



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE QUÍMICA

Microencapsulación de antioxidantes empleando como vector de encapsulamiento Aloe vera (*Barbadensis miller*) mediante secado por aspersión

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADO EN QUÍMICO DE ALIMENTOS

PRESENTA

Miguel Ángel Valadez García



Ciudad Universitaria, CD.MX., 2017



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO

PRESIDENTE: HUGO RUBEN CARREÑO ORTIZ
VOCAL: FRANCISCO JAVIER CASILLAS
SECRETARIO: LUIS MEDINA TORRES
1er. SUPLENTE: NORMA ANGÉLICA VILLANUEVA MARTÍNEZ
2° SUPLENTE: ROEB GARCÍA ARRAZOLA

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

Instituto de Investigaciones en Materiales y Facultad de Química,
UNAM.

Asesor del tema:

Asesor técnico:

Dr. Luis Medina Torres

Dr. Octavio Manero Brito

Sustentante:

Miguel Ángel Valadez García

ÍNDICE

1. Resumen.	1
2. Introducción.	2
3. Antecedentes.	6
3.1. La microencapsulación.	6
3.2. El proceso de secado por aspersión.	8
3.2.1. Etapas del secado por aspersión.	9
3.2.2. Ventajas y desventajas del secado por aspersión.	12
3.3. La Sábila (<i>Aloe vera ssp</i>).	13
3.3.1. Partes de la hoja y su composición química.	13
3.4. El ácido gálico (ácido 3, 4, 5 – trihidrobenzóico).	19
3.4.1. Aplicaciones y actividades biológicas del ácido gálico.	19
3.4.1.1. Actividad antioxidante.	20
3.4.1.2. Actividad anticancerígena.	21
4. Objetivos e hipótesis.	23
5. Desarrollo experimental.	24
5.1. Obtención y conservación del mucílago.	24
5.2. Secado por aspersión.	24
5.3. Microscopía electrónica de barrido, (SEM).	24
5.4. Distribución de tamaño de partícula, (DTP).	25
5.5. Espectrometría infrarroja, (FTIR).	25
5.6. Capacidad antioxidante, (DPPH).	25
5.7. Reología.	26
5.7.1. Pruebas de cizalla simple.	27
5.7.2. Pruebas de cizalla oscilatoria.	27
5.8. Liberaciones controladas.	27
6. Resultados	28
6.1. Microscopía electrónica de barrido, (SEM).	29
6.2. Distribución de tamaño de partícula, (DTP).	29
6.3. Espectrofotometría infrarroja, (FTIR).	30
6.4. Capacidad antioxidante, (DPPH).	31
6.5. Reología.	32
6.5.1. Pruebas de cizalla simple	32
6.5.2. Pruebas de cizalla oscilatoria.	34
6.6. Perfiles de liberación	37
7. Conclusiones	39
8. Referencias	40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tipo de microencapsulado según la disposición de la fase interna como de la fase externa	6
Figura 2. Esquema de un secador por aspersión	8
Figura 3. Patrones de contacto entre aire caliente-gota	10
Figura 4. Curva de evaporación del secado por aspersión en función del contenido de humedad	11
Figura 5. Curva de evaporación de agua durante el secado por aspersión y los cambios morfológicos que sufre la gota asperjada	11
Figura 6. Corte transversal y frontal de la hoja de <i>Aloe vera</i>	14
Figura 7. Principales fitoquímicos que contienen las antraquinonas halladas en la sábila del <i>Aloe vera</i>	15
Figura 8. Funcionamiento de un antioxidante	20
Figura 9. Comparativo entre morfologías de muestras obtenidas mediante secado por aspersión	28
Figura 10. Comparativo de la distribución de tamaño de partícula entre muestra de <i>Aloe vera</i> y <i>Aloe vera</i> con ácido gálico.	29
Figura 11. Espectros obtenidos para muestras de ácido gálico, mucílago de <i>Aloe vera</i> y mucílago de <i>Aloe vera</i> con ácido gálico	30
Figura 12. Ce_{50} para muestras de ácido gálico y <i>Aloe vera</i> con ácido gálico (posterior al tratamiento térmico).	31
Figura 13. Pruebas de flujo para muestras de <i>Aloe vera</i> + ácido gálico al 3% a diferentes temperaturas.	32
Figura 14. Pruebas de flujo para muestras de <i>Aloe vera</i> + ácido gálico al 6% a diferentes temperaturas	33
Figura 15. Cizalla simple para muestras de <i>Aloe vera</i> al 3% a diferentes temperaturas	33
Figura 16. Cizalla simple para muestras de <i>Aloe vera</i> al 6% a diferentes temperaturas	34

Figura 17. Pruebas oscilatorias para muestras de <i>Aloe vera</i> + ácido gálico al 3% (25°C y 37°C)	35
Figura 18. Pruebas oscilatorias para muestras de <i>Aloe vera</i> + ácido gálico al 6% (25°C y 37°C)	35
Figura 19. Comparativo entre muestras de maltodextrina y aloe vero, ambas con ácido gálico	36
Figura 20. Curva de calibración para el ácido gálico a $\lambda=223.03$ nm	37
Figura 21. Comparación de los perfiles de liberación entre micropartículas re suspendidas de maltodextrinas y <i>Aloe vera</i> a 37°C	38

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición química del <i>Aloe vera</i>	17
Tabla 2. Principios activos del <i>Aloe vera</i>	18
Tabla 3. Actividad biológica del ácido gálico	22

En este trabajo se muestra la caracterización de microcápsulas con principios activos obtenidas mediante un proceso de secado por aspersión (SA), el cual previamente se estudió y consiguió determinar las condiciones óptimas de secado para el mucílago de Aloe vera (*Barbadensis Miller*).

El secado por aspersión se realizó con los siguientes parámetros de proceso: temperatura de entrada=150°C (Te), flujo de alimentación=1.5 L/h (F) y velocidad de atomización=27,500 rpm (Va). En primera estancia se analizó la morfología de las partículas mediante Microscopía Electrónica de Barrido (SEM), como complemento se realizó un análisis de Distribución de Tamaño de Partícula (DTP), permitiéndonos considerar que el proceso de SA empleado es adecuado al obtener morfologías de gránulos definidos, sin ningún daño aparente y con tamaño de partícula homogéneo <10µm. Posteriormente, con espectrofotometría infrarroja (FTIR) se pudo inferir la encapsulación del principio activo (ácido gálico) analizando espectros característicos del mucílago de Aloe vera, ácido gálico y el encapsulado, respectivamente. Aunado a esto también se realizaron pruebas de liberación controlada en celdas de Franz a 37°C para poder determinar el perfil de liberación del principio activo de las microcápsulas con Aloe vera, y compararlas con un estándar comercial de microencapsulación (maltodextrina).

Gracias a esto se determinó que nuestro encapsulado tiene un tiempo de liberación máximo aproximado de 28 h, además de asegurar que la capacidad del antioxidante encapsulado (ácido gálico) se mantuvo aún después del proceso térmico del SA, dicha capacidad antioxidante se evaluó mediante el método de DPPH*. Por último, parámetros reológicos fueron evaluados en soluciones rehidratadas de los polvos al 3 y 6 % (p/v) y a temperaturas de 25 y 37°C. Pruebas de cizalla simple y oscilatoria mostraron un comportamiento no newtoniano del tipo adelgazante al flujo ($n < 1$), además de observar que predomina la componente viscosa sobre la elástica ($G' < G''$) en pruebas de flujo viscoelástico. La integración de los resultados obtenidos para cada una de las pruebas realizadas nos hace inferir que la microencapsulación del ácido gálico se llevó a cabo de una manera exitosa, con el mucílago de Aloe vera mediante el secado por aspersión en las condiciones antes mencionadas.

En la industria de alimentos, se requiere que los ingredientes activos mantengan su funcionalidad hasta la ingesta por el consumidor y posteriormente llegar a su punto de absorción en el interior del cuerpo humano. Estos retos vuelven punto clave la liberación controlada de los ingredientes activos en el lugar adecuado y tiempo requerido, promoviendo de este modo que la microencapsulación se vuelva una solución necesaria. Esta tecnología ha impactado evidentemente a la industria alimenticia gracias a su exitosa aplicación para envolver ingredientes naturales, tales como: polifenoles, aditivos volátiles, enzimas, bacterias (bacterias lácticas que fungen como iniciadores o probióticos) en pequeñas cápsulas, brindándoles la oportunidad de estar protegidos ante variaciones de pH, luz, oxígeno o temperatura, permitiéndoles ser estables y preservar el estado nutricional óptimo, logrando de esta manera que su funcionamiento sea el adecuado una vez ingerido.

Varios de los beneficios asociados con el consumo de alimentos de origen vegetal se les atribuyen en gran medida a los compuestos fenólicos (Manach *et al.*, 2004). Gracias a la facilidad de estos compuestos para donar átomos de hidrógeno de un grupo hidroxilo aromático a un radical libre (Duthie *et al.*, 2003) es que les otorga la propiedad de fungir como antioxidantes, pudiéndoles atribuir actividades biológicas beneficiosas para la salud. Algunas de sus efectos más destacados pueden ser: vasodilatadores, anticarcinogénicos, antiinflamatorios, bactericidas, estimuladores de la respuesta inmune, antialérgicos, antivirales, efectos estrogénicos, o inhibidores de enzimas peroxidantes, como ciclooxigenasa, lipooxigenasa (Cao *et al.*, 1997)

Por las cualidades arriba mencionadas, los antioxidantes es un grupo de aditivos empleados en matrices alimentarias, jugando un papel importante en la parte de la calidad y seguridad de los alimentos, sin dejar atrás el impacto benéfico en la salud humana. Pero como bien se sabe, los antioxidantes presentan una naturaleza poco estable, debido a su composición química, haciéndolos muy vulnerables tanto a cambios físicos como químicos, perdiendo parcialmente o en su totalidad la funcionalidad que pudiesen tener. La estabilidad de estos compuestos puede ser mejorada con la microencapsulación mediante

el secado por aspersión, logrando así su protección contra el oxígeno, agua o cualquier condición que pudiera afectar su estabilidad (Desai *et al.* 2005).

El ácido gálico, un compuesto fenólico que posee la versatilidad de brindarnos tres grandes aplicaciones puede ser un futuro aditivo a implementar con grandes beneficios:

1. Protección cardiovascular, evitando la oxidación de las lipoproteínas de baja densidad (LDL) que transportan el colesterol en la sangre, previniendo así enfermedades como la aterosclerosis (Salas *et al.* 2013).
2. Su actividad antibacterial, promoviendo la inhibición enzimática de algunos microorganismos, la interacción sobre algunas adhesinas y la capacidad que tienen de unirse a polisacáridos, interviniendo así en el desarrollo microbiano (Cowan 1999).
3. Su capacidad de donar electrones y por ende neutraliza radicales libres, los causantes de algunos padecimientos como envejecimiento, cardiopatías y en algunos casos cáncer (Sharma *et al.* 1997; Kim, 2007).

Dentro de la gran variedad de técnicas disponibles para la microencapsulación, el secado por aspersión podría considerarse como la más viable y económica. Siendo que el material no tiene contacto con superficies sólidas sino hasta que está seco, además de un tiempo mínimo de exposición al calor (< 5 s), logrando así la conservación de sus propiedades originales. Otro punto a su favor es el control de las condiciones de secado, lo cual nos permite producir productos finales con gran homogeneidad. Logrando de esta manera productos de muy alta calidad.

En el proceso de microencapsulación, diferentes agentes encapsulantes son usados para el secado por aspersión, según las propiedades del compuesto activo a encapsular y la matriz en la que se piensa agregar. Algunos de estos compuestos son:

- **Polisacáridos:** almidón, maltodextrinas, jarabe de maíz y goma arábica.
- **Lípidos:** ácido esteárico, mono y diglicéridos.
- **Proteínas:** gelatina, caseína, suero de leche, soya y trigo).

(Gibbs *et al.*, 1999).

En el presente trabajo propone el mucílago de *Aloe vera* como una interesante alternativa de agente encapsulante considerando su composición química, la cual según McConaughy *et al.* (2008) mencionan la existencia de especies de alto peso molecular, además de poseer una composición química única al contener altas cantidades de ácido galacturónico y bajo grado de sustitución de éster. Sumando las observaciones de Femenia *et al.* (1999) las cuales nos dicen que los carbohidratos se encuentran en una proporción de un poco más a 80 g/100 g de producto, revelando que los principales componentes de los polímeros son manosa y glucosa (constituyentes de la celulosa), sin dejar atrás la presencia de polisacáridos pépticos. Integrandos esta información podemos comprender el comportamiento del mucílago al fungir exitosamente como material de revestimiento en el proceso de microencapsulación del ácido gálico.

Estudios previos en el grupo de investigación determinaron las condiciones ideales para el proceso de secado por aspersión de este tipo de materiales mucilaginosos (Cervantes-Martinez, et al., 2013; Medina et al., 2016), deseando continuar con esta línea de investigación el presente trabajo se centralizó en caracterizar las muestras del producto obtenido a partir del secado por aspersión con las condiciones obtenidas anteriormente. Las diferentes técnicas implementadas para su caracterización fueron:

1. Microscopía electrónica de barrido para observar la morfología.
2. Distribución del tamaño de partícula, evaluando la homogeneidad de las micropartículas.
3. La espectroscopía infrarroja nos ayuda a determinar la encapsulación adecuada del compuesto activo de una manera exitosa.
4. Capacidad antioxidante mediante DPPH, ayuda a comprobar la permanencia de la capacidad antioxidante del ácido gálico aún después del tratamiento térmico.
5. Evaluaciones de liberación controlada con el fin de poder establecer la cinética de la migración hacia el medio por parte del compuesto activo.
6. La caracterización del comportamiento mecánico al flujo de los polvos Resuspendidos en medio acuoso, y demuestran la estabilidad mecánica de los polvos reconstituidos.

Gracias a los puntos anteriores es como en el presente trabajo determina la viabilidad de que el mucílago de *Aloe vera* (*Barbadensis Miller*) podría emplearse como un buen agente encapsulante de compuestos activos (ácido gálico).

3.1. LA MICROENCAPSULACIÓN

La microencapsulación puede ser el recubrimiento de pequeñas partículas, ya sea sólidas, gotas líquidas o gases, con algún otro material (Nazarro *et al.*, 2012), logrando producir partículas con diámetros desde unos 10 – 50 μm hasta 2 - 3 mm (García-Cruz *et al.*, 2011). La sustancia que es encapsulada, se le puede llamar: material del núcleo, agente activo, relleno, fase interna o fase de carga útil. La sustancia que está encapsulando puede llamarse: recubrimiento, membrana, material de soporte, material de la pared, la fase externa, o matriz. El material portador de encapsulados utilizados en los productos alimenticios o procesos debe ser de calidad alimentaria y capaz de formar una barrera para el agente activo y sus alrededores.

Pueden distinguirse dos tipos principales de encapsulados:

1. El tipo reservorio: tiene un recubrimiento alrededor del agente activo. Este tipo también se llama cápsula, de un solo núcleo, mono-núcleo. La aplicación de presión puede conducir a la ruptura de este tipo de encapsulados y por lo tanto a la liberación de sus contenidos. También pueden darse partículas del tipo poli- o múltiple núcleo de encapsulados con varias cámaras de depósito en una misma partícula.
2. El tipo de matriz: el compuesto activo se encuentra mucho más disperso en la fase externa y puede estar en la forma de pequeñas gotitas o más homogéneamente distribuidos en el encapsulado. Los agentes activos en este tipo de encapsulados pueden también estar presentes en la superficie de la esfera, cuestión que no se

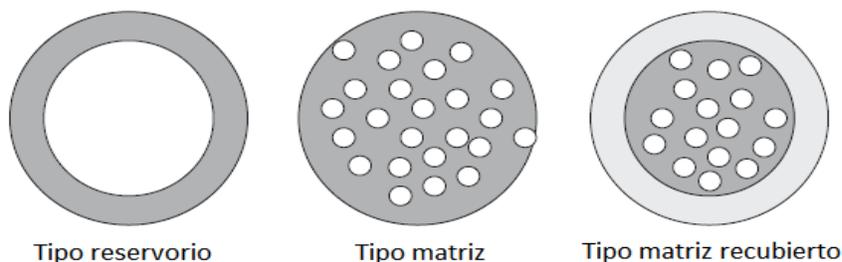


Figura 1. Tipo de microencapsulados según la disposición de la fase interna como de la fase externa presenta en los del tipo reservorio.

A continuación, se mencionan algunos posibles beneficios que pueden aportar los ingredientes microencapsulados a la industria alimentaria:

- Una manipulación superior del agente activo. La conversión del compuesto activo de líquido puede evitar contaminaciones que se vean reflejados en un olor más neutral.
- Inmovilización del agente activo en sistemas de procesamiento de alimentos.
- Mejoramiento en la estabilidad del producto final o durante el proceso. Menor evaporación del compuesto activo y/o evitar la degradación o reacción con algún otro componente del producto, tal como agua u oxígeno.
- Mejora la seguridad, al evitar la concentración de sustancias volátiles.
- Creación de efectos de textura y visuales.
- Las propiedades del compuesto activo se pueden ajustar, tal como el tamaño de partícula, estructura, color.
- Liberación controlada.

Tales beneficios deben sobreponerse a los siguientes puntos en contra:

- Costos adicionales.
- Incrementa la complejidad del proceso de producción y/o la cadena de suministro.
- Características organolépticas no deseadas por el consumidor.
- Cambios en la estabilidad de los encapsulados durante el proceso y almacenamiento del producto alimenticio.

Debido a las posibles negativas mencionadas arriba, generalmente no deben considerarse como primera opción cuando se diseñan formulaciones para alimentos. Solamente cuando las otras opciones fallan, la microencapsulación puede ser considerada. Sin embargo, los encapsulados facilitan la formulación en los alimentos que son más saludables, sabrosos y convenientes; es por eso que la demanda de encapsulados ha estado en constante crecimiento desde las últimas décadas (Frost y Sullivan, 2005)

3.2. EL PROCESO DE SECADO POR ASPERSIÓN

De acuerdo con Desai y Park (2005) desde hace poco más de 60 años se ha implementado el secado por aspersión en la industria alimentaria, por ser una tecnología económica, flexible y de operación continua, además de lograr un producto de buena calidad. Entendiéndose por buena calidad, un tamaño de partícula homogéneo en toda la producción, que se ha reportado por García-Cruz *et al.*, (2011) desde tamaños de partícula muy finos, entre 10 y 50 μm ; hasta partículas de un tamaño más considerable, de 2 a 3 mm).

El secado por aspersión generalmente se logra disolviendo, emulsificando o dispersando el agente activo en una solución acuosa con un material envolvente, a continuación, se atomiza en una cámara en la cual se hace fluir aire caliente (aire de secado), como se muestra en la Figura 2. Durante este proceso una delgada capa se forma alrededor de la superficie de la gota, de esta manera se retrasa la evaporación de los compuestos activos y se propicia la de las moléculas de agua.

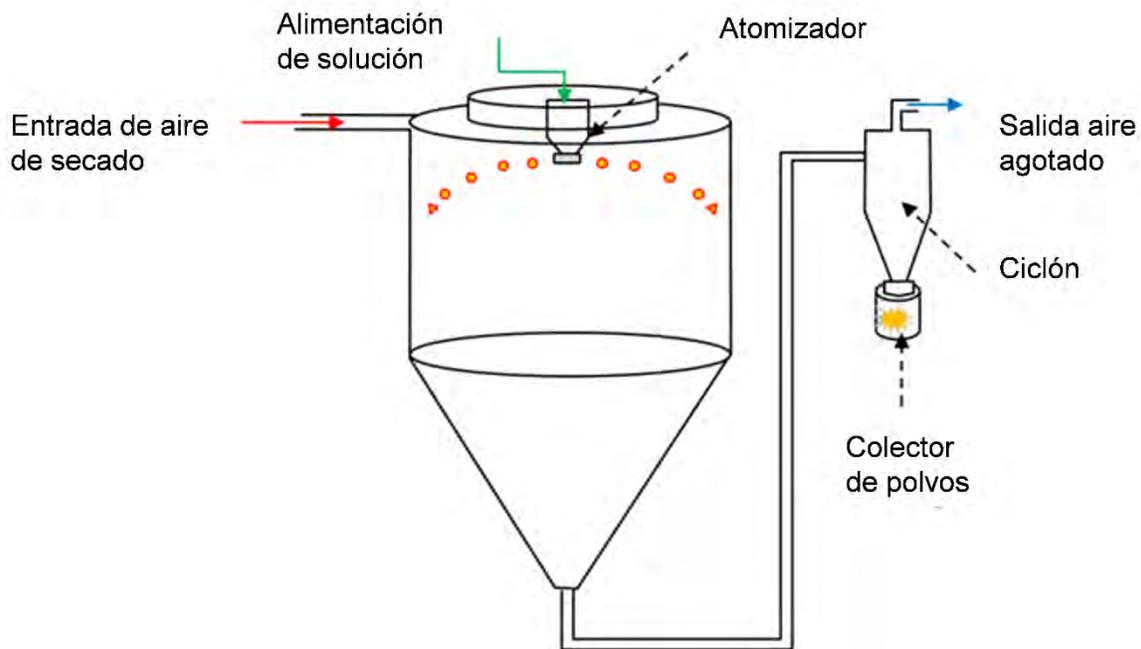


Figura 2. Esquema de un secador por aspersión

Cabe destacar la importancia de tres factores (Masters, 1991) que impactan directamente las características del producto final:

1. Temperatura de entrada (T_e): es la temperatura a la cual se inyecta el aire que permitirá la evaporación del agua.
2. Taza de alimentación o flujo (F): volumen de solución que entra al secador en un determinado tiempo.
3. Velocidad de atomización (V_a): el número de vueltas que da el disco en un determinado tiempo.

El primer punto se convierte en una característica fundamental del método, siendo que la temperatura de las gotas permanece por debajo de la temperatura de bulbo húmedo del gas de secado. Parámetro de alta importancia para los compuestos termolábiles donde el tiempo de calentamiento causa deterioro (Masters, 1991). Aunado a esto, los otros dos factores van de la mano para poder brindarle el tamaño deseado al producto terminado, considerando que el tamaño de la gota es directamente proporcional a la velocidad de aspersión y diámetro del disco (Masters, 1991).

3.2.1 ETAPAS DEL SECADO POR ASPERSIÓN

Masters (1991) presenta cuatro etapas importantes en la deshidratación por aspersión:

- 1) Atomización de la solución. Se crea una lluvia de gotas con el tamaño adecuado para el producto que se desea. La atomización de líquidos en pequeñas gotas puede llevarse a cabo por la presión o energía centrífuga. El objetivo es crear una superficie máxima posible de transferencia de calor entre el aire seco y el líquido con el fin de lograr la evaporación y optimizar la transferencia de masa. Cuanta más pequeña sea la gota, la superficie es mayor y la evaporación es más fácil, y consecuentemente existe mayor eficiencia térmica. Es importante saber que, el grado de atomización también depende de la viscosidad y tensión superficial del fluido alimentado. El rocío puede ser dirigido junto con el aire caliente a la cámara de secado. Esto se denomina flujo paralelo y es utilizado en productos sensibles al calor, ya que las gotas alcanzan una temperatura cercana a la de bulbo húmedo del aire secante, debido a la rápida evaporación del agua, siendo muy corto, el tiempo de secado.

2) Contacto aire caliente-gota. Existen tres formas básicas de contacto entre el aire caliente-gota (Figura 3) de acuerdo con la posición del atomizador, en comparación con el distribuidor de aire caliente (Filková *et al.*, 2006):

- a. Flujo paralelo o co-corriente:
- b. Flujo en contracorriente
- c. Flujo mixto

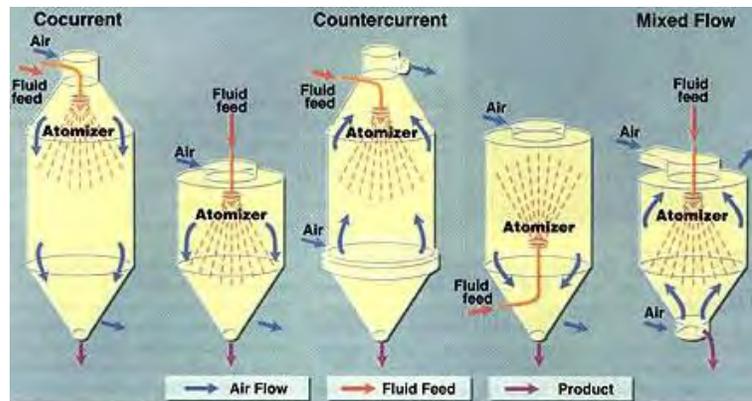


Figura 3. Patrones de contacto entre aire caliente-gota

3) Evaporación del agua. Se lleva a cabo en dos periodos (Treyball, 1996):

- i. Período de velocidad constante. Aquí la difusión de la humedad desde dentro de las gotas permite tener la superficie saturada de líquido. El tamaño de la gota disminuye y la temperatura de la superficie permanece constante. Además, la temperatura del aire de secado desciende a medida que gana humedad.
- ii. período de velocidad decreciente. Durante este periodo la velocidad de migración de la humedad a la superficie no es suficiente para mantener el volumen y su temperatura comienza a elevarse. En este punto el aire de secado llega a la temperatura y humedad crítica, su temperatura sigue disminuyendo hasta el final del proceso, aumentando así su humedad. La Figura 4 muestra un gráfico donde se pueden observar estos dos periodos.

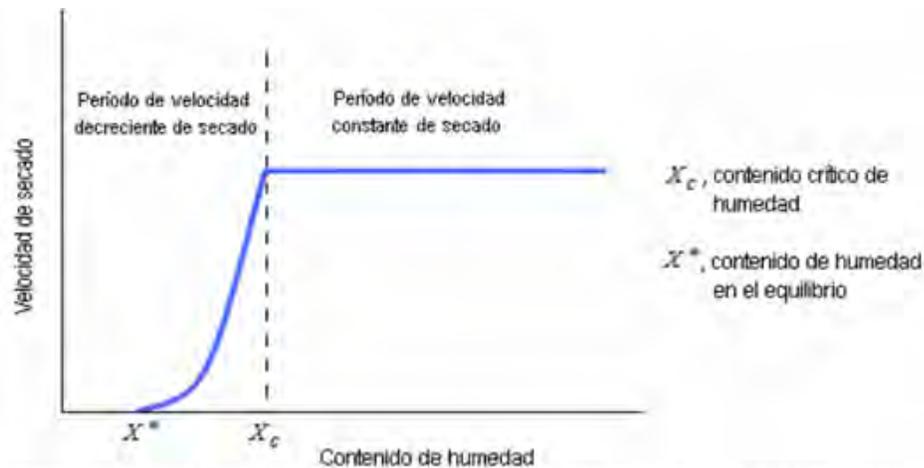


Figura 4. Curva de evaporación del secado por aspersión en función del contenido de humedad

Durante el proceso de evaporación, la velocidad y el tiempo de secado son dependientes de la temperatura del aire de secado, el coeficiente de transferencia de calor y el diámetro de la gota a secar. Cuando el contenido de humedad es demasiado bajo para mantener las condiciones de saturación, se dice que se ha alcanzado el punto crítico y se forma una capa en la superficie de la gota. Ahora la velocidad de evaporación depende de la difusión de humedad a través de la capa. El espesor de la capa seca se incrementa con el tiempo causando un decremento en la velocidad de evaporación. A Esto se le conoce como período de caída de velocidad, o segundo período de secado (Figura 5)

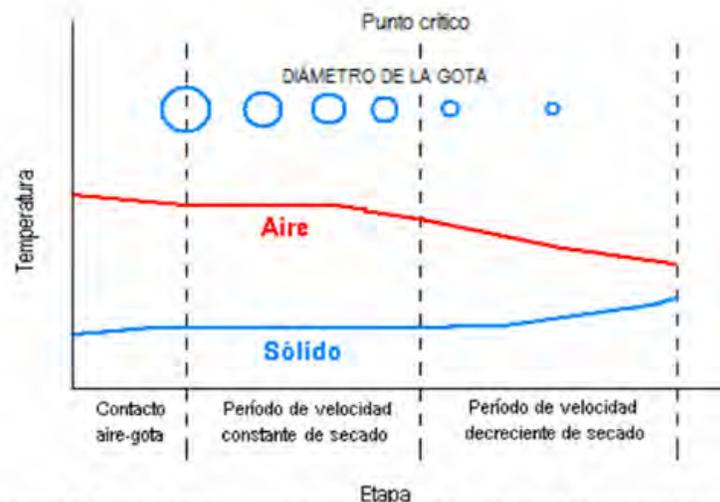


Figura 5. Curva de evaporación del agua durante el secado por aspersión y los cambios morfológicos que sufre la gota asperjada (Treyball, 1996)

- 4) Recuperación del producto. La separación del producto se puede realizar primero en la base de la cámara de secado (separación primaria), seguida de la recuperación de finos (separación secundaria), que puede estar constituido por ciclones, filtros bolsa, precipitadores electrostáticos o filtros húmedos.

2.2.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL SECADO POR ASPERSIÓN

El secado por aspersión ofrece grandes alternativas de empleo cuando se habla de la calidad de producto, entre las ventajas que Masters (1991) cita:

- Se pueden manejar productos termolábiles y termoestables como vitaminas o compuestos fenólicos (encapsular principios activos).
- Puede secarse todo tipo de productos, siempre y cuando la solución permita su bombeo.
- Los diseños de los secadores por aspersión son muy variados, por lo que existe un tipo de secador que se adapta a las necesidades que el producto requiera.
- Las especificaciones del producto permanecen constantes, siempre y cuando las condiciones del secador también lo hagan.
- Existe una gran flexibilidad en el diseño de secadores donde se pueden manejar: soluciones orgánicas, sustancias explosivas al aire, materiales tóxicos y de alto nivel de higiene.

Entre las desventajas encontradas, se tiene:

- Altos requerimientos de energía.
- Al producto a secar debe ser líquido o tener la capacidad de ser bombeado.
- El vapor agotado que deja el secador generalmente debe ser filtrado para prevenir las pérdidas de producto y contaminación de la atmósfera.
- Una unidad diseñada para la atomización fina no puede producir un producto grueso y viceversa.
- Para una capacidad específica se necesita una evaporación mayor que con otro tipo de secadores.

Una vez contemplado el material a secar, tanto el núcleo como el material pared, se deben establecer las mejores condiciones de secado, puesto que estos parámetros varían dependiendo del contenido de la solución. Con esto se logra:

- Prevenir el deterioro del compuesto activo de interés
- Evitar la interacción prematura del compuesto núcleo con otros ingredientes.
- Limitar pérdidas volátiles.
- Una liberación controlada bajo condiciones deseadas.

3.3. LA SÁBILA (*ALOE VERA SPP*)

Durante mucho tiempo se ha implementado el uso del *Aloe vera* para sanar un sinnúmero de malestares, gracias a las civilizaciones prehispánicas que se dieron cuenta de sus propiedades curativas. De acuerdo con investigaciones de Pedroza y Gómez (2008), se ha determinado que existen más de 400 especies, la mayor parte del género son dañinas, sin embargo, hay cuatro especies que cuentan con propiedades benéficas a la salud:

- a) *A. barbadensis* Miller
- b) *A. peri* Baker
- c) *A. ferox*
- d) *A. arborecens*.

La más estudiada es la *A. barbadensis* Miller, debido a un alto contenido de Aloína (23 a 30g/100g) y los componentes sólidos en sus hojas son de mayor interés comercial, además tiene prioridad de explotación por su cultivo en México.

2.3.1. PARTES DE LA HOJA Y SU COMPOSICIÓN QUÍMICA

Hoy en día se han realizado diferentes estudios para comprender las propiedades de esta planta milenaria. Considerando que la parte importante para fines curativos de la planta se encuentra en la hoja, podemos dividir la hoja de *Aloe vera* en tres (Figura 6):

- I. Corteza
- II. Conductos de aloína

III. Pulpa o tejido parenquimático (mucílago)

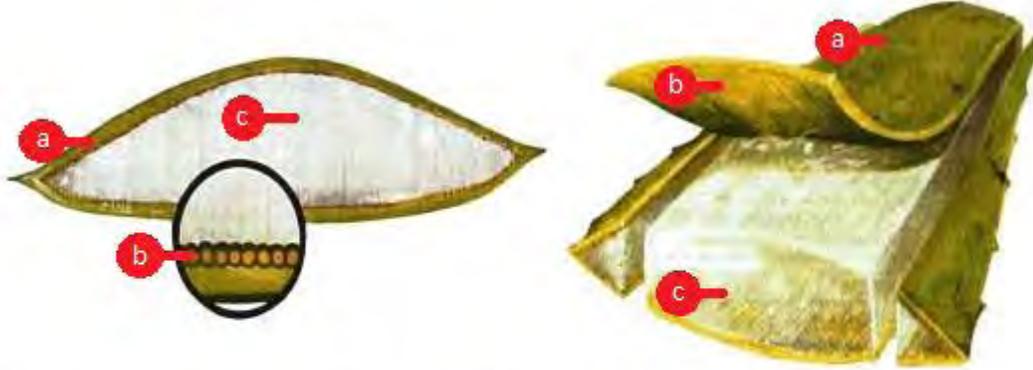


Figura 6. Corte transversal y frontal de la hoja de *Aloe vera* en donde se puede observar la corteza (a), los conductos de aloína (b) y el tejido parenquimático (c). Domínguez-Rodríguez *et al.*, 2012

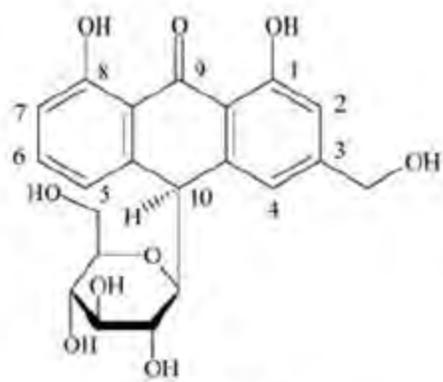
Rodríguez-González *et al.*, (2010) analizaron la composición de las hojas enteras de *Aloe vera*, mediante un extracto macerado en acetona. Se encontraron:

- 17 aminoácidos en estado libre.
- Una abundancia de Arginina representada como aproximadamente 20 g/100g de aminoácidos totales.
- Dos monosacáridos: glucosa y manosa en una razón de 1:2:8 constituyendo un polímero de glucosa-manosa-poliosa.
- Como sustancias traza se encontraron: xilosa, ramnosa, galactosa y arabinosa.

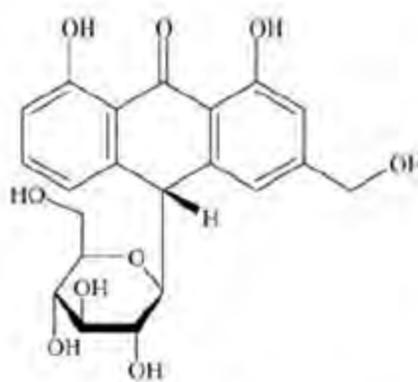
Cabe destacar el contenido de cuatro ingredientes activos de la sábila, los cuales han sido usados en el tratamiento de diversas enfermedades (Pedroza y Gómez, 2008; Vega *et al.*, 2005; Rodríguez-Rodríguez *et al.*, 2010):

- β -sitosterol, que es un esteroide que funciona como un antiinflamatorio
- Emodín y lecitina que previenen tumores: usados en el tratamiento del cáncer.
- Mucopolisacáridos (MPS) efectivos en el tratamiento de inflamaciones, SIDA y cáncer.

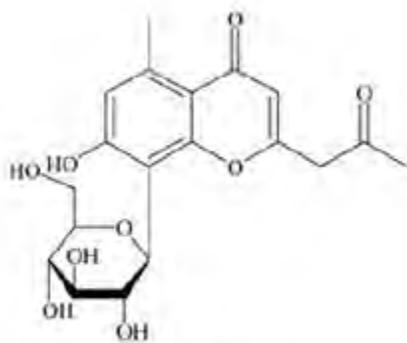
Ahora, hablando del exudado amarillo (savia), podemos decir que es rico en antraquinonas, las cuales son grupos fenólicos formadas por la oxidación de compuestos de bajo peso molecular (ej.: la aloína, la cual es un derivado glicosídico de la aloe-emodina).



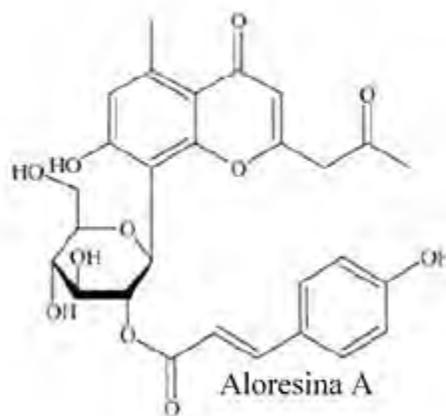
Aloina A
(Barbaloina)



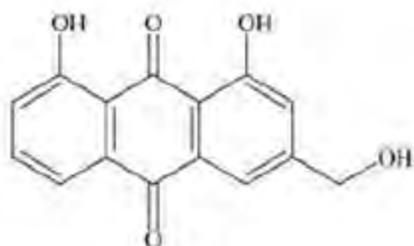
Aloina B
(Iso-barbaloina)



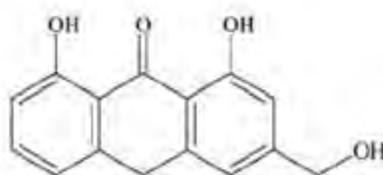
Aloesina



Aloesina A



Aloe-emodina



Aloe-emodina-9-antrona

Figura 7. Principales fitoquímicos que componen las antraquinonas halladas en la savia del *Aloe vera* (Boudreau y Beland, 2006).

En las antraquinonas presentes en el exudado amarillo de la sábila se ha encontrado: Aloína tipo A y tipo B, Aloe-emodina, Aloenina, Aloesina y Aloeresina (Figura 7) las cuales son usadas para efectos laxantes y como agente amargo para la preparación de algunas bebidas alcohólicas.

También se pueden encontrar pequeñas cantidades de polisacáridos y azúcares libres, especialmente glucosa. Dos glioxalinas tipo I y tipo II también han sido aisladas de la corteza que cubre el gel, las cuales han sido comparadas con el contenido de glioxilinas reportado en plantas y animales, lo que puede explicar la afinidad de la planta para adaptarse a los mecanismos de acción del organismo (Rodríguez-Rodríguez *et al.*, 2010).

Por último y no menos importante, se presenta la composición química del mucílago. Al parecer éste ha captado la mayor atención debido a sus características, teniendo así una vasta información sobre su composición. En la Tabla 1, se muestra el análisis químico proximal del mucílago, aislado de la hoja natural (sin pre-tratamiento o proceso de preservación). Donde se pueden observar tanto compuestos nutricios como no nutricios, en éste último grupo se encuentran la mayoría de los compuestos de gran interés empleados en el tratamiento de malestares. Una de las características inconfundibles del mucílago es su pegajosidad y gracias a los estudios de McConaughy *et al.*, (2008) se pudo confirmar la presencia de algunos compuestos que le brindan esa propiedad. El análisis se realizó mediante HPLC en fase reversa con un detector UV, cromatografía de gases acoplada a masas, se encontró que existen especies de alto peso molecular y que además posee una composición química única al contener altas cantidades de ácido galacturónico y bajo grado de sustitución de éster metílico, además de algunos polisacáridos que pueden ser acetilados, parcialmente acetilados o no acetilados.

TABLA 1. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ALOE VERA

COMPUESTOS NUTRICIOS	Agua / humedad	98.5 -99.4 g/100g
	pH	4 - 5
	Carbohidratos (0.25 g/100g)	
	Polisacáridos solubles	Glucomananos (parcialmente acetilados) Acemanano
	Monosacáridos libres	93 g/100g Manosa (3g/100g Glucosa, 3 g/100gGalactosa) 95 g/100g Glucosa libre (Fructosa, Galactosa)
	Fracción de Nitrógeno (0.013 g/100g)	
	Aminoácidos	18 (7 de los 8 esenciales, 20 g/100g Arginina)
	Glicoproteínas	Lecitina con actividad hemoglutinante (<i>A.arborescens</i>)
	Enzimas	Alcortin A (12 g/100g de carbohidratos, P.M. = 18 KDa) Alcortin B (50 g/100g de carbohidratos, P.M. = 24 kDa) Bradquinasa, Carboxipeptidasa, Catalasa, SOD, GSH-Px, Peroxidasa
	Vitaminas	
	Ácido ascórbico, Complejo B, Tiamina, Riboflavina, Niacina, Ácido fólico, Carotenoides, Tocoferoles	
	Minerales y elementos traza (24-25 g/100g de materia seca)	
	Minerales y electrolitos	K, Cl, Na, Ca, Mg, P
	Elementos traza	Fe, Cu, Zn, Mn, Al, Se, Cr
COMPUESTOS NO NUTRICIOS	Ácidos orgánicos	Ácido salicílico, málico, láctico, acético y succínico
	Compuestos fenólicos	Traza de antraquinonas: Aloína tipo A y tipo B, Aloe-emodina, Aloenina, Aloesina, Aloeresina
	Fitoesteroles	β -sitosterol, campesterol
	Otros compuestos	Hidrocarburos Alifáticos/esteres de cadena larga, compuestos volátiles (ácidos, aldehídos y cetonas...)

(Rodríguez-Rodríguez *et al.*, 2010)

Femenia *et al.*, (1999) caracterizó el gel, la pulpa y la piel de las hojas de *Aloe vera* y observó que las fracciones liofilizadas indican que los carbohidratos representan más del 80 g/100g , en extracciones sucesivas, además se reveló que los polímeros contienen manosa, un polisacárido de almacenamiento que se aloja en las células parenquimatosas de la pulpa, la manosa y la glucosa (constituyentes de la celulosa) son los principales componentes de los polisacáridos en todos los derivados, también se detectaron polisacáridos pépticos y principios activos (Tabla 2).

TABLA 2. PRINCIPIOS ACTIVOS DEL ALOE VERA	
Antraquinonas	Aloína, Barbaloína, Isobarbaloína, Antranol, Ácido aloético, Ácido Ciamínico, Aloe emodina, Emodina, Ácido Crisofánico, Resistanol , Antraceno
Sacáridos	Celulosa, Glucosa, Manosa, L-ramnosa, Aldopentosa
Vitaminas	Tiamina, Riboflavina, Piridoxina, Ácido fólico, Vitamina C, Vitamina A, Vitamina E, Colina
AA no esenciales	Histidina, Arginina, Hidroxiprolina, Ácido aspártico , Ácido glutámico, Prolina, Glicina, Alanina, Tirosina
Compuestos Inorgánicos	Calcio, Sodio, Manganeso, Cloro, Zinc, Cromo, Cobre, Magnesio, Yodo
Enzimas	Cicloxigenasa, Oxidasa, Amilasa, Catalasa, Lipasa, Fosfatasa, Carboxipeptidasa
AA esenciales	Lisina, Treonina, Valina, Leucina, Isoleucina, Fenilalanina, Metionina
Miscelánea	Colesterol, Triglicéridos, Esteroides, b-citoesteroles, Lignina, Ácido úrico, Giberelina, Lecitina, Ácido salicílico, Ácido arquidónico, Sorbato de potasio

(Vega *et al.*, 2005)

3.4. EL ÁCIDO GÁLICO (ÁCIDO 3, 4, 5 – TRIHIDROBENZÓICO)

Por otro lado, el ácido gálico, es un ácido fenólico presente en diversas fuentes naturales (Taitzoglou et al., 2001) tales como:

- a) **Plantas:** *Larrea tridentata* (gobernadora) y *Turnera diffusa* (damiana)
- b) **Frutas:** uva, granada, plátano, fresa, limón, arándano, cáscara de manzana y mango
- c) **Verduras:** acelgas y espinacas
- d) **Bebidas:** café, vino tinto y té verde

Este ácido se obtiene directamente del alimento o por hidrólisis del ácido tánico mediante una reacción con la enzima tanasa, que cataliza la hidrólisis de los enlaces éster presentes en los galotianinos (Aguilar et al., 2007).

3.4.1. APLICACIONES Y ACTIVIDADES BIOLÓGICAS DEL ÁCIDO GÁLICO.

El ácido gálico tiene aplicaciones en diversas áreas, principalmente en la farmacéutica, ya que es un precursor en la manufactura de antibióticos de amplio espectro como trimetrprima. Además, en el área de alimentos se ha utilizado como antioxidante de grasas y aceites, así como aditivo en algunas bebidas y alimentos, evitando la oxidación de los mismos (Hocman, 1988)

También este antioxidante es capaz de regular diversos procesos biológicos, como protección cardiovascular, evitando la oxidación de las lipoproteínas de baja densidad (LDL) que transportan colesterol en la sangre, previniendo así, enfermedades como aterosclerosis. Por su parte, Cowan (1999), mencionó que el ácido gálico presenta actividad antibacteriana, promoviendo la inhibición enzimática de algunos microorganismos, la interacción sobre las adhesinas (proteínas de la pared celular) y la capacidad que tienen de unirse a polisacáridos, interviniendo así, en el desarrollo microbiano. También podemos destacar su actividad antioxidante y anticancerígena, debido a que es un compuesto donador de electrones, que neutraliza radicales libres, siendo estos los causantes de

algunos padecimientos como envejecimiento, cardiopatías y en algunos casos cáncer (Sharma et al. 1997; Kim, 2007).

3.4.1.1 ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE

En particular, el ácido gálico es un potente antioxidante, que tiene un papel importante en la absorción y neutralización de radicales libres (Osawa y Walsh, 1993) Dicho compuesto actúa como captador de electrones y en la quelación de metales. Esto se debe a las propiedades reductoras, que van a depender de la posición y número de grupos hidroxilos presentes en la molécula del ácido. (Melo *et al.*, 2008) La importancia de dicha actividad, sobresale debido a que los radicales libres contribuyen a procesos como envejecimiento, ya que toman electrones de las células del tejido colágeno de la piel, perdiendo así propiedades como elasticidad y firmeza. Asimismo, evita la oxidación de los fosfolípidos de las membranas celulares, ayudando también en otras enfermedades degenerativas como diabetes, Alzheimer y algunas cardiopatías. En un estudio realizado por Ferk *et al.* (2007) mostraron, en ratas, que el ácido gálico disminuyó la oxidación de las células del hígado, colon y pulmones, provocado por la exposición a radicales en experimentos. De igual manera, dichos autores analizaron por electroforesis el ADN linfocitos de pacientes humanos después de ingerir durante 3 días 12.8 mg/día de ácido gálico en agua potable mostrando una

reducción significativa de la migración del ADN atribuible a la oxidación de pirimidinas y purinas, lo que en conjunto disminuye el daño celular. Estos resultados sugieren que la absorción de compuestos fenólico a través de la dieta contribuyente sustancialmente al equilibrio del organismo (Figura 8).

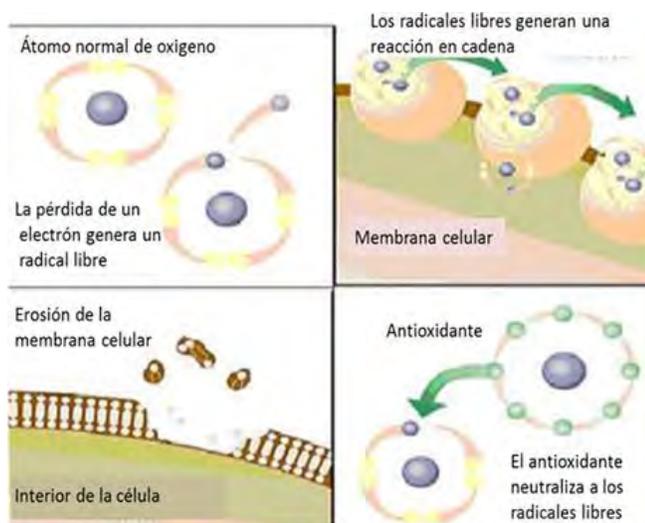


Figura 8. Funcionamiento de un antioxidante

3.4.1.2. ACTIVIDAD ANTICANCERÍGENA

El cáncer se caracteriza por una proliferación descontrolada de células anormales, que puede invadir tejidos adyacentes y propagarse a diversos órganos, causando daños sistemáticos y por consiguiente la muerte. Por lo que se considera una de las enfermedades con mayor índice de mortalidad a nivel mundial en los últimos años. Dicha patología es causada por daños celulares provocados por efectos de diversos factores ambientales, químicos, físicos y genéticos (Albini, 2007). Nair *et al.*, (2007) mencionan que la relación de la incidencia de cáncer es significativamente menor en las personas cuya alimentación se compone principalmente de frutas y verduras con alto contenido de antioxidantes, en comparación con las personas cuyo consumo alimenticio es principalmente de productos de origen animal.

Esto ha llevado a los investigadores a buscar compuestos naturales como alternativas de tratamientos contra el cáncer, además de las terapias clínicas existentes. Como se mencionó anteriormente, diversos estudios de laboratorio con modelos celulares *in vitro*, han mostrado los efectos anticancerígenos de algunos fitoquímicos naturales como los polifenoles, en particular el ácido gálico, que han sido identificados como agentes quimiopreventivos. Dichos compuestos intervienen en el desarrollo o iniciación de procesos cancerígenos, interrumpiendo los ciclos celulares mediante la inducción de apoptosis y evitando la propagación mediante procesos antiangiogénicos (Béliveau y Gingras, 2007). En la Tabla 3, se describen algunas actividades biológicas del ácido gálico y su fuente de obtención.

Estudios previos, realizados en diferentes líneas celulares, han demostrado que el ácido gálico promueve la citotoxicidad, antiangiogénesis y los procesos apoptóticos, así como también disminuye la inflamación de tejidos y la invasión de células malignas en diversos tipos de cáncer, incluidos de mama, vejiga, próstata, hígado, leucemia y gliomas (Albini, 2007). Al respecto, Ji *et al.* (2009) reportaron que el ácido gálico, a diferentes concentraciones, disminuyó significativamente la viabilidad, proliferación e invasión de células cancerosas de pulmón induciendo apoptosis. Dicho proceso se llevó a cabo a través de la activación de las proteínas Bcl-2, que son reguladoras de la apoptosis (Larsen, 1994).

De igual manera, intervienen otras proteínas como las caspasas 3, 8 y 9 que actúan como vías de señalización, y las proteínas p53 de supresión tumoral, que actúan como un inhibidor de la transformación del ciclo celular (Kastan *et al.*, 1991).

TABLA 3. ACTIVIDAD BIOLÓGICA DEL ÁCIDO GÁLICO			
Fuente de ácido gálico	Concentración polifenólica	Actividad biológica	Referencias
Ajo, té verde y té negro	-----	Impide el desarrollo de célula infectadas por el virus del papiloma humano	Stoner & Gupta, 2001
Extracto de semilla de uva (ESU)	20, 40, 60, 80 y 100 mg/mL de ESU	Anticancerígena y apoptótica en células epidérmicas preneoplásticas y de leucemia.	Anshu et al., 2005 Gao et al., 2010
Té verde	Equivalente a 6 tazas	Inhibe proliferación, desarrollo y metástasis de cáncer de próstata.	Gupta, 2001.
Uvas, vino tinto y bayas	0, 7.5, 15 mg/kg	Protege al corazón de estrés oxidativo y oxidación de LDL.	Hansi & Stanley, 2009

Tabla extraída de la Revista científica de la Universidad Autónoma de Coahuila (Salas et al., 2013)

4.1. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Determinar si el mucílago de *Aloe vera* puede ser implementado como material de recubrimiento en la tecnología de microencapsulación.

OBJETIVOS PARTICULARES

- Analizar el comportamiento de los polvos obtenidos mediante SA tanto a nivel micro: morfología de las micropartículas, DTP., como a nivel macro: comportamiento mecánico al flujo, y cinética de liberación.
- Determinar si el proceso de encapsulación del compuesto activo se realizó de una manera adecuada.
- Evaluar la capacidad antioxidante del ácido gálico en las micropartículas obtenidas.

4.2. HIPÓTESIS

El conjunto de azúcares junto con algunos ácidos orgánicos pertenecientes al mucílago, permitirán brindarle propiedades emulsificantes al Aloe vera para llevar a cabo la microencapsulación mediante el secado por aspersión de principios activos. Logrando de esta manera que nuestro compuesto activo (ácido gálico) quede protegido dentro de la matriz sin sufrir daño aparente a estas condiciones de SA, gracias al mínimo tiempo de contacto (3 – 5 s) que tiene durante el proceso térmico

5.1. OBTENCIÓN Y CONSERVACIÓN DEL MUCÍLAGO

Las hojas de Aloe vera se recolectaron de la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, en Bermejillo Durango de la Universidad Autónoma de Chapingo. Posteriormente fueron lavadas bajo chorros de agua a 25°C, utilizando un cepillo de cerdas plásticas. La separación manual del gel y la hoja se realizó con un cuchillo de acero inoxidable que se introdujo entre la corteza y la pulpa, repitiendo el proceso por ambas caras de la hoja. A continuación, se pasó por un rayador bien afilado para obtener porciones de pulpa de 1cm de largo por 5mm de ancho. En seguida se introdujo en un extractor de jugos comercial Hamilton Beach® Health-Smart con 350 watts de potencia y dos velocidades, después el jugo se clarificó en una centrifuga de mesa marca Heraeus Labofuge modelo 400/400 R para remover los sólidos suspendidos. Para finalizar el jugo se almacenó en frascos esterilizados a -4°C.

5.2. SECADO POR ASPERSIÓN.

Se realizó el procedimiento de secado por aspersión de las soluciones de ácido gálico con maltodextrina y ácido gálico con mucílago de *Aloe vera*, usando un *Spray Dryer NIRO*. Las condiciones de secado fueron: $T_e = 150$ °C, $F = 1.5$ L/h y $V_a = 275,000$ rpm. La presión (6.5 bar) se mantuvo constante durante el proceso de secado (Ersus y Yurdagel, 2007; Nadeem *et al.*, 2011; Robert *et al.*, 2010; Sáenz *et al.*, 2009, Janiszewska & Witrowa-Rajchert, 2009; Tonon, Grosso, & Hubinger, 2011).

5.3. MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO, (SEM).

La microestructura de los polvos de fue examinada conforme al método de Quiñones-Muñoz *et al.*, 2011, para observar las características de forma y tamaño las partículas. La muestra se colocó en piezas de cobre con cinta conductora recubierta con oro a 10 mbar por 90 s y se examinaron en un microscopio electrónico de barrido (JEOL Mod. JSM6300 Jeol, Japón) a un voltaje de 20 Kv. Las muestras se examinaron a un aumento de 1000X de aumento.

5.4. DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑO DE PARTÍCULA (DTP).

Fue evaluado en un Master-Sizer 2000, analizador de tamaño de partícula equipado con difracción de rayo láser (Malvern Instrument Ltd, UK). La dispersión fue hecha a una concentración del 3 g/100 mL en agua desionizada (polvos I.R.= 1.582 y dispersante I.R.= 1.330).

5.5. ESPECTROMETRÍA INFRARROJA, (FTIR).

Se analizaron muestras de mucílago de *Aloe vera*, maltodextrinas, y ácido gálico. Los cuales se efectuaron con un FTIR Nicolet 6700-punta de diamante (Thermo Fisher Scientific, EUA) usando el método del disco de bromuro de potasio (KBr). Se realizaron 100 escaneos a una resolución de 1 cm⁻¹. Todos los espectros fueron escaneados desde 4000 hasta 400 cm⁻¹.

5.6. CAPACIDAD ANTIOXIDANTE, (DPPH).

El método del DPPH es una técnica colorimétrica, la cual es ampliamente utilizada para determinar la capacidad de captura de radicales libres de sustancias antioxidantes, es decir, la capacidad de donar átomos de hidrógeno a radicales libres. Este ensayo se basa en el blanqueamiento del radical 2,2'-difenil-1-picrilhidracilo al ser reducido, la solución se desvanece al tiempo que el cromóforo desaparece (Cotelle et al., 1996; Heimler et al., 2005; Huang et al., 2005; Katsube et al., 2004; Molyneux, 2004; Nanjo et al., 1996; Sánchez Moreno et al., 1998; Touriño et al., 2005; Yokozawa et al., 1998)

Este método fue usado para medir la capacidad de atrapamiento del radical DPPH del ácido gálico liberado por el polvo obtenido del secador. Se preparó una solución de DPPH a concentración de 2.4 mg/100 mL (6.09 x 10⁻⁵ M), disuelta en etanol absoluto. Se preparó una solución stock de 1 mg/mL de metanol absoluto, posteriormente se hicieron diluciones de 100 a 500 ppm.

Se tomaron 100 µL de solución y se depositaron en un tubo de ensaye, se adicionaron 2.9 mL de solución metanólica de DPPH*. Esta mezcla se agitó en un vortex y se mantuvo en la oscuridad por 30 min. Posteriormente se depositó en una celda para leer

su absorbancia en un espectrofotómetro a 515 nm. El blanco de referencia consistió de 100 μL de metanol y 2.9 mL de solución metanólica de DPPH*. El porcentaje de inhibición se calculó con la siguiente ecuación:

Se preparó una solución de DPPH a concentración de 2.4 mg/100 mL en metanol absoluto y ajustada a una absorbancia entre 0.760 y 0.780 medido a $\lambda=515$ nm. Posteriormente se preparó una solución stock de la solución con ácido gálico y/o polvos reconstituidos en medio acuoso con ácido gálico, a una concentración de 1mg/mL de la cual se prepararon diluciones a concentraciones de 10, 100 y 1000 $\mu\text{g}/\text{mL}$, de éstas se toman 50 μL y se adicionan 1450 μL de solución de DPPH. Inmediatamente, se mide su absorbancia (t_0), después de 30 min se toma una segunda lectura (t_{30}). El porcentaje de inhibición se calculó con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Inhibición} = [(A_{DPPH} - A_{Extr})/A_{DPPH}] \times 100 \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

- A_{DPPH} = absorbancia del blanco
- A_{Extr} = absorbancia de la solución de prueba.

El porcentaje de inhibición se usa para encontrar la concentración a la cual el 50% del radical es atrapado. Teniendo el porcentaje de inhibición para las tres concentraciones se realizó una regresión lineal, con la cual se obtuvo la concentración media efectiva (C_{e50}) para completar el radical DPPH.

5.7. REOLOGÍA.

Todas las mediciones reológicas fueron llevadas a cabo en un reómetro de esfuerzos controlados (AR-G2, TA Instruments) usando una geometría de cilindros concéntricos (21.96 mm diámetro del cilindro externo, 20.38 mm diámetro del cilindro interno, 59.50 mm de altura y 500 μm de separación), empleando dos temperaturas de análisis: 25 y 37 $^{\circ}\text{C}$, la cual fue mantenida durante todas las mediciones usando un baño de agua circulatorio (Cole Parmer Polystat, U.S. y un Peltier AR-G2). Las muestras mucílago fueron re-suspendidos en agua desionizada con un pH de 5.8, usando un agitador magnético (Thermo

Scientific, Telesystem 15) a 500 rpm a 24 ± 1 °C durante 90 min. Las concentraciones empleadas fueron 3 y 6 (g/100mL). Los datos experimentales fueron obtenidos directamente de software TA Rheology ADvantage Data Analysis V.5.5.0 (TA Instrument Ltd.).

5.8.1. PRUEBAS DE CIZALLA SIMPLE.

Las estimaciones de viscosidad en función de la velocidad de cizallamiento η ($\dot{\gamma}$), fue en un intervalo de 0.1 - 300 s⁻¹.

5.8.2. PRUEBAS DE CIZALLA OSCILATORIA.

Las propiedades viscoelásticas de los módulos de almacenamiento (G') y módulo de pérdida (G'') fueron determinadas a través de una mínima amplitud de flujo de corte oscilatorio, en un rango de frecuencias de 0.1 a 200 rad•s⁻¹. Previo a las evaluaciones dinámicas se fijó el límite superior de la zona viscoelástica lineal a un valor de deformación del 50% (usado en todos los análisis dinámicos). Cada evaluación reológica fue desarrollada por duplicado.

5.8. LIBERACIONES CONTROLADAS

La liberación del principio activo de los polvos SA fue mediante la técnica reportada por Desai & Park, (2005), que consiste en un dispositivo de disolución (Celda de Franz) equipado con una membrana permeable de 0.45 μm (Nylon HV, Millipore) en un baño de agua a 37 °C con agitación constante (300 rpm). La muestra fue resuspendida a 0.2 g/mL en agua desionizada (pH 5.8). Se tomó una alícuota de 3 mL de la muestra, y se colocó en la celda de disolución (Lado A) de igual manera, pero con agua desionizada se cargó el lado contrario de la celda (Lado B). La toma de muestra (del Lado B) fue en intervalos de 15 min hasta las 2 h, a continuación, la toma de muestra fue a las 4, 6, 12, 24 y 36 h del inicio de toma de muestra. Cada toma de muestra fue de 300 μL , el mismo volumen en agua desionizada fue agregado (Lado B). Las muestras colectadas fueron analizadas en un espectrofotómetro de UV a una longitud de onda de $\lambda=223.03$ nm (λ de referencia). Se desarrolló una curva de calibración de 1 a 100 $\mu\text{g/mL}$ ($R^2=0.9978$).

6.1. MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO, (SEM).

Las imágenes obtenidas mediante esta técnica se muestran en la Figura 9, éstas nos permiten observar morfologías de gránulos bien definidos, de forma irregular (tipo esferoideo) y sin daños aparentes, tanto para el aloe vera como para las maltodextrinas como agentes encapsulantes. También se puede apreciar algunos aglomerados, los cuales pueden atribuirse a los efectos electrostáticos, y a las fuerzas de Van der Waals presentes en este tipo de moléculas con una composición alta en carbohidratos, tal como lo reportan León-Martínez et al, (2010); Sáenz, Tapia y Robert (2009); Walton y Mumford, (1999), estas características morfológicas las exhiben generalmente materiales orgánicos y estabilizadores de alimentos que contienen una base de carbohidratos.

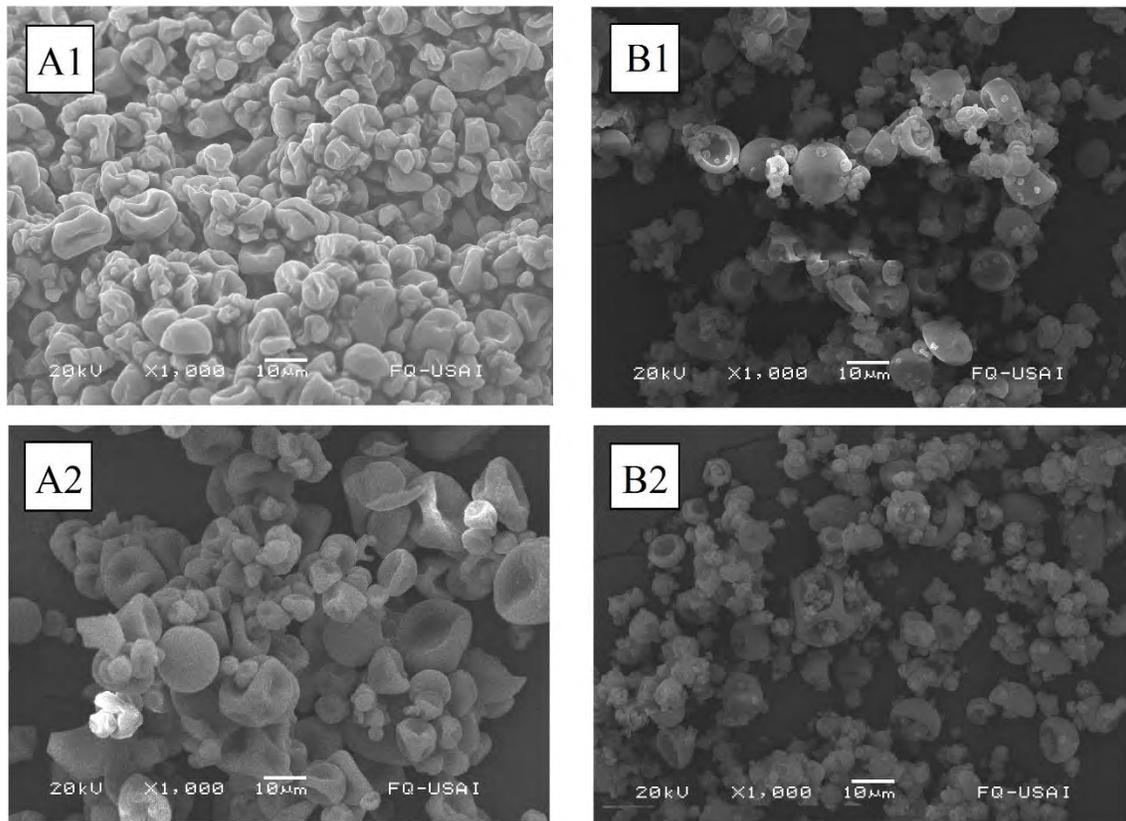


Figura 9. Comparación entre morfologías de muestras obtenidas mediante secado por aspersión de: Aloe vera (A1), Aloe vera con ácido gálico (A2), maltodextrina (B1) y maltodextrina con ácido gálico (B2).

6.2. DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑO DE PARTÍCULA, (DTP).

Las muestras reconstituidas a partir del mucílago de Aloe vera exhiben una distribución cuasi-modal a diferencia de las muestras cargadas con AG, las cuales presentan una distribución bimodal, pero ambas micropartículas muestran tamaños ($d_{5,0}$) menores a $10 \mu\text{m}$, lo cual se puede observar en la Figura 10. Esto debido a que se produjeron partículas muy finas con el proceso de secado por aspersión, lo cual en principio tiene un bajo grado de polidispersidad, y son mecánicamente estables al flujo. Es decir, muestras más pequeñas pueden rellenar los espacios entre las partículas más grandes, lo que resulta en una reducción de la viscosidad, tal y como lo reportan Hill y Carrington (2006), por lo tanto, se espera que la viscosidad en la muestra reconstituida no disminuya y sea estable mecánicamente al flujo.

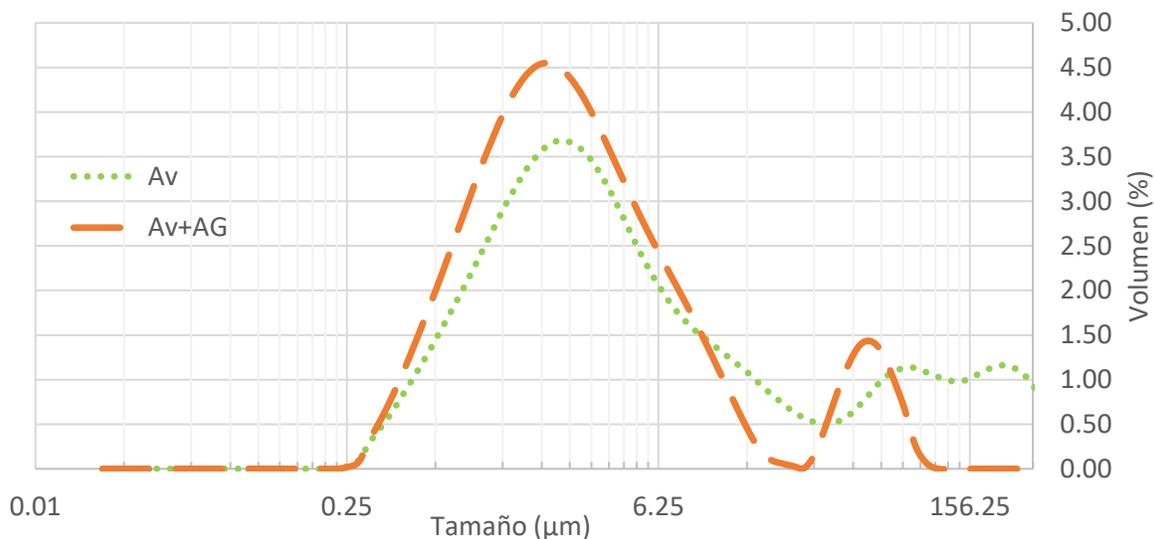


Figura 10. Comparativo de la distribución de tamaño de partícula entre muestra de *Aloe vera* y *Aloe vera* con ácido gálico.

Finalmente, la presencia de partículas muy pequeñas facilita la interacción de partícula-partícula, incrementando su resistencia al flujo, aunado a esto, una distribución homogénea supondría una mayor estabilidad y un posible efecto pseudo-sólido a bajas frecuencias en pruebas de viscoelasticidad lineal.

6.3. ESPECTROFOTOMETRÍA INFRARROJA, (FTIR).

Por otro lado, a fin de saber si el ácido gálico fue encapsulado mediante SA, se obtuvieron los espectros de tres muestras: ácido gálico, polvo reconstituido del mucílago de Aloe vera, y Aloe vera con ácido gálico, los cuales se muestran en la Figura 11. Los espectros muestran diferentes desplazamientos para cada una de las muestras, y para poder determinar si el encapsulamiento del principio activo se llevó a cabo, es necesario observar los picos característicos de las tres muestras analizadas, partiendo del principio de que, al encapsularse el ácido gálico, éste no debería generar señales vibracionales puesto que la cobertura de mucílago sea la afectada por la emisión de energía. Los picos característicos del compuesto activo, se pueden identificar al realizar el comparativo con el espectro del microencapsulado, observando que esos picos no se aprecian en la longitud de onda de éste, pudiendo inferir un posible encapsulado del ácido gálico. Cabe mencionar, que se observa un comportamiento semejante entre los espectros del microencapsulado y el mucílago de Aloe vera, suponiendo que el proceso térmico no tuvo un impacto significativo en la estructura molecular del mucílago, ya que se generarían picos diferentes a los observables, y por lo cual en los perfiles de liberación no mostrarían en principio AG

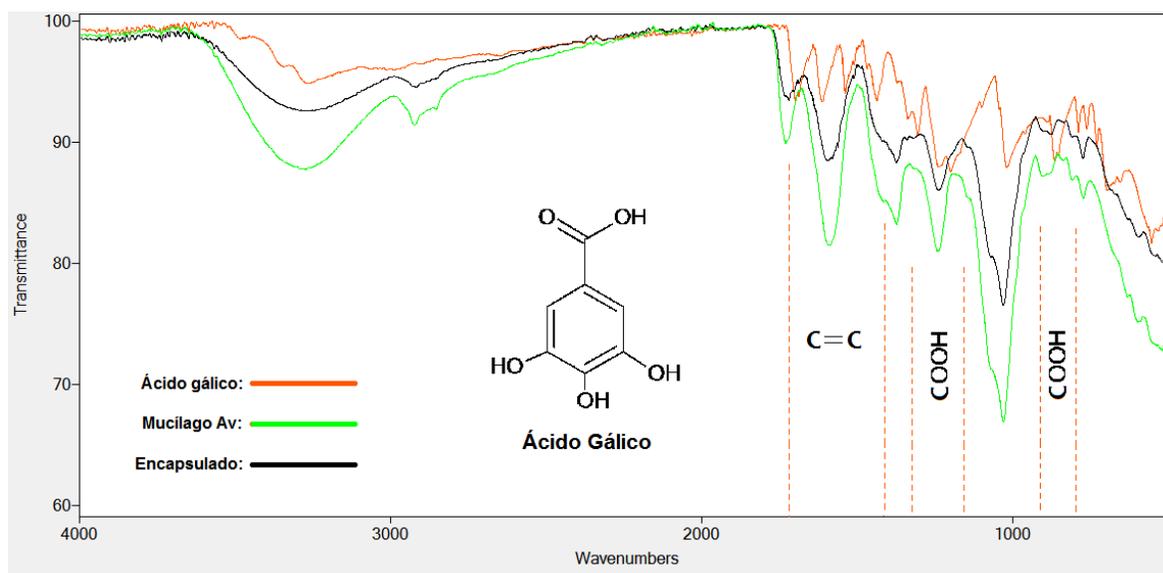


Figura 11. Espectros obtenidos para muestras de ácido gálico, mucílago de *Aloe vera* y mucílago de *Aloe vera* con ácido gálico.

liberado.

6.5. CAPACIDAD ANTIOXIDANTE, (DPPH).

Una de las ventajas que ofrece el secado por aspersión es la disminución de daño a compuestos termolábiles causados por el tratamiento térmico, debido a su corto tiempo de contacto (< 5 s). En nuestro caso se desea que el ácido gálico continúe teniendo su capacidad antioxidante, aún después del tratamiento térmico, de aquí la propuesta de realizar una prueba para cuantificar la capacidad antioxidante mediante el método de DPPH, del microencapsulado con mucílago de Aloe vera. Los resultados mostrados en la Figura 12 nos hacen ver que el ácido gálico encapsulado conserva su efecto antioxidante, aunque aparentemente éste disminuyó puesto que la interpretación de la Ce50 nos dice que para el ácido gálico puro se necesita una menor concentración para completar el radical del DPPH, y por el contrario las microcápsulas con el principio activo necesitan de una mayor concentración para lograr lo mismo. Pero cabe mencionar que 1 mg de microcápsulas no contienen 1 mg de ácido gálico, por lo tanto, se justifica la necesidad de una mayor concentración de micropartículas para completar el radical del DPPH. Se pudo observar, además, la conservación de la capacidad antioxidante después del tratamiento térmico, pero se hace la propuesta de repetir el experimento haciendo la equivalencia en la cantidad de micropartículas que se necesitan para tener 1mg de AG.

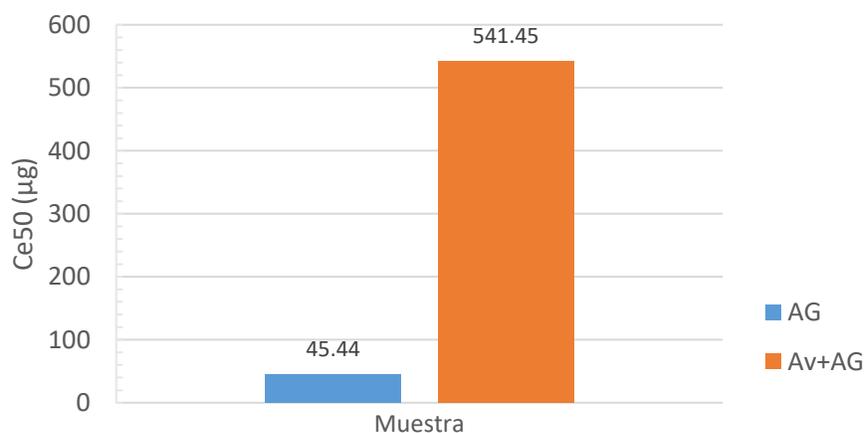


Figura 12. Ce50 para muestras de ácido gálico y *Aloe vera* con ácido gálico (posterior al tratamiento térmico).

6.6. REOLOGÍA.

6.5.1. PRUEBAS DE CIZALLA SIMPLE.

El comportamiento al flujo de cizalla simple que exhibieron las muestras de mucílago reconstituido es del tipo no Newtoniano adelgazante al flujo ($n < 1$), lo que indica que su viscosidad disminuye al incrementar la velocidad de deformación, tal como se muestra en las Figuras 13-16. Esta disminución de la viscosidad con la velocidad de corte se puede atribuir a la ruptura de la estructura interna, constituida por las interacciones físicas transitorias entre las macromoléculas, y a medida que aumenta la velocidad de corte las fuerzas se debilitan y las moléculas se orientan en la dirección al flujo. Guan-Chuah et al., (2008) mencionan que el comportamiento adelgazante ($n < 1$) indica que el alto contenido de agua en las soluciones contribuye con un efecto lubricante entre las partículas, es decir, las moléculas del biopolímero del jugo en la dispersión sufren el re-arreglo en la conformación debido a la deformación mecánica aplicada.

El efecto de la temperatura (25 y 37 °C) y concentración (3 y 6 %) en la viscosidad del mucílago de Aloe vera rehidratado con ácido gálico encapsulado y sin ácido gálico se puede observar en las Figuras 13-16, donde al incrementar la concentración de las soluciones de 3 a 6 (g/100mL), la viscosidad también aumentó, esto se atribuye al incremento de la agregación en la molécula del polisacárido. Este comportamiento ha sido reportado por Cárdenas et al., (1997), Medina-Torres et al., (2000) para goma de mucílago de nopal (*Opuntia ficus indica*).

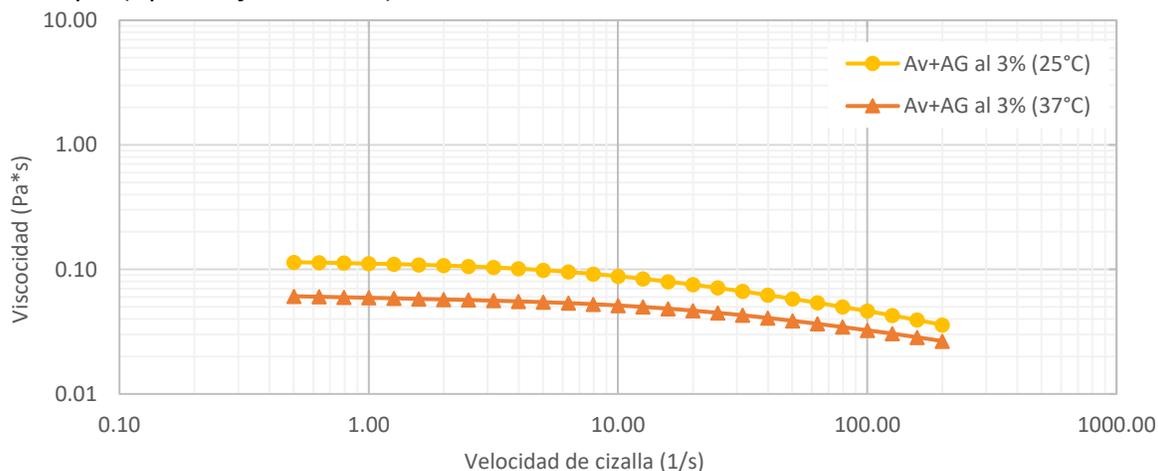


Figura 13. Pruebas de flujo para muestras de *Aloe vera* + ácido gálico al 3% a diferentes temperaturas

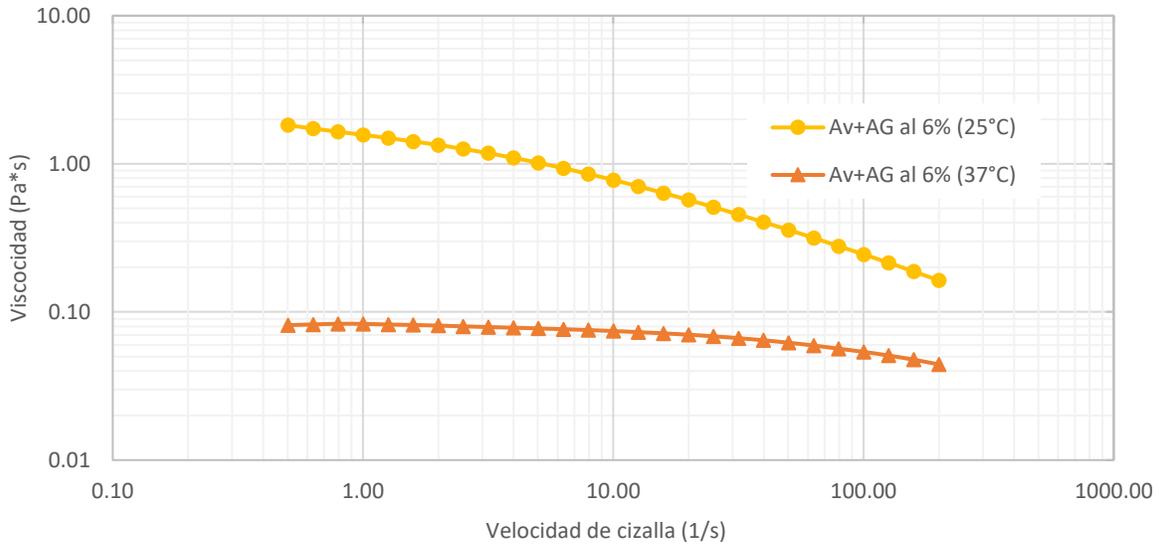


Figura 14. Pruebas de flujo para muestras de *Aloe vera* + ácido gálico al 6% a diferentes temperaturas

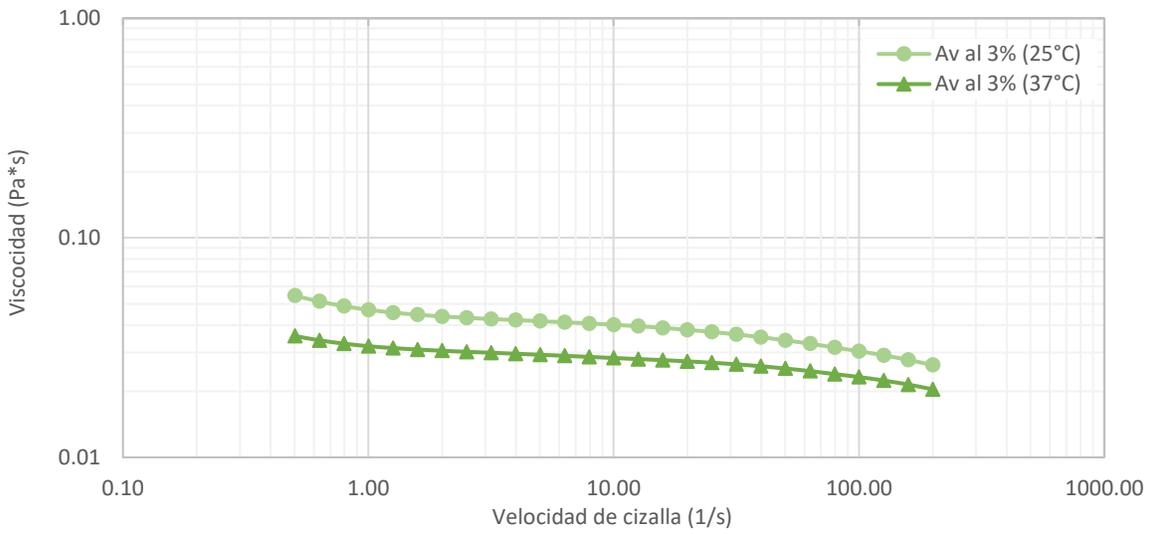


Figura 15. Cizalla simple para muestras de *Aloe vera* al 3% a diferentes temperaturas

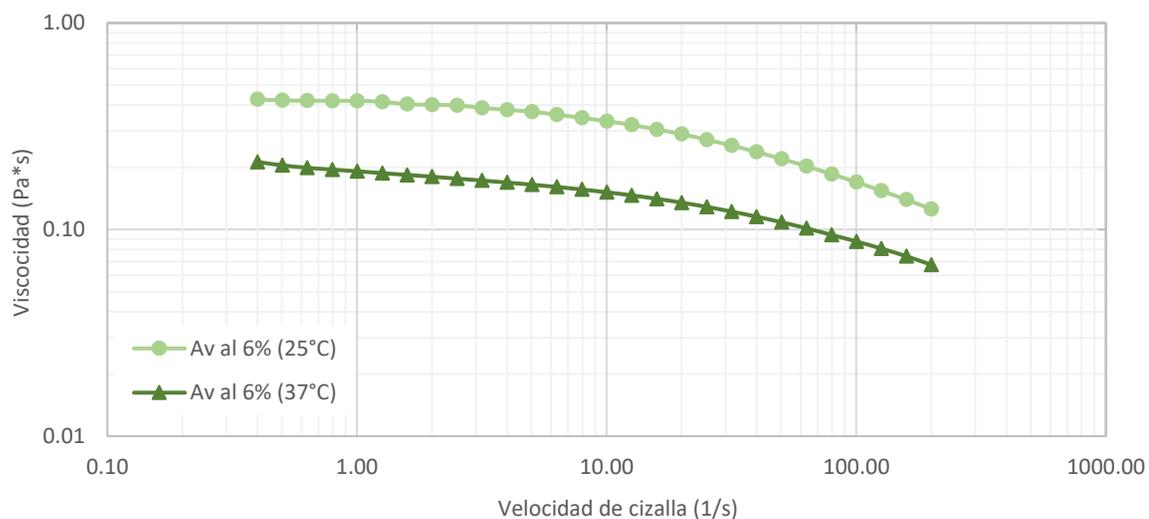


Figura 16. Cizalla simple para muestras de *Aloe vera* al 6% a diferentes temperaturas

5.7.2. PRUEBAS DE CIZALLA OSCILATORIA.

Para las muestras resuspendidas en pruebas de flujo viscoelástico se observó que, la componente viscosa, G'' predominó sobre la elástica G' ; es decir, el material presentó una mayor contribución de la parte viscosa respecto a la parte elástica en las propiedades viscoelásticas lineales, ($G'' > G'$), esto se observa tanto a concentraciones del 3 y 6 (g/100mL) (Figuras 17-20). Este comportamiento mecánico es similar a lo reportado por Medina-Torres et al., (2000) para goma de mucílago de nopal *Opuntia ficus indica*, lo que sugiere una conformación estructural de hebra aleatoria, sin tendencia a formar geles. Cabe mencionar que, el módulo viscoso está relacionado con la pérdida de energía en cada ciclo de deformación aplicada, mientras que el módulo elástico, referido al almacenamiento de energía en cada ciclo de deformación.

Los espectros mecánico dinámicos de pequeña amplitud de deformación con y sin ácido gálico se muestran en las figuras anteriores, donde se observa que a altas concentraciones y bajas temperaturas un comportamiento "*pseudo-sólido*" lo que sugiere una interacción entre las moléculas (*Aloe vera*-ácido gálico).

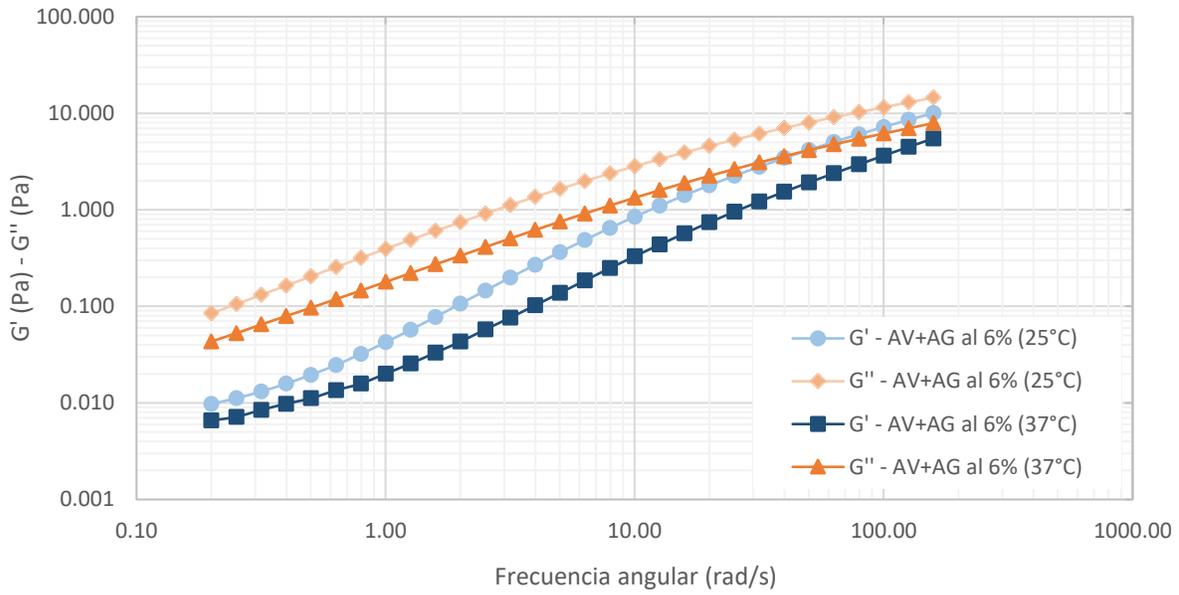


Figura 17. Pruebas oscilatorias para muestras de *Aloe vera* + ácido gálico al 6% (25°C y 37°C)

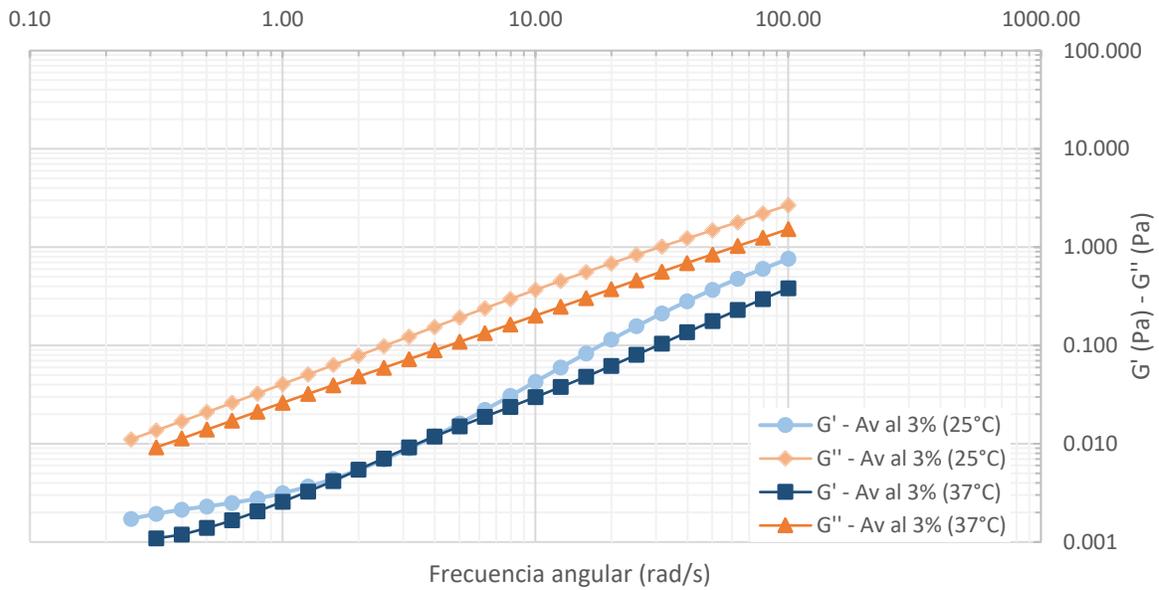


Figura 18. Pruebas oscilatorias para muestras de *Aloe vera* al 3% (25°C y 37°C)

Al incrementar la concentración de Aloe vera con y sin ácido gálico, incrementan las propiedades viscoelásticas G' y G'' . Este comportamiento ha sido reportado para goma de mucílago de nopal (Medina-Torres et al., 2013) con ácido gálico secado por aspersión. Este efecto puede ser debido a un aumento en el número de zonas de unión entre las cadenas de polímero a mayor concentración (mediante interacciones de Van der Waals, puentes de hidrógeno, enlaces covalentes, fuerza iónica, etc); en cambio, cuando la concentración es baja, hay un mayor número de uniones intramoleculares, que no contribuyen a los choques intermoleculares, lo cual es congruente con lo que menciona Simas et al. (2010).

Finalmente, en la Figura 19 se presenta una comparación entre el comportamiento reológico de muestras de maltodextrinas con ácido gálico (azules) y mucílago de *Aloe vera* con ácido gálico (verdes). Considerando que las maltodextrinas son el comparativo estándar comercial.

Los resultados muestran que la estabilidad mecánica al flujo de los sistemas con Aloe vera como material de recubrimiento del ácido gálico, son inclusive más estables que los vectores de encapsulamiento comerciales como las maltodextrinas con principio activo obtenidas mediante secado por aspersión a las mismas condiciones de proceso.

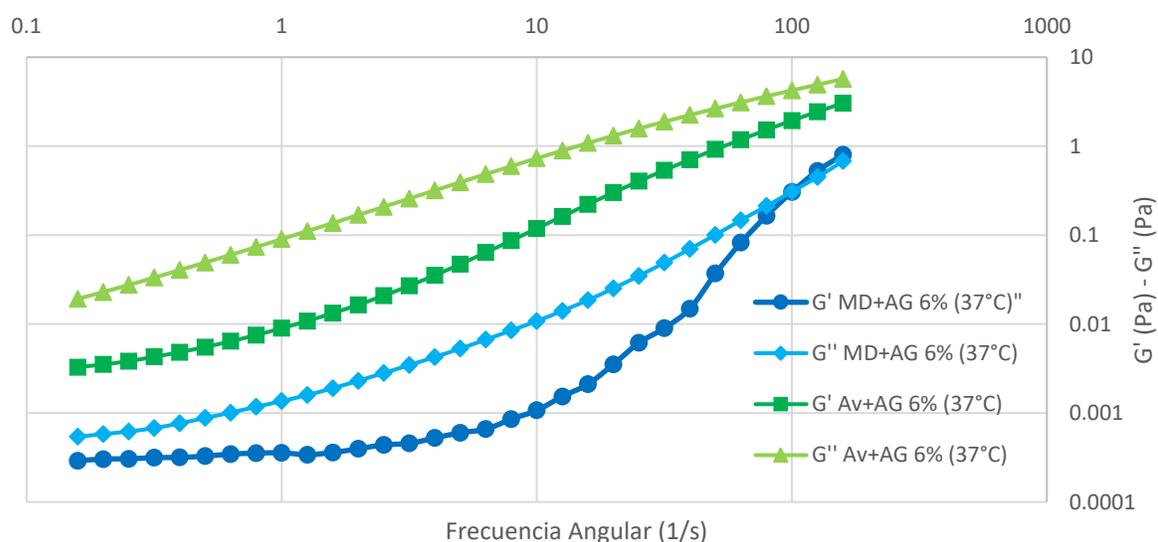


Figura 19. Comparativo entre muestra de maltodextrina y aloe vera, ambas con ácido gálico

6.6. PERFILES DE LIBERACIÓN

Esta técnica permite determinar el comportamiento que presentan las micropartículas para liberar el ácido gálico que se encuentra dentro, mediante una serie de equilibrios una vez re-suspendidas. El experimento se realizó con dos muestras: la muestra control, maltodextrina con ácido gálico (MD+AG) y la muestra problema, Aloe vera con ácido gálico (Av+AG), con la finalidad de poder comparar este fenómeno de liberación, y así establecer una pauta más que confirme la viabilidad de implementar esta alternativa de Aloe vera como vector encapsulante de este tipo de compuestos. En la Figura 20, se presenta la curva de calibración para el ácido gálico con la cual se obtuvo la ecuación de la línea recta, con la cual se obtuvieron las concentraciones en análisis de liberación.

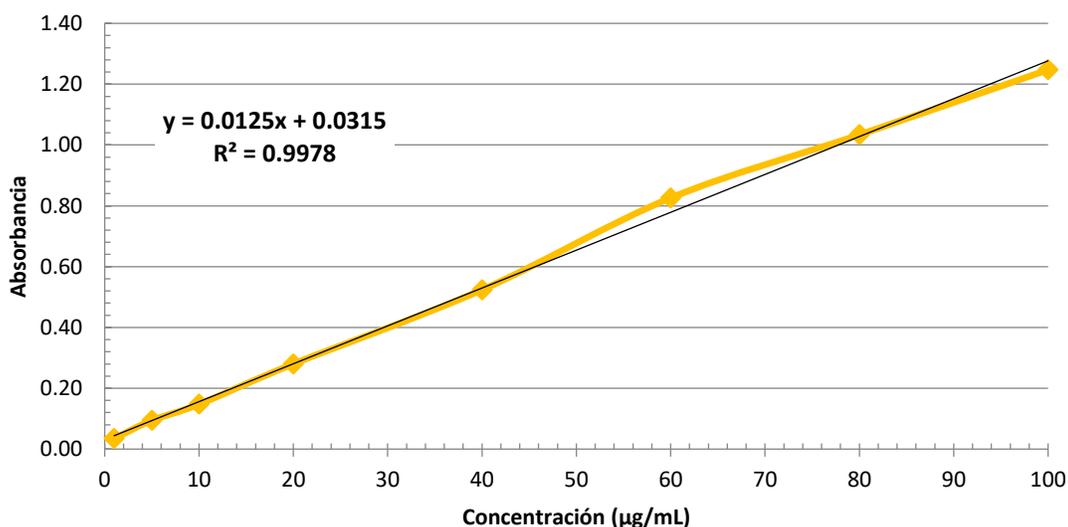


Figura 20. Curva de calibración para el ácido gálico a $\lambda=223.03$ nm

Los resultados del perfil de liberación se muestran en la Figura 21, donde se presenta una comparación de los perfiles de liberación de las micropartículas obtenidas en el secado por aspersión con Aloe vera (Av) y con Maltodextrinas (MD), en la cual se puede observar una diferencia en el tiempo de liberación máxima con el principio activo (ácido gálico), así como también en el porcentaje en que éstas liberan; siendo mayor en ambos casos para las microcápsulas a base del mucílago de Aloe vera.

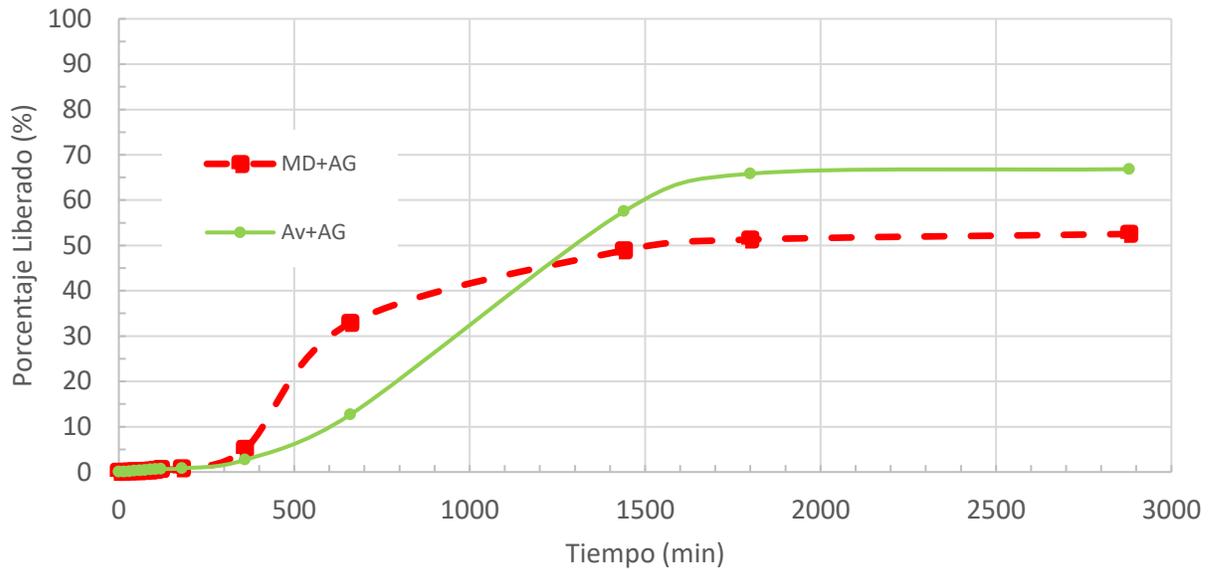


Figura 21. Comparación de los perfiles de liberación entre micropartículas re suspendidas de maltodextrinas y *Aloe vera* a 37°C

Este comportamiento puede deberse a las interacciones que existan entre el vector de encapsulamiento y el principio activo, presentando menor facilidad de ser liberado del centro de la esfera por difusión (mayor resistencia debido a las propiedades elásticas) del *Aloe vera* que con las maltodextrinas. En este experimento se lleva a cabo a 37 °C tratando de considerar la temperatura corporal, pero no hay que descartar la influencia que presenta el medio en la liberación in-vivo, ya que está sujeta a variaciones en el pH y esto modificaría estos perfiles de liberación, así como también la temperatura. Sin embargo, cabe destacar que un perfil de liberación con *Aloe vera* presenta un perfil de liberación mayor respecto a las maltodextrinas, esto no quiere decir que sea mejor, ya que pueden dárseles diferentes aplicaciones en la industria, dependiendo de la necesidad que se tenga; desde la liberación de algún medicamento, evitar la rancidez de un alimento por el deterioro lipídico hasta lograr la óptima asimilación del compuesto activo en el tracto gastrointestinal.

El mucílago de *Aloe vera*, secado por aspersión podría ser una alternativa interesante y prometedora como material para microencapsular antioxidantes.

El Aloe vera presenta una morfología definida con excelente estabilidad mecánica al flujo, una liberación gradual y más importante aún, una aceptada protección al núcleo (compuesto activo).

Aplicaciones en numerosas áreas tales como aditivos alimentarios, productos funcionales, dosificación farmacéutica e incluso desarrollo de biopolímeros pueden ser algunas de las futuras líneas de investigación que abre este proyecto.

7. REFERENCIAS

1. Aguilar, C.N., Rodríguez-Herrera, R., Gutiérrez-Sánchez, G., Augur, C., Favela-Torres, E., Prado-Barragán, L.A., Ramírez-Coronel, A., Contreras-Esquivel, J.C. 2007. Microbial tannases: advances and perspectives. *Applied Microbiology and Biotechnology*, Vol. 76, number 1, 47-59.
2. Albin, A. 2007. Molecular pathways for cancer angioprevention. *Clin. Cancer Res.*13,4320-4325.
3. Béliveau, R., Gingras, D. 2007. Role of nutrition in preventing cancer. *Canadian Family Physician*, vol. 53, no. 11, pp. 1905–1911.
4. Cai, Y., Chopp, M., Katakowski, M., Jiang, F., Jiang, H., Lu, Y., Shing-Shun, T.T., Wu, K. 2010. Gallic acid suppresses cell viability, proliferation, invasion and angiogenesis in human glioma cells. *Eur J Pharmacol.* 641(2-3): 102–107.
5. Cao G, Sofic E, Prior RL. (1997). Antioxidant and prooxidant behaviour of flavonoids. Structureactivity relationships. *Free Rad Biol Med.* 22:749-760.
6. Cárdenas, A., Higuera-Ciapara, I. y Goycoolea, F. M. (1997). Rheology and Aggregation of Cactus (*Opuntia ficus-indica*) Mucilage in Solution. *Journal of the Professional Association for Cactus Development* 2, 152–159.
7. Cervantes-Martínez C.V., Medina-Torres L., González-Laredo R.F., Calderas F. Study of spray drying of the Aloe vera (*Aloe vera barbadensis* Miller) as a function of its rheological properties. *LWT-Food Science and Technology.* 2014. 55: 426-435.
8. Cowan M, Plant products as antimicrobial agents. *Clinical Microbiological Reviews.* 1999. 12 (4): 564 – 582.
9. Desai KGH, Park HJ: Recent development in microencapsulation of foods ingredients. *Drying Technol* 2005, 23: 1361-1394.
10. Duthie GG, Gardner PT, Kyle JAM. (2003). Plant polyphenols: are they the new magic bullet? *Proc Nutr Soc.* 62:599-603.
11. Ersus, S. & Yurdagel, U. (2007). Microencapsulation of anthocyanin pigments of black carrot (*Daucuscarota* L.) by spray drier. *Journal of Food Engineering.* 80, 805–812.

12. Femenia, A., Sánchez, E.S., Simal, S. y Rosselló, C. (1999). Compositional features of polysaccharides from Aloe vera (*barbadensis* Miller) plant tissues. *Carbohydrates Polymers*, 39, 109-117.
13. Filková, I., Huang, L. X., y Mujumdar, A. (2006). Industrial spray drying systems. In *Handbook of industrial drying* (3rd Ed.). CRC Press.
14. Ferk, F., Chakraborty, A., Jäger, W., Kundi, M., Bichler, J., Misík, M., Wagner, K.H., Grasl-Kraupp, B., Sagmeister, S., Haidinger, G., Hoelzl, C., Nersersyan, A., Dusínská, M., Simić, T., Knasmüller, S. 2011. Potent protection of gallic acid against DNA oxidation: Results of human and animal experiments. Elsevier, MUT-11107,0027-5107 doi: 10.1016/j.mrfmmm.2011.07.010.
15. Frost & Sullivan (2005). Opportunities in the Microencapsulated Food Ingredients Market. London. <http://www.frost.com/prod/servlet/report-brochure.pag?id=B716-01-00-00-00>.
16. García-Cruz E.E., Rodríguez-Ramírez J., Méndez-Lagunas L.L. y Medina-Torres L. (2011), Rheological and physical properties of spray-dried mucilage obtained from *Hylocereus undatus* cladodes. *Carbohydrates Polymers*, 91, 394-402.
17. Gharsallaoui A.; Roudaut G.; Chambin O.Voilley A. y Saurel R. (2007); *Food Research International*, 40-9, 1107-1121.
18. Gibbs S., Alli KI, Mulligan CN: Encapsulation in the food industry: a review. *Int J Food Sci Nutr* 1999, 50: 213-224.
19. Guan-Chuah, T., Lin, L. H., Ling, C. N., Choong T. S.Y. y Fakhru'l-Razi A. (2008). Effects of Temperatures on Rheological Behavior of Dragon Fruit (*Hylocereus* sp.) Juice. *International Journal of Food Engineering*. 43, 27-34.
20. Heimler, D., Vignolini, P., Dini, M. & Romani, A. (2005). Rapid tests to assess the antioxidant activity of *Phaseolus vulgaris* L. Dry beans. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 53 (12), 3053–3056.
21. Hill, A. y Carrington, S. (2006). Understanding the links between rheology and particle parameters. *American Laboratory News*, 39, 37-43

22. Hocman, G. 1988. Chemoprevention of cáncer: phenolic antioxidants (BHT, BHA). *Int. J Biochem.* Vol. 20, No. 7, pp.639-651.
23. Janiszewska, E., & Witrowa-Rajchert, D. (2009). The influence of powder morphology on the effect of rosemary aroma microencapsulation during spray drying. *International Journal of Food Science & Technology*, 44(12), 2438-2444.
24. Ji, B.C., Hsu, W.H., Yang, J.S. 2009. Gallic acid induces apoptosis via caspase-3 and mitochondriondependent pathways in vitro and suppresses lung xenograft tumor growth in vivo. *J Agric Food Chem* 2009; 57: 7596–7604.
25. Kastan, M.B., Onyekwere, O., Sidransky, D., Vogelstein, B., Craig, R.W. 1991. Participation of p53 protein in the cellular response to DNA damage. *Cancer Res* 51, 6304 – 6311.
26. Kim, Y.J. Antimelanogenic antioxidants properties of gallic acid. *Biol Pharm Bull.* 2007. 30: 1052-1055.
27. Larsen, C.J. 1994. The BCL-2 gene prototype of a gene family that controls programmed cell death (apoptosis). *Ann Genet* 37,121-134.
28. León-Martínez, F. M., Méndez Lagunas, L. L. y Rodríguez, R. J. (2010). Spray drying of nopal mucilage (*Opuntia ficus-indica*): effects on powder properties and characterization. *Carbohydrates Polymers*, 81, 864–870.
29. Manach C, Scalbert A, Morand C, Rémésy C, Jiménez L. (2004). Polyphenols: food sources and bioavailability. *Am J Clin Nutr.* 79:727-747.
30. Masters, K. (1991). Applications in the food industry. In *Spray Drying Handbook*, 5th Ed.; Longman Scientific and Technical: New York, 587–638.
31. McConaughy, S.D., Stroud, P.A., Boudreaux, B., Hester, R. D. y McCormick C.L. (2008). Structural characterization and solution properties of galacturonate polysaccharide derived from Aloe vera capable of in situ gelation. *Biomacromolecules* 9: 472-480.
32. Medina-Torres, L., Brito-De La Fuente, E., Torrestiana-Sanchez, B., & Katthain, R. (2000). Rheological properties of the mucilage gum (*Opuntia ficus indica*). *Food Hydrocolloids*, 14(5), 417-424.

33. Medina-Torres, L., García-Cruz, E. E., Calderas, F., Laredo, R. G., Sánchez-Olivares, G., Gallegos-Infante, J. A., & Rodríguez-Ramírez, J. (2013). Microencapsulation by spray drying of gallic acid with nopal mucilage (*Opuntia ficus indica*). *LWT-Food Science and Technology*, 50(2), 642-650.
34. Melo, E.A., Sucupira, M.M.I., Galvão de Lima, V.L.A., Nascimento, R.J. 2008. Capacidade antioxidante de frutas. *Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas* stry *Hydrocollloids*,14, 417-424.
35. Nair, S., Li, W., Kong, A.N.T. 2007. Natural dietary anticancer chemopreventive compounds: redox mediated differential signaling mechanisms in cytoprotection of normal cells versus in cytotoxicity in tumor cells. *Acta Pharmacologica Sinica* Vol. 28 no. 4, pp. 459-472.
36. Nazzaro F., Orlando P., Fratianni F. & Coppola R., Microencapsulation in food science and biotechnology, *Curren Opinion y Biotechnology* 2012, 23:182-186.
37. Osawa, R., Walsh, T.P. 1993. Visual reading method for detection of bacterial tannase. *Appl Environ Microbiol.* (59) 1251-1252.
38. Pedroza Sandoval A., Gómez Lorence F., (2008). La sábila (*Aloe spp.*) Dpto. de publicaciones de la UACH, Universidad Autónoma de Chapingo, México 2008, p.p. 51-52.
39. Quiñones-Muñoz, T., Gallegos-Infante, J. A., Rocha-Guzmán, N.E., Ochoa-Martinez, L. A., Morales-Castro, J. & González-Laredo, R. F. (2011). Mixing and tempering effect on the rheological and particle size properties of dark chocolate coatings. *CyTA— Journal of Food*, 9(2), 109–113.
40. Rodríguez Domínguez I., Santana-Gutiérrez O. y Recio O. (2006). Beneficios del Aloe vera en las afecciones de la piel. *Cubana Enfermer*, 22, 197-204.
41. Rodríguez-González V.M., Femenia A., Minjares-Fuentes R. y González-Laredo R.F. (2010). Functional properties of pasteurized samples of *Aloe barbadensis* Miller: Optimization using response surface methodology. *Journal of Chemistry Science and Technology*, 47-2, 225-232.

42. Rodríguez-Rodríguez E., Darías Martin J. y Díaz Romero C. (2010). Aloe vera as a functional ingredient in foods, *Critical Reviews in Foods Science and Nutrition*, 50:305-326.
43. Sáenz C., Tapia S. y Paz-Robert J., (2009). Microencapsulation by spray drying of bioactive compounds from cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) *Food Chemistry*, 114-2, 616-622.
44. Salas M., Cruz A., Belmares S., Urdiales B., Herrera R., González C., Chávez J.. Actividad anticancerígena del ácido gálico en modelos biológicos *in vitro*. *Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila*. 2013. 5 (9) : 5-11.
45. Sharma, S., Wyatt, G.P., Steele, V.E. 1997. A carcinogen-DNA binding assay as a biomarker screen for identifying potential chemo-preventive agents. *Methods in Cell Science*, 19, 4548.
46. Simas-Tosin, F.F., Barraza, R.R., Petkowicz, C.L.O., Silveira, J.L.M., Sasaki, G.L., Santos E.M.R., Gorin P.A.J. y Iacomini M. (2010). Rheological and structural characteristics of peach tree gum exudates. *Food Hydrocolloids* 24, 486–493.
47. Taitzoglou, I.A., Tsantarliotou, M., Zervos, I., Kouretas, D., Kokolis, N.A. 2001. Inhibition of human and ovine acrosomal enzymes by tannic acid *in vitro*. *Reproduction* 121, 131-137.
48. Tonon, R. V., Grosso, C. R., & Hubinger, M. D. (2011). Influence of emulsion composition and inlet air temperature on the microencapsulation of flaxseed oil by spray drying. *Food Research International*, 44(1), 282-289.
49. Treybal R.E. (1996). Operaciones de transferencia de masa. Segunda edición. Ed. McGraw Hill. México. Capítulo 1: 50-88.
50. Vega G.A., Ampuero C.N., Díaz N.L. y Lemus M.R. (2005). El Aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller) como componente de alimentos funcionales. *Revista Chilena de Nutrición*. Vol. 32, No 3, Diciembre 2005.
51. Walton, D. E. y Mumford, C. J. (1999). Spray dried products-characterization of particle morphology. *Institution of Chemical Engineers* 77, 21-38.

52. Zuidam J.N., Nedovic V., Encapsulation technologies for active food ingredients and food processing, capítulo 2, Tabla 2.1. Editoriales Springer, Nueva York, 2010.