Artículos de investigación

Conservación de las propiedades nutraceúticas del Aloe vera (Aloe barbadensis Miller), mediante técnicas de secado

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
REVISTA INGENIERÍA Y REGIÓN

Conservation of aloe vera nutraceutical properties (Aloe barbadensis Miller) by drying techniques

Artunduaga Antury, Kerly Lorena; Vargas Rojas, Diego Andrés; Barrera Bermeo, Oscar Mauricio

Kerly Lorena Artunduaga Antury
u20132123473@usco.edu.co
Universidad Surcolombiana, Colombia

Diego Andrés Vargas Rojas
u20132123607@usco.edu.co
Universidad Surcolombiana, Colombia

Oscar Mauricio Barrera Bermeo
oscar.barrrera@usco.edu.co
Universidad Surcolombiana, Colombia

Ingeniería y Región
Universidad Surcolombiana, Colombia
ISSN: 1657-6985
ISSN-e: 2216-1325
Periodicidad: Semestral
vol. 25, 2021
ingenieriayregion@usco.edu.co

Recepción: 13 Noviembre 2020
Corregido: 01 Febrero 2021
Aprobación: 11 Marzo 2021

URL: http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/238/2382079001/index.html

DOI: https://doi.org/10.25054/22161325.2818

Autor de correspondencia: u20132123473@usco.edu.co

Resumen: Se realizó el análisis de las aplicaciones y técnicas de secado para la obtención de polvo de aloe vera, usado en la elaboración de productos alimentarios, farmacéuticos y cosméticos. Para lo anterior, se tuvo en cuenta las técnicas existentes y aquellas que permiten la mayor conservación de sus propiedades nutracéuticas y funcionales para la elaboración de estos productos, garantizando inocuidad y seguridad para el consumidor. Se realizó una descripción respecto al funcionamiento y algunas pautas de los equipos, seleccionando el método de deshidratación más adecuado para producir un producto de alta calidad. Para el desarrollo de éste, se consultaron las principales bases de datos como Science Direct, EBSCO, Springer Journals, Scopus, ProQuest Central, Redalyc, Wiley Online Library entre otras. Se determinó, que las técnicas que permite la mayor conservación de las propiedades del aloe vera fueron: secado por aspersión, liofilización y ventana refractante, debido a las bajas temperaturas usadas, la cual evita la degradación de sus componentes (dada a la alta sensibilidad del gel a temperaturas superiores a 50°C).

Palabras clave: Funcional, trasformación, estabilización, vida útil.

Abstract: An analysis was made of the applications and drying techniques for obtaining aloe vera powder, used in the production of food products, pharmaceuticals, and cosmetics. For the above, the existing techniques and those that allow the greater conservation of their nutraceutical and functional properties were taken into account, for the elaboration of these products, guaranteeing safety and safety for the consumer. A description was made regarding the operation and some guidelines of the equipment, selecting the most appropriate dehydration method to produce a high-quality product. For the development of this, the main databases were consulted such as Science Direct, EBSCO, Springer Journals, Scopus, ProQuest Central, Redalyc, Wiley Online Library among others. It was determined that the techniques that allow the best conservation of the properties of aloe vera were: spray drying, freeze-drying and refracting window, due to the low temperatures used, which prevents the degradation of its components (given the high sensitivity of the gel at temperatures above 50°Celsius).

Keywords: Functional, transformation, stabilization, shelf life.

1. Introducción

El gel de aloe vera o sábila (conocido comúnmente), es un producto reconocido a nivel mundial, debido a alto contenido de compuestos bioactivos como: flavonoides, terpenoides, lectinas, ácidos grasos antraquinonas, minerales y vitaminas que se relacionan con una respuesta biológica antiviral, cicatrizante (heridas), antitumoral, fortalecimiento del sistema inmune, para el cuidado de piel, efectos hepatoprotectores y antidiabéticos, (Canche-Escamilla *et al.*, 2019; Maan *et al.*, 2018; Nicolau-Lapeña *et al.*, 2021) , por lo cual, tiene aplicaciones en la industria cosmética, alimentaria y farmacéutica (Maan *et al.*, 2018; Santacruz *et al.*, 2015). El aloe vera (*Aloe barbadensis Miller*) es una planta suculenta perenne perteneciente a la familia Aloaceae, que se ha utilizado por más de 2000 años por sus propiedades curativas y terapéuticas (Reyes *et al.*, 2012), el 98.5–99.5% de la planta corresponde a agua (Sriariyakul *et al.*, 2016) y el restante, se compone principalmente de polisacáridos (más de 60 g de polisacáridos / 100 g de sólidos de gel) (R. Minjares *et al.*, 2016); además, contiene aproximadamente 75 nutrientes, 200 compuestos activos que incluyen aminoácidos, azúcares, enzimas, vitaminas, minerales, saponinas, antraquinonas, lignina y ácido salicílico (Maan *et al.*, 2018).

Alrededor de 42 mil hectáreas son cultivadas en América (19 mil) y en el mundo (23mil), cada año. Los principales exportadores de Aloe vera son: Tailandia (35%), México (30%) y República Dominicana (18%) (Bahmani *et al.*, 2016). La producción en Colombia, de acuerdo a la cadena productiva sábila (2017), cuenta con un área sembrada de 1815 ha, en los departamentos: Valle del Cauca, Risaralda y Huila, con una producción del 22%, 17% y 5%, respectivamente.

Actualmente, el consumo de alimentos con propiedades benéficas para la salud, ha ido en aumento (Lozano *et al.*, 2011); por ello, las distintas industrias están interesadas en la generación de nuevos productos que tengan un efecto positivo sobre la salud del consumidor. Debido a los componentes bioactivos presentes en el *Aloe vera*, es usada en la elaboración de bebidas con aloe, leche, helados, suplementos alimenticios, preparaciones de gel, pomadas, cremas, jabones, champús, limpiadores faciales, lociones) (Sánchez *et al.*, 2017), (Mudgil *et al.*, 2016). Por lo tanto, optimizar la cadena productiva en su recolección, manejo, transporte, molienda, deshidratación, extracción, y estabilización del gel, es fundamental para obtener productos que conserven las propiedades fisiológicas y farmacéuticas de esta planta (Sánchez *et al.*, 2017).

Así mismo, factores ambientales favorecen la rápida oxidación, descomposición y pérdida de sus actividades biológicas, cuando el gel es expuesto a ellos, contribuyendo a la degradación de la matriz de gel por reacciones enzimáticas naturales, como al crecimiento de bacterias, debido a la presencia de oxígeno (Ramachandra & Srinivasa, 2008). Sin embargo, investigadores han desarrollado técnicas que ayudan en la esterilización y estabilización durante su procesamiento, usando tratamientos térmicos.

Por otro lado, el gel *Aloe vera* es altamente perecedero, por lo que el uso de las tecnologías apropiadas es fundamental con el fin de aumentar la estabilidad de almacenamiento, conservando sus propiedades funcionales (R. Minjares et al., 2016) . La deshidratación (secado), es uno de los métodos comúnmente aplicado para la conservación del producto, en el sector agrícola y farmacéutico. Mediante el secado se elimina líquido para obtener un producto seco con los criterios de calidad correspondientes (Rosero, 2018). Sin embargo, según Vega *et al*., (2007) y Miranda *et al*., (2009) citado por Domíguez *et al*., (2012), ha evidenciado en sus investigaciones el efecto de la temperatura en los parámetros cinéticos del secado convectivo del gel, en donde rangos de temperatura de 50 a 90 °C reducen el tiempo de secado de 800 a 200 minutos para llegar a la humedad de equilibrio específica y a la vez disminuye la capacidad antioxidante del gel al aumentar la temperatura.

El siguiente documento, tiene como objetivo analizar e identificar cuál es el método de secado que permite un mejor aprovechamiento de la materia prima, conservando sus propiedades funcionales y organolépticas al final del proceso, ya que éste es uno de los ingredientes base más utilizados en las industrias (alimenticia, farmacéutica y cosmética) por ser versátil en cualquier formulación; además, resaltar sus aplicaciones, composición química, técnicas de deshidratación, estabilización, entre otras.

2. Materiales y métodos

2.1. El Aloe Vera (Aloe barbadensis Miller)

Existen alrededor de 350 especies de aloe, sin embargo, las más populares son el *aloe vera (Aloe barbadensis Mill.)* y el árbol de aloe *(Aloe arborescens Mill.)*. Los geles de las especies de éste último y *Aloe ferox*, mostraron actividad farmacológica en la cicatrización de heridas (Bialik-Wąs *et al*., 2021; Guillén *et al*., 2013; Solek *et al*., 2018)

El género *aloe*, es una hierba suculenta de 80 - 100 cm de altura que madura en 4 - 6 años y sobrevive durante casi 50 años en condiciones favorables (Sahu *et al*., 2013). La planta puede sobrevivir a una temperatura de 40 °C y por debajo de la temperatura de congelación, dependiendo de la salud de la raíz (Baruah *et al*., 2016).

El *Aloe vera* es una planta perenne con hojas verdes turgentes unidas en el tallo en forma de roseta. Las hojas están formadas por una epidermis gruesa (piel) cubierta con cutículas que rodean la mesofila, que se pueden diferenciar en células de clorénquima y células de paredes más delgadas que forman el parénquima (R. Minjares & Femenia, 2019) y crece en las regiones como: África, Asia, Europa y América (Bajpai, 2018).

2.2. Composición química

El *Aloe vera* está compuesto por cerca de 20 sustancias favorables para la salud (Domíguez *et al*., 2012). En materia seca, el gel de *aloe* se compone de polisacáridos (55%), azúcares (17%), minerales (calcio, cromo, cobre, hierro,

magnesio, manganeso, potasio, fósforo, sodio, zinc) (16%), proteínas (7%), lípidos (4%) y compuestos fenólicos (1%), vitaminas (A,C, E, β-caroteno, B1, B2, B3, B6, B12, ácido fólico) (Ahlawat & Khatkar, 2011; Nicolau-Lapeña *et al*., 2021).

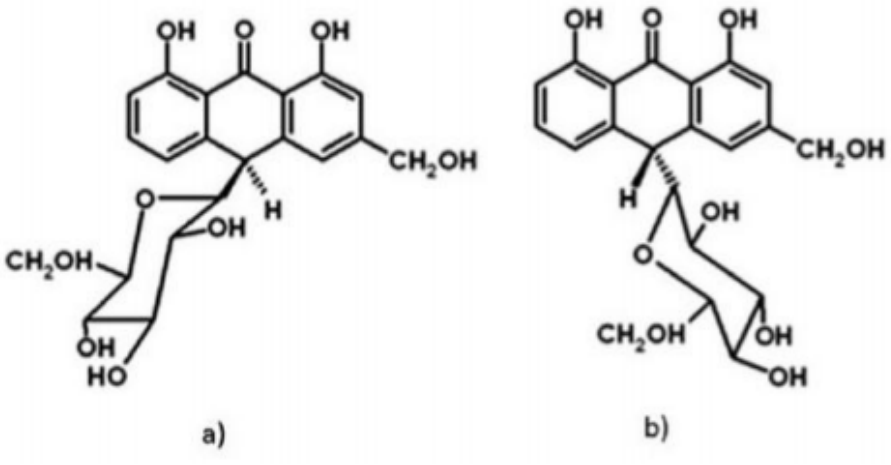

Figura 1.

Figura 1. Estructura a) Barbaloíona, b) Isobarbaloina
(Lacerda, 2016)

Las cromonas y las antraquinonas (barbaloína e isobarbaloina), son los principales compuestos fenólicos del *Aloe vera* (Figura 1) (Lacerda, 2016). La aloína es el principal componente del acíbar, que la planta secreta como defensa para alejar a posibles depredadores por su olor y sabor desagradable (Domíguez *et al*., 2012).

3. Resultados y discusiones

3.1. Usos y aplicaciones del aloe

Alimentos nutracéuticos, definido como una sustancia alimenticia o parte de ella, que proporciona beneficios para la salud, en la prevención de enfermedades. La mayoría de éstos, no son productos farmacéuticos y, por lo tanto, se tratan como alimentos (Khorasani *et al*., 2018). Se ha descubierto que los nutracéuticos desempeñan un papel clave en diferentes funciones fisiológicas en el cuerpo y ayudan a combatir varios trastornos como enfermedades cardiovasculares, cáncer, diabetes, hipertensión, entre otros. La funcionalidad de los alimentos es valorada cuando éstos compuestos están presentes (Nazir *et al*., 2019).

Dado los diferentes beneficios del aloe vera, hacen que sea un producto de interés para la industria farmacéutica y alimentaria. En la figura 2, se representa la distribución del *Aloe Vera* en la industria (Patiño, 2016).

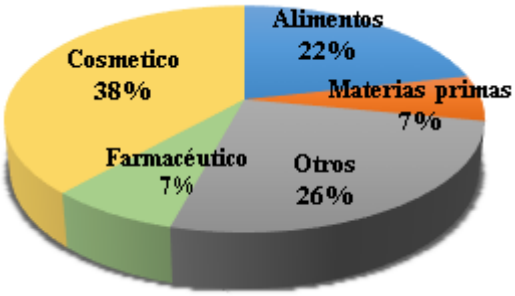

Figura 2.

Figura 2. Usos del *Aloe vera* según la industria
(Patiño, 2016)

3.2. Industria alimentaria

En la actualidad, el *Aloe vera barbadensis Mill* y *Aloe vera arborescens* han sido utilizados en la elaboración de recubrimientos de frutas (uvas, durazno, ciruelas, cerezas), debido a que reducen la pérdida de peso y la producción de etileno, manteniendo la calidad e inhibiendo la proliferación de microorganismos (*Penicillium, Botrytis, Monilia*) (Ortega *et al*., 2017). Un estudio reciente en kiwis cortados en el que se usó *Aloe vera*, fue eficaz para reducir la despolimerización de pectina y la proliferación microbiana; además, mejoró la calidad sensorial (Benítez *et al*., 2015).

Éste tipo de recubrimiento protege y conserva, contra la transferencia de vapor de agua, oxígeno y dióxido de carbono, retrasando la maduración, mejorando las propiedades organolépticas (sabor, aroma, textura y apariencia) (Khaliq *et al*., 2019) (Amanullah *et al*., 2017). Adicionalmente, es una alternativa biodegradable al uso de envases de plástico (Vieira *et al*., 2016).

Generalmente, el gel de aloe se utiliza en la preparación de bebidas saludables como la leche, helados, confitería (Mishra & Sangma, 2017). La tabla 1, muestra las aplicaciones del Aloe vera en la industria alimentaria.

Tabla 1.

Tabla 1. Aplicaciones alimentarias de los productos de *Aloe vera*

Productos	Aplicaciones Alimentarias
Concentrado	Mermelada, jaleas, concentrado para mezclar con té, agua o jugo.
Jugo	Bebida saludable, bebida laxante, sorbete, bebida deportiva, dietética con fibra soluble, yogures, mezcla de Aloe vera para whisky u otro alcohol, pan blanco con Aloe vera.
Polvo	Yogur, cuajada, 'lassi', helado y Aloe vera 'laddu'.
Filete de gel	Caramelos, barra, bocadillo, goma de mascar, gránulos de té instantáneo, goma, vitaminas tipo caramelo, batidos de frutas.

(Ahlawat & Khatkar, 2011)

3.3. Industria farmacéutica

El *Aloe vera* se ha utilizado para la fabricación de productos de uso tópico como ungüentos y geles, así como en la producción de capsulas (tabla 2). El extracto de hoja (penca) incluye la capacidad de mejorar la biodisponibilidad de vitaminas coadministradas en personas, debido a sus efectos potenciadores de la absorción eficaz de medicamentos poco absorbibles, a través de la vía oral. Además, el producto seco en polvo obtenido del gel, ha sido utilizado con éxito para fabricar tabletas de tipo matriz directamente comprimible (Srujana *et al*., 2012).

Tabla 2.

Tabla 2. Resumen de las aplicaciones farmacológicas del *Aloe vera*

Efecto	Parte de la planta usada
Apósito para heridas	Hoja
Tratamiento del vértigo	Hoja
Curación de heridas	Aloe gel
Efecto antidiabético	Aloe gel
Cáncer de mama, cáncer gastrointestinal y glioblastoma cerebral	Aloe vera + miel
Efecto antitumoral y antiulceroso	Glicoproteínas de Aloe vera

(Ahlawat & Khatkar, 2011)

3.4. Industria cosmética

De acuerdo a Javed & Atta (2014), el gel de *Aloe vera* es un ingrediente cosmético y dermatológico ideal, utilizado en más del 95% de estos productos. Tiene preparaciones antienvejecimiento únicas para la conservación de una piel vigorosa y de aspecto fresco; se ha utilizado como material de base para la producción de cremas, lociones, jabones, champús, limpiadores faciales, entre otros (tabla 3) (Nejatzadeh, 2013). Adicionalmente, se usa ampliamente en los tejidos faciales, donde se promueve como un humectante y / o anti-irritante (Ray, 2012). También, como tónico de la piel contra granos y como hidratante para mantener la piel nebulizada en climas secos y evita la descamación del cuero cabelludo. La acción cosmética del gel de *Aloe vera* es antiinflamatoria, tonificante, calmante e hidratante (Javed & Atta, 2014).

Tabla 3.

Tabla 3. Productos cosméticos comerciales ricos en polifenoles disponibles en el mercado

Productos comerciales	Contenido principal de polifenoles/extractos
Beauty by earth	Jugo de hoja de Aloe barbadensis (Aloe vera) orgánico, extracto de hoja de Camellia oleifera (té verde japonés) orgánico, extracto orgánico de Punica granatum (granada), extracto orgánico de Hamamelis virginiana, extracto orgánico de Vaccinium macrocarpon (arándano), extracto, aceite de semilla orgánica de Simmondsia chinensis (jojoba), aceite de semilla orgánica de Argania spinosa (argán), pulpa de Cocos nucifera (coco), vainilla tahitensis (vainilla), extracto de fruta, entre otros.
Poly-GRO	Procianidina B2 de la manzana
Caudalie Viña activa	Semillas de uva y extracto de Picea abies
Polifenoles Caudalie	Semillas de uva
Chantecaille	Extracto de manzana verde
Whole blends Garnier	Extracto de hoja de oliva

(Rodrigues *et al.*, 2018)

3.5. Estabilización del Aloe vera

Durante el procesamiento del gel de *Aloe vera*, se pueden alterar las propiedades de los polisacáridos al afectar su estructura original, generando algunos cambios en las propiedades farmacéuticas de éstos, debidas a las operaciones realizadas como: triturar, moler, presionar la hoja (penca), separación del gel del epicarpio y moler el gel para producir un jugo de *aloe*, seguido de varios pasos de filtración y estabilización. Además, su alta actividad hídrica de A. vera (aw> 0.90) y composición de carbohidratos, su vida útil es de 3 - 4 días a temperatura ambiente, por lo que es necesario utilizar métodos de conservación para mantener la mayoría de los ingredientes activos y aumentar su vida útil (Cervantes *et al.*, 2014).

La estabilización del gel de *Aloe vera* suele obtenerse concentrando el gel para reducir el agua o secándolo para obtener polvo sólido. También, puede lograrse añadiendo conservantes y otros aditivos, por ejemplo, benzoato de sodio y ácido cítrico. Los beneficios para la salud de *Aloe vera* se atribuyen a sus actividades biológicas. El gel, se puede concentrar en vacío sin pérdida de actividades biológicas (Rahman *et al.,* 2017). Por tanto, es imperativo que se desarrollen técnicas de procesamiento simple pero eficiente para mejorar la calidad del producto, preservando y manteniendo la mayor parte de los compuestos bioactivos presentes de forma natural.

A partir de lo anterior, se ha realizado una descripción y comparación de diferentes técnicas (tratamientos térmicos), utilizadas con dicho propósito.

3.6. Técnicas de secado de productos agropecuarios

El secado (o deshidratación) es una de las operaciones unitarias importantes en la elaboración de alimentos, para su conservación, al reducir la cantidad de humedad en la matriz alimentaria a niveles que ralentizarán e inhiben la actividad microbiana, enzimática y la calidad del producto asociada al deterioro. Éste es un proceso que consume mucha energía, que puede alterar los atributos de calidad asociados a largos periodos de exposición y altas temperaturas. El proceso de secado de materiales alimenticios es extremadamente complejo, e involucra mecanismos transitorios acoplados de procesos de transferencia de calor, masa y momento, acompañados por transformaciones físicas, químicas y de cambio de fase, reduce el volumen y masa para su almacenamiento y transporte (Sabarez, 2016).

Es importante considerar el comportamiento de las propiedades funcionales de la matriz del alimento frente a la exposición de temperatura, ya que algunos de éstos son altamente afectados por los procesos de secado, influyendo significativamente en el alcance de su aplicación y valor comercial (Dehnad *et al*., 2016).

Las tecnologías de secado pertenecen a la primera, segunda, tercera o cuarta generación. Las correspondientes a la primera generación son: los secadores de tipo gabinete y lecho, como: el horno, la bandeja, el transportador de flujo rotativo y el túnel que utilizan aire caliente como medio de transferencia de calor. Los secadores por aspersión y tambor, de segunda. Y a la tercera, pertenecen: liofilización y la deshidratación osmótica. Finalmente, secado por microondas, infrarrojos, bomba de calor, radiofrecuencia y ventana de refractancia a la cuarta (RW ™) (Raghavi *et al*., 2018).

El uso potencial de los productos de *Aloe vera*, a menudo implica algún tipo de procesamiento, incluyendo, entre otros, el secado. De éste último se obtiene materia seca (polvo), que puede mezclarse con otros ingredientes para formar una gran variedad de productos dietéticos, cosméticos y farmacéuticos (Krokida *et al*., 2012).

3.7. Secado por convección forzada

Actualmente, el uso del secado por convección (secado por aire caliente), se mantiene como una como un método para la conservación de alimentos. En el cual, el calor ingresa a la matriz alimentaria por una corriente de aire caliente, donde es transferido a la superficie del producto por convección y luego dentro del mismo por difusión o convección, dependiendo de su estructura. El flujo de calor provoca un aumento de la temperatura del producto y en consecuencia la evaporación del agua (Castro *et al.*, 2018). Los secadores por convección, se puede operar a bajas temperaturas, para proteger el material contra el sobrecalentamiento, la contracción, la decoloración y el endurecimiento de la carcasa. Un factor importante es el efecto de la exposición a largo plazo a altas temperaturas, que influye directamente en la calidad del producto induciendo degradaciones indeseables (Szadzińska *et al.*, 2016)(Karam *et al.*, 2016).

Según Vega *et al*., (2007) observó en el *Aloe vera*, que el tiempo de secado disminuyó cuando la temperatura aumentó hasta alcanzar humedad de

equilibrio. Las temperaturas utilizadas fueron (50, 60, 70, 80 y 90 ° C), analizando el contenido de humedad en función del tiempo. El tiempo requerido para lograr un contenido de humedad inferior a 2.0 g de agua / g hbs a 50 ° C fue de 800 minutos, siendo el doble del tiempo requerido para alcanzar el mismo contenido de humedad a una temperatura de 70 ° C (400 minutos), y triple para una temperatura de 90 ° C (200 min).

3.8. Secado por aspersión

Es una tecnología ampliamente utilizada en los últimos años, conocido como Spray drying (SD), el cual permite que propiedades del producto como sabor, color y nutrientes, se conservan en altos porcentajes. El SD, es un método apropiado para productos sensibles al calor, como jugo de frutas, puré de verduras y productos químicos ricos en azúcares. Es una técnica de evaporación de agua que utiliza aire caliente para estabilizar soluciones y suspensiones para producir polvos ligeros, con un tamaño de partícula y contenido de humedad específicos, operación continua, tiempos de producción cortos, rentabilidad y flexibilidad (Medina *et al.*, 2016) (Cervantes *et al.*, 2014).

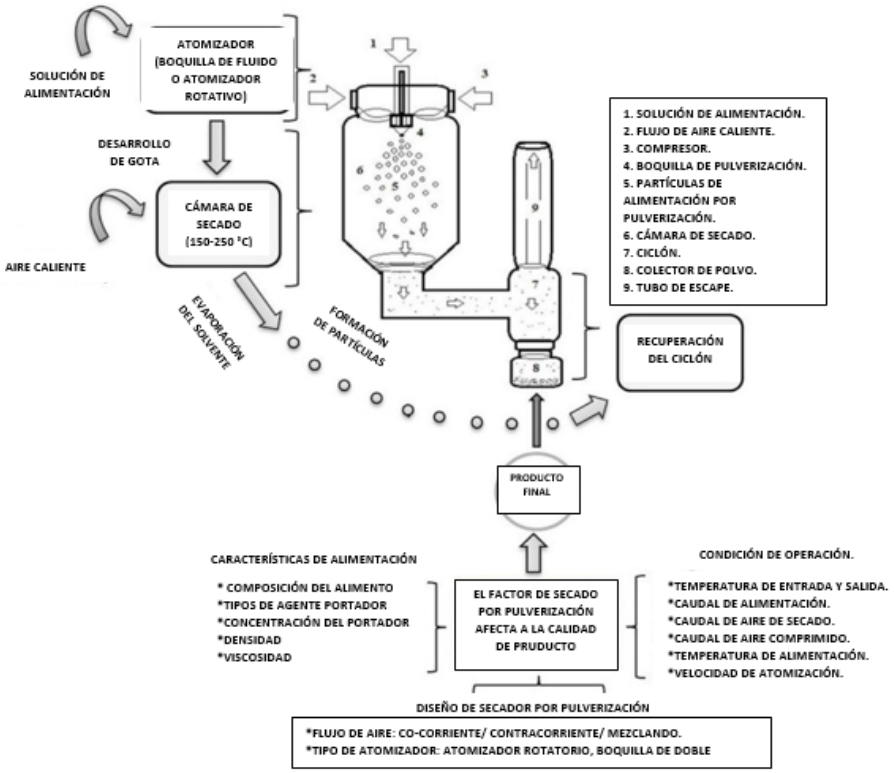

Figura 3.

Figura 3. Diagrama esquemático del secado por aspersión y factores que afectan la calidad del producto (Shishir & Chen, 2017)

El SD, consta de tres pasos: atomización de la muestra alimentaria, secado de las gotas de líquido y recuperación del polvo como se muestra en la figura 3. Durante la atomización, la alimentación líquida pasa a través de un atomizador a la cámara de secado y se distribuye en pequeñas partículas líquidas en un

gran volumen. La atomización maximiza el área de volumen de superficie de la alimentación líquida para un secado efectivo y eficiente. Las propiedades del producto final dependen del diseño del atomizador y su rendimiento (Shishir & Chen, 2017). Estudios realizados por Cervantes *et al*., (2014), mediante SD del *Aloe vera* en función de las propiedades reológicas, encontraron que tiene un alto potencial como espesante, estabilizador con aplicación industrial. Además, es un método que ayuda a prolongar la vida útil del aloe, preservando sus propiedades mecánicas para fluir. Otros autores, como Tonon *et al.,* (2008), citado por Shishir & Chen (2017), encontraron que el tamaño de partícula del polvo de fruta açaí aumentó de 13.38 mm a 20.11 mm con el aumento de la temperatura de secado de entrada de 138ºC a 202ºC.

3.9. Secado por liofilización

Conocida como Freeze-drying por sus siglas en inglés FD, es una técnica de deshidratación que representa el proceso ideal para la obtención de productos secos de alto valor. Este método, realiza una congelación y se usa con frecuencia para lograr una estabilidad de almacenamiento a largo plazo de productos biofarmacéuticos sensibles. El proceso de FD consiste principalmente en dos pasos: el producto se congela a (-20 ° C) y luego se aplica una cantidad controlada de calor al vacío (secado por congelación al vacío) o a presión atmosférica (secado por congelación atmosférica) para promover la sublimación (figura 4). Durante la FD, la eliminación de la humedad interna pasa por dos etapas: 1- produce la sublimación de los cristales de hielo y 2 - donde se produce la desorción del agua restante no congelada (Karam *et al.,* 2016). Más del 40% de los productos biológicos comercializados son liofilizados. El proceso de fabricación del alimento, requiere mucho tiempo (días o semanas) y dinero (Horn *et al*., 2018).

Esta técnica es bien conocida por su capacidad para mantener la calidad del producto (color, forma, aroma y valor nutricional) superior a cualquier otro método de secado, debido a su baja temperatura de procesamiento entre (2 a 10 °C) y la ausencia virtual de oxígeno en el aire durante el procesamiento, lo que minimiza las reacciones de degradación. Otros factores prominentes, incluyen la rigidez estructural mostrada por la sustancia congelada en la superficie, así como la movilidad limitada del agua congelada evitando así colapsos y encogimientos de la matriz sólida. Sin embargo, es importante resaltar, que esta técnica es un método costoso. Es económicamente viable solo en el caso de productos de alto valor agregado y siempre que la calidad superior del producto justifique el mayor costo de producción (Berk, 2018).

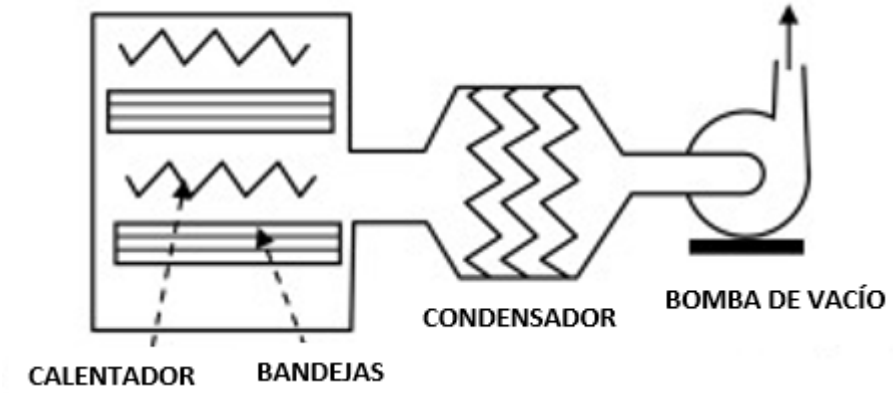

Figura 4.
Figura 4. Partes de un liofilizador
(Berk, 2018)

De acuerdo a Simal *et al*., (2000) citado por (Nindo *et al.*, 2010) evaluaron los filetes secados por convección y liofilizados de las hojas de *Aloe vera* para determinar su capacidad de retención de agua, rehumedecimiento y capacidad de absorción de grasa, observaron que las temperaturas del aire (40°C a 80°C) tenían un efecto mayor sobre esas propiedades que el tiempo de secado. Otros estudios sobre el secado del *Aloe vera*, han determinado el efecto de la temperatura y la humedad relativa sobre el tiempo de secado y los cambios en las propiedades fisicoquímicas y la actividad antioxidante.

3.10. Secado por ventana refractiva

Es una de esas técnicas que ha llamado la atención, debido a los numerosos beneficios. La técnica consiste en secar purés y líquidos colocados sobre una delgada película transparente infrarroja que esencialmente forma una "ventana" a través de la cual se produce el secado (figura 5). Es importante destacar que las temperaturas del producto se mantienen bajas (alrededor de 39°C) y se produce un secado rápido, ya que están involucrados los tres modos de transferencia de calor (Raghavi *et al.*, 2018).

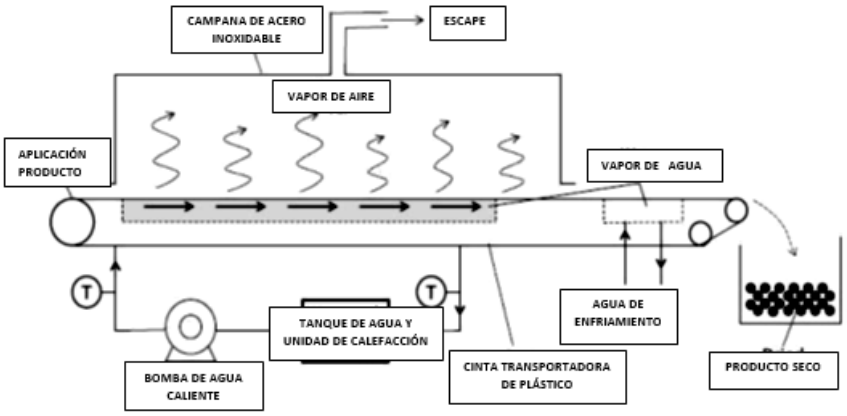

Figura 5.

Figura 5. Diagrama esquemático de un sistema de secado RW ™
(Raghavi *et al*., 2018)

Esta tecnología fue patentada por Magoon (1986) y desarrollada por MCD Technologies Inc. (Tacoma, Washington, EE. UU.). Conocida por la capacidad para obtener alimentos deshidratados de alta calidad en comparación con el proceso de secado convencional (secado por convección). Por lo que, éste método, no solo mejora el color, el sabor, sino también la retención de vitaminas y antioxidantes (Franco *et al.*, 2019).

Las principales ventajas relacionadas con esta nueva técnica son: evita la contaminación cruzada ya que el medio de transferencia de calor no entra en contacto directo con el producto en sí, además se caracteriza por ser un secado de bajo costo, debido a que trabaja a presión atmosférica y temperaturas comparativamente bajas, y el hecho de que el enfriamiento simultáneo por evaporación y la transferencia de calor por convección permiten que se produzcan preparaciones bioactivas a temperaturas tan bajas como 30 °C (Bernaert *et al.*, 2019).

Este método es utilizado para secar productos sensibles al calor como purés de frutas y vegetales, rebanadas, jugos en polvo, escamas u hojas. La retención del color, sabor, aroma, vitaminas y antioxidantes se pueden mejorar en este proceso de secado y la calidad del producto generalmente puede ser comparable o, en algunos casos, mejorar en comparación con liofilización. La técnica también se utiliza para secar productos farmacéuticos, nutracéuticos, cosméticos y pigmentos (Ortiz *et al.*, 2015).

En la tabla 4, se ha realizado la comparación de los métodos de secado (tratamientos térmicos) anteriormente expuestos, teniendo en cuenta diferentes parámetros, en los que se incluye la calidad del *Aloe vera* en función de la degradación de los compuestos funcionales.

3.11. Discusión

Según las tecnologías de secado estudiadas y teniendo en cuenta las características diferenciales en relación a tiempo, temperatura y costos de operación; es posible destacar y seleccionar el método más eficaz que permita preservar las propiedades

funcionales del Aloe vera, teniendo en cuenta el gasto energético en el proceso de secado, el cual representa un 12-20% del total de las industrias manufactureras (Raghavi *et al*., 2018).

Los procesos de secado como: convección, aspersión, liofilización y ventana refractante se encuentran entre los más empleados; sin embargo, las condiciones aplicadas durante el proceso de secado pueden causar modificaciones irreversibles a los polisacáridos del *Aloe vera*, afectando su estructura original, lo que a su vez, puede conducir a cambios considerables, no solo en las propiedades fisiológicas y farmacológicas, sino también en el aspecto físico y propiedades químicas de los compuestos bioactivos de Aloe vera (R. Minjares *et al.*, 2016). El secado por convección forzada es el método tradicional en el cual se puede regular la temperatura, pero el tiempo de operación es prolongado, dependiendo de la temperatura a trabajar y conociendo previamente la materia prima, para el caso Aloe vera, este material es sensible a altas temperaturas (termolábil). Por tanto, el incremento de un rango entre 50 a 90°C reduce el tiempo de secado desde 800 hasta 200 min llegando a la humedad de equilibrio, pero disminuye la capacidad antioxidante del gel (Domíguez *et al.*, 2012); pero Miranda *et al*., (2009) sugiere que las temperaturas de secado para el gel de Aloe vera sea entre 60 y 70 ° C. No obstante, el secado con aire caliente es uno de los métodos de secado menos costosos en términos de consumo de energía y suministro de equipos, en comparación con otros procesos de deshidratación como secado por aspersión y liofilización (Ratti, 2013).

Por otra parte, el secado por aspersión, liofilización y ventana refractante se resaltan por preservar y obtener un producto de alta calidad, los cuales permiten conservar las propiedades nutracéuticas del *Aloe vera* para un posible uso industrial; sin embargo, según los parámetros mencionados anteriormente, el secado por ventana refractante presenta ventajas, como: evita la contaminación cruzada ya que el medio de transferencia de calor no entra en contacto directo con el producto, caracterizándose por tiempos de secado cortos (3–6 min) y temperaturas de secado relativamente bajas (entre 30–70 ° C) y, por tanto, permite una mejor retención de color, vitaminas y antioxidantes (Bernaert *et al*., 2019).

Tabla 4

Tabla 4. Comparación de las técnicas de secado fuente

Parámetro	Aire caliente (convección)	Secado por aspersión	Liofilizado	Ventana refractante
Tipo de producto	Los más utilizados en la industria de alimentos: Ají dulce, uchuva	Aloe vera, jugo de naranja, pulpa de tomate, cebada verde	Aloe vera, fresa, frutas tropicales	Aloe vera, puré de ciruelas y fresa, espárragos, frambuesa y arándanos
Operación	Fácil de operar, sencillo, fácil manejo	Fácil de operar	Complicado de operar	Fácil de operar
Costo unidad	Unidades de bajo costo	Alta inversión inicial	Unidad de alto costo, costo de operación cuatro veces más alto que el secado tradicional	Barato en comparación con los equipos de liofilización. 1/5 a 1/2 de un equipo liofilizador que sirvo la misma cantidad de producto
Pérdidas en el proceso	No se presentan pérdidas	Pérdida de la muestra, adhesión a las paredes del secador	No se presentan pérdidas	Pérdidas por producto adherido a la película
Nivel de contaminación	Depende de la fuente de generación de aire. En combustión directa se presenta contaminación por los productos de la combustión	Contaminante	No contaminante	No contaminante
Costo de mantenimiento	Bajo costo de mantenimiento	Si se desea prevenir pérdidas de producto, las instalaciones de fábrica de secos requieren otro costo	----	Bajo costo de mantenimiento
Calidad en productos deshidratados de aloe vera	Modifica algunas propiedades funcionales en el tejido de aloe vera	Deterioro del ingrediente activo de aloe vera	Preserva las propiedades físicas y el ingrediente activo en aloe vera	Preserva buenas propiedades de reconstitución, fluye libremente y con atributos de color agradables

(Mejia Terán, 2011)

A partir de la liofilización, es posible obtener productos de alta calidad, debido a que la mayoría de reacciones que promueven el deterioro son lentas o en su defecto se detienen, pese a ello, el costo de producción es aproximadamente 8 y 4 veces mayor que el secado al aire convencional y el secado por aspersión,

respectivamente. Por consiguiente, el alto costo operativo asociado con la liofilización restringe su uso solo a productos de alto valor (Ratti, 2013).

Finalmente, Minjares *et al*., (2017) y Medina *et al*., (2019), han manifestado que el uso de altas temperaturas (150 entrada - 75°C salida) para el secado por aspersión, es una de las principales ventajas, debido a que reduce la degradación de los compuestos bioactivos, derivado de los cortos tiempos de residencia (<5 s). Por lo tanto, este método ha sido ampliamente investigado y representa una excelente oportunidad por a su alto rendimiento de producción, bajo costo operativo (30-50 veces menos costoso que la liofilización) y el uso de equipos ampliamente disponibles para uso industrial en relación con las técnicas de deshidratación consultadas (Yingngam *et al*., 2019).

4. Conclusión

Las técnicas de secado que mejor se ajustan a las necesidades de conservar las propiedades funcionales del *Aloe vera*, es la liofilización y ventanas refractantes, dado que permiten emplear bajas temperaturas (30-70°C) y tiempos cortos de secado (3 – 6 min). También, evita la contaminación cruzada, preserva las propiedades físicas (color), componentes activos: vitaminas y antioxidantes. Los principales factores que se deben tener en cuenta para la conservación de las propiedades funcionales del aloe son temperatura y tiempos de exposición, ya que, a mayores, ésta es directamente proporcional a su degradación.

Referencias bibliográficas

Ahlawat, K. S., & Khatkar, B. S. (2011). Processing, food applications and safety of aloe vera products: A review. Journal of Food Science and Technology, 48(5), 525–533. https://doi.org/10.1007/s13197-011-0229-z

Amanullah, S., Jahangir, M. M., Ikram, R. M., Sajid, M., Abbas, F., & Mallano, A. I. (2017). Aloe vera Coating Efficiency on Shelf Life of Eggplants at Differential Storage Temperatures. Journal of Northeast Agricultural University (English Edition), 23(4), 15–25. https://doi.org/10.1016/s1006-8104(17)30003-x

Bahmani, M., Shahinfard, N., Fasihzadeh, S., Mirhosseini, M., & Rafieian-Kopaei. (2016). Aloe vera: An update on its phytomedicinal, pharmaceutical and therapeutic properties. Der Pharmacia Lettre, 8(1), 206–213.

Bajpai, S. (2018). Biological importance of Aloe vera and its active constituents. In Synthesis of Medicinal Agents from Plants (Vol. 1753). Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/b978-0-08-102071-5.00008-8

Baruah, A., Bordoloi, M., & Deka Baruah, H. P. (2016). Aloe vera: A multipurpose industrial crop. Industrial Crops and Products, 94, 951–963. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.08.034

Benítez, S., Achaerandio, I., Pujolà, M., & Sepulcre, F. (2015). Aloe vera as an alternative to traditional edible coatings used in fresh-cut fruits: A case of study with kiwifruit slices. LWT - Food Science and Technology, 61(1), 184–193. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.11.036

Berk, Z. (2018). Freeze drying (lyophilization) and freeze concentration. In Food Process Engineering and Technology (3rd ed., pp. 567–581). Academic Press. https://doi.org/10.1016/b978-0-12-812018-7.00023-3

Bernaert, N., Van Droogenbroeck, B., Van Pamel, E., & De Ruyck, H. (2019). Innovative refractance window drying technology to keep nutrient value during processing. Trends in Food Science and Technology, 84(June 2017), 22–24. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.07.029

Bialik-Wąs, K., Pluta, K., Malina, D., Barczewski, M., Malarz, K., & Mrozek-Wilczkiewicz, A. (2021). Advanced SA/PVA-based hydrogel matrices with prolonged release of Aloe vera as promising wound dressings. Materials Science and Engineering C, 120(August 2020). https://doi.org/10.1016/j.msec.2020.111667

Canche-Escamilla, G., Colli-Acevedo, P., Borges-Argaez, R., Quintana-Owen, P., May-Crespo, J. F., Cáceres-Farfan, M., Yam Puc, J. A., Sansores-Peraza, P., & Vera-Ku, B. M. (2019). Extraction of phenolic components from an Aloe vera (Aloe barbadensis Miller) crop and their potential as antimicrobials and textile dyes. Sustainable Chemistry and Pharmacy, 14(August). https://doi.org/10.1016/j.scp.2019.100168

Castro, A. M., Mayorga, E. Y., & Moreno, F. L. (2018). Mathematical modelling of convective drying of fruits: A review. Journal of Food Engineering, 223, 152–167. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.12.012

Cervantes, C. V., Medina-Torres, L., González-Laredo, R. F., Calderas, F., Sánchez-Olivares, G., Herrera-Valencia, E. E., Gallegos Infante, J. A., Rocha-Guzman, N. E., & Rodríguez-Ramírez, J. (2014). Study of spray drying of the Aloe vera mucilage (Aloe vera barbadensis Miller) as a function of its rheological properties. LWT - Food Science and Technology, 55(2), 426–435. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.09.026

Dehnad, D., Jafari, S. M., & Afrasiabi, M. (2016). Influence of drying on functional properties of food biopolymers: From traditional to novel dehydration techniques. Trends in Food Science and Technology, 57, 116–131. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.09.002

Domíguez, R., Arzate, I., Chanona, J., Welti, J., Alvarado, J., Garibay, V., & Gutiérrez, G. (2012). El gel de aloe vera: Estructura, composición quimica,procesameinto,actividad biológica e importancia en la industria farmacéutica y alimentaria. Revista Mexicana de Ingeniera Qumica, 11(1), 23–43.

Franco, S., Jaques, A., Pinto, M., Fardella, M., Valencia, P., Núñez, H., Ramírez, C., & Simpson, R. (2019). Dehydration of salmon (Atlantic salmon), beef, and apple (Granny Smith) using Refractance windowTM: Effect on diffusion behavior, texture, and color changes. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 52(November 2018), 8–16. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.12.001

Guillén, F., Díaz-Mula, H. M., Zapata, P. J., Valero, D., Serrano, M., Castillo, S., & Martínez-Romero, D. (2013). Aloe arborescens and Aloe vera gels as coatings in delaying postharvest ripening in peach and plum fruit. Postharvest Biology and Technology, 83, 54–57. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.03.011

Horn, J., Schanda, J., & Friess, W. (2018). Impact of fast and conservative freeze-drying on product quality of protein-mannitol-sucrose-glycerol lyophilizates. European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics, 127(March), 342–354. https://doi.org/10.1016/j.ejpb.2018.03.003

Javed, S., & Atta, R. (2014). Aloe vera gel in food, health products, and cosmetics industry. In Studies in Natural Products Chemistry (1st ed., Vol. 41). Elsevier B.V. https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63294-4.00009-7

Karam, M. C., Petit, J., Zimmer, D., Baudelaire Djantou, E., & Scher, J. (2016). Effects of drying and grinding in production of fruit and vegetable powders:

A review. Journal of Food Engineering, 188, 32–49. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.05.001

Khaliq, G., Ramzan, M., & Baloch, A. H. (2019). Effect of Aloe vera gel coating enriched with Fagonia indica plant extract on physicochemical and antioxidant activity of sapodilla fruit during postharvest storage. Food Chemistry, 286(October 2018), 346–353. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.135

Khorasani, S., Danaei, M., & Mozafari, M. R. (2018). Nanoliposome technology for the food and nutraceutical industries. Trends in Food Science and Technology, 79(February), 106–115. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.07.009

Krokida, M., Pappa, A., & Agalioti, M. (2012). Effect of drying on Aloe's functional components. Procedia Food Science, 1, 1523–1527. https://doi.org/10.1016/j.profoo.2011.09.225

Lacerda, G. E. (2016). Composição química, fitoquímica e dosagem de metais pesados das cascas das folhas secas e do gel liofilizado de Aloe Vera cultivadas em hortas comunitárias da cidade de palmas, Tocantins.

Lozano, L. A., Muvdi, C., & Mejia, luz D. (2011). Estabilización del gel de Aloe Barbadensis Miller y disminución de su concentración por adsorción en columna con carbón activado. 24(1), 61–67.

Maan, A. A., Nazir, A., Khan, M. K. I., Ahmad, T., Zia, R., Murid, M., & Abrar, M. (2018). The therapeutic properties and applications of Aloe vera: A review. Journal of Herbal Medicine, 12(January), 1–10. https://doi.org/10.1016/j.hermed.2018.01.002

Medina, L., Calderas, F., Minjares, R., Femenia, A., Sánchez-Olivares, G., Gónzalez-Laredo, F. R., Santiago-Adame, R., Ramirez-Nuñez, D. M., Rodríguez-Ramírez, J., & Manero, O. (2016). Structure preservation of Aloe vera (barbadensis Miller) mucilage in a spray drying process. LWT - Food Science and Technology, 66, 93–100. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.10.023

Medina, L., Núñez, D. M., Calderas, F., & González, R. F. (2019). Industrial Crops & Products Microencapsulation of gallic acid by spray drying with aloe vera mucilage (aloe barbadensis miller) as wall material. Industrial Crops & Products, 138(June), 111461. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.06.024

Mejia Terán, A. L. (2011). Efecto de la deshidratación por radiación infrarroja sobre algunas características fisicoquímicas de interés comercial del Aloe vera (Aloe barbadensis). 77. http://intellectum.unisabana.edu.co/handle/10818/1249?locale-attribute=en

Minjares, R., & Femenia, A. (2019). Aloe vera. In Journal of the American Academy of Dermatology (Vol. 18, Issue 4, pp. 714–720). Elsevier Inc. https://doi.org/10.1016/S0190-9622(88)70095-X

Minjares, R., Femenia, A., Comas-Serra, F., Rosselló, C., Rodríguez-González, V. M., González-Laredo, R. F., Gallegos-Infante, J. A., & Medina-Torres, L. (2016). Effect of different drying procedures on physicochemical properties and flow behavior of Aloe vera (Aloe barbadensis Miller) gel. LWT - Food Science and Technology, 74, 378–386. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.07.060

Minjares, Rafael, Rodríguez, V. M., González, R. F., Eim, V., González, M. R., & Femenia, A. (2017). Effect of different drying procedures on the bioactive polysaccharide acemannan from Aloe vera (Aloe barbadensis Miller). Carbohydrate Polymers, 168, 327–336. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.03.087

Miranda, M., Maureira, H., Rodríguez, K., & Vega-gálvez, A. (2009). Influence of temperature on the drying kinetics , physicochemical properties , and antioxidant

capacity of Aloe Vera (Aloe Barbadensis Miller) gel. Journal of Food Engineering, 91(2), 297–304. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.09.007

Mishra, L. K., & Sangma, D. (2017). Quality attributes, phytochemical profile and storage stability studies of functional ready to serve (RTS) drink made from blend of Aloe vera, sweet lime, amla and ginger. Journal of Food Science and Technology, 54(3), 761–769. https://doi.org/10.1007/s13197-017-2516-9

Mudgil, D., Barak, S., & Darji, P. (2016). Development and characterization of functional cultured buttermilk utilizing Aloe vera juice. Food Bioscience, 15, 105–109. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2016.06.001

Nazir, A., Khan, K., Maan, A., Zia, R., Giorno, L., & Schroën, K. (2019). Membrane separation technology for the recovery of nutraceuticals from food industrial streams. Trends in Food Science and Technology, 86(June 2018), 426–438. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.02.049

Nejatzadeh, F. (2013). Antibacterial activities and antioxidant capacity of Aloe vera. Organic and Medicinal Chemistry Letters, 3(1), 5. https://doi.org/10.1186/2191-2858-3-5

Nicolau-Lapeña, I., Colàs-Medà, P., Alegre, I., Aguiló-Aguayo, I., Muranyi, P., & Viñas, I. (2021). Aloe vera gel: An update on its use as a functional edible coating to preserve fruits and vegetables. Progress in Organic Coatings, 151(November 2020). https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2020.106007

Nindo, C. I., Powers, J. R., & Tang, J. (2010). Thermal properties of Aloe vera powder and rheology of reconstituted gels. Transactions of the ASABE, 53(4), 1193–1200.

Ortega, R., Collazo Bigliardi, S., Roselló, J., Santamarina, P., & Chiralt, A. (2017). Antifungal starch-based edible films containing Aloe vera. Food Hydrocolloids, 72, 1–10. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.05.023

Ortiz, M. J., Gulati, T., Datta, A. K., & Ochoa-Martínez, C. I. (2015). Quantitative understanding of Refractance WindowTM drying. Food and Bioproducts Processing, 95, 237–253. https://doi.org/10.1016/j.fbp.2015.05.010

Patiño, M. J. (2016). Identificación del nivel de industrialización del Aloe vera en Colombia. Universidad de la Salle.

Raghavi, L. M., Moses, J. A., & Anandharamakrishnan, C. (2018). Refractance window drying of foods: A review. Journal of Food Engineering, 222, 267–275. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.11.032

Rahman, S., Carter, P., & Bhattarai, N. (2017). Aloe Vera for Tissue Engineering Applications. https://doi.org/10.3390/jfb8010006

Ramachandra, C. T., & Srinivasa, P. (2008). Processing of Aloe vera leaf gel: A review. American Journal of Agricultural and Biological Science, 3(2), 502–510.

Ratti, C. (2013). Freeze drying for food powder production. In Handbook of food powders#: Processes and properties. Woodhead Publishing Limited. https://doi.org/10.1533/9780857098672.1.57

Ray, A. (2012). Scope of Aloe vera as Medicinal Plant and Skin Care. 3(June), 1–3.

Reyes, J. E., Guanoquiza, M. I., Tabilo-Munizaga, G., Vega-Galvez, A., Miranda, M., & Pérez-Won, M. (2012). Microbiological stabilization of Aloe vera (Aloe barbadensis Miller) gel by high hydrostatic pressure treatment. International Journal of Food Microbiology, 158(3), 218–224. https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2012.07.019

Rosero, I. M. (2018). Comparación de técnicas de secado ventana Refractiva y Convección forzada en frutas tropicales. UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA.

Sabarez, H. (2016). Drying of Food Materials. In Reference Module in Food Science. Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.03416-8

Sahu, P. K., Dayal Giri, D., Singh, R., Pandey, P., Gupta, S., Kumar Shrivastava, A., Kumar, A., & Dev Pandey, K. (2013). Therapeutic and Medicinal Uses of Aloe vera: A Review. Pharmacology & Pharmacy, 4, 599–610. https://doi.org/10.4236/pp.2013.48086

Sánchez, D. I., López, J., Sendón, R., & Sanches, A. (2017). Aloe vera: Ancient knowledge with new frontiers. Trends in Food Science and Technology, 61, 94–102. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.12.005

Santacruz, V., Santacruz, C., & Laguna, J. O. (2015). Physical characterization of freeze-dried foam prepared from aloe vera gel and guar gum. Revista Vitae, 22(2), 75–86. https://doi.org/10.17533/udea.vitae.v22n2a02

Shishir, M. R. I., & Chen, W. (2017). Trends of spray drying: A critical review on drying of fruit and vegetable juices. Trends in Food Science and Technology, 65, 49–67. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.05.006

Solek, P., Majchrowicz, L., & Koziorowski, M. (2018). Aloe arborescens juice prevents EMF-induced oxidative stress and thus protects from pathophysiology in the male reproductive system in vitro. Environmental Research, 166(May), 141–149. https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.05.035

Sriariyakul, W., Swasdisevi, T., Devahastin, S., & Soponronnarit, S. (2016). Drying of aloe vera puree using hot air in combination with far-infrared radiation and high-voltage electric field: Drying kinetics, energy consumption and product quality evaluation. Food and Bioproducts Processing, 100, 391–400. https://doi.org/10.1016/j.fbp.2016.08.012

Srujana, P., Kishore, V. S., Srikanth, K., & Shanmukha, P. Y. (2012). Aloe vera - A Review. 4(2), 119–123.

Szadzińska, J., Kowalski, S. J., & Stasiak, M. (2016). Microwave and ultrasound enhancement of convective drying of strawberries: Experimental and modeling efficiency. International Journal of Heat and Mass Transfer, 103, 1065–1074. https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2016.08.001

Vega, A., Uribe, E., Lemus, R., & Miranda, M. (2007). Hot-air drying characteristics of Aloe vera (Aloe barbadensis Miller) and influence of temperature on kinetic parameters. LWT - Food Science and Technology, 40(10), 1698–1707. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.01.001

Vieira, J. M., Flores-López, M. L., de Rodríguez, D. J., Sousa, M. C., Vicente, A. A., & Martins, J. T. (2016). Effect of chitosan-Aloe vera coating on postharvest quality of blueberry (Vaccinium corymbosum) fruit. Postharvest Biology and Technology, 116, 88–97. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.01.011

Yingngam, B., Kacha, W., Rungseevijitprapa, W., & Sudta, P. (2019). Response surface optimization of spray-dried citronella oil microcapsules with reduced volatility and irritation for cosmetic textile uses. Powder Technology, 355, 372–385. https://doi.org/10.1016/j.powtec.2019.07.065

Notas de autor

u20132123473@usco.edu.co