. A., Ramirez Camacho, E. A., Candelas Castillo, M. G., Rodriguez Gonzalez, V. M., Femenia, A., Minjares Fuentes, R., y otros. (2016). Contenido de polisacaridos bioactivos de Aloe barbadensis Miller bajo condiciones de estres. *Investigacion y desarrolloo en ciencia y tecnologia de alimentos*, 1(2), 776-781.
- Zhang, L., Zeng, X., Fu, N., Tang, X., Sun, Y., & Lin, L. (2018). Maltodextrin: A consummate carrier for spray-drying of xylooligosaccharides. *Food Research International*, 383-393.

Zuidam, N. J., & Shimoni, E. (2010). Overview of Microencapsulates for use in food, Products or processes and methods to make them. *Encapsulation Technologies for Active Food Ingredients and Food Processing*.