

DETERMINACIÓN DE COMPUESTOS BIOACTIVOS EN PENCAS DE MAGUEY PULQUERO (*Agave salmiana*)

DETERMINATION OF BIOACTIVE COMPOUNDS IN STALKS OF MAGUEY PULQUERO (*Agave salmiana*)

Medina-Mendoza, Carmen^a, Mendoza-Tolentino, Yucundo^b, Jesús Cervantes Miranda^a

^a Universidad Tecnológica del Valle del Mezquital (Programa Educativo de Procesos Alimentarios), Ixmiquilpan, Hidalgo, México CP. 42326. cmedina@utvm.edu.mx

^b Universidad Tecnológica del Valle del Mezquital (Programa Educativo de Energías Renovables), Ixmiquilpan, Hidalgo, México CP. 42326.

RESUMEN. El estado de Hidalgo es uno de los principales productores de maguey pulquero y particularmente de aguamiel. En 2018, Hidalgo tuvo una producción de 119,728, 000 litros de aguamiel, esto se obtuvo de un promedio de 119,728 unidades de agave las cuales después de dejar de producir aguamiel, únicamente el 15% son utilizadas para la producción de ixtle, mientras que el 10% se utiliza como forraje para ganado y el 75% de la producción desperdiciada, unas 77,823 unidades de maguey, en donde cada unidad puede llegar a tener de 16-22 pencas. En este sentido, el objetivo del presente trabajo fue realizar extracciones de compuestos activos en pencas de maguey pulquero (*Agave salmiana*) en condiciones de sanidad y deterioro, con la finalidad de realizar una comparación en el contenido fenólico y de flavonoides, y determinar en qué condiciones de la penca se obtiene mayor contenido de los compuestos. Se emplearon dos técnicas para la extracción de los compuestos mediante métodos tradicionales con rendimientos de 0.4233 a 0.5267 g/mL. Mediante los análisis espectrofotométricos se cuantificaron los fenoles con valores que van de 830.5882 a 3412.647 mg EAG/mL de muestra y de flavonoides de 445.8750 a 2089.3750 mg de quercetina por 100 g de muestra seca. Las pencas de maguey utilizadas sanas y deterioradas no presentaron diferencias significativas con respecto a las cuantificaciones de los compuestos bioactivos, por lo tanto, los compuestos identificados pueden ser empleados en alimentos funcionales benéficos para la salud, principalmente como antioxidantes y se les podrá dar un valor agregado a las pencas que actualmente se desechan.

Palabras clave: fenoles, flavonoides, antioxidante

ABSTRACT. The state of Hidalgo is one of the main producers of maguey pulquero and particularly of aguamiel. In 2018, Hidalgo had a production of 119,728, 000 liters of aguamiel, this was obtained from an average of 119,728 agave units which after ceasing to produce aguamiel, only 15% are used for the production of ixtle, while 10% is used as fodder for cattle and 75% of the wasted production, about 77,823 maguey units, where each unit can have 16-22 pencas. The objective of this study was to extract active compounds from maguey pulquero (*Agave salmiana*) stalks under healthy and deteriorated conditions, in order to compare the phenolic and flavonoid content, and to determine under what conditions the highest content of these compounds is obtained from the stalk. Two techniques were used for the extraction of the compounds by traditional methods with yields from 0.4233 to 0.5267 g/mL. By means of spectrophotometric analysis, phenols were quantified with values ranging from 830.5882 to 3412.647 mg EAG/mL of sample and flavonoids from 445.8750 to 2089.3750 mg of quercetin per 100 g of dry sample. Healthy and deteriorated maguey stalks did not show significant differences with respect to the quantifications of bioactive compounds; therefore, the identified compounds can be used in functional foods beneficial to health, mainly as antioxidants and an added value can be given to the stalks that are currently discarded.

Key words: phenols, flavonoids, antioxidante

INTRODUCCIÓN

Los compuestos bioactivos provienen de los alimentos en forma natural y aportan un efecto benéfico en la salud de las personas, por lo tanto, al estar presentes en alimentos, hace que este sea funcional¹. Dichos compuestos se extraen de fuentes naturales mediante técnicas con disolventes, para que el proceso sea eficiente es necesario estimar o investigar factores de importancia como son: tiempo y temperatura de extracción².

Algunos compuestos bioactivos utilizados últimamente en la industria alimentaria son los antioxidantes dentro de los cuales se encuentran: polifenoles, flavonoides, B-caroteno, licopeno y betalaínas¹. Los polifenoles se caracterizan por presentarse en forma de uno o varios anillos fenólicos, esto en función del número de anillos y de los elementos estructurales que presentan; dichos anillos provocan una amplia clasificación: entre ellos

flavonoides y ácidos fenólicos³ y presentan propiedades antioxidantes, antibióticas, antiparasitarios y citotóxicos⁴. Se han incorporado a la dieta de los seres humanos ya que generan efectos benéficos en la salud tales como: prevención de cáncer, enfermedades cardiovasculares y enfermedades neurodegenerativas^{5,6}.

Los flavonoides son compuestos presentes en los vegetales y que protegen al organismo del daño producido por agentes externos, generalmente oxidantes: rayos UV, contaminantes ambientales, químicos de origen alimenticio, etc. El organismo humano no puede producir estas sustancias químicas protectoras, por lo que deben obtenerse mediante la alimentación o en forma de suplementos⁷. Se ha demostrado que los flavonoides previenen la agregación plaquetaria e inducen la relajación muscular². Junto con los proteoglicanos, los flavonoides ejercen un efecto inhibitorio de los síntomas alérgicos. Algunas funciones reportadas para flavonoides son antineoplasia, resistencia capilar, antimicrobiano, antiinflamatorio, antidepresivo y anticancerígeno⁵.

El maguey pulquero también conocido como *Agave salmiana*, crece formando una roseta en forma espiral con hojas grandes y erectas. Estas hojas son gruesas en forma de barco, de color verde oscuro con una gran punta en el ápice y con espinas en los bordes. Al crecer y comenzar a desplegarse cada hoja deja una huella en la hoja siguiente. El agave pulquero es una especie monocárpica, debido a que solo florece una sola vez durante su ciclo de vida, esto ocurre en una edad de entre 15 y 25 años. La floración ocurre después de 15 a 25 años de establecida la planta y se caracteriza por producir una inflorescencia con tallo floral de aproximadamente 8 metros, conteniendo flores verdes-amarillentas⁸.

El Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera menciona que Hidalgo en el 2019 fue uno de los principales productores de aguamiel teniendo una producción de 194,579,000 L, de acuerdo con un promedio de producción de aguamiel por planta, se puede decir que fueron utilizadas alrededor de 119,728 unidades de maguey, de las cuales la mayoría, al entrar en un periodo de deterioro, se

utilizan como forraje para ganado o se desechan al ambiente⁹.

Actualmente, la información que se tienen acerca de los compuestos fenólicos presentes en tejidos de maguey son muy escasos. Sin embargo, algunos compuestos bioactivos identificados en el *Agave sisalana* son: homoisoflavonoides 7-hidroxi-3-(4-metoxibencil)-cromano, 7-hidroxi-3-(4-metoxibencil)-croman-4-ona y 5,7-dihidroxi-3-(4-metoxibencil)-croman-4-ona¹⁰, en *Agave salmiana* se encontraron un total 7 tipos de flavonoides, cuatro glucósidos de kakaferferol (KG) y tres glucósidos de quercetina (QG)¹¹. Es por lo anterior que ha cobrado importancia la identificación de compuestos bioactivos a fin de valorizarlos en el desarrollo de alimentos funcionales para aprovechar sus funciones benéficas a la salud. En este sentido, se plantea la siguiente hipótesis: es posible la extracción de compuestos bioactivos en pencas de maguey pulquero mediante métodos tradicionales y que no exista variación en la cantidad de componentes bioactivos encontrados de acuerdo a los tratamientos de extracción aplicados a las muestras sanas y dañadas.

El objetivo del trabajo fue extraer compuestos bioactivos de pencas sanas y deterioradas de maguey pulquero (*Agave salmiana*) con la finalidad de realizar una comparación en el contenido fenólico y de flavonoides y determinar en qué condiciones de la penca se obtiene mayor contenido de los compuestos.

METODOLOGÍA

Dado que la región del Valle del Mezquital cuenta con una gran cantidad de productores de maguey, se decidió realizar la recolección de pencas para su estudio en dicha zona. Se colectó de forma manual pencas de *Agave salmiana*. Se eligieron hojas maduras sanas, y con algún daño detectable físicamente (coloraciones extrañas, estructura rota) para observar posible variación de bioactivos según el estado de la penca. También se colectó pencas sin daños visibles, como control. A las hojas de agave colectadas se les retiraron las espinas laterales y de la punta, se lavaron con agua destilada, y sumergieron en agua destilada limpia en un recipiente de plástico para su traslado y

mantenimiento, se mantuvieron en refrigeración (4 °C) para su conservación, hasta su uso.

Extracción de componentes bioactivos mediante tecnologías tradicionales. Para el diseño experimental los tratamientos fueron definidos de acuerdo a la investigación de campo en donde se encontró que los productores de *Agave salmiana* también conocido como maguey pulquero, usan las pencas como cobertura de alimentos durante su horneado, y en la elaboración de bebidas, obtenidas después de la cocción de la penca. Por esta identificación de usos, se propusieron los siguientes tratamientos de ablandamiento (TT1, TT2), los cuales se implementan como una nueva propuesta para el presente trabajo:

Para cada muestra se utilizaron 200 g de penca de agave con las características antes mencionadas (edo. físico, edad) a cada muestra se le aplicó lo siguiente:

TT1 – Tecnología de ablandamiento por calor en seco. Las pencas se cocieron en horno, en cortes longitudinales de espesor aproximado de 1 cm, a 60°C durante 10 horas (obteniendo 5% de humedad), se pesó la cantidad obtenida misma que sirvió para determinar el rendimiento de muestra seca. Estas muestras se molieron en seco y tamizaron, la muestra utilizada fue la que se obtuvo al tamizar con una malla de 1 mm. Todas las pruebas se realizan por triplicado.

TT2 - Tecnología de ablandamiento por calor en húmedo. Las pencas se sumergieron en agua hirviendo durante 5 min, en un volumen de al menos 1:2p/v, asegurando que el líquido cubría perfectamente las pencas. De este tratamiento se obtuvo muestra húmeda que se llevó a secar (estufa 60°C por 8 horas) hasta obtener una humedad del 5%, misma que se molió en seco y tamizó, la muestra utilizada fue la que se obtuvo al tamizar con una malla de 1 mm. Es importante mencionar que las muestras de penca joven presentaban una humedad inicial del 85%, mientras que la humedad de las muestras pertenecientes a la penca madura fue de 78%. El porcentaje de

humedad se determinó utilizando el método de la termobalanza, el modelo del equipo utilizado es Termobalanza MOC 63U.

Extracción de polifenoles y flavonoides. El tejido de planta seca (4 g) se homogenizó para obtener los extractos, mezclándolo con 40 mL de una solución de metanol:agua 80:20 (v/v). La mezcla se agitó por 2 h a 150 rpm y 30°C. Se filtró separando el sobrenadante del precipitado. El líquido se concentró con un rotoevaporador modelo Heidolph vv200. El extracto obtenido (epm: extracto polaridad media, metanólico) se usó para los análisis posteriores. Para almacenamientos de largos periodos, se usó la resuspensión en 1 mL (o el necesario si es mucha muestra) de metanol:agua 50:50 (v/v), y se almacenó a -20°C hasta su uso¹¹. Para los extractos polares se tomaron 4 gramos de muestra seca y se maceraron en 40 ml de agua para la extracción de compuestos polares. La mezcla se agitó por 2 h a 150 rpm y 30°C, se filtró separando el sobrenadante del precipitado. El líquido se concentró con un rotoevaporador modelo Heidolph vv200.

Es importante mencionar que las mezclas obtenidas para concentrar fueron medidas en mL y después de la concentración con el rotoevaporador fueron medidas en gramos, esto con la finalidad de obtener el rendimiento de muestra en gr por mL de solución utilizada (Tabla 1). A cada extracto preparado se determinó fenoles totales, y flavonoides. Todas las pruebas se realizaron por triplicado.

Análisis espectrofotométricos para la determinación de concentración de bioactivos. El análisis de absorbancia se realizó para determinar la concentración de bioactivos presentes en los extractos de las diferentes muestras.

Determinación de fenoles totales. El contenido fenólico total se determinó usando la técnica de Folin-Ciocalteu, algunas modificaciones para ser micro determinaciones. Se tomaron 62.5 µL de muestra problema (extractos) y se agregaron 250 µL de agua desionizada y 62.5 µL del reactivo Folin-Ciocalteu (2 N), se agitaron y se dejaron reaccionar por 6 min. Transcurrido el tiempo se agregaron 62.5 mL de carbonato de sodio al 2 % (proporción de 2 g de NaCO₃ en 100 mL de agua destilada) y 0.5 mL de

agua bidestilada. La mezcla se agitó y se dejó reaccionar por 90 min (en oscuridad). Para la cuantificación se utilizó una curva estándar de ácido gálico a diferentes concentraciones (0.050 a 1 mg/mL). La lectura de absorbancia se realizó en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 760 nm. El contenido fenólico se calculó usando el ajuste lineal de la curva estándar obtenida de la absorbancia producida a diferentes concentraciones del compuesto estándar (ácido gálico, A760). El contenido fenólico se expresa en miligramos de equivalentes de ácido gálico por mililitro de muestra (mg EAG/mL)¹². Todas las pruebas se realizaron por triplicado.

Determinación del contenido de flavonoides totales. Se aplicó el método colorimétrico de cloruro de aluminio, modificado para micro determinaciones. Una muestra de 0.125 μ L de una solución de la muestra problema se mezcló con 500 de agua destilada, y 32.5 μ L de una solución de NaNO₂ al 5%, se dejó en reposo por 5 min, seguido de la adición de 32.5 μ L de cloruro de aluminio (AlCl₃) al 0.01 M preparado en metanol. Después de un minuto, 250 μ L de una solución de hidróxido de sodio NaOH 1M se adicionó. Después, 300 μ L de agua destilada se añadió a la mezcla y se agitó vigorosamente. La absorbancia de la mezcla se midió a 415 nm usando un espectrofotómetro UV-Vis. Una curva estándar se preparó usando una solución estándar de quercetina. El contenido de flavonoides totales se expresa como mg equivalentes de quercetina por 100 g de muestra seca. Todas las mediciones se realizaron por triplicado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Recolección de pencas de maguey. La recolección de pencas maduras se realizó en las comunidades de Xuchitlan, Taxadhó y San Salvador, pertenecientes al Valle del Mezquital, Hidalgo. Se recolectaron pencas de aproximadamente 6 y 11 años de edad, se tomaron como controles pencas, sin daños visibles, en estado sano y pencas con daños visibles como decoloraciones y con presencia de deshidratación.

Extracción de componentes bioactivos mediante tecnologías tradicionales. Para ambos tratamientos, Tecnología de ablandamiento por calor en seco (TT1) y Tecnología de ablandamiento por

calor en húmedo (TT2) se obtuvieron muestras secas con un porcentaje de humedad del 5%, esto debido a que, al disminuir el porcentaje de humedad en una muestra, el contenido en general de los otros factores tales como vitaminas, proteínas, etc., tienen mayor presencia. Sin embargo, al utilizar temperaturas mayores a 70°C, en el secado de las muestras, se puede ver una disminución considerable de compuestos bioactivos, posiblemente por degradación^{13,14}. Tomando en cuenta lo anterior se decidió utilizar una temperatura de 60°C, en el secado, para ambos tratamientos de ablandamiento.

El rendimiento se muestra en base al porcentaje de muestra seca obtenida, para cada prueba se utilizaron 200 g de muestra inicial. Existe mayor rendimiento en la obtención de muestra seca con el tratamiento 2, la aplicación de calor húmedo, la presencia de temperaturas de ebullición y un medio húmedo, beneficiaron la recuperación de muestras secas¹⁵.

A partir de la muestra seca en polvo se realizó una extracción en metanol-agua 80:20, para obtener componentes bioactivos polares, mediante la rotaevaporación. Los rendimientos obtenidos para extractos polares, han dado rendimientos en gramos de extracto obtenido por gramos de muestra seca de 0.47 \pm 0.01; en *Agave salmiana* ssp. *crassispina* pertenecientes al estado de San Luis Potosí¹⁶. En donde los mayores rendimientos se obtuvieron con las pencas maduras sanas (aproximadamente 11 años), tratada con calor húmedo, a temperatura de ebullición por 5 min. Los rendimientos de extractos obtenidos en gramos de extracto por mL de solución se muestran en la Tabla 1.

Cuantificación de Fenoles totales. Para la determinación de fenoles totales por el ensayo de Folin-Ciocalteu, se utilizó el ácido gálico para la elaboración de curvas estándar (Figura 1a, 1b) obteniéndose un coeficiente de correlación aceptable en ambos casos.

Determinación de flavonoides totales. Para la determinación de flavonoides totales se utilizó el método colorimétrico de cloruro de aluminio, se utilizó como estándar una curva de calibración de

quercetina en diferentes concentraciones, como se muestra a continuación (Figura 2).

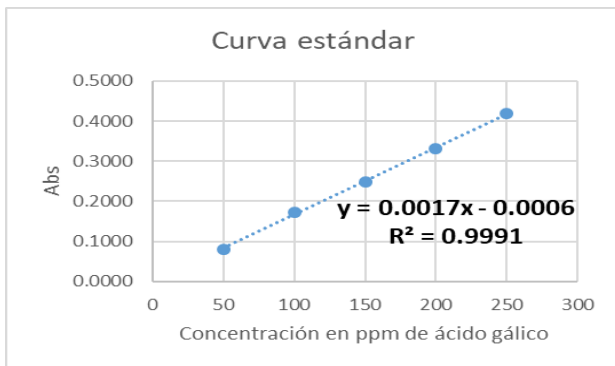
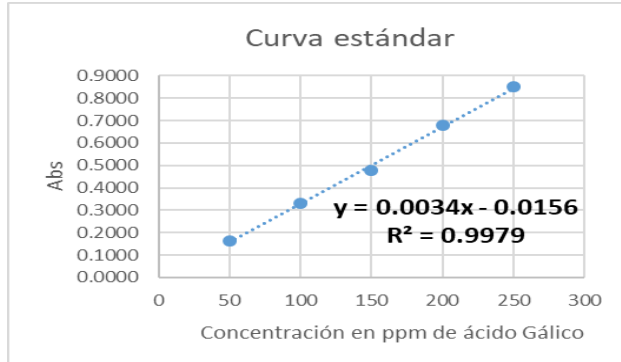


Figura 7. Curvas de calibración (a,b, respectivamente)

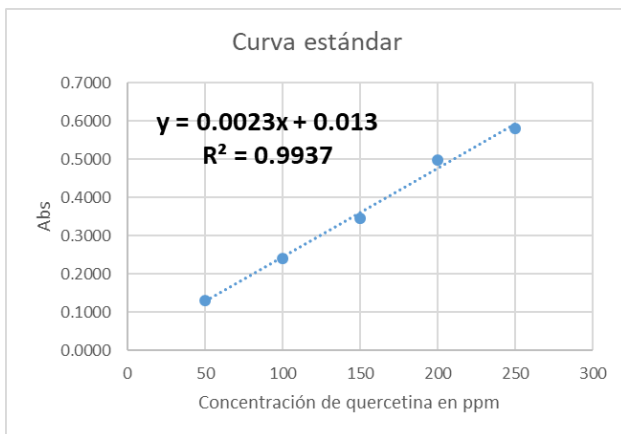


Figura 2. Curva de calibración para determinación de flavonoides totales.

Una vez obtenida la curva con un coeficiente de correlación aceptable, se procedió a cuantificar la cantidad de fenoles y flavonoides totales presentes en los diferentes extractos, de los cuales los

resultados de muestran en las tablas 2 y 3 respectivamente.

Los compuestos bioactivos no disminuyen en las plantas dañadas, por el contrario, aumentan como respuesta a un mecanismo interno de prevención de deterioro de estas; la capacidad antioxidante de la planta puede ser aumentado debido a ello¹⁵. Los resultados de este trabajo concuerdan con lo mencionado anteriormente, en algunas cuantificaciones de las muestras dañadas superan a las muestras control. El contenido de compuestos fenólicos tiende a ser más estable en plantas, sin importar las condiciones de estrés presentes, mientras que el contenido de flavonoides es más dependiente de dichas condiciones¹⁷.

Las plantas del desierto al presentar estrés por sequía, sufren un aumento en el contenido de fenoles totales, esto podría estar pasando en estos resultados¹⁸. En los extractos polares de las pencas de maguey pulquero, la muestra madura dañada supera su contenido de fenoles totales (Tabla 2) (tratamiento 1) y para flavonoides (tratamiento 2), la muestra joven y madura sana presentan mayores concentraciones a las muestras dañadas. Una disminución del contenido de flavonoides puede presentarse como respuesta a un estrés por sequia, las enzimas reducen su actividad en condiciones de estrés hídrico en diversas plantas¹⁹. La menor presencia de flavonoides en extractos de polaridad media se presentó en la penca madura dañada (Tabla 3), este análisis se realizó en condiciones de estado fisiológico disminuido.

Los contenidos de flavonoides obtenidos en esta investigación (Tabla 3) son mayores en un 90% con respecto a los obtenidos en otro estudio donde se obtuvieron valores de 19 a 115 mg de quercetina por cada 100 gramos de muestra seca¹⁸. La madurez de las plantas afecta directamente al contenido de componentes bioactivos, esto debido a que durante la madurez se generan procesos de biosíntesis que generan mayor contenido de bioactivos, principalmente compuestos fenólicos¹⁷.

Tabla 1. Rendimientos de extracción de compuestos bioactivos.

		Tratamiento 1				Tratamiento 2			
		PJS	PJD	PMS	PMD	PJS	PJD	PMS	PMD
Extractos polares	Rendimiento (g/mL)	0.4267	0.4167	0.4233	0.4167	0.5233	0.5167	0.5267	0.5133
	Desviación estándar	±0.0252	±0.0058	±0.0153	±0.0208	±0.0153	±0.0153	±0.0153	±0.0115
Extractos polaridad media	Rendimiento (g/mL)	0.3833	0.3867	0.4033	0.4033	0.4933	0.5000	0.4900	0.4967
	Desviación estándar	±0.0153	±0.0058	±0.0153	±0.0115	±0.0058	±0.0200	±0.0100	±0.0153

Donde:

PJS: Penca joven sana (6 años de edad aprox. Sin daños mecánicos, ni visibles).

PJD: Penca joven dañada (6 años de edad aprox. con un 30% deshidratación visible principalmente en la punta, así como cambios de coloración).

PMS: Penca madura sana (11 años de edad aprox. Sin daños mecánicos, ni visibles).

PMD: Penca madura dañada (11 años de edad aprox. con un 30% deshidratación visible principalmente en la punta, así como cambios de coloración).

Tabla 2. Cuantificación de Fenoles Totales de extractos polares.

No. De tratamiento	Condiciones	mg EAG/mL de muestra		
		Promedio	Desviación estándar	Coefficiente de Variación
1	Penca Joven Sana ^a	2029.1176	± 169.691	8.3628
	Penca Joven Dañada ^a	1171.765	± 65.789	5.6145
	Penca Madura Sana ^a	2038.824	± 105.792	5.1889
	Penca Madura Dañada ^b	3412.647	± 208.225	6.1016
2	Penca Joven Sana ^b	2837.549	± 71.043	2.5037
	Penca Joven Dañada ^a	830.5882	± 60.609	7.2972
	Penca Madura Sana ^a	2403.677	± 211.982	8.8191
	Penca Madura Dañada ^a	1047.647	± 28.581	2.7281

^a Curva estándar con ajuste lineal y ecuación $x = (y+0.0156)/0.0034$

^b Curva estándar con ajuste lineal y ecuación $x = (y+0.0006)/0.0017$

Todos los análisis fueron realizados por triplicado.

El análisis de varianza fue realizado bajo las siguientes hipótesis:

H₀: No existe variación en la cantidad de componentes bioactivos encontrados de acuerdo a los tratamientos de extracción aplicados a las muestras (sana, dañada).

H₁: Existe variación en la cantidad de componentes bioactivos encontrados de acuerdo a los tratamientos de extracción aplicados a las muestras (sana, dañada).

Tabla 3. Cuantificación de Flavonoides Totales en extractos de polaridad media.

No. De tratamiento	Condiciones	mg de quercetina por 100 g de muestra seca		
		Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de variación
1	Penca Joven Sana	1455.6250	± 93.7175	6.4383
	Penca Joven Dañada	1077.7083	± 76.7725	7.1237
	Penca Madura Sana	1727.5000	± 97.5929	5.6494
	Penca Madura Dañada	445.8750	± 24.9146	5.5878
2	Penca Joven Sana	1871.4583	± 165.9526	8.8676
	Penca Joven Dañada	1389.7917	± 122.4577	8.8112
	Penca Madura Sana	2089.3750	± 187.6795	8.9826
	Penca Madura Dañada	921.2500	± 83.6174	9.0765

Por otra parte, los contenidos de fenoles en diferentes especies de agave presentan una gran riqueza y abundancia en compuestos fenólicos y flavonoides^{19,20}. Debido a sus beneficios antiinflamatorios, antimicrobianos y antimicóticos podría considerarse su aplicación en la industria alimentaria y farmacéutica. Sin embargo, para ello es necesario realizar investigaciones más profundas relacionadas a factores bióticos, abióticos, edad, entre otros. En este sentido, en esta investigación se encontraron altos contenidos de compuestos bioactivos estudiando factores como edad y tratamientos empleando calor seco y húmedo, lo que indica que existe una variación en cuanto a su efecto.

CONCLUSIONES

Se identificó que los tratamientos de ablandamiento de calor, seco y húmedo, aplicados a las pencas sanas y con deterioro visible (deshidratación) de maguey pulquero, no tienen un efecto significativo en la cuantificación de polifenoles totales. En la comparación de compuestos bioactivos se logró observar que el contenido de fenoles totales suele ser más estable a comparación de los flavonoides de acuerdo a las condiciones de estrés a las que se someten las plantas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores reconocen el apoyo brindado por Programa Educativo de Procesos Bioalimentarios y Energías Renovables de la Universidad Tecnológica del Valle del Mezquital, en el desarrollo de esta investigación.

REFERENCIAS

1. Sahagún-Bonilla, A. 2016. Las betalainas como componentes bioactivos de los alimentos funcionales. Tesis de licenciatura. Facultad de Química. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
2. Drago-Serrano, M.E., López-López, M., Saínz-Espuñes, T.R. 2006. Componentes bioactivos de alimentos funcionales de origen vegetal. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas* 37(4):58-68.
3. Covarrubias-Cárdenas, A.G. 2018. Evaluación de las condiciones de encapsulación de extractos de polifenoles y esteroles para su aplicación como aditivos en la industria alimentaria. Tesis de doctorado. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C, Mérida.
4. Peñarrieta J.M., Tejeda, L., Mollinedo, P., Vila, J.L., Bravo, J.A. 2014. Phenolic compounds in food. *Revista Boliviana de Química* 31(2):68-81. García-Peña, 2016

5. García-Peña, Y.G. 2016. El efecto del proceso de vinificación sobre la capacidad antioxidante, compuestos fenólicos y propiedades fisicoquímicas de vino blanco y tintos mexicanos. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
6. Flores-Monzón, C.E. 2009. Alimentos Funcionales y tradicionales de México: el xoconostle como fuente de compuestos bioactivos. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
7. Islas-Gómez, E. 2013. Determinación de compuestos bioactivos fenólicos y triterpénicos pentacíclicos en las salvas de México. (Tesis de licenciatura). Universidad Autónoma de México, México.
8. Blanco, L. (2019). *liferder*. Maguey pulquero: historia, características, hábitat, usos. Consultado abril 2020.
9. SIAP. 2020. Maguey pulquero: el estado de Hidalgo destacó en 2019 con un 69% de la producción nacional. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Secretaría de agricultura y desarrollo rural. <https://www.gob.mx/siap/Articulos/maguey-pulquero?idiom=es>
10. Santos-Zea, L., Leal-Díaz, A.M., Cortés-Ceballos, E., Gutiérrez-Urbe, J.A. 2012. Agave (*Agave* spp.) and its Traditional Products as a Source of Bioactive Compounds. *Current Bioactive Compounds* 8(3):218-231.
11. Puente-Garza, C.A., Meza-Miranda, C., Ochoa-Martínez, D., García-Lara, S. 2017. Effect of in vitro drought stress on phenolic acids, flavonols, saponins, and antioxidant activity in *Agave salmiana*. *Plant Physiology and Biochemistry* 115: 400-407.
12. Muñoz-Quñones TA, Gallegos-Infante JA, Rocha-Guzmán NE, González-Laredo RF, Medina-Torres L, Casanova-Yepez HF. 2009. Evaluation of the antioxidant capacity of gallic acid encapsulated in liposomes. *Chemical technology an Indian technology. Chemical Technology. Trade Science Inc.* 4(2):42-46.
13. Restrepo-Sánchez, D-C., Narváez-Cuenca, C-E., Restrepo-Sánchez, L-P- 2009. Extracción de compuestos con actividad antioxidante de frutos de guayaba cultivada en Vélez-Santander, Colombia. *Quím. Nova* 32(6):1517-1522.
14. Gómez-Romero, M. 2010. Desarrollo y evaluación de estrategias analíticas para la carectización de compuestos bioactivos en alimentos funcionales. Tesis Doctoral. Universidad de Granada. Facultad de Ciencias. Granada, España.
15. Rosas-Domínguez, C. 2011. Contenido de compuestos bioactivos y su contribución a la capacidad antioxidante durante la maduración de piña C.V. "Esmeralda". Tesis de Maestría. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C (CIAD). Hermosillo, Sonora, México.
16. Alcázar, V.E.M. 2016. Caracterización de saponinas de *Agave duranguensis* y *salmiana*, y su efecto en la pared y membrana celular de *Kluyveromyces marxianus* y *Saccharomyces cerevisiae*. Tesis doctoral. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ). Jalisco, México.
17. Barriada-Bernal, L.G., Almaraz-Abarca, N., Delgado-Alvarado, E.A., Gallargo-Velázquez, T., Ávila-Reyes, J.A., Torres-Morán, M.I., González-Elizondo, M.S.,

- Herrera-Arrieta, Y. 2014. Flavonoid composition and antioxidant capacity of the edible flowers of *Agave durangensis* (Agavaceae). *CyTA Journal of Food* 12(2):105-114.
18. Puente-Garza. C.A., Meza-Miranda. C., Ochoa-Martínez. D., García-Lara. S. 2017. Effect of in vitro drought stress on phenolic acids, flavonols, saponins, and antioxidant activity in *Agave salmiana*. *Plant Physiology and Biochemistry* 115: 400-407.
- 21.
19. Sánchez-Rodríguez, E., Moreno, D.A., Ferreres, F., Rubio-Wilhelmi, M.D.M., Ruiz, J.M., 2011. Differential responses of five cherry tomato varieties to water stress: changes on phenolic metabolites and related enzymes. *Phytochemistry* 72(8):723-729.
20. Almaraz-Abarca, N., Delgado-Alvarado, E.A., Ávila-Reyes, J.A., Uribe-Soto, J.N., González-Valdez, L.S. 2013. The Phenols of the Genus *Agave* (Agavaceae). *Journal of Biomaterials and Nanobiotechnology* 4: 9-16.