

Artículo Científico

# Fenólicos totales y capacidad antioxidante de gel de *Aloe barbadensis* Miller pasteurizado y su efecto anti-hiperglucémico en ratas Wistar diabéticas

Total phenolics compounds and antioxidant capacity of pasteurized *Aloe barbadensis* Miller gel and its antihyperglycemic effect in diabetic Wistar rats

V.M. Rodríguez-González<sup>1,2\*</sup>; J.R. Minjares-Fuentes<sup>1</sup>; J.J. Martínez-García<sup>1</sup>; E. Olivas-Calderón<sup>1</sup>; R.F. González-Laredo<sup>2</sup>; N.E. Rocha-Guzmán<sup>2</sup>; J.A. Gallegos-Infante<sup>2</sup>; A. Femenia<sup>3</sup>; V. Eim-Iznardo<sup>3</sup>; C.I. Gamboa-Gómez<sup>4</sup> R. Reynoso-Camacho<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Universidad Juárez del Estado de Durango. Facultad de Ciencias Químicas, G.P. Av. Artículo 123 s/n Fracc. Filadelfia, Gómez Palacio, Dgo. México.

<sup>2</sup> Instituto Tecnológico de Durango. Depto. de Ing. Química y Bioquímica. Blvd. Felipe Pescador 1830 Ote., 34080 Durango, Dgo. México.

<sup>3</sup> Universitat de les Illes Balears. Área de Ingeniería Química, Depto. de Química, Ctra. Valldemossa Km. 7.5, E-07071 Palma de Mallorca, España.

<sup>4</sup> Universidad Autónoma de Querétaro. Facultad de Química, Depto. de Investigación y Posgrado en Alimentos (DIPA), Centro Universitario, Cerro de las Campanas s/n, Querétaro, Qro. México.

\*Correspondencia: [vicrogfcq7@ujed.mx](mailto:vicrogfcq7@ujed.mx) (Víctor Manuel Rodríguez-González)

DOI: <https://doi.org/10.54167/tch.v17i1.1168>

Recibido: 20 de febrero de 2023; Aceptado: 10 de mayo de 2023

Publicado por la Universidad Autónoma de Chihuahua, a través de la Dirección de Investigación y Posgrado

## Resumen

A nivel mundial hay 537 millones de pacientes diabéticos y 14.1 millones en México. Se ha reportado que el *Aloe barbadensis* Miller, comúnmente conocido como *Aloe vera* (AV), presenta propiedades anti-hiperglucemiantes y éste contiene compuestos fenólicos. En el presente estudio se evaluó el contenido fenólico (FC), la capacidad antioxidante (AC) y el efecto anti-hiperglucémico (HE) del AV en ratas diabéticas, utilizando muestras con diferentes tratamientos de pasteurización (65, 75 y 85 °C por 15 y 25 min). En los resultados de AC, en dos de los métodos (ABTS y SDS-MFA), los tratamientos con las tres temperaturas y 25 min fueron los menos afectados por la pasteurización. En una curva de tolerancia a la glucosa con ratas sanas, el *Aloe vera* pasteurizado (PA) a 75 °C durante 25 min, produjo el mayor HE en comparación con el gel de *Aloe vera* fresco (FAG). Por otro lado, un tratamiento de 21 días con ratas diabéticas, tratadas con FAG y PA a 75 °C durante 25 min; los niveles de glucosa con tratamiento de PA disminuyó por debajo del grupo control diabético y del tratado

con FAG. Por lo tanto, el PA mostró un mayor HE que el FAG y dicho efecto pudiera estar relacionado con una mayor biodisponibilidad de los compuestos bioactivos producida por la temperatura de 75 °C.

**Palabras clave:** *Aloe vera*, fenólicos totales, capacidad antioxidante, pasteurización, efecto anti-hiperglucémico.

## Abstract

Worldwide there are 537 million diabetic patients and 14.1 million in Mexico. *Aloe barbadensis* Miller, commonly known as *Aloe vera* (AV), has been reported to have antihyperglycemic properties and contains phenolic compounds. In the present study, the phenolic content (FC), antioxidant capacity (AC) and antihyperglycemic effect (HE) of AV in diabetic rat were evaluated, using samples with different pasteurization treatments (65, 75 and 85 °C for 15 and 25 min). In the AC results, in two of the methods (ABTS and SDS-MFA), treatments at the three temperatures and 25 min were the least affected by pasteurization. In a glucose tolerance curve with healthy rats, pasteurized *Aloe vera* (PA) at 75 °C for 25 min, produced the highest HE compared to fresh *Aloe vera* gel (FAG). On the other hand, a 21-day treatment with diabetic rats, treated with FAG and PA at 75 °C for 25 min, glucose levels with BP treatment decreased in the diabetic control group and the FAG treated. Therefore, the PA showed a higher HE than the FAG and this effect could be related to a greater bioavailability of the bioactive compounds produced by the temperature of 75 °C.

**Keywords:** *Aloe vera*, total phenolics, antioxidant capacity, pasteurization, antihyperglycemic effect.

## 1. Introducción

La diabetes es una enfermedad multifactorial y crónico-degenerativa que tiene un impacto significativo en la salud, calidad y esperanza de vida. A nivel mundial, alrededor de 537 millones de personas tiene diagnóstico de diabetes. De esta cifra, el 90 % padecen diabetes tipo 2, pronosticando que para el año 2045 aumentará a 783.2 millones. En México, ésta enfermedad la presentan aproximadamente 14.1 millones de personas, con una prevalencia nacional de 10.7 % en pacientes de 20 a 69 años (Sun *et al.*, 2022), ocupando en los últimos tres años el sexto lugar de pacientes diabéticos a nivel mundial. Hay tres tipos de diabetes, el tipo 1, es la primera causa de diabetes infantil, se presenta un daño en las células  $\beta$  pancreáticas, las cuales producen menos insulina y quienes presentan esta enfermedad son comúnmente tratados con esta hormona. La diabetes tipo 2 se presenta en pacientes que no pueden utilizar eficazmente la insulina, teniendo que adoptar un estilo de vida saludable, así como tratamiento médico para sobrellevar la enfermedad y el tercer tipo de diabetes es la gestacional (Chinsembu, 2018). La diabetes se caracteriza por una elevada glucosa en sangre ( $\geq 200$  mg/dl), lo cual es parcialmente debido al daño oxidativo de las células  $\beta$ -pancreáticas, conduciendo a la apoptosis, decreciendo así la secreción de insulina (Sharma *et al.*, 2013; Rodríguez-González *et al.*, 2017). Según Anderson *et al.* (2004), las dietas de consumo común en Estados Unidos de América y otros países occidentales, con alto contenido de azúcares libres, grasas saturadas y ácidos grasos trans, promueven un aumento en la incidencia de diabetes mellitus. La diabetes se caracteriza por una hiperglucemia crónica unida a alteraciones de glucosa y metabolismo

intermediario de proteínas y lípidos. Éstas características son responsables del daño en las membranas celulares, resultando en una alta producción de especies reactivas de oxígeno (ROS); disminuyendo los mecanismos de defensa oxidativa en pacientes diabéticos, promoviendo complicaciones asociadas a esta enfermedad (Kim *et al.*, 2009; Tabatabaei *et al.*, 2017), tales como fallo renal, amputación, enfermedades cardiovasculares y pérdida de la visión (Mootoosamy, 2014).

Investigaciones etnobotánicas en México reportan que la población ha empleado una gran variedad de plantas para controlar enfermedades como la diabetes (Andrade-Cetto, 2005). Tradicionalmente, el gel de *Aloe vera* se ha empleado para problemas de salud humana, externamente para quemaduras menores e irritación de la piel, e internamente para estreñimiento, dolor de cabeza, úlceras, artritis, deficiencias del sistema inmunológico, diabetes, etc. (Christaki y Florou-Paneri, 2010; Suksomboon *et al.*, 2016). Según Park *et al.* (2006), en su clasificación de las diferentes especies de *Aloe*, El *Aloe vera* L. (= *Aloe barbadensis* Miller = *A. vulgaris* Lam., Curaçao aloe, the true aloe): *Aloe vera* significa el verdadero aloe, el cual fue disperso por el hombre a través de la región del mediterráneo, por lo que se hace muy difícil determinar exactamente su origen. Por lo anterior, en este estudio nos referimos al *Aloe barbadensis* Miller como *Aloe vera*.

Abo-Youssef y Messiha (2013) estudiaron ratas macho albinas diabéticas inducidas con estreptozotocina (STZ) (50 mg/kg, p.c.) y tratadas con extractos de gel de *Aloe vera in vivo* e *in vitro* utilizando islotes aislados del páncreas de ratas hembra albinas adultas y este efecto fue comparado con la glimepirida. Tanto el extracto de *Aloe vera* como la glimepirida disminuyeron los niveles de glucosa en sangre y aumentaron los niveles plasmáticos de insulina en comparación con el grupo control. Tanto el *Aloe vera* como la glimepirida aumentaron la secreción basal de insulina en comparación con el valor normal del grupo de control. El Sayed *et al.* (2016) estudiaron los efectos de ocho especies de *Aloe vera* en el control de la glucosa en diabetes *in vivo*. También se realizó un perfil de extractos metanólicos utilizando HPLC. Todos los extractos presentaron una actividad benéfica antiinflamatoria, de cicatrización y antidiabética. Además, se identificaron 71 compuestos, destacando, ácidos fenólicos, derivados del ácido cumárico, que incluyen cromonas, antraquinonas y pironas, así como algunos flavonoides.

En 2017, Tabatabaei *et al.*, estudiaron los efectos del gel de *Aloe vera* en las funciones conductuales, el estado oxidativo y la viabilidad neuronal en el hipocampo de ratas diabéticas inducidas con STZ. La mayoría de los resultados del gel de *Aloe vera* fueron mejores que la insulina, demostrando que puede conducir a una mejora en las anomalías cognitivas y locomotoras, así como en ciertos trastornos psiquiátricos como la ansiedad en animales diabéticos. De acuerdo al estudio *in vivo* realizado en esta investigación, el *Aloe vera* es un agente anti-hiperglucémico eficaz contra la diabetes tipo 2 (Zarrintan *et al.*, 2015), reduce los niveles de glucosa en sangre sin alterar los niveles de lípidos y las funciones hepáticas-renales (Huseini *et al.*, 2011; Choudhary *et al.*, 2014). Su efecto antidiabético está relacionado con la reducción del estrés oxidativo y, por lo tanto, la mejora del estado antioxidante, e.g., una reducción de 44 % en los niveles de glucosa en sangre en pacientes diabéticos administrados con gel de *Aloe vera* y en combinación con glibenclamida (Choudhary *et al.*, 2014; Maan *et al.*, 2018).

Por otro lado, la pasteurización es una de las técnicas de procesamiento más aplicadas al gel de *Aloe vera* para reducir o eliminar microorganismos patógenos y enzimas. En la industria, el proceso de pasteurización más común se basa en el uso de altas temperaturas y tiempos cortos (de 85 a 95 °C durante 1 a 2 min). Sin embargo, algunos estudios científicos han publicado que las temperaturas empleadas en estos tipos de pasteurización degradan, inactivan y hasta destruyen los principales componentes bioactivos del *Aloe vera* como son polisacáridos de almacenamiento, estructurales y

compuestos fenólicos (Ezuruike y Prieto, 2014; Minjares y Femenia, 2017). Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue evaluar el contenido fenólico, la capacidad antioxidante del gel pasteurizado de *Aloe vera* (*Aloe barbadensis* Miller) a diferentes condiciones de pasteurización y su efecto antihiperglucemiante en ratas Wistar diabéticas.

## 2. Materiales y Métodos

Se utilizaron como materia prima hojas frescas enteras de *Aloe barbadensis* Miller donadas por la empresa "Hacienda de Pedriceña" ubicada en Pedriceña, Durango, México. Se realizó una selección de las hojas de *Aloe vera* considerando tamaño (35-50 cm) y edad de las plantas (3-4 años). Las hojas enteras se lavaron con agua destilada y se retiraron las espinas a lo largo de los bordes. Se separó la epidermis del parénquima usando un cuchillo en forma de bisturí. Las porciones se lavaron con agua destilada para eliminar los exudados. Se obtuvieron aproximadamente 415 kg de filetes de 970 kg de hojas frescas de *Aloe vera* utilizadas en este estudio. Las porciones de *Aloe* frescos se almacenaron a no más de 1 h a 1 °C antes de los tratamientos de pasteurización.

### 2.1 Pasteurización

Los filetes de *Aloe vera* lavados se cortaron en trozos pequeños, se trituraron en una licuadora semi industrial de acero inoxidable y se pasteurizaron. En cada uno de los tratamientos de pasteurización se utilizaron 22 kg de filetes. El proceso se realizó en un tanque de doble camisa con agitador, controlador electrónico de temperatura y válvula solenoide (marca Polinox, México), utilizando vapor saturado como fuente de transmisión de calor. De acuerdo con la literatura del procesamiento térmico del *Aloe vera* (Eshun y He, 2004; Ahlawat y Khatkar, 2011; Domínguez-Fernández et al., 2012) y la experiencia de la empresa "Hacienda de Pedriceña" ([www.haciendadepedricena.com/sabilamain.html](http://www.haciendadepedricena.com/sabilamain.html)), las muestras se pasteurizaron a 65, 75 y 85 °C, durante 15 y 25 min. Se llevaron a cabo tres réplicas para cada experimento. La empresa colaboradora llevó a cabo estudios microbiológicos que garantizaron la eficiencia de la pasteurización, monitoreando microorganismos y bacterias de deterioro como hongos y levaduras (NOM-111-SSA 1-1994), coliformes totales (NOM-093-SSA 1-1994. <10UFC/mL) y mesófilos aerobios (NOM-092-SSA 1-1995. 5000 UFC/mL). Todas las muestras pasteurizadas en el estudio cumplieron con la norma de seguridad microbiológica. La codificación de las muestras se acordó de la siguiente manera: una letra inicial, indicando muestras frescas (F) o pasteurizadas (P), luego un primer número para la temperatura de pasteurización (65, 75 ó 85 °C), seguido de un segundo número para el tiempo de retención en la pasteurización (15 ó 25 min). Así, por ejemplo, el código P65/25 identifica una muestra de gel de *Aloe vera* pasteurizada a 65 °C durante 25 min. Para la comparación de los resultados obtenidos entre las muestras de *Aloe vera* en los diferentes tratamientos, se consideró una muestra fresca como referencia para cada lote individual de muestras pasteurizadas, por lo tanto, para cada muestra fresca se utilizó la letra F en lugar de la letra P, incluyendo las condiciones de temperatura y el tiempo (Rodríguez-González et al., 2011).

## 2.2 Determinación del contenido de compuesto fenólico total

El contenido de compuestos fenólicos totales se determinó utilizando el reactivo Folin-Ciocalteu (Medina-Torres *et al.*, 2016). Se liofilizaron (-21 a -60 °C; 103.45 a 1.077 Pa; 72 h) muestras de gel de *Aloe vera* fresco y pasteurizado. Muestras de 200 mg de gel liofilizado de *Aloe vera* se extrajeron durante 2 h con 2 mL de metanol al 80 % que contenía ácido clorhídrico al 1 % a temperatura ambiente en un agitador orbital a 200 rpm. La mezcla se centrifugó a 1,252 x g durante 1 min y el sobrenadante se decantó en viales de 4 mL. Los sobrenadantes se utilizaron para la cuantificación de compuestos fenólicos totales. Se mezclaron 100 uL de extracto con 0.75 mL de reactivo Folin-Ciocalteu (previamente diluido 10 veces con agua destilada) y se dejaron reposar a 22 °C por 5 min. Se agregaron 0.75 mL de solución de bicarbonato de sodio (60 g/L) a la mezcla. Después de 90 min a 22 °C, se midió la absorbancia a 725 nm, en un espectrofotómetro Thermo Scientific Multiskan Spectrum. Los resultados se expresaron como equivalentes de ácido gálico/100 g de liofilizado de *Aloe vera* pasteurizado y fresco.

## 2.3 Determinación de la actividad antioxidante

Las técnicas de capacidad antioxidante utilizadas para ABTS (ácido 2,2'-azinobis 3-etilbenzotiazolin-6-sulfónico), CUPRAC (Capacidad antioxidante reductora del ion cobre) y FRAP (Poder antioxidante reductor del ion férrico), fueron descritas por Re *et al.* (1999) y Yao *et al.* (2010), adaptadas para su uso en microplacas. Para estos análisis se obtuvieron los extractos metanólicos de liofilizado de gel de *Aloe vera*, mediante la misma técnica que para compuestos fenólicos totales. Se leyeron absorbancias en un espectrofotómetro (Thermo Scientific Multiskan Spectrum) a 734, 450 y 593 nm, respectivamente. Se utilizó una curva estándar de Trolox (50-80 µM) para expresar los resultados en mg equivalentes de Trolox/100 g de muestra liofilizada.

Adicionalmente, se determinó capacidad antioxidante por el método modificado SDS-Ferricianuro (SDS-MFA) de acuerdo con Berker *et al.* (2010) y Martínez-García *et al.* (2013). Se preparó una solución de cloruro férrico (0.1 %, p/v) con 0.1 g de FeCl<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O en 1 mL de HCl 1 M, diluyendo a 50 mL con agua. La solución de dodecil sulfato de sodio (1 %, p/v) se preparó con 1.0 g de SDS en 100 mL de agua. A 1 mL de solución antioxidante (i.e., 500 µL de extracto metanólico de *Aloe* y 500 µL de EtOH, 96 %), 5 mL de H<sub>2</sub>O, 1.5 mL de HCl 1 M, 1.5 mL de solución de ferricianuro (1 %), y 0.5 mL de SDS (1 %), se le añadieron 0.5 mL de FeCl<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O (0.2 %) hasta un volumen final de 10 mL. La mezcla se incubó a 50 °C en baño de agua por 20 min, se dejó enfriar a temperatura ambiente, y se leyó la absorbancia a 750 nm contra un reactivo en blanco. El color de la solución final fue estable durante al menos 30 min. Se elaboró una curva de catequina estándar (25 – 300 µM) para expresar los resultados en mg equivalentes de catequina por 100 g de muestra liofilizada (Berker *et al.*, 2010).

## 2.4 Estudio experimental *in vivo*

### 2.4.1 Animales

Se realizó un estudio *in vivo* en animales de experimentación, se utilizaron en total 50 ratas macho, sanos y adultos de la cepa Wistar, con un peso de 280 – 310 g. Todos los animales fueron

adquiridos en los Laboratorios Rismart (México) y se sometieron a un período de adaptación de una semana bajo un ciclo luz-oscuridad de 12 h con libre acceso a alimentos y agua. Lo anterior se llevó a cabo en el bioterio del Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos de la Facultad de Química de la Universidad Autónoma de Querétaro, México, con cumplimiento de la NOM-062-ZOO-1999 (Amador *et al.*, 2006).

#### **2.4.2 Determinación de la glucosa en sangre**

La glucosa se cuantificó utilizando muestras de sangre obtenidas de la vena caudal de ratas con 12 h de ayuno, utilizando un glucómetro sensor (Accu-Check® Roche) con rango de sensibilidad de 20 a 600 mg/dL de glucosa, además del uso de tiras reactivas con sensor de confort (Accu-Check® Roche). La medición de la prueba se realizó mediante bioamperometría. Se midió la corriente generada por la reacción de la enzima glucosa deshidrogenasa de la tira reactiva convirtiendo la glucosa de la muestra de sangre en gluconolactona.

#### **2.4.3 Curva de Tolerancia a la Glucosa (CTG) para determinar la dosis efectiva con mayor capacidad anti hiperglucémica del gel de *Aloe vera*.**

Para la determinación de la dosis de *Aloe vera* a utilizar durante el estudio *in vivo* para evaluar el efecto anti-hiperglucémico se realizó una CTG, que consistió en utilizar cinco grupos de seis ratas Wistar sanas con 12 h de ayuno y se administró a cada grupo, una dosis de 100, 200, 300 y 500 mg/kg de peso corporal respectivamente, de gel de *Aloe vera* del tratamiento de pasteurización de 75 °C por 25 min (P75/25). Después de 5 min, se administró una dosis de glucosa (4 g/kg p.c. por vía oral) y el grupo control fue suministrado con agua. Los niveles de glucosa en sangre (mg/dL) se midieron a los 0, 30, 60, 90 y 120 min.

#### **2.4.4 Curva de tolerancia a la glucosa (CTG) para determinar el tratamiento de gel de *Aloe vera* pasteurizado con mayor capacidad anti-hiperglucémica.**

Para esta prueba se utilizó la dosis efectiva con mayor capacidad anti-hiperglucémica y cuatro muestras diferentes de gel de *Aloe vera*. Esta CTG consistió en formar cinco grupos de seis ratas Wistar cada uno con 12 h de ayuno, a estas se les administró una dosis de 500 mg/kg de peso corporal respectivamente de los tres tratamientos pasteurizados de gel de *Aloe vera* (P65/25, P75/25, P85/25). A un grupo se le administró gel fresco de *Aloe vera* y se utilizó un grupo control sin tratamiento. Después de 5 min se administró una dosis de glucosa (4 g/kg p.c. por vía oral), posteriormente se cuantificaron los niveles de glucosa en sangre (mg/dL) a los diferentes intervalos de tiempo, 30, 60, 90 y 120 min.

#### **2.4.5 Solución de estreptozotocina (STZ)**

El fármaco STZ (Sigma S0130-1G) se empleó de acuerdo con Rajasekaran *et al.* (2006) y Abo-Youssef *et al.* (2013). Este fármaco se utilizó para la inducción de diabetes en ratas, la solución se preparó disolviendo la STZ en 0.5 de tampón de citrato de sodio 0.1 M, pH 4.5.

## 2.4.6 Inducción de diabetes con estreptozotocina

De acuerdo con Jain *et al.* (2010), el uso de bajas dosis de STZ (40 mg/kg) en ratas, producen una destrucción parcial de las células  $\beta$ , pero las hace permanecer diabéticas. Se utilizaron 33 ratas Wistar con pesos de 283-310 g. Éstas se colocaron con al menos 12 h de ayuno. Las ratas se separaron en tres grupos de 11 ratas cada uno. Se realizaron los cálculos para la preparación de la STZ en solución de buffer de citratos y se administraron 45 mg/kg, ésta dosis se determinó de acuerdo con Rajasekaran *et al.* (2006) y Abo-Youssef *et al.* (2013). Se inyectó a cada rata con de solución de STZ por vía intraperitoneal.

## 2.4.7 Determinación de las propiedades anti- hiperglucémicas de gel fresco y pasteurizado de *Aloe vera* en ratas Wistar diabéticas.

Se integraron cuatro grupos experimentales: 1) grupo sano, 2) grupo de control diabético, 3) grupo diabético tratado con la muestra de gel de *Aloe vera* pasteurizado, que mostró la mayor capacidad anti hiperglucémica, 4) Un grupo diabético tratado con gel fresco de *Aloe vera* sin ningún tratamiento. Cada uno de los grupos se formó con seis animales de experimentación. Los animales fueron tratados durante tres semanas (21 días) (Alinejad-Mofrad *et al.*, 2015) y el gel de *Aloe vera* de los diferentes tratamientos fue molido y suministrado a través de una cánula intragástrica, con una dosis de 500 mg/kg de peso corporal (Rajasekaran *et al.*, 2006; Arce *et al.*, 2007). Cada semana se registró el consumo de alimento, el peso corporal, el nivel de glucosa en sangre (mg/dL), así como la supervivencia de los grupos en estudio.

## 2.5 Análisis estadístico

Para los resultados de las mediciones de Polifenoles totales y Capacidad Antioxidante, se calculó el porcentaje de variación de las muestras pasteurizadas de gel de *Aloe vera* con respecto a su correspondiente muestra fresca para cada tratamiento (Ecuación 1), realizándolo por triplicado y presentando las medias en las tablas correspondientes. Los porcentajes de variación negativos, indican que existió una disminución en los valores de las muestras pasteurizadas en comparación a su correspondiente muestra fresca.

$$\text{Ec. 1: } \% \text{ Variación} = \frac{\text{Resultado muestra Pasteurizada} - \text{Resultado muestra fresca}}{\text{Resultado muestra fresca}} \times 100$$

El análisis estadístico de los resultados se realizó mediante un análisis unidireccional y multifactorial de varianza, ANOVA, con tres repeticiones por tratamiento para todas las técnicas, utilizando las pruebas de diferencia mínima significativa (LSD) y Duncan con un intervalo de confianza del 95 % para la comparación de las medias de prueba.

### 3. Resultados y discusión

#### 3.1 Resultados del contenido fenólico total y capacidad antioxidante

Los resultados de los polifenoles totales de muestras liofilizadas de gel de *Aloe vera* fresco y pasteurizado oscilaron entre 371.10 y 579.75 mg equivalentes de ácido gálico/100 g de liofilizado (Tabla 1). Los tratamientos a 65 °C por 15 min (P65/15), así como los tratamientos realizados a 85 °C con ambos tiempos de retención (P85/15, P85/25) presentaron valores similares a la muestra fresca o concentraciones incluso superiores. El resto de los tratamientos mostraron una ligera disminución. A pesar de estos comportamientos, no hubo diferencia estadística significativa entre los porcentajes de variación de las muestras pasteurizadas con respecto a su correspondiente muestra fresca en los diferentes tratamientos. Los valores negativos de los porcentajes de variación representan una disminución de los polifenoles totales de la muestra pasteurizada respecto a su correspondiente muestra fresca. Los resultados presentados en este estudio son similares a los reportados por Zhen *et al.* (2001), Hu *et al.* (2003), Loots *et al.* (2007) y superiores a los reportados por Lee *et al.* (2000). Con esta información, se puede deducir que el tratamiento térmico no afectó significativamente el contenido fenólico total de los geles de *Aloe vera* fresco y pasteurizado en el experimento llevado a diferentes condiciones.

**Tabla 1.** Contenido de compuestos fenólicos totales y porcentaje de variación de muestras de gel fresco y gel pasteurizado de *Aloe vera*.

**Table 1.** Total phenolic compounds content and percentage variation of fresh and pasteurized *Aloe vera* gel samples.

Muestras	Compuestos fenólicos totales*	Muestras	Compuestos fenólicos totales*	Muestras	Compuestos fenólicos totales*
F65/15	455.78±93.8	F75/25	579.65±116.4	F85/15	452.89±27.0
P65/15	469.67±127.1	P75/25	480.81±115.5	P85/15	455.43±129.9
% Variación	3.048 <sup>a</sup>	%Variación	-24.246 <sup>a</sup>	%Variación	0.497 <sup>a</sup>
F65/25	445.47±143.0	F75/15	403.48±110.5	F85/25	396.07±129.1
P65/25	422.68±166.4	P75/15	371.10±12.9	P85/25	416.46±175.3
% Variación	-5.116 <sup>a</sup>	% Variación	-8.026 <sup>a</sup>	%Variación	5.148 <sup>a</sup>

Análisis multifactorial de varianza ANOVA entre los porcentajes de variación. Letras diferentes en las medias de las columnas, indican diferencia estadística significativa; prueba de LSD ( $p < 0.05$ ). \*

\*(mg equivalente de ácido gálico/100 g liofilizado).

Se puede destacar de los resultados de la Tabla 2, que, aunque en los métodos de capacidad antioxidante CUPRAC y FRAP no hubo diferencia estadística significativa entre los porcentajes de variación (% Variación) de las muestras pasteurizadas con referencia a sus correspondientes muestras frescas en los diferentes tratamientos, si hubo una tendencia de disminución en los valores de la capacidad antioxidante en todas las muestras pasteurizadas. Además, los valores del porcentaje de variación en la mayoría de los tratamientos son muy similares en estos dos métodos de análisis.



Asimismo, las muestras que presentaron menos efecto en la capacidad antioxidante fueron las tratadas a 65 °C por 25 min, al igual que en los métodos ABTS y SDS-MFA, en los que sí hubo una diferencia estadística significativa entre los tratamientos. De manera interesante en estos dos métodos, las muestras que se vieron más afectadas en capacidad antioxidante después del tratamiento de pasteurización fueron las procesadas a 85 °C por 15 min.

**Tabla 2.** Capacidad antioxidante, ABTS, CUPRAC, FRAP y SDS-MFA de gel fresco y pasteurizado de *Aloe vera* y el porcentaje de variación entre muestras pasteurizadas y frescas.

**Table 2.** Antioxidant capacity, ABTS, CUPRAC, FRAP and SDS-MFA of fresh and pasteurized *Aloe vera* gel and the percentage variation between pasteurized and fresh samples.

Muestras	ABTS*	CUPRAC*	FRAP*	SDS-MFA**
F65/15	534.43±177.48	565.33±231.17	336.41±91.91	262.81± 9.55
P65/15	424.37± 5.90	449.16±81.00	265.43±47.15	228.54± 38.11
% Variación	-17.16± 6.44 ab	-20.55±21.92 <sup>a</sup>	-21.101±48.69 <sup>a</sup>	- 13.08 ± 11.36 <sup>a</sup>
F65/25	335.12± 51.87	374.84±45.45	214.61±15.52	130.63± 8.41
P65/25	338.26± 16.96	318.35±23.32	197.70±14.81	163.19± 10.67
% Variación	2.63 ± 16.84 <sup>b</sup>	-15.07±5.13 <sup>a</sup>	-7.878±4.56 <sup>a</sup>	24.92± 0.13 <sup>b</sup>
F75/15	506.20± 9.19	517.05±84.61	333.83±94.52	117.54± 77.07
P75/15	401.29±121.47	396.68±98.83	256.72±57.70	125.83± 96.90
% Variación	-20.41± 25.68 ab	-23.28±6.11 <sup>a</sup>	-23.097±38.95 <sup>a</sup>	7.06± 11.84 ab
F75/25	554.69±157.87	669.46±5.06	365.62±32.72	390.78± 24.69
P75/25	506.26±123.71	516.78±60.95	273.01±37.61	280.97± 38.63
% Variación	-5.94± 20.82 <sup>b</sup>	-22.807±9.06 <sup>a</sup>	-25.328±14.94 <sup>a</sup>	-28.10± 14.24 <sup>a</sup>
F85/15	646.72± 79.93	615.60±19.21	366.10±38.65	320.67± 119.63
P85/15	446.76± 44.74	426.94±43.90	247.92±14.33	225.17± 39.57
% Variación	-30.10± 11.62 <sup>a</sup>	-30.647±8.47 <sup>a</sup>	-25.328±14.94 <sup>a</sup>	-29.78± 18.46 <sup>a</sup>
F85/25	438.41±126.70	469.16±99.33	290.60±54.88	200.61± 75.62
P85/25	404.56± 37.48	417.56±63.64	266.75±70.24	164.81± 10.01
% Variación	-4.46± 16.95 ab	-10.998±21.35 <sup>a</sup>	-32.280±62.92 <sup>a</sup>	- 17.81± 30.99 <sup>a</sup>

Letras diferentes en las medias de las columnas, indican diferencia estadística significativa; prueba de LSD ( $p < 0.05$ ).

ABTS (ácido 2,2'-azinobis 3-etilbenzotiazolin-6-sulfónico).

CUPRAC (Capacidad antioxidante reductora del ion cobre).

FRAP (Poder antioxidante reductor del ion férrico).

SDS-MFA (Método Modificado SDS-Ferricianida). \*

\* (mg equivalente de Trolox /100 g liofilizado)

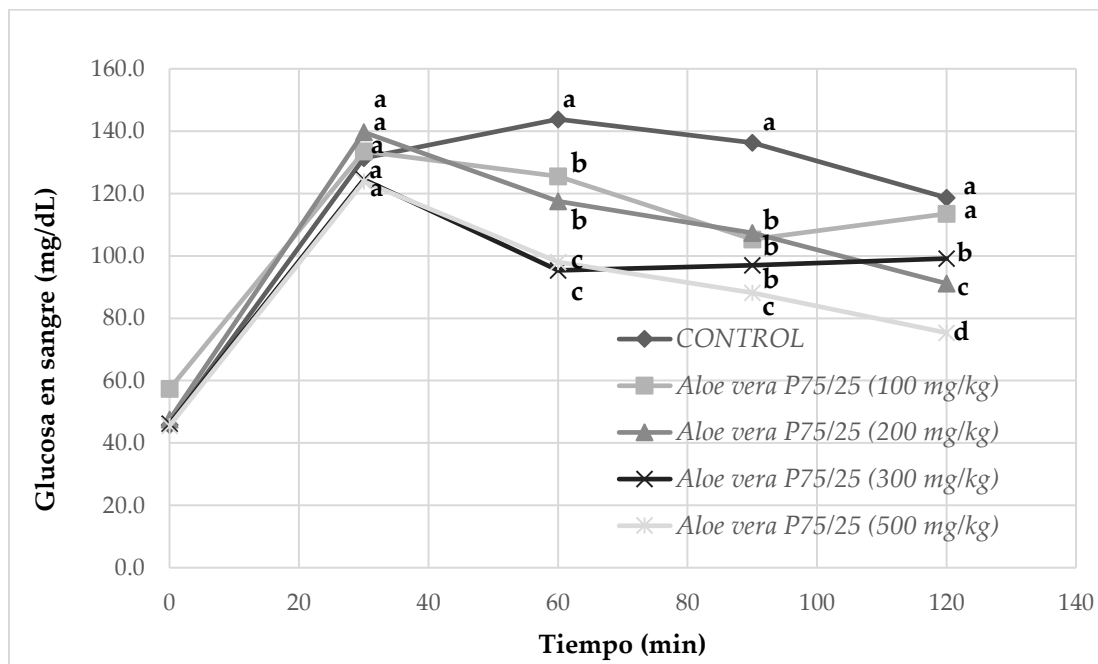
\*\* (mg equivalente de Catequina/100 g liofilizado)

Debido a lo anterior, se puede afirmar que el calor afecta la capacidad antioxidante de las muestras de gel de *Aloe vera* después del tratamiento de pasteurización a temperaturas de 65 a 85 °C. Esto concuerda con Chang *et al.* (2006), quienes aseguran que el contenido de compuestos fenólicos como la barbaloina disminuye a temperaturas superiores a 80 °C; pero también, a temperaturas inferiores a 65 °C, probablemente debido a la actividad enzimática del gel de *Aloe vera* (Femenia *et al.*, 2003;

Eshun y He, 2004). Asimismo, se puede sugerir que posiblemente el mejor tratamiento de pasteurización para el gel de *Aloe vera*, sin afectar tanto su capacidad antioxidante es de 65 °C por 25 min.

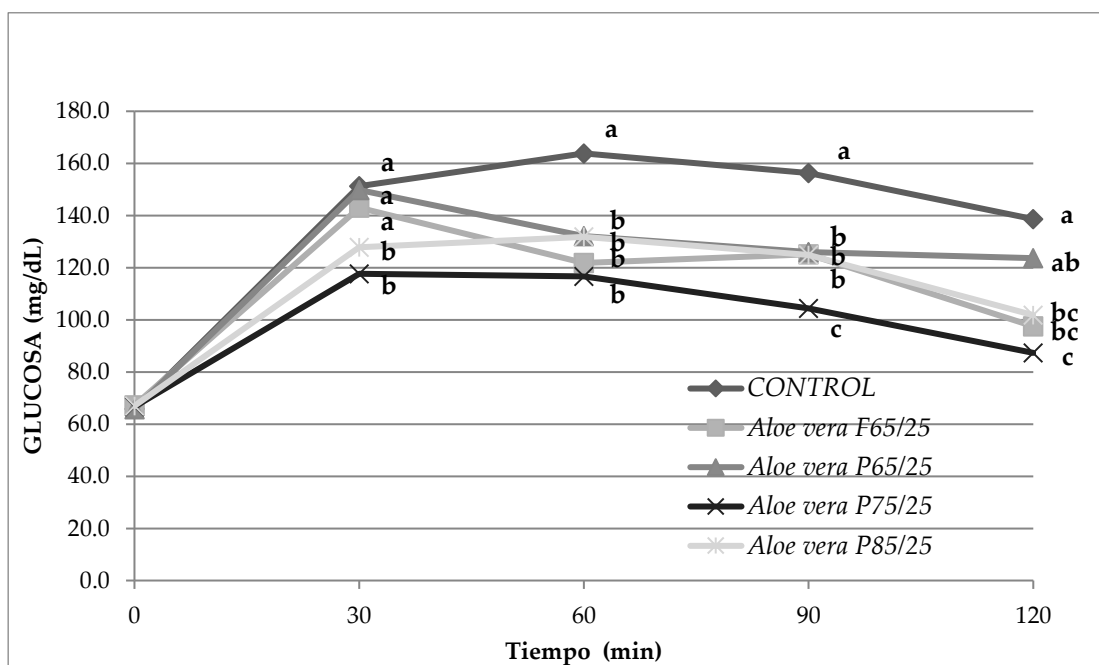
### 3.2 Efecto anti-hiperglucémico de muestras de gel de *Aloe vera* pasteurizadas

Se evaluó el efecto anti-hiperglucémico en ratas Wistar sanas del gel de *Aloe vera*, utilizando diferentes dosis. Se observó que a la mayor dosis utilizada se presentó el mayor efecto anti-hiperglucémico, decreciendo los niveles de glucosa en sangre después de 30 min, y presentando una diferencia estadística significativa ( $p < 0.05$ ) comparada con las otras dosis administradas. Una vez obtenida la mejor dosis de administración (Fig. 1), se realizó otra curva de tolerancia a la glucosa, utilizando una dosis de 500 mg/kg de peso corporal y muestras de cuatro tratamientos diferentes (Fig. 2). En dicha figura se presentan los tratamientos de *Aloe vera* F65/25, gel de *Aloe vera* P65/25, P75/25 y P85/25; administrados a ratas Wistar sanas, se aprecia que el grupo de mayor efecto anti-hiperglucémico fue el de P75/25.



**Figura 1.** Efecto anti-hiperglucémico de gel de *Aloe vera* P75/25 en ratas Wistar sanas a diferentes dosis. Letras diferentes muestran diferencia estadística significativa; prueba de Duncan ( $p < 0.05$ ).

**Figure 1.** Antihyperglycemic effect of *Aloe vera* P75/25 gel in healthy Wistar rats at different doses. Different letters show significant statistical difference; Duncan's test ( $p < 0.05$ ).



**Figura 2.** Efecto anti-hiperglucémico de gel de *Aloe vera* sometido a diferentes tratamientos de pasteurización P65/25, P75/25 y P85/25 administrados a una dosis de 500 mg/kg a ratas Wistar.

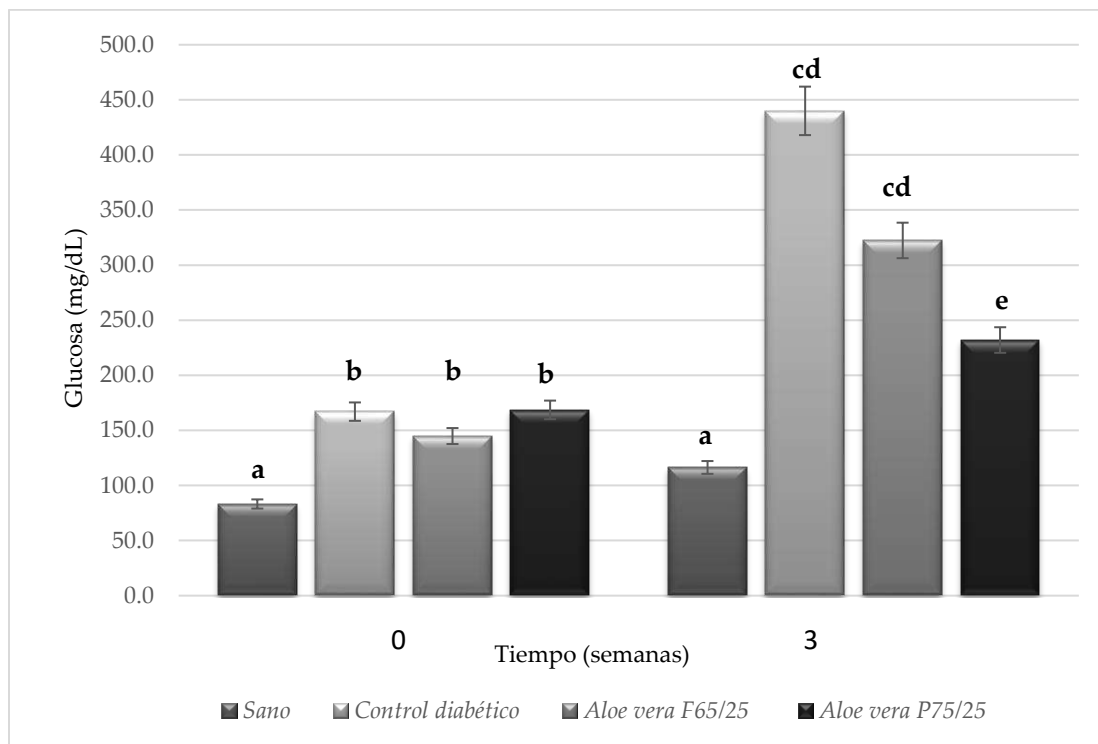
Letras diferentes indican diferencia estadística significativa; prueba de Duncan ( $p < 0.05$ ).

**Figure 2.** Antihyperglycemic effect of *Aloe vera* gel subjected to different pasteurization treatments P65/25, P75/25 and P85/25 administered at a dose of 500 mg/kg to Wistar rats.

Different letters indicate significant statistical difference; Duncan's test ( $p < 0.05$ ).

Se ha reportado que el efecto anti-hiperglucémico del *Aloe vera* puede atribuirse a los polisacáridos que contiene, como el glucomanano, el cual simula la actividad de los fibroblastos, causando proliferación, lo cual posteriormente incrementa la síntesis de colágeno (El Sayed *et al.*, 2016).

Según el estudio de Tabatabaei *et al.* (2017), la actividad anti-hiperglucémica del *Aloe vera* se asocia a su habilidad para incrementar la sensibilidad de la insulina, modular la expresión GLUT4, prevenir la muerte de células  $\beta$  y/o recobrar parcialmente las células  $\beta$  dañadas, y estimular la secreción de la insulina del remanente de las células  $\beta$ . El incremento de los niveles de insulina observados en el estudio de Rajasekaran *et al.* 2006, indicaron que el extracto de gel de *Aloe vera* simula la secreción de insulina del remanente de las células  $\beta$ -pancreáticas y/o la regeneración de las células  $\beta$ .



**Figura 3.** Nivel de glucosa sanguínea en ayuno de ratas Wistar diabéticas, inducidas con STZ (45 mg/kg p.c.) y tratadas durante 21 días, con 500 mg/kg p.c. de gel de *Aloe vera* fresco y P75/25. Letras diferentes en las barras del gráfico indican diferencia estadística significativa; prueba de Duncan ( $p < 0.05$ ).

**Figure 3.** Fasting blood glucose level of diabetic Wistar rats induced with STZ (45 mg/kg b.w.) and treated for 21 days with 500 mg/kg b.w. of fresh *Aloe vera* gel and P75/25. Different letters in the bars of the graph indicate significant statistical difference; Duncan's test ( $p < 0.05$ ).

Tras una semana de la inducción de la diabetes con 45 mg/kg p.c. de STZ a las ratas Wistar, se les midió su nivel de glucosa en sangre, presentando diabetes moderada con valores iniciales de glucosa en sangre entre 144 y 169 mg/dL, iniciando en este momento el tratamiento de 21 días con gel de *Aloe vera* (Tiempo cero, Fig. 3). Se administraron el gel fresco de *Aloe vera* y el gel P75/25 respectivamente, a una dosis de 500 mg/kg de p.c. En la Fig. 3 se pueden observar los niveles de glucosa en sangre del grupo tratado con gel pasteurizado y fresco de *Aloe vera* al inicio del tratamiento y en la tercera semana al final del tratamiento. Los niveles de glucosa en sangre del grupo tratado con gel de *Aloe vera* pasteurizado disminuyó por debajo de los valores del grupo tratado con *Aloe vera* fresco y del grupo de control diabético, resultando de 232, 322.4 y 440 mg/dL respectivamente. Esto indica un efecto positivo en la disminución de uno de los principales indicadores de la diabetes mellitus que son los altos niveles de glucosa en sangre.

Se ha reportado que el *Aloe vera* procesada (incubación con celulasa, tratamiento térmico y clarificación con carbón activado) consumida por ratas con diabetes tipo 2, ayudó a incrementar la sensibilidad a la insulina, disminuyendo los niveles de glucosa en sangre en los animales experimentales (Kim et al., 2009).

Devaraj *et al.* (2013) reportaron efectos positivos en modelos *in vivo* de diabetes, incluyendo disminución rápida de los niveles de glucosa en ratas inducidas con Aloxan, aumento de la tolerancia a la glucosa en ratas administradas con glucosa, decremento de los niveles de glucosa y decremento del daño oxidativo en cerebros en ratas diabéticas inducidas con STZ y mejoramiento de los niveles de insulina en plasma.

Maan *et al.* (2018), argumentan que el gel de *Aloe vera* es un agente anti-hiperglucémico efectivo contra la diabetes tipo 2 y ha sido propuesto para la disminución de los niveles de glucosa en sangre debido a que éste incrementa el metabolismo.

## 4. Conclusiones

Debido al comportamiento en los valores de la capacidad antioxidante del gel de *Aloe vera*, con los métodos SDS-Modificado y ABTS, los tratamientos P65/25, P75/25, P85/25, se eligieron para hacer las pruebas preliminares del estudio *in vivo* para determinar su efecto anti-hiperglucémico.

El efecto anti-hiperglucémico del gel de *Aloe vera*, en ratas Wistar aumentó según la concentración de la dosis de administración. El gel de *Aloe vera* P75/25, causó el mayor efecto anti-hiperglucémico en ratas Wistar sanas. En un tratamiento de 21 días con suministro de gel de *Aloe barbadensis* Miller P75/25, los niveles de glucosa en sangre de ratas Wistar diabéticas inducidas con STZ (45 mg / kg) se encontraron por debajo de los del grupo de control diabético y del grupo tratado con *Aloe vera* fresco.

Por lo tanto, en este estudio el gel de *Aloe vera* pasteurizado tuvo una capacidad anti-hiperglucémica superior al gel fresco, ya que, aunque el tratamiento afectó su capacidad antioxidante, también puede hacer más biodisponibles a los compuestos fenólicos que no se afectaron y coadyuvar al balance de radicales libres generados por la enfermedad. Además, es posible que se pueda dar una condición de sinergia con las fibras presentes en el *Aloe vera*, que, debido al tratamiento térmico, proporcione una mayor biodisponibilidad de estos polisacáridos, como el acemanano y el glucomanano, que, por su capacidad de retención de agua, atrapen también los monosacáridos disueltos en el agua, y puedan disminuir su absorción y los niveles de glucosa en sangre.

## Agradecimientos

Al CONACYT por beca de posgrado. Al TecNM-Instituto Tecnológico de Durango, División de Estudios de Posgrado e Investigación; al Área de Ingeniería Química, Departamento de Química, Universitat de les Illes Balears, a la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología de España (Proyecto RTA2009-00118-C02) y al Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos (DIPA) de la Facultad de Química de la Universidad Autónoma de Querétaro.

## Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de interés de ningún tipo en la preparación y publicación del presente artículo.

## 5. Referencias

- Abo-Youssef, A.M.H. & Shehata Messiha, B.A. (2013). Beneficial effects of Aloe vera in treatment of diabetes: Comparative in vivo and in vitro studies. Bulletin of Faculty of Pharmacy, Cairo University 51(1): 7-11. <https://doi.org/10.1016/j.bfopcu.2012.03.002>
- Alinejad-Mofrad, S., Foadoddini, M., Saadatjoo, SA. & Shayesteh, M. (2015). Improvement of glucose and lipid profile status with Aloe vera in pre-diabetic subjects: a randomized controlled-trial. Journal of Diabetes & Metabolic Disorders 14:1-7. <https://doi.org/10.1186/s40200-015-0137-2>
- Ahlawat, K. S. & Khatkar, B. S. (2011). Processing, food applications and safety of aloe vera products: a review. J. Food Sci. Technol. 48(5): 525 – 533. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0229-z>
- Anderson, R.A., Broadhurst, C.L., Polansky, M.M., Schmidt, W.F., Khan, A., Flanagan, V.P., Schoene, N.W. & Graves, D.J. (2004). Aislamiento y caracterización de polímeros de polifenoles tipo A de canela con actividad biológica similar a la insulina. Revista de Química Agrícola y Alimentaria 52(1): 65 – 70. <https://doi.org/10.1021/jf034916b>
- Andrade-Cetto, A. & Heinrich M. (2005). Plantas mexicanas con efecto hipoglucemiante utilizadas en el tratamiento de la diabetes. Revista de Etnofarmacología 99(3): 325 – 348. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2005.04.019>
- Arce Villavicencio, R. E., Molina-Ordóñez, J., Morán, F., & Moreno-Lozano, J. (2007). Efecto protector del *Aloe vera* (sábila) en lesiones gástricas inducidas con etanol en ratas. Sociedad Científica de San Fernando. Lima, Perú CIMEL Ciencia e Investigación Médica Estudiantil Latinoamericana 12(2): 71-75. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=71712207>
- Boudreau, M. D. & Beland, F.A. (2006). An Evaluation of the Biological and Toxicological Properties of Aloe barbadensis (Miller), Aloe Vera. Journal of Environmental Science and Health Part C 24(1):103-154. <https://doi.org/10.1080/10590500600614303>
- Chang, X. L., Wang, Ch., Feng, Y. & Liu, Z. (2006). Effects of Heat Treatments on the Stabilities of Polysaccharides Substances and Barbaloin in Gel Juice from *Aloe vera* Miller. Journal of Food Engineering 75(2): 245-251. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.04.026>
- Chinsembu, K.C. (2018). Diabetes mellitus and nature's pharmacy of putative antidiabetic plants. Journal of Herbal Medicine 15: 100230. <https://doi.org/10.1016/j.hermed.2018.09.001>
- Choudhary, M., Kochhar, A. & Sangha, J. (2014). Hypoglycemic and hypolipidemic effect of *Aloe vera* L. in non-insulin dependent diabetics. Journal of Food Science and Technology 51(1): 90-96. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0459-0>
- Christaki, E. V. & Florou-Paneri, C. (2010). *Aloe vera*: A plant for many uses. WFL Publisher. Science and technology 8 (2): 245-249. <https://doi.org/10.1234/4.2010.1627>
- Devaraj, S., Yimam, M., Brownell, L.A., Jialal, I., Singh, S. & Jia, Q. (2013). Effects of Aloe vera supplementation in subjects with prediabetes/ metabolic syndrome. Metabolic Syndrome and Related Disorders 11(1):35-40. <https://doi.org/10.1089/met.2012.0066>
- Domínguez-Fernández, R.N., Arzate-Vázquez, I., Chanona-Pérez, J.J., Welti-Chanes, J.S., Alvarado-González, J.S., Calderón-Domínguez, G.; Garibay-Febles, V. & Gutiérrez-López, G.F. (2012). El gel de *Aloe vera*: Estructura, composición química, procesamiento, actividad biológica e importancia

- en la industria farmacéutica y alimentaria. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 11(1): 23-43. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62024415003>
- El Sayed, A.M., Ezzat, M.S., El Naggat, M.M. & El Hawary, S.S. (2016). *In vivo* diabetes wound healing effect and PLC-DAD-ESI-MS/MS profiling of the methanol extracts of eight *Aloe* species. *Brazilian Journal of Pharmacognosy* 26(3): 352-362. <https://doi.org/10.1016/j.bjp.2016.01.009>
- Eshun, K. & He, Q. (2004). *Aloe vera*: a valuable ingredient for the food, pharmaceutical and cosmetic industries: a review. *Critical reviews in food science and nutrition* 44(2): 91-96. <https://doi.org/10.1080/10408690490424694>
- Ezuruike, U. F. & Prieto, J. M. (2014). The use of plants in the traditional management of diabetes in Nigeria: pharmacological and toxicological considerations. *Journal of Ethnopharmacology* 155(2): 857–924. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2014.05.055>
- García-Peris, P., Bretón-Lesmes, I., De la Cuerda-Compes, C. & Camblor-Alvarez, M. (2002). Metabolismo colónico de la fibra [Colonic metabolism of fiber]. *Nutr. Hosp.* XVII (Sup. 2) 11-16. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12141180/>
- He, Q., Changhong, L., Kojo, E. & Tian, Z. (2005). Quality and Assurance in the Processing of *Aloe Vera* Juice. *Food control* 16(2): 95 - 104. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2003.12.001>
- Hu, Y., Xu, J. & Hu, Q. (2003). Evaluation of Antioxidant Potential of *Aloe Vera* (*Aloe barbadensis* Miller) Extracts. *J. Agric. Food Chem.* 51(26): 7788-7791. <https://doi.org/10.1021/jf034255i>
- Huseini, H. F., Kianbakht, S., Hajiaghaee, R. & Dabaghian, F.H. Anti-hyperglycemic and anti-hypercholesterolemic effects of *Aloe vera* leaf gel in hyperlipidemic type 2 diabetic patients: a randomized double-blind placebo-controlled clinical trial. *Planta Médica* 78(4): 311-316. <https://doi.org/10.1055/s-0031-1280474>
- Jain, N., Vijayaraghavan, R., Pant, S. C., Lomash, V. & Ali, M. (2010). *Aloe vera* gel alleviates cardiotoxicity in streptozocin-induced diabetes in rats. *Journal of Pharmacy and Pharmacology* 62(1): 115-123. <https://doi.org/10.1211/jpp.62.01.0013>
- Kuzuya, T., Nakagawa, Sh., Satoh, J., Kanazawa, Y., Iwamoto, Y., Kobayashi, M., Nanjo, K., Sasaki, A., Seino, Y., Ito, Ch., Shima, K., Nonaka, K. & Kadowaki, T. (2002). Report of the Committee on the classification and diagnostic criteria of diabetes mellitus. *Diabetes Research and Clinical Practice* 55(1): 65 - 85. [https://doi.org/10.1016/s0168-8227\(01\)00365-5](https://doi.org/10.1016/s0168-8227(01)00365-5)
- Lee, K.Y., Weintraub, S.T. & Yu, B.P. (2000). Isolation and identification of a phenolic antioxidant from *Aloe barbadensis*. *Free Radical Biology & Medicine* 28(2): 261-265. [https://doi.org/10.1016/s0891-5849\(99\)00235-x](https://doi.org/10.1016/s0891-5849(99)00235-x)
- Loots, D.T., Van Der Westhuizen, F. H. & Botes, L. (2007). *Aloe ferox* Leaf Gel Phytochemical Content, Antioxidant Capacity, and possible Health Benefits. *J. Agric. Food Chem.* 55(17): 6891-6896. <https://doi.org/10.1021/jf071110t>
- Kim, K., Kim, H., Kwon, J., Lee, S., Kong, H., Im, S-A., Lee, Y-H., Lee, Y-R., Oh, S-T., Jo, T. H., Park, Y. I., Lee, Ch-K. & Kim, K. (2009). Hypoglycemic and Hypolipidemic Effects of Processed *Aloe vera* Gel in a Mouse Model of Non-insulin-Dependent Diabetes Mellitus. *Phytomedicine* 16(9): 856-863. <https://doi.org/10.1016/j.phymed.2009.02.014>

- 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: 1 – 10. <https://doi.org/10.1016/j.hermed.2018.01.002>
- Martínez-García, J.J., Gallegos-Infante, J. A., Rocha-Guzmán, N. E., Ramírez-Baca, P., Candelas-Cadillo, M. G. & González-Laredo, R. F. (2013). Drying parameters of half-cut and ground figs (*Ficus carica* L.) var, Mission and the effect on their functional properties. *Journal of Engineering* 2013: 710830. <http://dx.doi.org/10.1155/2013/710830>
- Martínez, V.I., Periago, M. J. & Ros, G. (2000). Nutritional Meaning of Diet Phenolic Compounds. *Latin American Nutrition Archives*. Official Body of the Latin American Nutrition Society 50(1): 5-18. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11048566/>
- Medina-Torres, L., Calderas, F., Minjares, R., Femenia, A., Sánchez-Olivares, G., González-Laredo, R.F., 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>
- Minjares-Fuentes, J. R. & Femenia, A. (2016). Effect of Processing on the Bioactive Polysaccharides and Phenolic Compounds from *Aloe vera* (*Aloe barbadensis* Miller). In (Eds) Farah Hosseinian, B. Dave Oomah & Rocio Campos-Vega. *Dietary Fiber Functionality in Food and Nutraceuticals: From Plant to Gut*, First Edition. JohnWiley & Sons Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781119138105.ch9>
- Mootoosamy, A. & Fawzi-Mahomoodally, M. (2014). Ethnomedicinal application of native remedies used against diabetes and related complications in Mauritius. *J. Ethnopharmacology* 151(1):413–444. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2013.10.069>
- Park, Y. I. & Lee, S.K. (2006). *New Perspectives on Aloe*. Springer. ISBN-10: 0-387-31799-6. ISBN-13: 978-0387-31799-1. <https://perpus.univpancasila.ac.id/repository/EBUPT180986.pdf>
- Rajasekaran, S., Ravi, K., Sivagnanam, K. & Subramanian, S. (2006). Beneficial Effects of *Aloe vera* Leaf Gel Extract on Lipid Profile Status in Rats with Streptozotocin Diabetes. *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology* 33(3): 232-237. <https://doi.org/10.1111/j.1440-1681.2006.04351.x>
- Re, R.; Pellegrini, N.; Proteggente, A.; Pannala, A.; Yang, M. & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying and improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine* 26(9-10): 1231-1237. [https://doi.org/10.1016/s0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/s0891-5849(98)00315-3)
- Rodríguez-González, V. M., Femenia, A., González-Laredo, R. F., Rocha-Guzmán, N. E., Gallegos-Infante, J. A., Candelas-Cadillo, M. G., Ramírez-Baca, P., Simal, S. & Rosselló, C. (2011). Effects of pasteurization on bioactive polysaccharide acemannan and cell wall polymers from *Aloe barbadensis* Miller. *Carbohydrate Polymers* 86(4): 1675–1683. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.06.084>
- Rodríguez-González, S., Gutiérrez-Ruiz, I. M., Pérez-Ramírez, I. F., Mora, O., Ramos-Gómez, M. & Reynoso-Camacho, R. (2017). Mechanisms related to the anti-diabetic properties of mango (*Mangifera indica* L.) juice by product. *Journal of Functional Foods* 37: 190-199. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.07.058>
- Rosado-Pérez, J. & Mendoza-Núñez, V. M. (2007). Chronic Inflammation and Oxidative Stress in Diabetes Mellitus. *Bioquímica* 32(2):58-69. <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumenI.cgi?IDARTICULO=12738#>



- Sharma, B., Siddiqui, S., Ram, G., Chaudhary, M. & Sharma, G. (2013). Hypoglycemic and Hepatoprotective Effects of Processed *Aloe vera* Gel in a Mice Model of Alloxan Induced Diabetes Mellitus. *J. Diabetes and Metabolism* 4(9): 1000303. <http://dx.doi.org/10.4172/2155-6156.1000303>
- Suksomboom, N., Poolsup, N.† & Punthanintisarn, S. (2016). Effect of *Aloe vera* on glycaemic control in prediabetes and type 2 diabetes: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Clinical Pharmacy and Therapeutics* 41(2): 180 – 188. <https://doi.org/10.1111/jcpt.12382>
- Sun, H., Saeedi, P., Karuranga, S., Pinkepank, M., Ogurtsova, K., Duncan, B. B., Stein, C., Basit, A., Chan, J. C. N., Mbanya, J. C., Pavkov, M. E., Ramachandaran, A., Wild, S.H., James, S., Herman, W.H., Zhang, P., Bommer, C., Kuo, S., Boyko, E.J. & Magliano, D. J. (2022). IDF Diabetes Atlas: Global, regional, and country-level diabetes prevalence estimates for 2021 and projections for 2045. *Diabetes research and clinical practice* 183: 109119. <https://doi.org/10.1016/j.diabres.2021.109119>
- Tabatabaei, S. R. F., Ghaderib, S., Bahrami-Tapeheburc M., Farboodb Y. & Rashnob, M. (2017). *Aloe vera* gel improves behavioral deficits and oxidative status in streptozotocin-induced diabetic rats. *Biomedicine and Pharmacotherapy* 96: 279-290. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2017.09.146>
- Yao, Y., Sang, W., Zhou, M. & Ren, G. (2010). Phenolic composition and antioxidant activity of 11 celery cultivars. *Journal of food science* 75(1):C9-13. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01392.x>
- Zarrintan, A., Mobasseri, M., Zarrintan, A. & Ostadrahimi, A. (2015). Effects of *Aloe vera* supplements on blood glucose level and lipid profile markers in type 2 diabetic patients. – a randomized clinical trial. *Pharm Sci.* 21(2):65–71. <https://doi.org/10.15171/PS.2015.19>
- Zhen, W. & Wang, S. Y. (2001). Antioxidant activity and phenolic compounds in selected herbs. *J. Agric. Food Chem.* 49(11): 5165-5170. <https://doi.org/10.1021/jf010697n>

2023 TECNOCENCIA CHIHUAHUA

Esta obra está bajo la Licencia Creative Commons Atribución No Comercial 4.0 Internacional.



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>