



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
POSGRADO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGROALIMENTARIA

FRUCTOOLIGOSACÁRIDOS Y CALIDAD NUTRACÉUTICA DE JARABE DE
***Agave salmiana* OBTENIDO A BAJAS PRESIONES**

TESIS

Que como requisito parcial
para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN
CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGROALIMENTARIA

Presenta:

MARICELA ROJO BURGOS

Bajo la supervisión de: **JOSÉ JOEL ENRIQUE CORRALES GARCÍA, DR.**



APROBADA



Chapingo, Estado de México, Diciembre de 2021

FRUCTOOLIGOSACÁRIDOS Y CALIDAD NUTRACÉUTICA DE JARABE DE
Agave salmiana OBTENIDO A BAJAS PRESIONES

Tesis realizada por Maricela Rojo Burgos bajo la supervisión del Comité Asesor
indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener
el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS

DIRECTOR:



Dr. José Joel Enrique Corrales García

ASESOR:



Dra. Ma. Carmen Ybarra Moncada

ASESOR:



Dra. Lyzbeth Hernández Ramos

CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN GENERAL	11
2	REVISIÓN DE LITERATURA	14
2.1	Importancia del <i>Agave</i> en México	14
2.1.1	Diversidad del maguey	14
2.1.2	Usos del maguey.....	14
2.1.3	Producción de <i>Agave</i> en México	16
2.1.4	Agaves pulqueros.....	18
2.1.5	Cultivares de <i>A. salmiana</i>	19
2.2	El aguamiel (AM)	21
2.2.1	Definiciones y normatividad.....	21
2.2.2	Producción y extracción de aguamiel.....	22
2.2.3	Características y beneficios del aguamiel	24
2.3	Jarabe de agave	25
2.3.1	Definiciones y normatividad.....	25
2.3.2	Producción de jarabe de <i>A. salmiana</i>	26
2.3.3	Composición del jarabe de aguamiel	27
2.4	Nutracéuticos del aguamiel y jarabe de aguamiel.....	30
2.4.1	Antioxidantes.....	30
2.4.2	Compuestos fenólicos	33
2.4.3	Saponinas	34
2.4.4	Fructanos	35
2.5	Melanoidinas.....	38
2.6	Evaporación a bajas presiones.....	39
2.7	Literatura Citada	43

3	CALIDAD NUTRACÉUTICA DE JARABE DE AGUAMIEL OBTENIDO DE CINCO CULTIVARES DE <i>Agave salmiana</i>	49
3.1	Resumen	49
3.2	Abstract.....	50
3.3	Introducción	51
3.4	Materiales y métodos.....	54
3.4.1	Obtención de aguamiel	54
3.4.2	Obtención de jarabe de aguamiel.....	54
3.4.3	Análisis físico-químicos	54
3.4.4	Análisis nutraceuticos.....	55
3.4.5	Planeación experimental	57
3.5	Resultados y discusión	58
3.5.1	Parámetros fisicoquímicos de aguamiel y jarabe	58
3.5.2	Calidad nutraceutica en aguamiel y jarabe	60
3.6	Conclusión	66
3.7	Literatura Citada	68
4	FRUCTOOLIGOSACÁRIDOS DE AGUAMIEL Y JARABE OBTENIDO DE CINCO CULTIVARES DE <i>Agave salmiana</i>	72
4.1	Resumen	72
4.2	Abstract.....	73
4.3	Introducción	74
4.4	Materiales y métodos.....	76
4.4.1	Obtención de aguamiel	76
4.4.2	Obtención de jarabe de aguamiel.....	76
4.4.3	Azúcares reductores directos (ARD)	76
4.4.4	Azúcares totales (AT).....	77

4.4.5	Azúcares solubles totales (AST)	77
4.4.6	Inulina.....	78
4.4.7	Fructooligosacáridos (FOS).....	78
4.4.8	Planeación experimental	79
4.5	Resultados y discusión	79
4.5.1	Azúcares reductores directos (ARD)	79
4.5.2	Azúcares totales (AT).....	82
4.5.3	Azúcares solubles totales (AST)	83
4.5.4	Inulina.....	84
4.5.5	Fructooligosacáridos	85
4.6	Conclusión	88
4.7	Literatura Citada	90
5	CONCLUSIONES GENRALES	93

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Superficie, producción y valor de la producción de los principales tipos de maguey sembrados en México.	16
Cuadro 2. Superficie, producción y valor de la producción de maguey en México según su uso.....	18
Cuadro 3. Características físicas y químicas de jarabe de aguamiel y jarabe de agave de alta fructosa.....	29
Cuadro 4. Diseño de tratamientos.	58
Cuadro 5. Características fisicoquímicas de aguamiel y jarabe de A. salmiana proveniente de cinco cultivares (valores reportados en peso fresco).	59
Cuadro 6. Compuestos fenólicos totales, índice de oscurecimiento y saponinas en aguamiel y jarabe de cinco cultivares de A. salmiana (valores reportados en peso fresco).	61
Cuadro 7. Actividad antioxidante en aguamiel y jarabe de cinco cultivares de A. salmiana (valores reportados en peso fresco).	64
Cuadro 8. Contenido de azúcares reductores, totales y sacarosa en aguamiel y jarabe de cinco cultivares de A. salmiana (valores en peso fresco).....	81
Cuadro 9. Contenido de inulina en aguamiel y jarabe obtenido de cinco cultivares de A. salmiana (valores en peso fresco).	84
Cuadro 10. Factores de retención de azúcares identificados en aguamiel por CCF.	86
Cuadro 11. Factores de retención de los azúcares identificados en jarabe de aguamiel por CCF.....	88

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación de los usos y beneficios del agave en México.	15
Figura 2. Superficie sembrada de agaves en México.	17
Figura 3. Maguey cv. Manso inmaduro.	20
Figura 4. Extracción de aguamiel del maguey cv. Xamini.	20
Figura 5. Maguey cv. Penca Larga inmaduro.	20
Figura 6. Maguey cv. Negro en su último mes de producción.	21
Figura 7. Maguey cv. Cimarrón inmaduro.	21
Figura 8. Clasificación de aguamiel según la NMX-V-022-1972.	22
Figura 9. Etapas del proceso de extracción de aguamiel.	23
Figura 10. Clasificación de los antioxidantes que actúan en el cuerpo humano.	31
Figura 12. Cromatografía en capa fina de fructooligosacáridos, inulina y azúcares en aguamiel y jarabes. Inu: inulina, Fru: Fructosa, Glu: glucosa, Kes: 1-kestosa, Nys: nistosa, Sac: sacarosa, AMC: AM cv Cimarrón, AMM: AM cv. Manso, AMN: AM cv Negro, AMPL: AM cv. Penca Larga, AMX: AM cv Xamini, JAC: JA cv. Cimarrón, JAM: JA cv. Manso, JAN: JA cv. Negro, JAPL: JA cv Penca Larga, JAX: JA cv. Xamini.	86

ABREVIATURAS USADAS

ABTS^{•+}: radical 2,2'-azino-bis-3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico

AM: aguamiel

ARD: azúcares reductores directos

AT: azúcares reductores totales

AST: azúcares solubles totales

°Bx: grados brix

BAL: bacterias ácido lácticas

CCF: cromatografía en capa fina

CFT: Compuestos fenólicos solubles totales

DP: grado de polimerización

DPPH: 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo

ERO: especies reactivas de oxígeno

FOS: fructooligosacáridos

FR: factor de retención

FRAP: poder antioxidante férrico reductor

HMF: 5-hidroximetilfurfural

IO: índice de oscurecimiento

JA: jarabe de aguamiel

JAF: jarabe de agave de alta fructosa

ORAC: capacidad de absorción de radicales de oxígeno

RL: radicales libres

SST: sólidos solubles totales

cv.: cultivar (es)

DEDICATORIA

Al autor de mi vida:

A Él sea la gloria y el honor por siempre,

gracias Ha-Ashem por tu eterno amor,

a ti dedico mis logros y metas cumplidas,

Eben-ezer.

A mis padres:

Por su apoyo incondicional, sus palabras de aliento y su respaldo en los momentos difíciles...

A mis hermanos y hermanas:

Por permitirme compartir las tristezas y alegrías que nos da la vida.

A Ismael Hernández:

Por la felicidad al compartir tu vida conmigo.

GRACIAS

Están en mi corazón siempre.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca para estudios de maestría otorgada (CVU 913847).

A mi *alma mater* la Universidad Autónoma Chapingo por darme acogida en su seno y permitirme crecer profesionalmente.

Al comité de asesores integrado por el Dr. J. Joel E. Corrales García, la Dra. Ma. Carmen Ybarra Moncada y la Dra. Lyzbeth Hernández Ramos por compartir su experticia para llevar a cabo este proyecto, por guiarme en la ejecución de este y por sus valiosas aportaciones en la edición del documento final.

A la Dra. María del Rosario García Mateos por todo su valioso apoyo en la planeación y puesta en marcha de este proyecto y permitirme trabajar en el laboratorio de Fitoquímica a su digno cargo.

Al I.B.Q Félix Esparza Torres, al Q.F.B Adalberto Gómez Cruz y a la laboratorista Martha Doris Pérez Ayala, por su apoyo invaluable al permitirme hacer análisis en los laboratorios a su cargo y sus conocimientos compartidos.

Al Sr. Indalecio presidente de la S.P.R de R.I Xamini, de Durango Daboxtha, Cardonal, Hidalgo por su aportación a esta investigación al proveer la materia prima y la Sra. Zenaida por su apoyo para la obtención de materia prima en Belem, Otumba, Estado de México.

DATOS BIOGRÁFICOS

Datos personales

Nombre: Maricela Rojo Burgos

Fecha de nacimiento: 13 de febrero de 1989

Lugar de nacimiento: Tejupilco, Estado de México

Profesión: Ingeniera Agroindustrial

Cédula profesional: 8074401



Desarrollo académico

Licenciatura

2006-2011 Ingeniero Agroindustrial

Universidad Autónoma Chapingo. Km. 38.5. Carretera México-Texcoco.
Chapingo, México. C.P. 56230.

Titulado por unanimidad (Examen profesional: 8 de diciembre de 2011).

Título de tesis: Mapas de preferencia en tamales elaborados con maíz
(*Zea mays*) de alto contenido de β -caroteno.

Título.

Experiencia laboral

2012-2013 Prestador de Servicios Profesionales. Asesor Técnico en Desarrollo
Empresarial. SEDAGRO Tejupilco.

Calle Insurgentes #12, Col. Independencia, Tejupilco, México. Tels. (724)
26 7 39 75 y 26 7 09 46

Carta de acreditación

2013-2019 Profesor de Asignatura en la Universidad Tecnológica del Sur del
Estado de México

Carretera Tejupilco-Amatepec, Km.12.5. Ex Hacienda San Miguel Ixtapan,
Tejupilco, Estado de México. Tels: 724 26 9 40 16. Ext. 228

Del 01-06-2013 al 15-08-2019

RESUMEN GENERAL

FRUCTOOLIGOSACÁRIDOS Y CALIDAD NUTRACÉUTICA DE JARABE DE *Agave salmiana* OBTENIDO A BAJAS PRESIONES

El método de obtención del jarabe de aguamiel (JA) y la especie de la que se obtiene el aguamiel (AM) influyen principalmente en el perfil de carbohidratos y en compuestos con propiedades nutraceuticas. La evaporación al vacío puede tener menor efecto sobre el deterioro de los compuestos bioactivos del AM. Por otro lado, no se ha dilucidado si hay influencia de los cultivares de una misma especie en la calidad nutraceutica del AM y el JA. El objetivo de la presente investigación fue determinar la calidad nutraceutica y presencia de fructooligosacáridos (FOS) del JA obtenido por evaporación a baja presión del AM de cinco cultivares de *A. salmiana*. Se aplicó un análisis de covarianza bajo un diseño en bloques completos al azar con cinco repeticiones, el factor de bloqueo fue los días de recolección del AM, los tratamientos fueron los cultivares Cimarrón, Penca Larga, Xamini, Manso y Negro de *A. salmiana*. Las covariables evaluadas fueron el pH y los sólidos solubles totales (SST) y la unidad experimental: 400 mL de AM de cada cultivar para análisis y 400 mL para obtener los JA. El índice de oscurecimiento (IO), compuestos fenólicos solubles totales (CFT), actividad antioxidante (ABTS y FRAP), saponinas, azúcares reductores directos (ARD), azúcares totales (AT), azúcares solubles totales (AST) y contenido de inulina se midieron en AM y JA y, se identificaron FOS por cromatografía en capa fina en ambos. Los JA presentaron en promedio 3730 μM ET 100g⁻¹ de actividad antioxidante (ABTS), 144.5 mg EAG 100g⁻¹ de CFT, 15.5 % de ARD, 26 % de inulina y se observó la presencia de 1-kestosa. Los jarabes de los cv. Manso y Penca Larga tuvieron mayor contenido de saponinas y pH. Los JA de los cultivares de *A. salmiana* obtenidos tienen alta calidad nutraceutica.

Palabras clave: cromatografía, cultivares, inulina, sabia, saponinas.

Tesis de Maestría en Ciencias en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria, Posgrado en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria, Universidad Autónoma Chapingo

Autor: Maricela Rojo Burgos

Director de Tesis: José Joel Enrique Corrales García

GENERAL ABSTRACT

FRUCTOOLIGOSACCHARIDES AND NUTRACEUTICAL QUALITY OF *Agave Salmiana* SYRUP OBTAINED AT LOW PRESSURE

The method of obtaining aguamiel syrup (JA) and the species from which the aguamiel (AM) is obtained have a mainly influence on the carbohydrate profile and on compounds with nutraceutic properties. Vacuum evaporation may have less effect on of deterioration of the bioactive compounds in the AM. On other hand, it has not been elucidated whether there is an influence of cultivars of the same species on the nutraceutical quality of AM and JA. The objective of the present investigation was to determinate the nutraceutical quality and fructooligosaccharides (FOS) presence of JA obtained by evaporation at low pressure from the AM of five cultivars of *A. salmiana*. Analysis of covariance was applied under a randomized complete block design with five replications, the blocking factor was the days of AM collection, the treatments were Cimarron, Penca Larga, Xamini, Manso and Negro cultivars of *A. salmiana*. The covariates were pH and total soluble solids (TSS) and the experimental unit was 400 mL of AM of each cultivar for analysis and 400 mL to obtain the JA. The browning index (BI), total soluble phenolic compounds (TPC), antioxidant activity (ABTS and FRAP), saponins, direct reducing sugars (DRS), total sugars (TS), total soluble sugars (TSA) and inulin content were evaluated in AM and JA, and FOS were identified by thin layer chromatography. The content of JA had an average of 3730 $\mu\text{M TE } 100\text{g}^{-1}$ of antioxidant activity (ABTS), 144.5 mg EAG 100g^{-1} of TPC, 15.5% of DRS, 26% of inulin and 1-kestose was identified. The syrup of cv. Manso and Penca Larga had higher saponin content and pH. The JA of *A. salmiana* cultivars obtained have high nutraceutical quality.

Key words: Chromatography, cultivars, inulin, sap, saponins.

Master of Science Thesis in Agroalimentary Science and Technology, Graduate Program in Agroalimentary Science and Technology, Universidad Autonoma Chapingo
Author: Maricela Rojo Burgos
Advisor: José Joel Enrique Corrales García

1 INTRODUCCIÓN GENERAL

Los múltiples usos y producción en gran parte del territorio mexicano de las especies endémicas de *Agave* muestran su indiscutible importancia desde épocas prehispánicas hasta la actualidad. Al menos el 75 % de las especies que componen el género *Agave* se encuentran en México por lo que es considerado el centro de origen del maguey. Este género pertenece a la subfamilia *Agavoideae*, familia *Asparagaceae* (Vázquez-Elorza et al., 2017).

El agave para bebidas destiladas predomina en el territorio mexicano con casi 130 mil hectáreas cultivadas mientras que el maguey pulquero y para otros usos tiene una superficie sembrada de poco menos de 12 mil hectáreas según el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2020). Se denominan magueyes pulqueros principalmente a *A. americana*, *A. atrovirens*, *A. ferox*, *A. mapisaga*, y *A. salmiana* (Ortiz-Basurto et al., 2008).

La especie pulquera más importante en México es *A. salmiana*, la cual es endémica y presenta gran variabilidad morfológica según el ambiente en que se desarrolla (Figueredo-Urbina, Álvarez-Ríos, García-Montes. & Octavio-Aguilar, 2021). Los estados de Hidalgo, Tlaxcala, Puebla y el Estado de México son los principales productores de maguey pulquero (SIAP, 2020). Algunos de los cultivares de *A. salmiana* más usados en Hidalgo para la obtención de aguamiel (AM) son Chalqueño, Cimarrón, Penca Larga, Penca Ancha, Manso y Xamini, mientras que en el Estado de México se usa el Manso, Ayoteco, Negro y Verde (Álvarez-Ríos, Figueredo-Urbina & Casas, 2020).

El AM es el principal producto que se obtiene del maguey pulquero, ha sido descrito como un líquido de color ámbar traslúcido, con olor sutilmente herbal y pH neutro cuando está recién cosechado (Guzmán-Pedraza & Contreras-Esquivel, 2018).

Se compone principalmente de azúcares y se considera una bebida con propiedades probióticas por su contenido de microorganismos autóctonos. Investigaciones recientes señalan a este producto como fuente de nutraceuticos o compuestos bioactivos al contener compuestos fenólicos, saponinas, fructooligosacáridos y fructanos que han mostrado efectos benéficos en la salud (Santos-Zea, Leal Díaz, Cortes-Ceballos & Gutiérrez-Urbe, 2012; Villarreal-Morales et al., 2019).

Derivado del AM se obtiene la “miel agave”, también llamada néctar de maguey, concentrado de aguamiel o jarabe de aguamiel (JA) que se obtiene al evaporarlo casi al 90 %, por métodos convencionales, es decir, a presión atmosférica en una olla abierta o cazo a temperaturas de ebullición. La concentración del AM hasta el 10 % del volumen inicial supone una concentración proporcional de todos los nutrientes que se encuentran en este, sin embargo, no se ha corroborado dicha proporción (Santos-Zea et al., 2012).

Los diferentes cultivares de *A. salmiana* hasta ahora se han usado indistintamente en la obtención de jarabe de aguamiel por evaporación convencional, sin embargo, no se ha determinado si estos influyen en la composición del producto final.

Por otro lado, el jarabe de *A. tequilana* Weber se elabora hidrolizando los fructanos de las piñas de agave, ya sea por hidrólisis enzimática o hidrólisis ácido-térmica (González-Montemayor et al., 2020). Este producto se exporta a otros países y se conoce también como jarabe de agave de alta fructosa (JAF). El jarabe de *A. salmiana* o *A. tequilana* Weber contiene componentes antioxidantes, fructanos y saponinas que muestran beneficios como bajo índice glucémico, prebiótico, antioxidante y anticancerígeno (Michel-Cuello, Gallegos-Fonseca, Maldonado-Cervantes & Aguilar-Rivera, 2015; Santos-Zea et al., 2015).

Mantener o realzar estas propiedades nutraceuticas en el JA debe ser una prioridad en las agroindustrias proveedoras de este producto. La evaporación al vacío o a bajas presiones se ha propuesto como una alternativa al método

convencional de evaporación que ayuda a preservar propiedades físicas, químicas y nutraceuticas en alimentos concentrados como los jarabes (Asghar et al., 2020; Yunos, Sulaiman, Yusuf & Ghazali 2017). Por lo tanto, obtener JA por evaporación a bajas presiones supone mayor conservación de los compuestos considerados nutraceuticos del AM.

Las investigaciones revelan que las diferencias en el método de obtención y en la especie de agave utilizada pueden influir en las propiedades del producto final (Asghar et al., 2020; Hernández-Ramos, García-Mateos, Ybarra-Moncada & Colinas-León, 2020). Sin embargo, cuando se modifican los procedimientos tradicionales de obtención del jarabe es necesario conocer las características y propiedades del producto final.

El objetivo general de la presente investigación fue evaluar la calidad nutraceutica y el contenido de fructooligosacáridos en el jarabe obtenido por evaporación a baja presión del aguamiel de cinco cultivares de *A. salmiana*.

Como hipótesis de investigación se planteó que la evaporación en las condiciones de presión y temperatura usadas mantiene las propiedades nutraceuticas del AM en el JA y que estas propiedades dependen del cultivar de *A. salmiana* que se utilice.

Este documento se divide en cuatro capítulos, el primero corresponde a la introducción general. En el segundo capítulo se presenta una revisión bibliográfica sobre el AM y JA para contextualizar la investigación. El Capítulo 3 y Capítulo 4 corresponden a los resultados de la investigación, presentados en forma de artículos científicos. El Capítulo 3 presenta los resultados del efecto de la evaporación a baja presión en los compuestos nutraceuticos del AM y del JA y la influencia de los cultivares de *A. salmiana* en el producto final. El Capítulo 4 presenta el efecto de la baja presión en el contenido de fructooligosacáridos, inulina, azúcares reductores y azúcares totales, así como el efecto de los cultivares de *A. salmiana* en el JA.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Importancia del Agave en México

2.1.1 Diversidad del maguey

El género *Agave* es el más grande y diverso de los 43 géneros que componen a la familia *Asparagaceae*, a esta familia pertenecen 497 especies, de acuerdo con lo reportado por CONABIO (2021), que se distribuyen desde el sur de Estados Unidos hasta Colombia, Venezuela y Las Islas del Caribe. En México se encuentra la mayor riqueza y diversidad de estas especies ya que aquí se encuentran 163 especies endémicas de agave, por ello se considera el centro de origen del maguey (Figueredo-Urbina et al., 2021).

2.1.2 Usos del maguey

Los usos y productos tan variados que se derivan del agave indican la gran importancia que ha tenido esta planta desde la antigüedad. Los españoles llamaron al agave “árbol de las maravillas” por los diversos usos que tenía en la vida y cultura de los mesoamericanos, de lo cual hay vestigios, incluso se especula que el uso del maguey fue antes que del maíz (García-Castro, 2014; Vázquez-Elorza et al., 2017).

Muchos de los usos antiguos del agave prevalecen hasta la actualidad como su uso comestible (botones florales), la extracción de fibras para la elaboración de utensilios y textiles, su uso como forraje y combustible, así como la extracción de aguamiel (AM) y la elaboración de miel y bebidas, ya sea destiladas o fermentadas, las cuales constituyen una rama muy importante de la economía en México por las agroindustrias que generan (García-Mendoza et al., 2017).

Otros usos de carácter ambiental, ecológico y agronómico también demuestran su multifuncionalidad y valor cultural actual como su uso para la retención, protección y regeneración del suelo, cerco vivo y material de construcción (Figueredo-Urbina et al., 2021). García-Castro (2014) presenta los beneficios del maguey en el México antiguo, clasificándolos en ocho categorías, además de los beneficios coloniales y modernos, como se resume en la Figura 1.

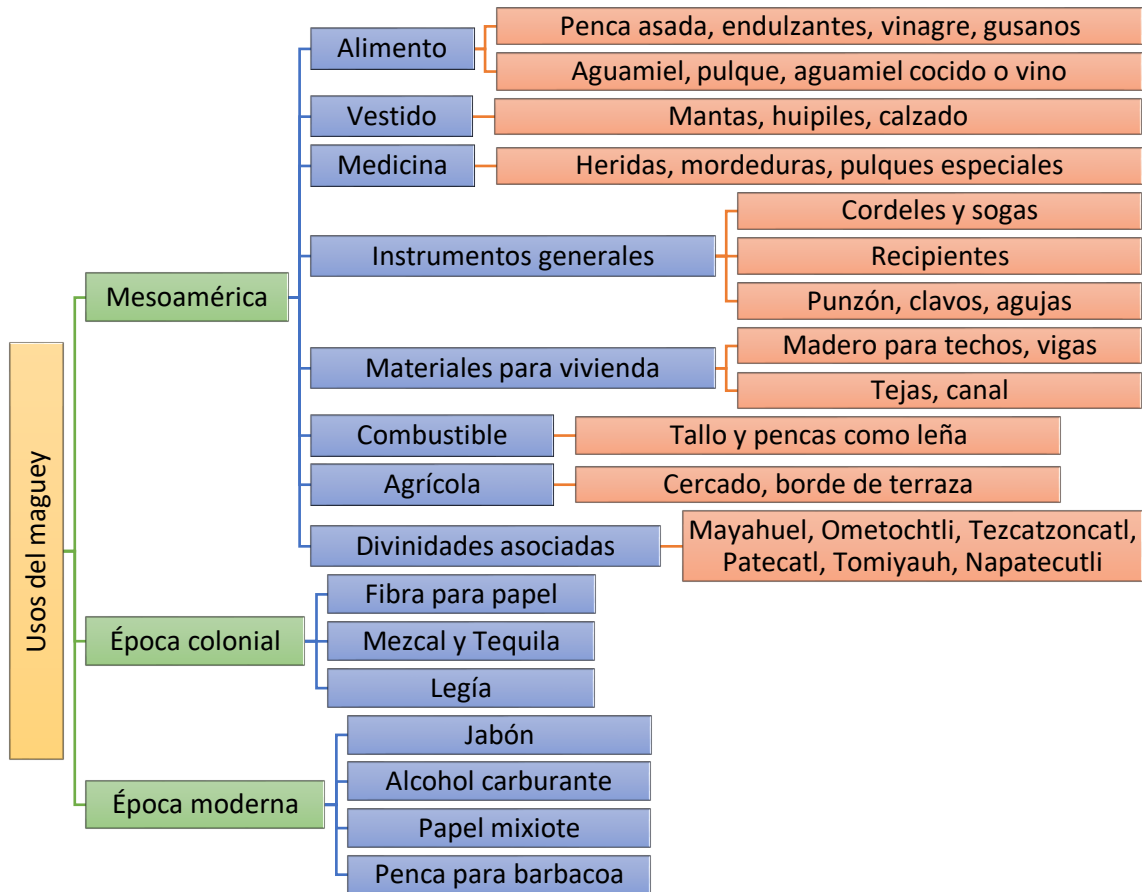


Figura 1. Clasificación de los usos y beneficios del agave en México.

Fuente: García-Castro, 2014.

Debido a la importancia actual de los agaves, se han generado nuevas investigaciones de los usos de esta planta, así como de los desechos que se generan en las agroindustrias procesadoras de bebidas alcohólicas, por ejemplo, la obtención de polisacáridos como los fructanos o inulina, la obtención de biocombustibles, biogás y bioplásticos (Vázquez-Elorza et al., 2017).

Por otra parte, el maguey sigue siendo muy importante para la salud humana ya que con el avance de la ciencia y la tecnología se han descubierto fitoquímicos de importancia nutricional en sus hojas, flores o piñas. Su actividad antioxidante, sus propiedades antiparasitarias, antibacterianas, antidiabéticas, antiinflamatorias e incluso su actividad anticancerígena derivadas de los compuestos fenólicos, saponinas, fructanos, inulina, entre otros compuestos, indican que es una buena fuente de compuestos bioactivos o nutraceuticos (Santos-Zea et al., 2012).

2.1.3 Producción de *Agave* en México

La producción de maguey en México también refleja la importancia de esta planta como cultivo pues en 19 de los 32 estados de nuestro país se cultiva ya sea agave tequilero, mezcalero, pulquero o maguey para usos más específicos. El agave para bebidas destiladas es el principal cultivo con más de 129 mil ha sembradas a nivel nacional y un valor de la producción de más de 33 mil millones de pesos según la base de datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2020). Del maguey para otros usos el SIAP (2020) reporta una superficie sembrada de 11,462 ha con un valor de la producción de más de 900 millones de pesos (Cuadro 1).

Cuadro 1. Superficie, producción y valor de la producción de los principales tipos de maguey sembrados en México.

Tipo de maguey	Superficie (ha)		Producción (udm)	Valor Producción (miles de pesos)
	Sembrada	Cosechada		
Maguey penca (t)	1,117	1,117	13,444	68,268
Maguey pulquero (miles de L)	7,421	2,658	167,223	820,400
Maguey forrajero (t)	2,901	2,670	31,404	12,459
Maguey mixiotero (t)	23	0	0	0
Total	11,462	6,445	212,071	901,127

udm: unidad de medida, indicados en el tipo de maguey. Fuente: SIAP, 2020.

Respecto a los estados productores de agave, Jalisco es predominante en la producción con una superficie sembrada de 73 mil ha de agave tequilero y aproximadamente 900 ha de agave mezcalero, seguido de Guanajuato, Nayarit y Oaxaca, como se observa en Figura 2, mientras que el principal estado productor del maguey pulquero es Hidalgo (SIAP, 2020).

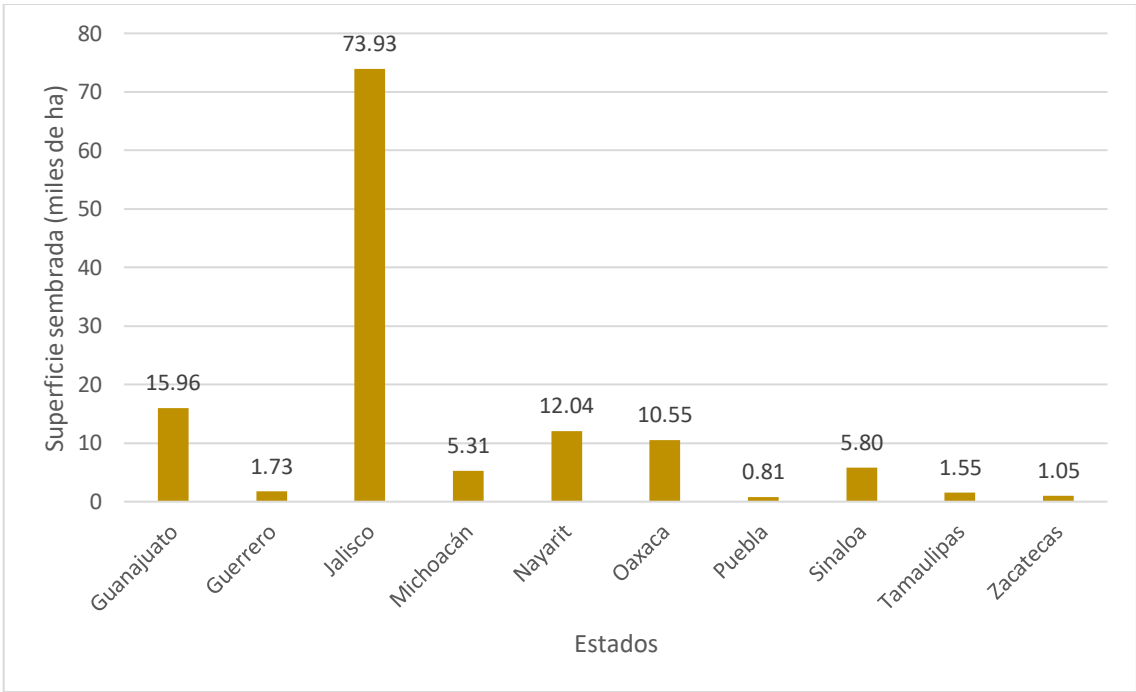


Figura 2. Superficie sembrada de agaves en México.

Fuente: SIAP, 2020.

Las especies de agaves pulqueros se pueden encontrar en ambientes adversos de zonas áridas o semiáridas en estados como Coahuila, Durango y San Luis Potosí, pero principalmente se encuentra en el Estado de México, Hidalgo, Puebla y Tlaxcala (Cuadro 2 y Figura 2).

El maguey pulquero también es importante en México, aunque la superficie sembrada es menor comparada con la de agave tequilero. De este maguey se puede obtener diversos productos como forraje, pencas para la barbacoa y biopelículas para mixiotes. De la producción de agave para otros usos, según los datos del SIAP (2020) el maguey pulquero es el más representativo, con 65 % de la superficie sembrada con maguey (Cuadro 2).

Cuadro 2. Superficie, producción y valor de la producción de maguey en México según su uso.

Tipo de maguey/Entidad	Superficie (ha)		Producción (udm)	Valor Producción (miles de pesos)
	Sembrada	Cosechada		
Maguey penca (t)	1,117	1,117	13,444	68,268
Hidalgo	1,117	1,117	13,444	68,268
Maguey pulquero (miles de L)	7,421	2,658	167,223	820,400
Guanajuato	7	5	122	533
Guerrero	1	1	6	22
Hidalgo	4,858	1,374	111,683	637,663
México	504	260	4,596	17,371
Michoacán	3	0	0	0
Puebla	984	340	11,103	50,642
Querétaro	259	0	0	0
San Luis Potosí	42	42	893	1,172
Tlaxcala	648	524	37,397	105,437
Veracruz	115	112	1,422	7,562
Maguey forrajero (t)	2,901	2,670	31,404	12,459
Coahuila	2,046	2,046	11,869	6,677
Querétaro	231	0	0	0
San Luis Potosí	624	624	19,535	5,782
Maguey mixiotero (t)	23	0	0	0
Hidalgo	23	0	0	0
Total	11,462	6,445	212,071	901,127

udm: unidades de medida, indicados en el tipo de maguey. Fuente: SIAP, 2020.

2.1.4 Agaves pulqueros

Las especies de agave que se distinguen por su producción y extracción de AM y que se conocen como magueyes pulqueros son el *A. americana*, *A. atrovirens*, *A. ferox*, *A. mapisaga* y *A. salmiana*, se denominan así porque el principal uso del AM es la elaboración de pulque (Ortiz-Basurto et al., 2008).

Vázquez-García et al. (2016) señalan que los agaves pulqueros además de multifuncionales son polifacéticos, es decir, sus diversos usos son determinados

por la inventiva de los pobladores para cubrir sus necesidades y por la etapa de vida en que se encuentre la planta. Definen siete categorías en las que clasifican más de 20 usos que los habitantes de las comunidades de Nanacamilpa, Tlaxcala y Cardonal, Hidalgo le dan a este cultivo. Las siete categorías se enlistan a continuación.

1. Alimento: incluye bebidas, comidas, condimento o ingrediente, miel, medio de cocción e insumo gastronómico.
2. Doméstico: incluye utensilios, enseres, combustible, fertilizantes ornamentales, limpieza y abrasivos.
3. Tejido y vestuario: insumos para artesanías a partir de hilos o ixtle.
4. Salud y belleza: según sus beneficios medicinales y cosméticos.
5. Construcción: material para pequeñas edificaciones o cercos.
6. Agrícolas: para regeneración y protección del suelo.
7. Forraje y suplemento: para aves de corral.

En el estado de Hidalgo hay cultivares tradicionales de magueyes pulqueros que los productores mantienen y cultivan con el fin de salvaguardar su patrimonio cultural. Las especies de *A. mapisaga* y *A. salmiana* son las más usadas para la extracción de AM, tanto en cultivos extensivos como en las parcelas de pequeños productores (Figueredo-Urbina et al., 2021).

2.1.5 Cultivares de *A. salmiana*

El *A. salmiana* es la especie pulquera por excelencia con mayor variación morfológica debido a los diversos ambientes en los que crece, así como de las prácticas de manejo y motivos culturales de los productores para mantener la diversidad de su cultivo, por lo que tiene menor grado de domesticación que el *A. mapisaga* (Figueredo-Urbina et al., 2021).

Figueredo-Urbina et al. (2021) han definido características morfológicas y analizado la diversidad genética de doce cultivares de agave pulquero en el estado de Hidalgo. Dichos autores indican que *A. salmiana* var. *salmiana*, es una de las preferidas para la producción de AM.

A continuación, se da una breve descripción de los cultivares de interés para el presente estudio retomando las características dadas por este autor y complementando con lo reportado por Álvarez-Ríos et al. (2020).

Manso: uno de los cultivares más valorados por su alta producción de AM, también se conoce como maguey ‘manso de zoqui’ o ‘maguey fino’, produce más de 4 L diarios durante más de 5 meses. La planta tiene una altura de 2 a 2.5 m, la calidad de la savia es considerada como muy buena por los productores (Figura 3).



Figura 3. Maguey cv. Manso inmaduro.

Xamini: taxonómicamente se ha identificado como *A. salmiana* ssp. *crassispina* es nativa de Valle del Mezquital y el cultivar más común en el estado de Hidalgo para la obtención de AM. Es de tamaño medio, se caracteriza por sus dientes o espinas laterales en forma de gancho, se cosecha en menor tiempo (de 6 a 8 años) y produce AM más dulce y menos viscosa que otros cultivares (Figura 4).



Figura 4. Extracción de aguamiel del maguey cv. Xamini.

Penca Larga: conocido así por la forma de sus hojas largas, delgadas y de color grisáceo, produce AM más dulce que el maguey ‘Corriente’ y aunque no se cultiva se tolera o se trasplanta en los cultivos de los productores. Su altura



Figura 5. Maguey cv. Penca Larga inmaduro.



Figura 6. Maguey cv. Negro en su último mes de producción.

alcanza los 2.5 m, en promedio se obtienen 3 L de AM por día, la cual es considerada de buena calidad por los productores (Figura 5).

Negro: se caracteriza por su tamaño grande (2-2.5 m) y producción de AM calificada de muy buena calidad según los productores. Este maguey se usa como lindero de parcelas y produce hasta 3 L de AM por día (Figura 6).



Figura 7. Maguey cv. Cimarrón inmaduro.

Cimarrón: también llamado 'Corriente', es fácil de trasplantar y produce muchos hijuelos, se suele usar como valla, por sus raíces fuertes que retiene el suelo, produce poco AM (2 L por día) la cual se percibe como de menor calidad por su menor dulzor. Tiene una altura de 1.5 a 2.5 m (Figura 7).

Es importante señalar que cada cultivar tiene un nombre y morfología diferente en cada región en que se desarrolla, debido a la combinación de condiciones ambientales y el proceso selectivo que hacen los propios productores para propagarlas (Álvarez-Ríos et al., 2020).

2.2 El aguamiel (AM)

2.2.1 Definiciones y normatividad

El AM es la savia o reservorio de azúcares que el maguey necesita para efectuar su etapa de reproducción de manera natural, para hacer uso de esta savia dulce es necesario esperar alrededor de 10 años a que el maguey madure y evitar que aparezca el vástago floral. El AM puede ser consumida en fresco, usarse en la

elaboración del pulque, pan de pulque o para la obtención de néctar, miel o jarabe de maguey (Leal-Díaz et al., 2015).

Guzmán-Pedraza and Contreras-Esquivel (2018) reportan que el AM es un líquido traslúcido que puede llegar a tener coloración ámbar y tiene un ligero olor herbal cuando es recién cosechado.

De acuerdo con la Norma Mexicana NMX-V-022-1972 el AM es un líquido traslúcido, color ámbar, de olor y sabor característico que se aprecian mediante catado y se usa principalmente como sustrato fermentable para elaborar pulque. El AM se clasifica en dos tipos, en la Figura 8 se muestran las especificaciones.

Aguamiel Tipo I	Aguamiel Tipo II
pH: 6.6-7.5	pH: ≥ 4.5
Densidad ($^{\circ}\text{Bé}$): 5-7	Densidad ($^{\circ}\text{Bé}$): ≥ 4.5
Índice de refracción a 20 $^{\circ}\text{C}$: 59-100	Índice de refracción a 20 $^{\circ}\text{C}$: ≥ 27
Sólidos totales (g 100 mL^{-1}): 13-17	Sólidos totales (g 100 mL^{-1}): ≥ 7
Azúcares reductores totales (glucosa en g 100 mL^{-1}): 8-12	Azúcares reductores totales (glucosa en g 100 mL^{-1}): ≥ 6
Azúcares reductores directos (glucosa en g 100 mL^{-1}): 2-3	Azúcares reductores directos (glucosa en g 100 mL^{-1}): < 3
Gomas (glucosa en g 100 mL^{-1}): 2-6	Gomas (glucosa en g 100 mL^{-1}): ≥ 0.2
Proteínas (mg 100 mL^{-1}): 300-600	Proteínas (mg 100 mL^{-1}): ≥ 100
Cenizas (mg 100 mL^{-1}): 300-430	Cenizas (mg 100 mL^{-1}): ≥ 180
Acidez (como ácido láctico en mg 100 mL^{-1}): 0.9-1.03	Acidez (como ácido láctico en mg 100 mL^{-1}): ≤ 4.0

Figura 8. Clasificación de aguamiel según la NMX-V-022-1972.

2.2.2 Producción y extracción de aguamiel

El AM es el producto más representativo del maguey para otros usos. En 2020 se reportaron más de 167 millones de litros de AM (SIAP, 2020) obtenido de los estados de Hidalgo, Tlaxcala, Puebla y el Estado de México principalmente

(Cuadro 2). Del estado de Hidalgo, los municipios de Zempoala, Cardonal y San Agustín de Tlaxcala son los principales productores de AM. El proceso general de extracción de AM que siguen los productores de estos municipios se presenta en la Figura 9.

Una vez que el maguey ha llegado a su madurez, el proceso de obtención de AM consiste en la extracción de la yema apical floral, comúnmente llamado capado del maguey, posteriormente se deja un tiempo de cicatrización o añejado del maguey y después se pica el centro del maguey para formar una cavidad donde se almacenará el AM que se extraerá y finalmente se estimulará la producción de AM mediante el raspado de la cavidad (NMX-V-022-1972).



Figura 9. Etapas del proceso de extracción de aguamiel.
Fuente: Reyes-Agüero et al. (2020) y NMX-V-022-1972.

La extracción del AM comúnmente se realiza dos veces al día y por cada maguey se pueden extraer hasta 1000 L durante un periodo de 4 a 6 meses (Santos-Zea et al., 2012). Al inicio se obtiene menos de medio litro de AM por día y poco a poco aumenta la producción de 4 a 6 L por día en los primeros 2 meses y posteriormente vuelve a disminuir la producción a menos de medio litro por día hasta la muerte del maguey (Ortiz-Basurto et al., 2008).

2.2.3 Características y beneficios del aguamiel

El pH del AM recién cosechado es neutro, pero conforme pasan los días su pH descende, debido a la fermentación causada por los microorganismos que contiene (Guzmán-Pedraza & Contreras-Esquivel, 2018). Los sólidos solubles totales (SST) comúnmente se usan como un parámetro de calidad. Esta propiedad oscila de 9 a 14 °Bx según la edad del maguey y la época del año en que se recolecte, siendo mayor en tiempo de sequía (Ortiz-Basurto et al., 2008).

Principalmente contiene azúcares: fructosa, glucosa y sacarosa, además de proteínas, aminoácidos libres, vitaminas y minerales. Destaca su contenido de fructooligosacáridos (FOS) y su contenido mineral donde sobresale el calcio, hierro y zinc (Ortiz-Basurto et al., 2008; Santos-Zea et al., 2012; Tovar-Robles et al., 2011).

El AM es reconocido también por sus propiedades probióticas debido a las bacterias ácido lácticas (BAL) y levaduras que contiene. Además, posee bacterias productoras de etanol, productoras de polisacáridos y levaduras del género *Clavispora*, que son las principales responsables del proceso de fermentación (Enríquez-Salazar et al., 2017). Es importante resaltar que en la elaboración de pulque se desea el proceso de fermentación, mientras que en el JA se debe evitar ya que puede afectar las características de calidad del producto final.

El AM se ha distinguido como fuente de compuestos bioactivos y nutraceuticos, destacando sus propiedades como prebiótico y probiótico, además de que podría

tener beneficios anticancerígenos, antiinflamatorios, antihipocolesterolémicos y contra la obesidad (Tovar-Robles et al., 2011; Villarreal-Morales et al., 2019).

2.3 Jarabe de agave

Uno de los subproductos del AM es el jarabe de aguamiel (JA) obtenido al evaporar aproximadamente el 90 % del agua que contiene el AM (Santos-Zea et al., 2012). Actualmente este producto se elabora y comercializa a nivel local y regional.

Por otro lado, el jarabe de agave de alta fructosa (JAF) es un producto que se ha industrializado y es comercializado a nivel internacional por lo que se ha puesto atención en su regularización a través de normas mexicanas (ahora Estándares), aunque solo se destina el 10 % de la cosecha de agave a la producción de JAF y el resto es para la producción de bebidas como el tequila y el mezcal (Willems & Low, 2012).

2.3.1 Definiciones y normatividad

La Norma Oficial Mexicana NOM-003-SAGARPA-2016, relativa a las características de sanidad, calidad agroalimentaria, autenticidad, etiquetado y evaluación de la conformidad del jarabe de agave, lo define como una solución acuosa de consistencia viscosa, purificada, con alta concentración de carbohidratos, que se caracteriza por tener sabor dulce.

La Norma Mexicana NMX-FF-110-SCFI-2008 Productos alimenticios- Jarabe de Agave- Especificaciones y Métodos de Prueba, de forma similar, define al JAF como la sustancia dulce natural producida por hidrólisis a partir de los oligosacáridos del agave. También en esta Norma se define al JAF parcialmente hidrolizado como un producto diferente al jarabe 100 % de agave en el que el contenido de fructosa es menor a 80 % como resultado de la hidrólisis parcial, el contenido de inulina (oligofructosa) de agave debe ser proporcional a la fructosa existente y ausente de maltosa, rafinosa y todos aquellos azúcares que no se

encuentran en la especie de agave utilizada. El pH de estos productos debe ser de 4 a 6.

Los fructanos se definen en la NOM-002-SAGARPA-2016 como los polisacáridos constituidos de unidades de fructosa con o sin una unidad de glucosa terminal o interna unidas por enlaces glucosídicos tipo β -2,1 y β -2,6. Específicamente los fructanos de agave son de estructura ramificada con o sin glucosa terminal o interna con enlaces glucosídicos tipo β -2,1 y β -2,6, provenientes de las plantas de la familia de las agaváceas.

En las normas citadas no se especifica una especie de agave para obtener el jarabe, sin embargo, en la práctica se utilizan piñas de *A. tequilana* Weber principalmente para obtenerlo, a diferencia del JA que es el producto obtenido del proceso de evaporación de AM de especies de maguey pulquero como *A. salmiana*, hasta obtener el 10 % del volumen inicial. Investigadores sugieren un etiquetado y normas específicas para este producto debido a las grandes diferencias que presenta tanto físicas, químicas y nutricionales como en el método de elaboración respecto del JAF proveniente del agave azul (Santos-Zea et al., 2012; Santos-Zea, Rosas-Pérez, Leal-Díaz, & Gutiérrez-Urbe, 2016).

2.3.2 Producción de jarabe de *A. salmiana*

Willems and Low (2012) describen el proceso de obtención de jarabe de agave a partir de *A. salmiana* indicando que se lleva a cabo un proceso de hidrólisis natural por el incremento de la temperatura a aproximadamente 80 °C. Durante la hidrólisis las enzimas glucosídicas en el jugo (inulinasa y β -fructosidasa) convierten la inulina y los fructanos en monosacáridos libres, principalmente fructosa. Después de la hidrólisis el jugo se filtra y se somete a la evaporación al vacío a aproximadamente 90 °C para eliminar el agua y desnaturalizar enzimas con actividades glucosídicas, obteniendo así el jarabe.

Santos-Zea et al. (2012, 2015, 2016), así como Leal-Díaz et al. (2016) han usado el término de “concentrado de aguamiel” para referirse al jarabe de *A. salmiana* y diferenciarlo del jarabe de *A. tequilana*. En el proceso tradicional de obtención

del concentrado de aguamiel o JA no se usa la hidrólisis química ni enzimática y el proceso semiindustrializado se enfoca en la reducción de tiempos y temperaturas con evaporadores al vacío de efecto simple (González-Montemayor et al., 2020; Hernández-Ramos et al., 2020).

2.3.3 Composición del jarabe de aguamiel

En las últimas décadas el JA ha tenido un gran impulso por sus beneficios para la salud debido a su acción prebiótica, a su vez derivada de los FOS que contiene. Puede ser un sustituto del azúcar para la población diabética, ya que contiene un bajo índice glucémico (López et al., 2017; Willems & Low, 2012).

Características físicas y químicas del jarabe de agave

Conocer las características físicas y químicas de un jarabe de agave permiten validar su calidad, detectar prácticas fraudulentas e inferir su impacto a la salud. Se han encontrado perfiles diferenciados entre el jarabe elaborado con agave azul y con maguey pulquero, así como de otros tipos de jarabes y miel (Mellado-Mojica & López, 2013; Willems & Low, 2012).

En un estudio realizado por Mellado-Mojica and López (2013), el contenido de glucosa, fructosa, sacarosa y de FOS, el contenido de SST y el pH permitieron la caracterización de 29 muestras de jarabe de agave, jarabe de maíz, jarabe de caña y miel de abeja. Las muestras de jarabe de *A. tequilana* se diferenciaron por su abundancia de fructosa, escasas de glucosa y presencia de FOS y otros oligosacáridos encontrados; presentaron menor contenido de SST (76.4 °Bx) y pH promedio de 4. La relación fructosa/glucosa usada para determinar el dulzor en edulcorantes fue mayor a 5, mientras que en los otros edulcorantes fue ≤ 1 . La miel de abeja presentó el mayor contenido de SST (82 °Bx) y el menor pH (3.72).

Willems and Low (2012), al evaluar la composición química de 19 jarabes de *A. salmiana* y *A. tequilana*, determinaron el rango de SST de las muestras de 74.6 a 77.4 °Bx, encontraron valores de pH en un rango de 4.18 a 5.5, valores

permitidos en las normas mexicanas. Observaron aumento de pH al eliminar el agua del AM, atribuyéndolo a la conversión de los ácidos orgánicos en compuestos del sabor y a la contaminación microbiana.

La acidez total se encontró en un rango de 3.82 a 10.82 meq kg⁻¹, esta variación se atribuyó a la fuente del néctar y su origen geográfico. Por último, emplearon el método de HPAE-PAE (High performance anion Exchange liquid chromatography with pulsed amperometric detection) y la CGC-FID (Capillary gas chromatography with flame ionization detection) para el perfil de oligosacáridos indicando que son métodos rápidos y fáciles para detectar adulteraciones en los JAF (Willems & Low, 2012).

Respecto al color encontraron un rango amplio de variación desde el color ámbar claro al ámbar oscuro, por lo que Mellado-Mojica and López (2013) no lo consideran como un parámetro diferenciador de los diferentes tipos de jarabe, además depende del proceso de elaboración del jarabe de agave al igual que los oligosacáridos que pueden contener.

Moreno-Vilet et al. (2019) encontraron en muestras de *A. salmiana* y *A. atrovirens* del estado de Hidalgo, que el pH es la característica más variable en el AM, pero la más estable en el JA. Los SST en el JA estuvieron en un rango de 67 a 72 °Bx mientras que en el AM tuvieron valores de 10.1 a 17.4 °Bx.

Respecto al perfil de carbohidratos se encontraron grandes diferencias y las atribuyeron a los cultivares de las que se obtuvieron las muestras de AM (Manso, Penca Larga y Ayoteco) pero recomiendan realizar más estudios que confirmen estos resultados, también indicaron que la proporción de glucosa, fructosa y sacarosa pueden afectar la calidad nutricional y sensorial de los jarabes (Moreno-Vilet et al., 2019).

En el cuadro 3 se resumen los parámetros físicos y químicos reportados para jarabe de agave obtenido por la evaporación del AM o por la hidrólisis de piñas de agave.

Cuadro 3. Características físicas y químicas de jarabe de aguamiel y jarabe de agave de alta fructosa.

Parámetro	Jarabe de aguamiel	Jarabe de A. <i>tequilana</i>	Jarabe de A. <i>salmiana</i>
Acidez titulable (% ácido cítrico)		0.03 ^f	0.03 ^f
pH	4.4-5.0 ^e	3.66-5.23 ^c	3.66-5.23 ^c
	4.69-5.02 ^f	4.18-5.5 ^g	4.8-5.0 ^g
SST (°Bx)	67-72 ^d	65-79.5 ^c	65-79.5 ^c
	64.3-75.5 ^e	74.6-77.4 ^g	74.69-75.75 ^g
	73.1-76.1 ^f		
Glucosa (mg g ⁻¹)	291 ^b	1.88-186.7 ^c	1.88-186.7 ^c
	139-199 ^e	<150 ^g	<250 ^g
Fructosa (mg g ⁻¹)	265 ^b	24.1-689 ^c	~288-317 ^c
	124-207 ^e	>800 ^g	>700 ^g
Sacarosa (mg g ⁻¹)	444 ^b	<8.82 ^c	288-317 ^c
	138-417 ^e	<10 ^g	<10 ^g
FOS		1-kestosa, inulotriosa, 6-kestosa, neokestosa, 1-nistosa ^c	1-kestosa, inulotriosa, 6-kestosa, neokestosa, 1-nistosa ^c
Color	Café oscuro ^e	Transparente-ámbar claro ^c	Ámbar claro-ámbar oscuro ^g
Humedad (%)	17-24.8 ^a	19-27 ^c	19-27 ^c
Viscosidad (Pa*s)	2.05-15.98 ^a		

Fuentes: ^a Hernández-Ramos et al., 2020, ^b Leal-Díaz et al., 2016, ^c Mellado-Mojica & López, 2013, ^d Moreno-Vilet et al., 2019, ^e Santos-Zea et al., 2015, ^f Santos-Zea et al., 2016, ^g Willems and Low, 2012.

El tiempo de almacenamiento de un jarabe aparentemente podría afectar sus propiedades físicas y químicas, sin embargo, Santos-Zea et al. (2015) mostraron que después de 20 semanas de almacenamiento no hay diferencias significativas en características como la actividad del agua (aw), materia seca, pH, SST y el pardeamiento, no obstante, si afecta otras propiedades nutricionales del JA.

En resumen, las características físicas y químicas del JA permiten diferenciar y definir la calidad del producto y a su vez éstas dependen de la especie o cultivar, región de origen y método de elaboración.

2.4 Nutracéuticos del aguamiel y jarabe de aguamiel

Santini et al. (2018) definen a los nutracéuticos como fitocomplejos o metabolitos secundarios, según sea su origen, que se concentran y se administran en forma farmacéutica y que son capaces de proporcionar beneficios para la salud, incluyendo la prevención o el tratamiento de una enfermedad.

Aunque en la definición anterior, al igual que otros autores, denotan la presentación de los nutracéuticos en forma de fármacos como cápsulas, pastillas o comprimidos, también es común señalar a un producto alimenticio como fuente de nutracéuticos como en el caso del AM y JA pues se ha dado a conocer que son fuente de antioxidantes, FOS, inulina, saponinas y otros fitoquímicos de importancia para la salud humana (Leal-Díaz et al., 2016; Santos-Zea et al., 2012; Santos-Zea et al., 2015; Santos-Zea et al., 2016; Tovar-Robles et al., 2011; Willems & Low, 2012).

2.4.1 Antioxidantes

La defensa del cuerpo humano contra el daño oxidativo está dada por las enzimas primarias como superóxido dismutasa, catalasa y peroxidasa que convierten al radical superóxido en peróxido de hidrógeno y posteriormente lo descomponen en agua y oxígeno molecular. Otros antioxidantes endógenos como el glutatión, las vitaminas A, C y E, o quelantes de iones metálicos neutralizan a los radicales libres (RL) al donar electrones convirtiéndose así mismos en radicales menos reactivos que serán fácilmente neutralizados por antioxidantes del mismo tipo. Además, los antioxidantes endógenos son parte del sistema de reparación de las biomoléculas dañadas, compuesto por enzimas como glutatión reductasa y metionina sulfóxido reductasa (Gebicki & Nauser, 2021; Santos-Sánchez, Salas-Coronado, Villanueva-Cañongo & Hernández-Carlos, 2019).

Sin embargo, las condiciones de la vida cotidiana actual como la radiación, contaminación, fármacos y otros agentes abióticos aumentan el daño en el ser humano y pueden desencadenar un estado de estrés oxidativo. El estrés oxidativo está asociado a la formación excesiva de RL, los cuales son moléculas o átomos que tienen uno o más electrones desapareados, los más reactivos, como el hidroxilo, peroxilo, alcoxilo, tiilo, fenoxilo y semiquinona, oxidan fácilmente a la mayoría de las moléculas, lo cual puede generar alteraciones permanentes en la función vital de moléculas críticas como el ADN, proteínas o lípidos, constituyendo el primer paso para el desarrollo de enfermedades (Gebicki & Nauser, 2021).

La Figura 10 reporta los tipos de antioxidantes que pueden intervenir en el cuerpo, clasificados de acuerdo con su actividad y estructura química.

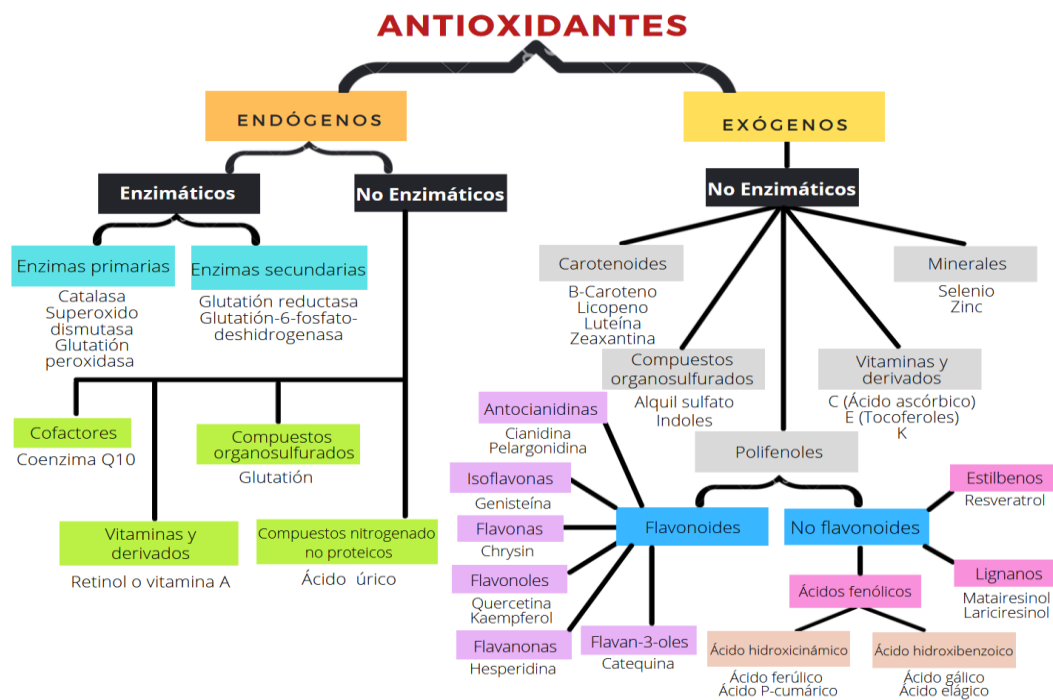


Figura 10. Clasificación de los antioxidantes que actúan en el cuerpo humano.
Fuente: Kaur, Kaur & Kaur, 2018.

La defensa de los antioxidantes endógenos en el cuerpo humano es insuficiente en un estado de estrés oxidativo, por lo que se necesitan antioxidantes adicionales que persistan en los tejidos y sean fácilmente administrados con la

dieta. Los antioxidantes exógenos son compuestos que detienen la cadena transferencia de electrones suscitada por los RL evitando que se propague el daño. El papel principal de estos antioxidantes no es eliminar los RL sino reducir los niveles excesivos para que puedan ser neutralizados (Gebicki & Nauser, 2021).

Los antioxidantes dietéticos tienen un papel importante en la prevención de enfermedades como el cáncer, enfermedades cardiovasculares, trastornos neurodegenerativos y en los últimos años también se han relacionado con el control y prevención de enfermedades infecciosas (Kaur et al., 2018).

Los métodos *in vitro* que existen para determinar la capacidad o actividad antioxidante de los alimentos se pueden dividir en dos tipos según el modo de acción de los antioxidantes: ensayos basados en la transferencia de átomos de hidrógeno (HAT) y ensayos de transferencia de un electrón (SET). Los primeros miden la capacidad de un antioxidante para extinguir o anular los radicales libres mediante la donación de átomos de H. Los segundos miden la capacidad de un antioxidante en la reducción de un oxidante que cambia de color cuando se reduce y ese cambio de color a una determinada longitud de onda se correlaciona con la concentración de antioxidantes en la muestra. El ensayo que mide la capacidad de absorción de radicales de oxígeno (ORAC) es un ejemplo de los ensayos HAT y el poder antioxidante férrico reductor (FRAP) es un ejemplo de los SET (Moharram & Youssef, 2014).

Los métodos ABTS, DPPH, FRAP y ORAC han mostrado resultados comparables en la medición de la actividad antioxidante medida en extractos metanólicos de frutas y se correlacionan con el contenido de ácido ascórbico y fenoles totales y dentro de estos el FRAP se recomienda como una técnica más apropiada por su alta reproducibilidad, sencillez y rapidez para realizarse en extractos de frutas (Moharram & Youssef, 2014).

2.4.2 Compuestos fenólicos

Los compuestos fenólicos están ampliamente distribuidos en los alimentos de origen vegetal. Su presencia en los alimentos tiene varios efectos que van desde su relación con características sensoriales como los sabores amargos y astringentes, el color, ya que son responsables de pigmentos amarillos, naranjas, rojos y azules, el sabor, olor y hasta su estabilidad oxidativa o vida útil (Hogervorst-Cvejić, Atanacković-Krstonošić, Bursać & Miljić, 2017).

De forma general se pueden dividir en dos grupos, los flavonoides y no flavonoides. En el primer grupo se encuentran los polifenoles que contienen dos anillos aromáticos unidos por un puente de tres carbonos, son los más comunes y presentes en la dieta humana. En el segundo grupo se encuentran compuestos de estructura química más simple que los flavonoides o de estructura más compleja y alto peso molecular como los ácidos fenólicos, estilbenos, cumarinas, lignanos y taninos (Figura 10) (Hogervorst-Cvejić et al., 2017; Shahidi & Ambigaipalan, 2015).

Los polifenoles y muchos de sus metabolitos secundarios son potentes antioxidantes eficaces que protegen a las células y tejidos del cuerpo, como lo muestran recientes trabajos experimentales, de los que Gebicki and Nauser (2021) concluyen que: (1) la reacción del polifenol con los radicales es muy rápida, lo que reduce su potencial dañino, (2) la pérdida de grupos fenólicos no disminuye la capacidad antioxidante de los polifenoles y, (3) las defensas antioxidantes incluyen tanto a los polifenoles como a sus metabolitos aromáticos, presentes *in vivo* en concentraciones de micro moles (μM).

Los compuestos fenólicos tienen capacidad quelante con iones metálicos como hierro y cobre, inhibiendo la oxidación de lipoproteínas de baja densidad por lo que se disminuye el riesgo de padecer enfermedades neurodegenerativas y diferentes tipos de cáncer, también tienen actividad vasorrelajante y antialérgica (Santos-Sánchez et al., 2019).

Uno de los métodos ampliamente usados para la determinación de los compuestos fenólicos totales es el método espectrofotométrico Folin-Ciocalteu propuesto por Singleton and Rossey (1965) el cual se ha usado en extractos derivados de plantas, alimentos y bebidas (Lamuela-Raventós, 2017). Sin embargo, para determinaciones más precisas sobre el contenido de flavonoides o compuestos fenólicos específicos es necesario acudir a otros métodos como la cromatografía de gas (GC) y la cromatografía líquida de alto rendimiento (HPLC) (Moharram & Youssef, 2014).

2.4.3 Saponinas

Las saponinas son producidas principalmente por las plantas como metabolitos secundarios que las protegen contra microorganismos patógenos, insectos o mamíferos fitófagos, pero también se pueden encontrar en estrellas, esponjas y pepinos de mar y hasta en secreciones de insectos (Moghimipour & Handali, 2015).

Las saponinas consisten en la unión de una fracción de azúcar (hidrofílica) con una aglicona o genina (hidrofóbica). Dependiendo el tipo de sapogenina se pueden clasificar en tres clases principales: a) saponinas triterpenoides, b) saponinas esteroides y c) saponinas alcaloides. La saponina con una sola fracción de azúcar unidos al núcleo de la aglicona se denomina monodesmosídica o didesmosídica si hay dos fracciones de azúcar unidas a la aglicona (El Aziz, Ashour & Melad, 2019).

Las saponinas terpenoides se encuentran en plantas dicotiledóneas mientras que las saponinas esteroides se presentan en las monocotiledóneas, como es el caso de las plantas del género *Agave*, de las que Sidana, Singh and Sharma (2016) reportan 141 saponinas esteroidales extraídas de hojas, flores, rizomas y callo de las plantas. Sin embargo, en el AM y jarabe de aguamiel de *A. salmiana*, se han detectado saponinas esteroidales principalmente, derivadas de la kammogenina, manogenina, gentrogenina, y hecogenina (Leal-Díaz et al., 2016).

Las saponinas encontradas tienen múltiples bioactividades como actividad hemolítica, citotóxica, antiinflamatoria, gastroprotectora, actividad antimicrobiana, antiviral y antifúngica, actividad hipocolesterolémica, con propiedades antioxidantes (Leal-Díaz et al., 2016; Santos-Zea et al., 2016; Sidana et al., 2016).

Los métodos usados para la identificación y cuantificación de saponinas son la cromatografía en capa fina (CCF), HPLC, la cromatografía a contracorriente de alta velocidad (HSCCC) y en casos donde se desconocen las saponinas contenidas en las plantas se usa la resonancia magnética nuclear (RMN) y el infrarrojo por transformación de Fourier (FTIR). Sin embargo, la espectrofotometría es un método más sencillo y práctico para medir la cantidad de saponinas que hay en un alimento (Moghimipour & Handali, 2015).

2.4.4 Fructanos

Los fructanos incluyen a los polímeros de fructosa que se encuentran en diversos órganos de las plantas, según la especie y su etapa de desarrollo, como carbohidratos de reserva (Matros, Peukert, Lahnstein, Seiffert & Burton, 2019), asimismo las condiciones ambientales, determinan el tipo y cantidad de fructanos en los tejidos vegetales (Ahmed & Rashid, 2017). Los fructanos de agave son definidos por Espinosa-Andrews, Urías-Silvas and Morales-Hernández (2021) como carbohidratos fotosintetizados usados por la planta como sustancia osmoprotectora en condiciones de sequía y como reserva de energía para llevar a cabo procesos metabólicos.

Químicamente los fructanos están formados por residuos repetidos de fructosa unidos a una unidad de sacarosa y se clasifican según la posición de la fracción de sacarosa, el tipo de enlace entre los residuos de fructosa y la longitud de la cadena (Matros et al., 2019).

Los tipos de fructanos mayormente reportados son: a) fructanos lineales tipo inulina con enlaces $\beta(2,1)$ fructosil-fructosa, b) fructanos lineales tipo levan con enlaces $\beta(2,6)$ fructosil-fructosa, c) fructanos de tipo graminano que contiene

unidades con enlaces $\beta(2,1)$ y $\beta(2,6)$ fructosil-fructosa y d) fructanos neoseries con una unidad interna de glucosa que puede contener unidades adicionales de $\beta(2,1)$ fructosil-fructosa (inulina-neoseries), de $\beta(2,6)$ fructosil-fructosa (levan-neoseries) o de ambos tipos (agavinas) (Matros et al., 2019; Tezgel, Kirtel, Van den Ende & Toksoy-Oner, 2020).

Por su longitud de cadena o residuos de fructosa se puede dividir en oligómeros de fructosa o FOS, con grado de polimerización (DP) de 3 a 10, y polímeros de fructanos, con DP mayor a 10 y hasta cientos de residuos o monómeros de fructosa (Matros et al., 2019). El DP en los fructanos es muy importante ya que de ello dependen sus propiedades funcionales y sus múltiples aplicaciones en la industria alimentaria (Sosa-Herrera & Delgado-Reyes, 2017).

Algunos de los beneficios para la salud de los fructanos de agave reportados son su efecto prebiótico, control del sobrepeso, obesidad y los desordenes metabólicos asociados, mayor absorción de minerales como el calcio y el magnesio y efecto quimioprotector e inmunomodulatorio. Las aplicaciones de los fructanos en el sector alimentario más comunes son edulcorantes, remplazadores de grasa, fibra, modificadores de viscosidad y textura y portadores en microencapsulación (Espinosa-Andrews et al., 2021; Sosa-Herrera & Delgado-Reyes, 2017).

Inulina

Este tipo de fructanos se compone de oligo y polisacáridos que contienen unidades lineales de fructosil-fructosa con enlaces $\beta(2,1)$ y este tipo de configuración β hace que sea resistente a la hidrólisis por lo que se denomina carbohidrato no digerible o fibra dietética (Ahmed & Rashid, 2017; Apolinário et al., 2014).

Las especies que más se han investigado por su alto contenido de inulina son *Helianthus tuberosus*, *Chichorium intybus*, *Dalia pinnata*, *Polymnia sonchifolia* y recientemente algunas especies de agave (*A. tequilana*, *A. atrovirens*, *A. sisalana*). A nivel industrial la inulina se obtiene a partir de las dos primeras,

conocidas como alcachofa de Jerusalén y achicoria, cuyo proceso de extracción se basa en la difusión en agua caliente de la inulina, pues su solubilidad aumenta con la temperatura (Ahmed & Rashid, 2017; Apolinário et al., 2014).

La inulina tiene múltiples aplicaciones tecnológicas, las cuales están relacionados con su DP, por ejemplo, inulina con un DP bajo se utiliza en productos lácteos, postres congelados y productos horneados, productos dietéticos y chocolate como reemplazo del azúcar, mientras que inulinas de cadena larga son ligeramente solubles y pueden usarse como sustituto de grasa o modificador de textura (Ahmed & Rashid, 2017; Sosa-Herrera & Delgado-Reyes, 2017).

Además de los beneficios a la salud enlistados anteriormente para los fructanos, la inulina regula el funcionamiento del intestino y puede aliviar el estreñimiento, aumenta la resistencia contra bacterias patógenas como *E. coli*, *Campylobacter jejuni*, *Salmonella enteritidis* o *Clostridium perfringens*, reduce la inflamación asociada con colitis ulcerosa y participa en la regulación de hormonas relacionadas con el apetito y la saciedad (Ahmed & Rashid, 2017).

Fructooligosacáridos (FOS)

Se trata de fructanos u oligómeros de fructosa (DP<10) con enlaces glucosídicos β (2,1) fructosil-fructosa, es decir, son oligosacáridos de tipo inulina. Tienen baja intensidad de dulzor y se consideran fibras dietéticas solubles (Kumar et al., 2018).

Aunque existen fuentes naturales de FOS, la demanda actual exige su producción o extracción, por lo que comercialmente los FOS se producen a partir de sacarosa o inulina con la aplicación de enzimas microbianas. Los FOS comúnmente producidos son 1-kestosa, nistosa y 1- β -fructofuranosil nistosa (Bali, Panesar, Bera & Panesar, 2015).

Los FOS son ampliamente usados en la industria de alimentos como ingredientes funcionales. La base de su funcionalidad fisiológica es su indigestibilidad en el intestino delgado y su fermentabilidad en el colon que genera ácidos grasos de

cadena corta los cuales juegan un papel muy importante en procesos de inflamación, cáncer de colon, el metabolismo energético, la nutrición y la salud en general (Chen, Li & Chen, 2016).

Otros efectos benéficos de los FOS estudiados son su efecto prebiótico, activación del sistema inmune, reducción de la morbilidad y la duración de diarreas infecciosas y asociadas a los antibióticos, alivio de los síntomas del síndrome de intestino irritable y de la enfermedad inflamatoria intestinal, reducción del riesgo de enfermedades cardiovasculares, coronarias y cáncer de colon, entre otros (Chen et al., 2016; Kumar et al., 2018).

Los métodos para la cuantificación de inulina y fructooligosacáridos son cromatográficos como el método cromatográfico de intercambio iónico descrito en el método 997.08 de la AOAC (Horwitz, 2000), la cromatografía de intercambio aniónico de alto rendimiento (HPAEC-PAD), CG a alta temperatura u otros de cromatografía líquida y CCF (Steegmans, Illaens & Hoebregs, 2004). Otros métodos propuestos por su sencillez y menor costo son el enzimático y el espectrofotométrico, en el primero se usa un kit comercial para la determinación cuantitativa de inulina y oligosacáridos desarrollado por Megazyme, y un ejemplo del segundo está descrito por Anan'ina, Andreeva, Mycots and Oganessian (2009).

2.5 Melanoidinas

Las melanoidinas se forman a consecuencia de un tratamiento térmico aplicado en diferentes alimentos que contienen polisacáridos y proteínas o aminoácidos libres como en el café, productos de panadería, miel y muchos otros alimentos procesados de modo que en la dieta diaria se consume aproximadamente 10 a 12 g de estos compuestos (Tagliazucchi & Bellesia, 2015).

Aunque aún no se ha elucidado completamente la estructura de las melanoidinas se sabe que son compuestos de alto peso molecular de color marrón, que contienen nitrógeno y compuestos de carga aniónica, son producto de la última etapa de las reacciones de Maillard. Brudzynski and Miotto (2011) definen a las

melanoidinas de la miel como polímeros multicomponentes formados por complejos de proteínas, polifenoles y oligosacáridos y señalan que la actividad antioxidante de las melanoidinas está directamente relacionada con los polifenoles.

Estos compuestos se han asociado a muchos efectos benéficos para la salud, principalmente por su actividad antioxidante, pero también se ha asociado con la actividad antimicrobiana, antiinflamatoria, anticancerígena, antihipertensiva, anticariógena y prebiótica (Delgado-Andrade & Fogliano, 2018; Mesias & Delgado-Andrade, 2017; Tagliazucchi & Bellesia, 2015).

Se ha demostrado que las melanoidinas se comportan de forma similar a la fibra dietética, ya que no se digiere en el intestino superior sino que se metabolizan parcialmente en el intestino inferior, manteniendo un entorno reductor en su paso por el intestino grueso y moldeando favorablemente la microbiota del intestino, además de su fuerte capacidad antioxidante que puede contrarrestar el estrés oxidativo generado durante la digestión, por lo que pueden jugar un papel importante en la prevención de cánceres en el tracto gastrointestinal (Delgado-Andrade & Fogliano, 2018; Tagliazucchi & Bellesia, 2015).

Para la cuantificación de estos compuestos existen diferentes métodos, de las más usadas son las técnicas espectrofotométricas a través del llamado índice de oscurecimiento o formación de pigmentos marrones por su alta correlación de estos compuestos con los pigmentos de color marrón que se desarrollan como resultado de la reacción de Maillard (Chandra, Kumar & Tripathi, 2018).

2.6 Evaporación a bajas presiones

La evaporación es la eliminación parcial del agua contenida en alimentos líquidos para reducir su peso y por lo tanto reducir los costos de almacenamiento y transporte, además de conservar los alimentos al reducir la actividad del agua y aumentar el contenido de sólidos. Cuando se realiza en condiciones de vacío se pueden preservar cualidades nutricionales y sensoriales (Bonciu, 2017).

En el procesamiento de frutas, vegetales y granos, los tratamientos térmicos pueden aumentar o disminuir significativamente los antioxidantes fenólicos, dependiendo el tiempo y la temperatura del calentamiento. La aplicación de altas presiones combinadas con un tratamiento térmico por un largo tiempo disminuye la actividad antioxidante en jugos y purés. Por otro lado, la aplicación de procesamientos no térmicos también genera pérdidas de fitoquímicos importantes encontrados en las frutas y vegetales, aunque en menor grado que las pérdidas observadas en muestras no tratadas o tratadas con métodos convencionales (Nayak, Liu & Tang, 2015).

La evaporación es la operación unitaria clave para obtener un concentrado de AM o JA con las características que distinguen a este producto. Comúnmente es un proceso térmico que promueve la hidrólisis térmica de los fructanos contenidos en el AM, sin embargo, se sabe que en esta etapa también se afecta la calidad nutrimental del JA ya que se pierden vitaminas hidrosolubles como la vitamina C, así como otros compuestos bioactivos y se forman compuestos indeseables como HMF. Sin embargo, también se ha demostrado la correlación del contenido de melanoidinas o índice de oscurecimiento con el contenido de antioxidantes en miel y JA lo cual es promovido por las altas temperaturas usadas en la evaporación convencional del AM o de la miel (oscurecimiento no enzimático o reacción de Maillard) (Hernández-Ramos et al., 2020; Turkmen, Sari, Poyrazoglu & Velioglu, 2006).

La evaporación a bajas presiones o en condiciones de vacío es un proceso u operación no térmico que ayuda a preservar características físicas, nutrimentales y nutraceuticas en alimentos concentrados (Kuşçu & Bulantekin, 2021).

A continuación, se exponen algunos estudios sobre el efecto de diferentes métodos de procesamiento en las características de productos como el jarabe de coco, jarabe de palma de azúcar, mermelada de azufaifa (*Ziziphus jujuba* Miller) y jarabe de agave.

En el jarabe de coco se encontró que al evaporar la savia a 60 °C y una presión de vacío de 250 mbar, el tiempo de procesamiento fue menor comparado con la evaporación tradicional y la evaporación en microondas. Además, la energía requerida fue significativamente menor respecto a los otros métodos, se obtuvo un jarabe más claro y mayor cantidad de monosacáridos (fructosa y glucosa) que disacáridos (sacarosa) (Asghar et al., 2020).

En jarabe de palma de azúcar (*Arenga pinnata*) elaborado mediante evaporación al vacío se observó que el contenido de azúcares totales, acidez total y la intensidad en el oscurecimiento del jarabe fueron significativamente más bajas que en la evaporación abierta y la liofilización, y al considerar la capacidad antioxidante por el método DPPH y de fosfo-molibdeno el jarabe de palma de azúcar presentó los valores más altos por lo que los autores indican que este método preserva la actividad antioxidante en el jarabe e instan a realizar más estudios (Yunos et al., 2017).

Se comparó la mermelada de azufaifo (*Ziziphus jujuba* miller) elaborada por el método tradicional (olla abierta) con la obtenida por evaporación al vacío. Se encontró que la evaporación al vacío preservó mejor los compuestos fenólicos, la vitamina C, los azúcares totales y algunos minerales, además se encontró menor concentración de HMF (Kuşçu & Bulantekin, 2021).

González-Montemayor et al. (2020) observaron que la temperatura afectó en el contenido de sacarosa, color, pH y el HMF en jarabes obtenidos por evaporación del AM de *A. salmiana* y *A. atrovirens*. El contenido de sacarosa fue mayor a 70 °C que a 80, 90 y 95 °C. Se obtuvo jarabe más oscuro a menor temperatura debido a que el proceso de evaporación del AM se mantuvo por más tiempo para alcanzar 65 °Bx. El pH de los jarabes fue más bajo a mayor temperatura de evaporación. El contenido de HMF, compuesto indeseable en la miel y los jarabes, fue mayor a 95 °C. No se encontró diferencia en el contenido de cenizas, humedad ni proteína.

Por lo tanto, la evaporación a bajas presiones es un método de conservación viable en alimentos que permite obtener productos que conservan mejor sus características fisicoquímicas, su calidad nutricional y los compuestos bioactivos o funcionales que contengan.

2.7 Literatura Citada

- Ahmed, W. & Rashid, S. (2017). Functional and therapeutic potential of inulin: A comprehensive review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 59(1), 1-13. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1355775>
- Álvarez-Ríos, G. D., Figueredo-Urbina, C. J. & Casas, A. (2020). Sistemas de manejo de maguey pulquero en México. *Etnobiología*, 18, 3-23.
- Anan'ina, N. A., Andreeva, O. A., Mycots, L. P., & Oganessian, E. T. (2009). Standardization of inulin extracted from Dahlia single tubers and some physicochemical properties of inulin. *Pharmaceutical Chemistry Journal*, 43(3), 157-159. <https://doi.org/10.1007/s11094-009-0261-8>
- Apolinário, A. C., de Lima-Damasceno, B. P. G., de Macêdo-Beltrão, N. E., Pessoa, A., Converti, A. & da Silva, J. A. (2014). Inulin-type fructans: A review on different aspects of biochemical and pharmaceutical technology. *Carbohydrate Polymers*, 101, 368-378. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.09.081>
- Asghar, M. T., Yusof, Y. A., Mokhtar, M. N., Yaacob, M. E., Ghazali, H. M., Varith, J., Chang, L. S. & Manaf, Y. N. (2020). Processing of coconut sap into sugar syrup using rotary evaporation, microwave, and open-heat evaporation techniques [<https://doi.org/10.1002/jsfa.10446>]. *Journal of the science of food and agriculture*, 100(10), 4012-4019. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10446>
- Bali, V., Panesar, P. S., Bera, M. B. & Panesar, R. (2015). Fructooligosaccharides: Production, Purification and Potential Applications. *Critical reviews in food science and nutrition*, 55(11), 1475-1490. <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.694084>
- Bonciu, E. (2017). Food processing, a necessity for the modern world in the context of food safety: a Review. *Annals of the University of Craiova-Agriculture, Montanology, Cadastre Series*, 47(1), 391-398. <http://anale.agro-craiova.ro/index.php/aamc/article/view/610/571>
- Brudzynski, K. & Miotto, D. (2011). The recognition of high molecular weight melanoidins as the main components responsible for radical-scavenging capacity of unheated and heat-treated Canadian honeys. *Food Chemistry*, 125, 570-575. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.09.049>
- Chandra, R., Kumar, V. & Tripathi, S. (2018). Evaluation of molasses-melanoidin decolourisation by potential bacterial consortium discharged in distillery effluent. *3 Biotech*, 8(4), 187. <https://doi.org/10.1007/s13205-018-1205-3>
- Chen, G., Li, C. & Chen, K. (2016). Chapter 6 - Fructooligosaccharides: A Review on Their Mechanisms of Action and Effects. In R. Atta ur (Ed.), *Studies in Natural Products Chemistry* 48, 209-229. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63602-7.00006-0>
- CONABIO. (2021, 11/03/2021). *Catálogo de autoridades taxonómicas de especies de flora y fauna con distribución en México*. Base de datos SNIB-CONABIO. Consultado en: <https://www.snib.mx/taxonomia/descarga/>
- Delgado-Andrade, C. & Fogliano, V. (2018). Dietary Advanced Glycosylation End-Products (dAGEs) and Melanoidins Formed through the Maillard Reaction: Physiological Consequences of their Intake. *Food Science and*

- Technology*, 9, 271-291. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-030117-012441>
- El Aziz, M. M. A., Ashour, A. S. & Melad, A. S. G. (2019). A review on saponins from medicinal plants: chemistry, isolation, and determination. *Journal of Nanomedicine Research*, 8(1), 282-288.
- Enríquez-Salazar, M. I., Veana, F., Aguilar, C. N., De la Garza-Rodríguez, I. M., López, M. G., Rutiaga-Quiñones, O. M., Morlett-Chávez, J. A & Rodríguez-Herrera, R. (2017). Microbial diversity and biochemical profile of aguamiel collected from *Agave salmiana* and *A. atrovirens* during different seasons of year. *Food science and biotechnology*, 26(4), 1003-1011. <https://doi.org/10.1007/s10068-017-0141-z>
- Espinosa-Andrews, H., Urías-Silvas, J. E. & Morales-Hernández, N. (2021). The role of agave fructans in health and food applications: A review. *Trends in food science & technology*, 114, 585-598. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.06.022>
- Figueredo-Urbina, C. J., Álvarez-Ríos, G. D., García-Montes, M. A. & Octavio-Aguilar, P. (2021). Morphological and genetic diversity of traditional varieties of agave in Hidalgo State, Mexico. *PLOS ONE*, 16(7), e0254376. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0254376>
- García-Castro, R. (2014). La economía indígena y el maguey en el centro de México: Antes y después de la conquista española. In I. d. I. A. UNAM (Ed.), *Estudios de cultura otopame*, 1, 107-134. Instituto de Investigaciones Antropológicas.
- García-Mendoza A.J., Cházaro.-Basañez. M. J., Nieto-Sotelo J., Sánchez-Teyer L.F., Tapia-Campos E., Gómez-Leyva J. F., ...& Gutiérrez-Mora, A. (2017). AGAVE. In A. C. Gschaedler (Ed.), *Panorama del aprovechamiento de los agaves en México*, Primera edición, 1, 17-53. AGARED.
- Gebicki, J. M. & Nauser, T. (2021). Fast Antioxidant Reaction of Polyphenols and Their Metabolites. *Antioxidants*, 10(8). <https://doi.org/10.3390/antiox10081297>
- González-Montemayor, Á.-M., Flores-Gallegos, A. C., Serrato-Villegas, L. E., Ruelas-Chacón, X., López, M. G. & Rodríguez-Herrera, R. (2020). Processing temperature effect on the chemical content of concentrated aguamiel syrups obtained from two different *Agave* species. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 14(3), 1733-1743. <https://doi.org/10.1007/s11694-020-00421-4>
- Guzmán-Pedraza, R. & Contreras-Esquivel, J. (2018). Aguamiel and its fermentation: Science beyond tradition. *Mexican Journal of Biotechnology*, 3, 1-22. <https://doi.org/10.29267/mxjb.2018.3.1.1>
- Hernández-Ramos, L., García-Mateos, M. R., Ybarra-Moncada, M. C. & Colinas-León, M. T. B. (2020). Nutritional value and antioxidant activity of the maguey syrup (*Agave salmiana* and *A. mapisaga*) obtained through three treatments. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj- napoca*, 48, 1306-1316. <https://doi.org/10.15835/nbha48311947>
- Hogervorst-Cvejić, J., Atanacković-Krstonošić, M., Bursać, M. & Miljić, U. (2017). Chapter 7 - Polyphenols. In C. M. Galanakis (Ed.), *Nutraceutical and*

- Functional Food Components* (pp. 203-258). Academic Press.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805257-0.00007-7>
- Horwitz, W. (2000). *Official methods of analysis of AOAC International*. AOAC International.
- Kaur, J., Kaur, R. & Kaur, A. (2018). Dietary Antioxidants and Infectious Diseases. In P. P. Singh (Ed.), *Infectious Diseases and Your Health* (pp. 307-316). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-1577-0_16
- Kumar, C. G., Sripada, S. & Poornachandra, Y. (2018). Chapter 14 - Status and Future Prospects of Fructooligosaccharides as Nutraceuticals. In A. M. Grumezescu & A. M. Holban (Eds.), *Role of Materials Science in Food Bioengineering* (pp. 451-503). Academic Press.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811448-3.00014-0>
- Kuşçu, A. & Bulantekin, Ö. (2021). Determination of phenolics, organic acids, minerals and volatile compounds of jujube (*Ziziphus jujuba miller*) jam produced by under vacuum evaporation compared with open pan method. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15(2), 1127-1138.
<https://doi.org/10.1007/s11694-020-00713-9>
- Lamuela-Raventós, R. M. (2017). Folin–Ciocalteu method for the measurement of total phenolic content and antioxidant capacity. *Measurement of Antioxidant Activity & Capacity Recent Trends and Applications*, 107-117.
- Leal-Díaz, A. M., Noriega, L. G., Torre-Villalvazo, I., Torres, N., Alemán-Escondrillas, G., López-Romero, ... & Tovar, A. R. (2016). Aguamiel concentrate from Agave salmiana and its extracted saponins attenuated obesity and hepatic steatosis and increased Akkermansia muciniphila in C57BL6 mice. *Scientific Reports*, 6, 34242.
<https://doi.org/10.1038/srep34242>
- Leal-Díaz, A. M., Santos-Zea, L., Martínez-Escobedo, H. C., Guajardo-Flores, D., Gutiérrez-Urbe, J. A., & Serna-Saldivar, S. O. (2015). Effect of Agave americana and Agave salmiana Ripeness on Saponin Content from Aguamiel (Agave Sap). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(15), 3924-3930. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b00883>
- López, M. G., Camacho-Ruiz, R. M., González-Avila, M., Mellado-Mojica, E., Moreno-Vilet, L. Gutiérrez-Hernández, C. I., Aguirre-Rivera, J. R., ... & Ortiz-Basurto, R. I. (2017). Fructanos de agave: Actualidad y perspectivas. In A. C. Gschaedler M. (Ed.), *Panorama del aprovechamiento de los agaves en México*, Primera Edición, 1, 71-120. AGARED.
- Matros, A., Peukert, M., Lahnstein, J., Seiffert, U. & Burton, R. (2019). Determination of fructans in plants: current analytical means for extraction, detection, and quantification. *Annual Plant Reviews Online*, 2, 1-39.
- Mellado-Mojica, E. & López, M. G. (2013). Análisis comparativo entre jarabe de agave azul (*Agave tequilana* Weber cv. azul) y otros jarabes naturales. *Agrociencia*, 47, 233-244.
- Mesias, M. & Delgado-Andrade, C. (2017). Melanoidins as a potential functional food ingredient. *Current Opinion in Food Science*, 14. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2017.01.007>
- Michel-Cuello, C., Gallegos-Fonseca, G., Maldonado-Cervantes, E. & Aguilar-Rivera, N. (2015). Effect of temperature and pH environment on the

- hydrolysis of maguey fructans to obtain fructose syrup. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 14(3), 615-622.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62043088005>
- Moghimpour, E. & Handali, S. (2015). Saponin: properties, methods of evaluation and applications. *Annual Research & Review in Biology*, 207-220.
- Moharram, H. & Youssef, M. (2014). Methods for Determining the Antioxidant Activity: A Review. *Alexandria Journal Food. Science & Technology*, 11, 31-42. Disponible en:
https://journals.ekb.eg/article_20251_46bd1a0433e6dc694aa7953b19fd1868.pdf
- Moreno-Vilet, L., González-Olivares, L. G., Pérez-Vargas, I., Camacho-Ruiz, R. M., Andrade-González, I. & Villanueva-Rodríguez, S. J. (2019). Physicochemical characterization and carbohydrate profile of maguey syrup and aguamiel from the state of Hidalgo. In A. Gutiérrez-Mora (Ed.), *Sustainable and integrated use of agave*, 1, 68-108. AGARED.
- Nayak, B, Liu, R. H. & Tang, J. (2015). Effect of Processing on Phenolic Antioxidants of Fruits, Vegetables, and Grains—A Review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 55, 887-919.
<https://doi.org/10.1080/10408398.2011.654142>
- Norma Mexicana NMX-FF-110-SCFI-2008 Productos Alimenticios – Jarabe de Agave. Especificaciones y Métodos de prueba., (2008).
https://kupdf.net/download/nmx-ff-110-scfi-2008_58d09f4edc0d607520c34614_pdf#
- Norma Mexicana. NMX-V-022-1972. Aguamiel. (1972). SCFI. SECRETARIA DE COMERCIO Y FOMENTO INDUSTRIAL. Dirección General de Normas.
<https://media.gotomexico.today/reglament/nmx-v-022-1972.pdf>
- Norma Oficial Mexicana NOM-002-SAGARPA-2016, Relativa a las características de sanidad, calidad agroalimentaria, autenticidad, etiquetado y evaluación de la conformidad de los fructanos de agave, Tercera sección (2016a).
http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5463926&fecha=02/12/2016
- Norma Oficial Mexicana NOM-003-SAGARPA-2016, Relativa a las características de sanidad, calidad agroalimentaria, autenticidad, etiquetado y evaluación de conformidad del jarabe de agave. (2016b).
http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5461591&fecha=18/11/2016
- Ortiz-Basurto, R. I., Pourcelly, G., Doco, T., Williams, P., Dornier, M. & Belleville, M. P. (2008). Analysis of the main components of the aguamiel produced by the maguey-pulquero (*Agave mapisaga*) throughout the harvest period. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(10), 3682-3687.
<https://doi.org/10.1021/jf072767h>
- Reyes-Agüero, J. A., Peña-Valdivia, L. B., Aguirre-Rivera, J. R. y Mora-López, J. L. (2019). Intraespecific Variation of *Agave mapisaga* Trel. And *A. salmiana* Otto ex Salm-Dyck (Asparagaceae) related to ancestral usages at the Hñahñu region in central Mexico. *Agrociencia*, 53(4), 573-579.
- Santini, A., Cammarata, S. M., Capone, G., Ianaro, A., Tenore, G. C., Pani, L. & Novellino, E. (2018). Nutraceuticals: opening the debate for a regulatory

- framework [<https://doi.org/10.1111/bcp.13496>]. *British Journal of Clinical Pharmacology*, 84(4), 659-672. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/bcp.13496>
- Santos-Sánchez, N. F., Salas-Coronado, R., Villanueva-Cañongo, C. & Hernández-Carlos, B. (2019). Antioxidant Compounds and Their Antioxidant Mechanism. In E. Shalaby (Ed.), *Antioxidants*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.85270>
- Santos-Zea, L., Leal Díaz, A., Cortes-Ceballos, E. & Gutiérrez-Urbe, J. (2012). Agave (Agave spp.) and its Traditional Products as a Source of Bioactive Compounds. *Current Bioactive Compounds*, 8, 218-231. <https://doi.org/10.2174/157340712802762410>
- Santos-Zea, L. Leal-Díaz, A. M.; Jacobo-Velázquez, D. A.; Rodríguez-Rodríguez, J.; García-Lara, S. & Gutiérrez-Urbe, J. A. (2015). Characterization of concentrated agave saps and storage effects on browning, antioxidant capacity and amino acid content. *Journal of Food Composition and Analysis*, 45, 113-120. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2015.10.005>
- Santos-Zea, L. Rosas.-Pérez, A. M.; Leal-Díaz, A. M. & Gutiérrez-Urbe, J. A. (2016). Variability in Saponin Content, Cancer Antiproliferative Activity and Physicochemical Properties of Concentrated Agave Sap. *Journal of Food Science*, 81(8), H2069-2075. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13376>
- Shahidi, F. & Ambigaipalan, P. (2015). Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects – A review. *Journal of Functional Foods*, 18, 820-897. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.06.018>
- SIAP. (2020, 30 de junio de 2021). *Servicio de información Agroalimentaria y Pesquera*. SADER. Retrieved 01/06/21 from <https://www.gob.mx/siap/documentos/siacon-ng-161430>
- Sidana, J., Singh, B. & Sharma, O. P. (2016). Saponins of Agave: Chemistry and bioactivity, *Phytochemistry*, 130, 22-46. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2016.06.010>
- Singleton, V. L. & Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16(3), 144. <http://www.ajevonline.org/content/16/3/144.abstract>
- Sosa-Herrera, M. & Delgado-Reyes, V. (2017). Propiedades funcionales y aplicaciones tecnológicas de fructanos. In book: *Propiedades funcionales de hoy* (pp. 97-116). <https://doi.org/10.3926/oms.357>
- Steegmans, M., Ilaens, S. & Hoebregs, H. (2004). Enzymatic, Spectrophotometric Determination of Glucose, Fructose, Sucrose, and Inulin/Oligofructose in Foods. *Journal of AOAC International*, 87(5), 1200-1207. <https://doi.org/10.1093/jaoac/87.5.1200>
- Tagliazucchi, D. & Bellesia, A. (2015). The gastro-intestinal tract as the major site of biological action of dietary melanoidins. *Amino Acids*, 47(6), 1077-1089. <https://doi.org/10.1007/s00726-015-1951-z>
- Tezgel, N., Kirtel, O., Van den Ende, W. & Toksoy-Oner, E. (2020). Fructosyltransferase Enzymes for Microbial Fructan Production. In N. K.

- Arora, J. Mishra, & V. Mishra (Eds.), *Microbial Enzymes: Roles and Applications in Industries* (pp. 1-39). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-1710-5_1
- Tovar-Robles, C. L., Perales-Segovia, C., Cedillo, A. N., Valera-Montero, L. L., Gómez-Leyva, J. F., Guevara-Lara, F., Hernández-Duque, J. L. M. & Silos-Espino, H. (2011). Effect of aguamiel (agave sap) on hematic biometry in rabbits and its antioxidant activity determination. *Italian journal of animal science*, 10(2), e21. <https://doi.org/10.4081/ijas.2011.e21>
- Turkmen, N., Sari, F., Poyrazoglu, E. S. & Velioglu, Y. S. (2006). Effects of prolonged heating on antioxidant activity and colour of honey. *Food Chemistry*, 95(4), 653-657. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.02.004>
- Vázquez-Elorza, A., Sánchez-Osorio, E., Pérez-Ramírez, M., Contreras-Medina, D., Pardo-Núñez, J., Figueroa-Galván, N. & Gallardo-Valdez, J., (2017). 5. Perspectivas sociales, históricas y económicas del agave en México: una mirada a sus problemáticas, producción, aprovechamiento y consumo. In A. C. Gschaedler. (Ed.), *Panorama del aprovechamiento de los agaves en México* (Vol. 1, pp. 251-293).
- Vázquez-García, A., Aliphat-Fernández, M. M., Estrella-Chulim, N. G., Ortiz-Torres, E., Ramírez-Juárez, J. y María-Ramírez, A. (2016). El maguey pulquero, una planta multifuncional y polifacética: los usos desde una visión meztiza e indígena. *Scripta Ethnologica*, 38: 65-87. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/148/14849184004/html/>
- Villarreal-Morales, S. L., Muñiz-Márquez, D. B., Michel-Michel, M., González-Montemayor, Á.-M., Escobedo-García, S., Salas-Tovar, J. A., Flores-Gallegos, A. C. & Rodríguez-Herrera, R. (2019). 7 - Aguamiel a Fresh Beverage from Agave spp. Sap with Functional Properties. In A. M. Grumezescu & A. M. Holban (Eds.), *Natural Beverages* (pp. 179-208). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816689-5.00007-9>
- Willems, J. L. & Low, N. H. (2012). Major Carbohydrate, Polyol, and Oligosaccharide Profiles of Agave Syrup. Application of this Data to Authenticity Analysis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(35), 8745-8754. <https://doi.org/10.1021/jf3027342>
- Yunos, N. J., Sulaiman, A., Yusuf, N. A. & Ghazali, D. R. (2017). Antioxidant capacity of vacuum evaporation of palm syrup (*Arenga pinnata*). *Science International*, 29 (2), 155. <https://link.gale.com/apps/doc/A495406194/AONE?u=anon~c4054d7b&sid=googleScholar&id=518ba749>

3 CALIDAD NUTRACÉUTICA DE JARABE DE AGUAMIEL OBTENIDO DE CINCO CULTIVARES DE *Agave salmiana* NUTRACEUTIC QUALITY OF AGAVE SYRUP OBTAINED FROM FIVE CULTIVARS OF *Agave salmiana*

3.1 Resumen

La especie de *Agave* influye en la calidad del aguamiel (AM), pero no se ha confirmado si los cultivares de una misma especie la afectan; la composición del AM también es afectada por el procesamiento aplicado para obtener el jarabe de AM (JA), por lo que el objetivo de la presente investigación fue evaluar la calidad nutracéutica del AM de cinco cultivares de *A. salmiana* y del JA obtenido por evaporación a baja presión. Se aplicó un análisis de covarianza bajo un diseño en bloques completos al azar, donde el factor de bloqueo fueron los días de recolección del AM, los tratamientos fueron los cultivares Cimarrón, Penca Larga, Xamini, Manso y Negro de *A. salmiana*, las covariables fueron el pH y los sólidos solubles totales (SST) y la unidad experimental fue 400 mL de AM de cada cultivar, con cinco repeticiones. La humedad, contenido de compuestos fenólicos solubles totales (CFT), índice de oscurecimiento (IO), saponinas y actividad antioxidante (AA) (ABTS y FRAP), se midieron en AM y JA. El contenido de CFT fue de 20.9 mg EAG 100g⁻¹ en AM y 144.54 mg EAG 100g⁻¹ en JA, en promedio de los cinco cultivares. Los JA de los cv. Cimarrón y Negro presentaron IO más bajo (177 UA en promedio). Los JA de los cv. Manso y Penca Larga tuvieron mayor contenido de saponinas (13095 y 12309 mg ED 100g⁻¹, respectivamente) que los demás cultivares (DMS, p<0.05), sin embargo, exceden el límite de pH establecido por los Estándares Mexicanos. El AM presentó en promedio 515 µM ET 100g⁻¹ y el JA 3730 µM ET 100g⁻¹ de AA por ABTS. El AM y el JA obtenido de los cinco cultivares de *A. salmiana* pueden considerarse fuente de nutraceuticos o alimentos funcionales por su AA y fitoquímicos evaluados.

Palabras clave: actividad antioxidante, compuestos fenólicos, saponinas, baja presión.

Tesis de Maestría en Ciencias en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria, Posgrado en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria, Universidad Autónoma Chapingo

Autor: Maricela Rojo Burgos

Director de Tesis: José Joel Enrique Corrales García

3.2 Abstract

The species of *Agave* influences on the quality of the aguamiel (AM), but it has not confirmed whether cultivars of the same species affect it; the composition of the AM is also affected by the processing applied to obtain the AM syrup (JA), so the objective of this research was to evaluate the nutraceutical quality of the AM of five cultivars of *A. salmiana* and the JA obtained by evaporation at low pressure. An analysis of covariance was applied under a randomized complete block design, the blocking factor was the days of harvesting the AM, the treatments were Cimarron, Manso, Negro, Penca Larga y Xamini cultivars of *A. salmiana*, the covariates were pH and total soluble solids (TSS), and the experimental unit were 400 mL of AM of each cultivar, with five replicates. The humidity, total soluble phenolic compounds content (TPC), browning index (BI), saponins and antioxidant activity (AA) were measured in AM and JA. The JA obtained had yields greater than 10%. The TPC content in AM was 20.9 mg GAE 100g⁻¹ and in JA was 144.54 mg GAE 100g⁻¹ on average of the five cultivars. The JA of cv. Cimarron and Negro had the lowest BI (177 AU on average). The JA of cv. Manso and Penca Larga had higher saponin content (13095 and 12309 mg DE 100g⁻¹, respectively) than the other cultivars (DMS, p<0.05), however, they exceed the pH limit established by Mexican Standards. The AM of five cultivars presented on average 515 µM TE 100g⁻¹ and JA 3730 µM TE 100g⁻¹ of AA per ABTS. The AM and JA obtained from the five *A. salmiana* cultivars can be considered a source of nutraceuticals or functional foods due to their AA and phytochemicals evaluated.

Key words: antioxidant activity, phenolic compounds, saponins, low pressure.

3.3 Introducción

El aguamiel (AM) es la savia dulce obtenida de agaves pulqueros como *Agave americana*, *A. atrovirens*, *A. ferox*, *A. mapisaga* y *A. salmiana* (Ortiz-Basurto et al., 2008). Se caracteriza como un líquido traslúcido color ámbar y olor característico que se usa principalmente como sustrato fermentable en la elaboración de pulque según la NMX-V-022-1972. Ha sido consumido y utilizado desde tiempos precolombinos con fines ceremoniales, alimenticios y medicinales (Santos-Zea et al., 2012; Tovar-Robles et al., 2011; Villarreal-Morales et al., 2019).

En los últimos años han surgido nuevas investigaciones en el AM que señalan su potencial microbiológico y nutraceutico, así como su aplicación biotecnológica y en bioprocesos (Blas-Yañez & Thomé-Ortiz, 2021; Villarreal-Morales et al., 2019). Sin embargo, son pocos los estudios que determinan la composición química y nutraceutica del AM.

Uno de los estudios más conocidos sobre AM fue realizado con *A. mapisaga* donde Ortiz-Basurto et al. (2008) indicaron que los principales componentes del AM son los azúcares (75 % en base seca), pero además contiene proteínas (3 %), aminoácidos libres (0.3 %) esenciales que incluyen a cuatro aminoácidos neurotransmisores, minerales y cenizas (3 %). Esta composición fue estable durante el tiempo de producción de las plantas, por lo que su uso en la industria puede estandarizarse y recomiendan fomentar su cultivo en zonas áridas.

Al comparar la actividad antioxidante del AM ($1096.8 \mu\text{mol ET L}^{-1}$) con otras bebidas, se halló el doble de la capacidad antioxidante que en el pulque ($567.2 \mu\text{mol ET L}^{-1}$) y más del triple respecto al jugo comercial de naranja con extracto de nopal ($311.6 \mu\text{mol ET L}^{-1}$). Asimismo, se encontró el doble del contenido de compuestos fenólicos en AM ($904.8 \mu\text{mol EAG L}^{-1}$) respecto a dichas bebidas (Tovar-Robles et al., 2011).

Romero-López et al. (2015) caracterizaron al AM de *A. atrovirens* y evaluaron la producción de ácidos grasos de cadena corta en la fermentación *in vitro* de FOS. Reportaron contenido de cenizas, proteínas, glucosa y fructosa similares a Ortiz-Basurto et al. (2008) y mayor contenido de sacarosa (12.9 %) y FOS (15.5 %). El contenido de saponinas en el AM fue de 1.17 %, de fenoles totales de 3.02 $\mu\text{mol EAG g}^{-1}$ (en AM liofilizada) y la capacidad antioxidante obtenida por el método DPPH y ABTS•+ fue de 8.72 y 8.88 $\mu\text{mol ET g}^{-1}$, respectivamente. Concluyen que esta bebida puede tener efecto hipocolesterolemizante y antiulcerosa por el contenido de FOS, azúcares reductores y compuestos fenólicos. Un año después Romero-López et al. (2016) probaron el efecto antiinflamatorio y de prevención de úlceras gástricas del AM de *A. atrovirens* e indicaron que con una dosis 200 mg de FOS kg^{-1} se tiene un efecto gastroprotector similar al fármaco comúnmente empleado para el tratamiento de la gastritis. Los autores señalan que este efecto está asociado a las saponinas y a los FOS, debido a la estimulación de la producción de mucosa gástrica y al incremento de la producción de mucina en la mucosa intestinal y gástrica.

En cuanto al potencial microbiológico del AM, Enríquez-Salazar et al. (2017) estudiaron los microorganismos del AM de *A. salmiana* y *A. atrovirens* en las diferentes estaciones del año mediante secuenciación genética. En total identificaron 49 microorganismos, con mayor diversidad en el invierno y en el verano. También analizaron el perfil químico, observando mayor acidez en primavera para ambas especies, mayor contenido de SST en primavera para *A. salmiana* y en invierno para *A. atrovirens* y el mismo comportamiento en el contenido de proteínas, azúcares totales y sacarosa; en el caso de la fructosa, fue mayor para ambas especies en primavera. Las temperaturas en invierno y primavera son óptimas para la captación de CO_2 en estas plantas por lo que se asocia con los mayores contenidos de SST y proteínas y en el caso de los azúcares el mayor contenido en estas épocas del año corresponde a la hidrólisis interna de los fructanos en las plantas para facilitar procesos de osmorregulación en ambientes extremos.

La caracterización del jarabe de aguamiel (JA) de *A. salmiana* realizada por Santos-Zea et al. (2015) reveló que tiene SST y pH similares al jarabe de agave de alta fructosa (JAF) obtenido por hidrólisis de los fructanos de *A. tequilana*. El contenido de humedad fue de 25.2 a 32.6 %, el de fructosa fue inferior a 21%, el de glucosa fue menor a 20% y el de sacarosa de hasta 41%. El rango de fenoles totales fue 0.56 a 1.14 mg EAG g⁻¹ y capacidad antioxidante de 12.7 a 18.9 μ mol ET g⁻¹. Se cuantificaron saponinas en un rango de 78 a 97.3 μ g EP g⁻¹, y se correlacionaron negativamente con el índice de oscurecimiento. Después de 20 semanas de almacenamiento observaron cambios significativos en el índice de oscurecimiento.

Otro estudio reciente sobre el valor nutricional de JA de *A. salmiana* y *A. mapisaga* obtenidos mediante tres métodos dio a conocer que *A. salmiana* era más apto para la elaboración de JA que *A. mapisaga*, por su contenido alto en azúcares reductores y su valor nutricional. Los SST estuvieron en un rango de 73.5 a 84.9 °Bx, el pH de 5.26 a 5.78. El JA de *A. salmiana* tuvo mayor contenido de hierro, mientras que el de *A. mapisaga* fue más alto en sodio. El contenido de melanoidinas fue mayor en los JA de *A. mapisaga* por el método convencional al igual que la actividad antioxidante. El contenido de compuestos fenólicos totales fue menor en los JA obtenidos por los métodos de liofilización y evaporación a bajas presiones de JA de *A. salmiana* pero tuvieron mayor contenido de ácido ascórbico (Hernández-Ramos et al., 2020).

De acuerdo con las investigaciones anteriores, el método de obtención del jarabe y la especie influyen en las características finales del JA. Sin embargo, no se ha determinado si hay influencia también de los cultivares de una misma especie en el valor nutricional del AM y por lo tanto de JA. Por lo que el objetivo de esta investigación fue evaluar la calidad nutracéutica del AM de cinco cultivares de *A. salmiana* y del JA obtenido por evaporación a baja presión.

3.4 Materiales y métodos

3.4.1 Obtención de aguamiel

Durante cinco días se obtuvo AM de los cv. Cimarrón, Penca Larga y Xamini de la comunidad de Durango Daboxtha, municipio de Cardonal, Hidalgo (20°32'29.1"N, 99°04'24.1"W) y las cv. Manso y Negro de la localidad de Belem, municipio de Otumba, Estado de México (19°37'42.7"N, 98°47'33.4"W). Cada día se recolectó 1 L de AM de cada cultivar y se trasladó en hieleras, a temperaturas de refrigeración, hasta el laboratorio donde se distribuyó en botellas de PET de medio litro y se congeló a -18 °C hasta su procesamiento y análisis.

3.4.2 Obtención de jarabe de aguamiel

Los JA se obtuvieron por evaporación a presión reducida y baja temperatura en un rotaevaporador Laborta 4003 Control (Heidolph, Germany). Se procesaron 400 mL de AM de cada uno de los cinco días de recolección. La presión de evaporación se programó en 73 ± 3 mbar y al final del proceso disminuyó hasta 59 ± 2 mbar. La temperatura de evaporación se inició en 19 ± 2 °C y se programó a 40 ± 3 °C, después de 5 min se alcanzó la temperatura programada y al finalizar el proceso disminuyó a 35 ± 2 °C. La temperatura del baño de agua se inició en 60 °C y después de 5 min se mantuvo entre 70-75 °C hasta terminar el proceso. La velocidad de giro del matraz de evaporación se mantuvo de 200-250 rpm después de 5 min de iniciar el proceso y el tiempo del proceso de evaporación fue de 30 min.

El pH y los SST se midieron antes de congelar el AM y después de descongelarla para hacer el JA.

3.4.3 Análisis físico-químicos

pH

El pH se midió con un potenciómetro digital pH55 (Milwaukee, Spain), sumergiéndolo en 15 mL de AM. En el caso del JA se pesó 1 g de muestra y se diluyó en 10 mL de agua destilada y en seguida se midió el pH, de acuerdo con

el Código Federal de Regulaciones 21CFR114.90 publicado por U.S. Food and Drug Administration (2020).

Sólidos solubles totales (SST)

Los SST del AM se determinaron utilizando un refractómetro manual con escala de 0 a 32 °Bx (Erma, Tokyo, Japan), y los del JA, con un refractómetro manual N-3E (ATAGO, Japan) de 58-90 %, según el método refractométrico de la AOAC (940.38) (Horwitz, 2000).

Humedad

El porcentaje de humedad se cuantificó por el método de la AOAC 969.38 (Horwitz, 2000). Se colocaron 2 g de muestra de AM y 1 g en el caso de JA, en cajas Petri a peso constante y se secaron en una estufa (ED 23, Binder, U.S.A) a 60 °C hasta llegar a peso constante.

3.4.4 Análisis nutraceuticos

Preparación de extractos

Se prepararon extractos con metanol al 80 %, para la determinación de compuestos fenólicos solubles totales y actividad antioxidante, obteniendo una concentración en AM del 0.3 g mL⁻¹ y una concentración de JA de 0.01 g mL⁻¹ y se mantuvieron en refrigeración por 24 h, luego se centrifugaron por 5 min a 4000 rpm y se aforaron con el disolvente.

Compuestos fenólicos solubles totales (CFT)

Para cuantificar los CFT se siguió el método Folin-Ciocalteu descrito por Singleton and Rossi (1965) con algunas modificaciones. Se midió la absorbancia a 765 nm con espectrofotómetro (Genesys 10s, Thermo Scientific, U.S.A). Se hizo una curva estándar con ácido gálico (Sigma-Aldrich G7384, U.S.A) (0 a 0.2 mg) y los resultados se expresaron en mg equivalentes de ácido gálico por 100 g de AM fresco o de JA en peso fresco, según el caso (mg EAG 100g⁻¹ p.f).

Índice de oscurecimiento (IO)

La formación de pigmentos marrones o melanoidinas se cuantificó según la metodología de Turkmen et al. (2006). Se tomó 1 mL de AM y se diluyó en 5 mL de agua destilada, en el caso de JA se pesaron 500 mg y se diluyeron en 5 mL de agua destilada utilizando un vórtex; las soluciones se ajustaron a 4 °Bx y se centrifugaron durante 10 min a 10 000 g. Se midió la absorbancia de los extractos a una longitud de onda de 420 nm utilizando espectrofotómetro (Genesys 10s, Thermo Scientific, U.S.A).

Saponinas

Las saponinas se determinaron según la metodología propuesta por Hiai et al. (1976) con algunas modificaciones. Se obtuvieron extractos de AM y JA con agua destilada (concentración de 0.008 g mL⁻¹). La absorbancia se midió en un espectrofotómetro (Genesys 10s, Thermo Scientific, U.S.A) a 544 nm. La curva de calibración estándar se hizo con diosgenina, (3β-hidroxi-5-espirosteno) (Sigma-Aldrich D1634, U.S.A) a concentraciones de 0 a 1.7 mg mL⁻¹ (R=0.987) y los resultados se expresaron en miligramos equivalentes de diosgenina por 100 g de AM fresco o de JA en peso fresco (mg ED 100g⁻¹ p.f), según el caso.

Actividad antioxidante

Método ABTS

Se midió la actividad antioxidante del AM y JA obtenido según la metodología propuesta por Miller and Rice-Evans (1996) con algunas modificaciones, por medio de la captación del radical ácido 2,2'-azino-bis-3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico (ABTS•+). Los extractos con ABTS•+ se incubaron en oscuridad por 30 min y en seguida se midió la absorbancia a 734 nm en espectrofotómetro (Genesys 10s, Thermo Scientific, U.S.A). Se hizo una curva estándar con (±)-6-Hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcromano-2-ácido carboxílico (Trolox) (0.25 a 2.5 mM). Los resultados se expresaron en micro moles equivalentes de Trolox por 100 g de AM fresco o de JA en peso fresco (μM ET 100g⁻¹ p.f), según el caso.

Método FRAP

El poder antioxidante férrico reductor (FRAP) se determinó según lo descrito por Benzie and Strain (1996) con algunas modificaciones. Se mezclaron 100 µL de extracto (de AM o de JA según fuera el caso) y 300 µL de agua destilada, se incubaron a 37 °C y posteriormente se agregaron 3000 µL de FRAP ($C_2H_2NaO_2$, TPTZ y $FeCl_3$ en una proporción 10:1:1), manteniéndose durante 10 min y en seguida se midió la absorbancia a 593 nm en espectrofotómetro (Genesys 10s, Thermo Scientific, U.S.A). Se usó Trolox para la curva de calibración (0-1.35 mM) y los resultados se expresaron en micro moles equivalentes de Trolox por 100 g de AM fresco o de JA en peso fresco, según el caso (μM ET $100g^{-1}$ p.f).

3.4.5 Planeación experimental

Se aplicó un análisis de covarianza bajo un diseño en bloques completos al azar cuyo modelo lineal está representado por la Ecuación (3):

$$Y_{ij} = \mu + \beta_i + T_j + \gamma X_{ij} + e_{ij} \quad \text{Ecuación (3)}$$

Donde:

Y_{ij} = valor de la variable respuesta obtenido en el j-ésimo tratamiento ubicado en el i-ésimo bloque.

μ = efecto medio general.

β_i = efecto del i-ésimo bloque.

T_j = efecto del j-ésimo tratamiento.

γ = coeficiente de covarianza.

X_{ij} = valor de la covariable obtenido en el j-ésimo tratamiento ubicado en el i-ésimo bloque.

e_{ij} = término de error aleatorio, con distribución normal, independientes, media 0 y varianza δ^2 .

En el siguiente cuadro (Cuadro 4) se detallan los componentes del modelo y del diseño experimental. Se hizo el análisis de covarianza por separado para AM y JA. Los valores promedio de las mediciones de SST y pH, antes y después de

descongelar el AM, se tomaron como covariables para su respectivo análisis, en el caso de JA, las covariables se midieron el mismo día que se obtuvieron los jarabes.

Cuadro 4. Diseño de tratamientos.

Tratamientos	Covariables	Variables respuesta	Bloques
Cultivares de <i>A. salmiana</i> : Cimarrón Manso Negro Penca Larga Xamini	pH SST	Humedad (%) Actividad antioxidante por ABTS Actividad antioxidante por FRAP CFT IO Saponinas	Días de recolección de AM

La unidad experimental fueron 400 mL de AM para su análisis y 400 mL de AM para la obtención de JA y su posterior análisis. Se hicieron cinco repeticiones. Se aplicó la diferencia mínima significativa (DMS) a una $p < 0.05$. Todos los análisis estadísticos se hicieron con el programa de SAS® versión 9.4 (Fernández-Escobar, Trapero y Domínguez-Jiménez, 2018).

3.5 Resultados y discusión

3.5.1 Parámetros fisicoquímicos de aguamiel y jarabe

Los datos obtenidos de las características de pH, SST y Humedad (%) del AM y el JA se presentan en el Cuadro 5, donde se observa que no hubo diferencia entre el efecto de los tratamientos sobre estas variables respuesta. La media general en pH fue = 5.9, en SST = 12.9 °Bx y Humedad = 86.6 % para AM. En el caso de JA se obtuvo pH = 6.4, SST = 78.7 °Bx y Humedad = 13.6 %.

Potencial de Hidrógeno. El AM mostró valores de pH con una amplitud de 5.14 a 7.16 y JA de 5.16 a 8.64. Para el caso del AM los valores se encontraron dentro de lo permitido por la NMX-V-022-1972 (de 4.5 a 7.5), mientras que en el caso de JA se obtuvieron dos jarabes fuera de la NMX-FF-110-SCFI-2008 (pH de 4 a 6), los cuales corresponden a los cv. Manso y Penca Larga. Este parámetro indica la calidad y el manejo del AM (Romero-López et al., 2015). Asimismo, Moreno-

Vilet et al. (2019) encontraron alta variabilidad en el pH de las muestras de AM evaluadas (4.2-7.2) y concluyeron que no se atribuye a las diferentes especies ni diferentes cultivares. El incremento de pH en los jarabes con respecto al AM se ha atribuido a la conversión de los ácidos orgánicos en compuestos de sabor, una mayor concentración de carbonatos minerales en el jarabe o a la carga microbiana presente en el jarabe (Willems & Low, 2012). En en JA obtenido a presión atmosférica, se ha reportado abundancia de los géneros de *Acinetobacter*, *Burkholderia*, *Enterobacter*, *Escherchia-Sihigella* y *Stenotrophomonas*, además de las BAL (Figueroa et al., 2021). Por lo que es necesaria la caracterización microbiológica de los jarabes obtenidos para descartar peligros biológicos o falta de inocuidad.

Cuadro 5. Características fisicoquímicas de aguamiel y jarabe de *A. salmiana* proveniente de cinco cultivares (valores reportados en peso fresco).

Cultivar	pH	SST (° Bx)	Humedad (%)
Aguamiel			
Cimarrón	5.60 ± 0.09 ^a	13.40 ± 0.58 ^{ab}	86.36 ± 0.25 ^a
Manso	6.44 ± 0.17 ^b	12.82 ± 0.22 ^{ab}	87.01 ± 0.24 ^a
Negro	5.54 ± 0.11 ^a	13.12 ± 0.41 ^{ab}	86.59 ± 0.24 ^a
Penca larga	6.38 ± 0.16 ^b	11.26 ± 0.14 ^a	86.40 ± 0.27 ^a
Xamini	5.52 ± 0.03 ^a	13.72 ± 0.43 ^b	86.80 ± 0.25 ^a
Media general	5.90 ± 0.11	12.86 ± 0.36	86.63 ± 0.25
Jarabe de aguamiel			
Cimarrón	5.96 ± 0.16 ^{ab}	77.60 ± 0.63 ^{ab}	15.46 ± 0.76 ^a
Manso	6.96 ± 0.19 ^{bc}	76.88 ± 0.28 ^a	12.96 ± 0.81 ^a
Negro	5.86 ± 0.11 ^a	80.00 ± 0.72 ^c	13.76 ± 0.77 ^a
Penca larga	7.31 ± 0.26 ^c	79.56 ± 0.72 ^{bc}	12.87 ± 0.75 ^a
Xamini	5.75 ± 0.06 ^a	79.32 ± 0.52 ^{bc}	13.00 ± 0.74 ^a
Media general	6.37 ± 0.16	78.67 ± 0.57	13.60 ± 0.77

Los valores corresponden a la media ± error estándar de cinco repeticiones. Medias con diferente letra en la columna, tanto en aguamiel como en jarabe, son diferentes (DMS, $p < 0.05$).

SST. El promedio de valores de SST en AM y en JA cumplen con los estándares mexicanos antes mencionados y son equiparables a los reportados por Enríquez-

Salazar et al. (2017) para AM en primavera y por Willems and Low (2012) y Hernández-Ramos et al. (2020) para JA.

Humedad. El análisis de covarianza indicó que no hay diferencia significativa entre los tratamientos (cultivares). Santos-Zea et al. (2015) reportó un rango de humedad mayor (26-32 %) en JA obtenidos por evaporación de AM a presión atmosférica. La humedad es un parámetro importante de calidad en JA ya que los valores bajos inducen al proceso de cristalización de los azúcares durante el almacenamiento, por el contrario, si es alta, permiten la proliferación de microorganismos (Hernández-Ramos et al., 2020).

3.5.2 Calidad nutracéutica en aguamiel y jarabe

Compuestos fenólicos solubles totales (CFT). No se encontró diferencia significativa entre los cultivares para el contenido de los CFT de AM ni de JA (Cuadro 6), mostrando valores promedio de 20.9 mg EAG 100g⁻¹ y 144.5 mg EAG 100g⁻¹, respectivamente.

El contenido de CFT en AM es mayor que en el agua de coco verde y maduro (46 y 69 mg EAG L⁻¹ respectivamente) (Arzeta-Ríos, Guerra-Ramírez, Reyes-Trejo, Ybarra-Moncada & Zuleta-Prada, 2020) y similar con los resultados obtenidos por Tovar-Robles et al. (2011) (15.38 mg EAG 100mL⁻¹) y Hernández-Ramos (2014) (21.5-50 mg EAG 100mL⁻¹) en AM de *A. salmiana*. En este último estudio se halló diferencia significativa entre las especies y cultivares de los agaves analizados, atribuyéndolo a factores genéticos, además se observó correlación positiva entre el contenido de calcio, proteínas y el pH del AM con el contenido de CFT y una correlación negativa con el ángulo de tono (Hue). Sin embargo, se confirmó la correlación entre el pH y los CFT en el JA ($r=0.64$, $p<0.0001$).

Cuadro 6. Compuestos fenólicos totales, índice de oscurecimiento y saponinas en aguamiel y jarabe de cinco cultivares de *A. salmiana* (valores reportados en peso fresco).

Cultivar	CFT (mg EAG 100g ⁻¹)	IO (UA)	Saponinas (mg ED 100g ⁻¹)
Aguamiel			
Cimarrón	21.50 ± 1.56 ^a	0.102 ± 0.02 ^a	2330.87 ± 310.87 ^a
Manso	20.11 ± 1.67 ^a	0.137 ± 0.02 ^a	2191.95 ± 310.87 ^a
Negro	19.71 ± 1.58 ^a	0.123 ± 0.02 ^a	2810.35 ± 310.87 ^a
Penca larga	22.55 ± 1.63 ^a	0.174 ± 0.02 ^a	1927.36 ± 310.87 ^a
Xamini	20.47 ± 1.58 ^a	0.140 ± 0.02 ^a	2194.85 ± 310.87 ^a
Media general	20.87 ± 1.60	0.135 ± 0.02	2291.08 ± 310.87
Jarabe de aguamiel			
Cimarrón	166.65 ± 16.14 ^a	0.130 ± 0.04 ^a	10169.41 ± 459.2 ^a
Manso	134.00 ± 16.67 ^a	0.310 ± 0.04 ^b	13094.98 ± 474.2 ^c
Negro	148.18 ± 16.41 ^a	0.224 ± 0.04 ^{ab}	10878.28 ± 466.8 ^{ab}
Penca larga	133.36 ± 18.13 ^a	0.288 ± 0.04 ^b	12309.38 ± 515.6 ^{bc}
Xamini	140.50 ± 16.76 ^a	0.241 ± 0.04 ^b	10691.06 ± 476.8 ^{ab}
Media general	144.54 ± 16.82	0.239 ± 0.04	11428.62 ± 478.5

Los valores corresponden a la media ± error estándar de cinco repeticiones. Medias con diferente letra por columna, tanto para aguamiel como en jarabe, son diferentes (DMS, p<0.05). mg EAG 100g⁻¹ miligramos equivalentes de ácido gálico en 100 g de AM o JA, según corresponda. UA unidades de absorbancia, mg ED 100g⁻¹ miligramos equivalentes de diosgenina en 100 g de AM o JA, según corresponda.

En jarabes comerciales de *A. salmiana* se han reportado contenidos de CFT de 116.5 a 253.3 mg EAG 100g⁻¹, los cuales son altos en comparación con los encontrados en jarabes de *A. tequilana*, miel y otros endulzantes naturales (Velázquez-Ríos et al., 2019). Santos-Zea et al. (2015) reportaron un valor máximo de 114 mg EAG 100g⁻¹ en base seca de CFT en JA, el cual es menor a los reportados en este estudio. Hernández et al. (2020), reportó un promedio de 136.7 mg EAG 100g⁻¹ en el jarabe de *A. salmiana* obtenido a bajas presiones equiparable a este trabajo (144.54 mgEAG100g⁻¹ p.f.).

Índice de oscurecimiento (IO). Los cultivares no tuvieron efecto significativo sobre la manifestación del IO en AM con un promedio general de 0.135 UA (Cuadro 6). En contraste, en el JA el efecto de los tratamientos resultó significativo ($p < 0.05$), sin observar influencia de las covariables.

El oscurecimiento detectado puede deberse a un oscurecimiento enzimático ocurrido en el AM durante el almacenamiento, como ocurre en frutas y jugo de frutas por efecto de la activación de la polifenol oxidasa. Asimismo, se ha demostrado que el contacto de esta enzima con los compuestos fenólicos genera reacciones de oscurecimiento (Marszałek et al., 2018). Por lo tanto, los pigmentos detectados a 420 nm en AM no son melanoidinas sino quinonas o melaninas formadas por los procesos enzimáticos (Apodaca-Pérez et al., 2016).

En el JA, el cv. Cimarrón mostró el efecto más bajo de los cinco cultivares en el IO, en tanto que los cv. Manso, Penca Larga y Xamini mostraron el efecto más alto y significativamente iguales, con una media de 0.28 UA. Este IO indica el contenido de melanoidinas que también pudo influir en la actividad antioxidante de los JA (Tagliazucchi & Bellesia, 2015).

La presencia de melanoidinas se ha reportado en JA correlacionándola con la actividad antioxidante y se ha puesto en evidencia la dependencia entre la formación de estos compuestos y las temperaturas o el tratamiento térmico utilizado (Hernández-Ramos et al., 2020; Santos-Zea et al., 2015; Turkmen et al., 2006).

Hernández-Ramos et al. (2020) reportaron valores de 0.922 y de 1.050 UA en los jarabes obtenidos a presión reducida de *A. salmiana* y *A. mapisaga*, respectivamente, correlacionándolos con los compuestos fenólicos. Las temperaturas del procesamiento fueron de 55 a 58 °C, mientras que los jarabes obtenidos a 90-95 °C a presión atmosférica alcanzaron valores de 2.4 y 1.8 UA.

Los resultados obtenidos en el JA del presente estudio son consistentes con los previamente citados, puesto que se obtuvieron valores bajos del IO (0.238 UA en

promedio de los cinco cultivares). En la presente investigación las temperaturas de evaporación aplicadas para obtener el JA fueron menores de 44 °C lo que influyó en la baja formación de melanoidinas.

Saponinas. Los cultivares no tuvieron efecto significativo sobre la manifestación de saponinas en AM, el promedio general fue 2291 mg ED 100g⁻¹ (Cuadro 6). La cantidad de saponinas encontrada en el AM fue mayor que la reportada por Romero-López et al. (2015) en *A. atrovirens* (1170 mg ED 100g⁻¹); la especie y su grado de domesticación, el origen geográfico y la edad de la planta son factores que podrían afectar el contenido de saponinas y explicar estas diferencias en el AM (Figueredo, Casas, Martínez-Díaz, Santos-Zea & Gutiérrez-Urbe, 2018). En la presente investigación, en el JA el efecto de los tratamientos resultó significativo ($p < 0.05$), además se observó el efecto de la covariable pH ($p = 0.004$) sobre el contenido de saponinas. Los cultivares Manso y Penca Larga presentaron un efecto superior a los demás tratamientos ($p < 0.05$) sobre el contenido de saponinas en JA (Cuadro 6).

Figueredo et al. (2018) sugieren que el contenido de saponinas se relaciona con la producción de azúcares debido a que la hidrólisis de saponinas produce sapogeninas y azúcares, por lo tanto, después de la hidrólisis se debería presentar mayor contenido de azúcares y menor contenido saponinas, sin embargo, el pH puede afectar el proceso de hidrólisis. Lo cual puede explicar el mayor contenido de saponinas solo en los jarabes de mayor pH.

Santos-Zea et al. (2015) obtuvieron de 3.5 a 7.5 veces más saponinas en JA que en el AM de *A. salmiana* en estado inmaduro estudiado por Leal-Díaz et al. (2015). No obstante, ambos autores cuantificaron el contenido de saponinas por HPLC. Estos autores también indicaron que el contenido de saponinas en JA no se alteró significativamente después de 20 semanas de almacenamiento, lo que sugiere que tanto el AM como el JA pueden ser fuente de obtención de este fitoquímico con propiedades nutraceuticas a nivel industrial.

Actividad antioxidante. La actividad antioxidante medida por el ABTS^{•+} fue influida por el efecto de la covariable pH tanto del AM (p=0.0009) como del JA (p=0.008), mientras que por el método FRAP el efecto del pH solo se observó en el JA (p=0.02).

El Cuadro 7 informa que en JA el efecto de los cultivares fue igual para ABTS y FRAP, en tanto que en AM sí hubo diferencias entre los cultivares en la variable respuesta FRAP.

Cuadro 7. Actividad antioxidante en aguamiel y jarabe de cinco cultivares de *A. salmiana* (valores reportados en peso fresco).

Cultivar	ABTS ($\mu\text{M ET } 100\text{g}^{-1}$)	FRAP ($\mu\text{M ET } 100\text{g}^{-1}$)
Aguamiel		
Cimarrón	414.89 $\pm$ 21.70 ^a	63.42 $\pm$ 7.32 ^{ab}
Manso	469.60 $\pm$ 23.21 ^a	47.65 $\pm$ 7.32 ^a
Negro	456.48 $\pm$ 22.00 ^a	65.42 $\pm$ 7.32 ^{ab}
Penca larga	479.36 $\pm$ 22.78 ^a	85.24 $\pm$ 7.32 ^b
Xamini	446.23 $\pm$ 22.10 ^a	66.18 $\pm$ 7.32 ^{ab}
Media general	453.32 $\pm$ 22.36	65.58 $\pm$ 7.32
Jarabe de aguamiel		
Cimarrón	3584.34 $\pm$ 320.7 ^a	594.78 $\pm$ 52.32 ^a
Manso	4299.80 $\pm$ 331.2 ^a	516.46 $\pm$ 54.04 ^a
Negro	3913.33 $\pm$ 325.9 ^a	616.54 $\pm$ 53.18 ^a
Penca larga	3007.44 $\pm$ 360.1 ^a	581.73 $\pm$ 58.75 ^a
Xamini	3844.56 $\pm$ 332.9 ^a	582.19 $\pm$ 54.32 ^a
Media general	3729.89 $\pm$ 334.2	578.34 $\pm$ 54.52

Los valores corresponden a la media $\pm$ error estándar de cinco repeticiones. Medias con diferente letra por columna, tanto para aguamiel como en jarabe, son diferentes (DMS, p<0.05). $\mu\text{M ET } 100\text{g}^{-1}$ micro moles equivalentes de Trolox en 100 g de AM o JA, según corresponda.

La actividad antioxidante por ABTS muestra valores de 28 % al 40 % mayores en JA que en AM en peso seco (valores no reportados). Esta tendencia fue

consistente en el método FRAP mostrando una concentración de antioxidantes en JA del 28% hasta 78% más que en AM.

En el ensayo FRAP se encontraron diferencias significativas en el AM de los cv. Manso y Penca Larga, este último tuvo mayor poder reductor, pero no se observó ninguna diferencia entre los JA. La pérdida de la actividad antioxidante en el JA de Penca Larga, que se observa en el Cuadro 7, medida por el ensayo FRAP, podría ser causada por el procesamiento recibido que afectó principalmente a los CFT y a la vitamina C del AM en este cultivar, principales componentes con actividad antioxidante (Chagua-Rodríguez, Malpartida-Yapias & Ruíz-Rodríguez, 2020).

El uso de dos métodos o más para medir antioxidantes y comparar muestras en este caso de AM y JA permite identificar variaciones en la respuesta por los diferentes modos de acción de los antioxidantes. El método ABTS se caracteriza por permitir la desactivación del radical por el mecanismo de la transferencia de electrones (Moharram & Youssef, 2014); es aplicable en medios lipídicos y acuosos y el radical es estable en un amplio rango de pH (Ioannou, Chaaban, Slimane & Ghoul, 2015). El método FRAP solo mide las reacciones que siguen el mecanismo de transferencia de electrones por ello debe usarse en paralelo con otros métodos, la reacción de reducción se da en condiciones ácidas. Asimismo, los diferentes tiempos de incubación para que se lleven a cabo las reacciones y el solvente utilizado en el extracto pueden explicar las diferencias entre los métodos utilizados (Ioannou, Chaaban, Slimane & Ghoul, 2015).

En general se observan valores mayores de ABTS que de FRAP, lo que indica que el AM y el JA tienen más actividad antirradical que actividad reductora (Álvarez, Pastoriza, Alonso-Olalla, Delgado-Andrade and Rufián-Henares, 2014).

Comparando los resultados obtenidos con otros estudios, el AM de los cinco cultivares estudiados tiene de 8 a 10 veces más actividad antioxidante que el agua de coco en estado verde y maduro ($422.3 \mu\text{M ET L}^{-1}$ y $549.1 \mu\text{M ET L}^{-1}$, respectivamente) reportada por Arzeta-Ríos et al. (2020) quienes utilizaron el

método ABTS; esta comparación es importante porque el agua de coco presenta características similares al AM en cuanto a su corta vida de anaquel por el proceso de fermentación, su uso como endulzante natural al transformarla en jarabe y su valor nutricional (Asghar et al., 2020).

Tovar-Robles et al. (2011) obtuvo $1096.8 \mu\text{M ET L}^{-1}$ en AM de *A. salmiana* por el método DPPH. De forma similar, Hernández-Ramos (2014) obtuvo valores de 815 a $2576.3 \mu\text{M ET L}^{-1}$ con el mismo método. Mannozi et al. (2019, 2020) reportaron diferencias entre los métodos DPPH y ABTS, con valores mayores con ABTS, señalando que podría deberse a la mayor sensibilidad del método DPPH para la detección de algunos compuestos flavonoides, mientras que el ABTS lo es para captadores de radicales como la vitamina C.

En torno al JA, Hernández-Ramos et al. (2020) reportaron actividad antioxidante de $573 \mu\text{M ET } 100\text{g}^{-1}$ y $419 \mu\text{M ET } 100\text{g}^{-1}$ en JA de *A. salmiana* y *A. mapisaga* respectivamente, obtenidos por evaporación a bajas presiones. Dichos autores también midieron el contenido de flavonoides ($0.57 \text{ mg EQ } 100\text{g}^{-1}$ y $1.16 \text{ mg EQ } 100\text{g}^{-1}$ de jarabe de *A. salmiana* y *A. mapisaga*, respectivamente) y de ácido ascórbico ($171.6 \text{ mg EAA } 100\text{g}^{-1}$ y $108.4 \text{ mg EAA } 100\text{g}^{-1}$ de jarabe de *A. salmiana* y *A. mapisaga*, respectivamente) encontrando cantidades superiores de ácido ascórbico.

3.6 Conclusión

El pH de los jarabes de los cv. Cimarrón, Negro y Xamini se encontraron dentro de los límites permitidos por la NMX-FF-110-SCFI-2008, mientras que las de Penca Larga y Manso los superan. Estos dos últimos cultivares también presentaron el mayor contenido de saponinas y junto con el cv. Xamini presentaron mayor índice de oscurecimiento, mientras que los cv. Cimarrón y Negro presentaron el menor efecto sobre el índice de oscurecimiento.

Los cultivares de *A. salmiana* influyeron en el índice de oscurecimiento y el contenido de saponinas de los jarabes obtenidos. No se encontró diferencia

significativa en el contenido de compuestos fenólicos totales de los jarabes obtenidos de los cinco cultivares.

El aguamiel y el jarabe de los cultivares de *A. salmiana* evaluados tienen actividad antioxidante, compuestos fenólicos y saponinas en cantidades suficientes para ser fuente de nutraceuticos y considerarse alimentos funcionales.

3.7 Literatura Citada

- Álvarez, S. J., Pastoriza, R., Alonso-Olalla, C. Delgado-Andrade, C. & Rufián-Henares, J. A. (2014). Nutricional and physicochemical characteristic of comercial Sapain citrus juices. *Food Chemistry* 164: 396-405. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.05.047>
- Apodaca-Pérez, J. M., Martínez-Miranda, M. L. de la, Robles-Burgueño, M. R. del, & Rodríguez-Félix, A. (2016). Polifenoloxidasas, fenoles totales y oscurecimiento de nopal verdura. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(3), 531-543. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342016000300531&lng=es&tlng=es.
- Asghar, M. T., Yusof, Y. A., Noriznan, M., Yaacob, M. E., Mohd Ghazali, H., Chang, L. S. & Manaf, Y. N. (2020). Effect of processing method on vitamin profile, antioxidant properties and total phenolic content of coconut (*Cocos nucifera* L.) sugar syrup. *International Journal of Food Science & Technology*, 55 (7): 2762-2770. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14529>
- Arzeta-Ríos, A. J., Guerra-Ramírez, D., Reyes-Trejo, B., Ybarra-Moncada, M. C. & Zuleta-Prada. (2020). Microwave heating effect on total phenolics and antioxidant activity of green and mature coconut water. *International Journal of Food Engineering*, 16 (12): 20190378. <https://doi.org/10.1515/ijfe-2019-0378>
- Blas-Yañez, S. & Thomé-Ortiz, H. (2021). Agave pulquero (*Agave salmiana*), socio-economic and agro-ecological importance and its development perspectives: a literature review. *Ciência Rural*, 51(4). <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20200441>
- Benzie, I. F. & Strain, J. J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay. *Anal Biochem*, 239(1), 70-76. <https://doi.org/10.1006/abio.1996.0292>
- Chagua-Rodríguez, P., Malpartida-Yapias, R. J. & Ruíz-Rodríguez, A. (2020). Tiempo de pasteurización y su respuesta en las características químicas y de capacidad antioxidante de aguamiel de *Agave americana* L. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 22(1), 45-57. <https://doi.org/10.18271/ria.2020.532>
- Enríquez-Salazar, M. I., Veana, F., Aguilar, C. N., De la Garza-Rodríguez, I. M., López, M. G., Rutiaga-Quñones, O. M., Morlett-Chávez, J. A & Rodríguez-Herrera, R. (2017). Microbial diversity and biochemical profile of aguamiel collected from *Agave salmiana* and *A. atrovirens* during different seasons of year. *Food science and biotechnology*, 26(4), 1003-1011. <https://doi.org/10.1007/s10068-017-0141-z>
- Fernández-Escobar, R. Trapero-Casas, A. y Domínguez-Jiménez J. (2018). Experimentación agraria. Madrid: Ediciones Días de Santos, 2018. Disponible en: <https://books.google.com.mx/books?id=zxOgDwAAQBAJ>.
- Figueroa, L. M., Ramírez-Jiménez, A.K., Senés-Guerrero, A., Santacruz, Pacheco, A. and Gutiérrez-Urbe, J.A. (2021). Assessment of the bacterial diversity of agave sap concentrate, resistance to *in vitro* gastrointestinal conditions and short-chain fatty acids production. *Food Research*

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996920308875>.

- Figueredo, C. J., Casas, A., Martínez-Díaz, Y., Santos-Zea, L. & Gutiérrez-Urbe, J. A. (2018). Domestication and saponins contents in a gradient of management intensity of agaves: *Agave cupreata*, *A. inaequidens* and *A. hookeri* in central Mexico.
- Hernández-Ramos, L. (2014). Valor nutracéutico y nutricional de aguamiel y miel de maguey obtenida por tres metodos de deshidratación. (Tesis de Maestría, Universidad Autónoma Chapingo. México).
- Hernández-Ramos, L., García-Mateos, M. R., Ybarra-Moncada, M. C. & Colinas-León, M. T. B. (2020). Nutritional value and antioxidant activity of the maguey syrup (*Agave salmiana* and *A. mapisaga*) obtained through three treatments. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-napoca*, 48, 1306-1316. <https://doi.org/10.15835/nbha48311947>
- Hiai, S., Oura, H. & Nakajima, T. (1976). Color reaction of some sapogenins and saponins with vanillin and sulfuric acid. *Planta Medica*, 29(2), 116-122. <https://doi.org/10.1055/s-0028-1097639>
- Horwitz, W. (2000). Official methods of analysis of AOAC International. AOAC International.
- Ioannou, I. Chaaban, H., Slimane, M. & Ghoul, M. (2015). Origin of the variability of the antioxidant activity determination of food material. *Biotechnology*. DOI: 10.5772/60453
- Leal-Díaz, A. M., Santos-Zea, L., Martínez-Escobedo, H. C., Guajardo-Flores, D., Gutiérrez-Urbe, J. A. & Serna-Saldivar, S. O. (2015). Effect of *Agave americana* and *Agave salmiana* Ripeness on Saponin Content from Aguamiel (Agave Sap). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(15), 3924-3930. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b00883>
- Mannozi, C., Rompoonpol, K., Fauster, T., Tylewicz, U., Romani, S., Dalla-Rosa, M. & Jaeger, H. (2019). Influence of Pulsed Electric Field and Ohmic Heating Pretreatments on Enzyme and Antioxidant Activity of Fruit and Vegetable Juices. *Foods*, 8(7). <https://doi.org/10.3390/foods8070247>
- Mannozi, C., Tylewicz, U., Tappi, S., Dalla- Rosa, M., Rocculi, P. & Romani, S. (2020). The influence of different pre-treatment on the quality and nutritional characteristics in dried undersized yellow kiwifruit. *Applied sciences* 10 (23), 8432. <https://doi.org/10.3390/app10238432>
- Marszałek, K., Woźniak, Ł., Barba, F. J., Skapska, S., Lorenzo, J. M., Zambon, A. & Spilimbergo, S. (2018). Enzymatic, physicochemical, nutritional and phytochemical profile changes of apple (*Golden Delicious* L.) juice under supercritical carbon dioxide and long-term cold storage. *Food Chemistry*, 268, 279-286. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.06.109>
- Miller, N. J. & Rice-Evans, C. A. (1996). Spectrophotometric determination of antioxidant activity. *Redox Report*, 2(3), 161-171. <https://doi.org/10.1080/13510002.1996.11747044>
- Moharram H. A. & Youssef M. M. (2014). Methods for determinining the Antioxidant Activity: A review. *Alexandria Journal of Food Science and Technology*, 11 (1),31-42. Disponible en:

https://journals.ekb.eg/article_20251_46bd1a0433e6dc694aa7953b19fd1868.pdf

- Moreno-Vilet, L., González-Olivares, L. G., Pérez-Vargas, I., Camacho-Ruiz, R. M., Andrade-González, I. & Villanueva-Rodríguez, S. J. (2019). Physicochemical characterization and carbohydrate profile of maguey syrup and aguamiel from the state of Hidalgo. In A. Gutiérrez-Mora (Ed.), *Sustainable and integrated use of agave*, 1, 68-108. AGARED.
- Norma Mexicana NMX-FF-110-SCFI-2008 Productos Alimenticios – Jarabe de Agave. Especificaciones y Métodos de prueba., (2008). https://kupdf.net/download/nmx-ff-110-scfi-2008_58d09f4edc0d607520c34614_pdf#
- Norma Mexicana. NMX-V-022-1972. Aguamiel. (1972). SCFI. SECRETARIA DE COMERCIO Y FOMENTO INDUSTRIAL. Dirección General de Normas. <https://media.gotomexico.today/reglament/nmx-v-022-1972.pdf>
- Ortiz-Basurto, R. I., Pourcelly, G., Doco, T., Williams, P., Dornier, M. & Belleville, M. P. (2008). Analysis of the main components of the aguamiel produced by the maguey-pulquero (*Agave mapisaga*) throughout the harvest period. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(10), 3682-3687. <https://doi.org/10.1021/jf072767h>
- Romero-López, M. R., Osorio-Díaz, P., Flores-Morales, A., Robledo, N. & Mora-Escobedo, R. (2015). Chemical composition, antioxidant capacity and prebiotic effect of aguamiel (*Agave atrovirens*) during in vitro fermentation. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 14, 281-292.
- Romero-López, M. R., Mora-Escobedo, R., Perea-Flores, M. J. y Flores-Morales, A. (2016). Efecto antiinflamatorio del aguamiel (*Agave atrovirens*) en un modelo murino de úlcera gástrica inducida. *Revista de Ingeniería y Tecnologías para el desarrollo sustentable*, 1, 24-27.
- Santos-Zea, L., Leal Díaz, A., Cortes-Ceballos, E. & Gutiérrez-Urbe, J. (2012). Agave (*Agave* spp.) and its Traditional Products as a Source of Bioactive Compounds. *Current Bioactive Compounds*, 8, 218-231. <https://doi.org/10.2174/157340712802762410>
- Santos-Zea, L., Leal-Díaz, A. M., Jacobo-Velázquez, D. A., Rodríguez-Rodríguez, J., García-Lara, S., Gutiérrez-Urbe, J. A. (2015). Characterization of concentrated agave saps and storage effects on browning, antioxidant capacity and amino acid content. *Journal of Food Composition and Analysis*, 45, 113-120. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jfca.2015.10.005>
- Singleton, V. L. & Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16(3), 144. <http://www.ajeonline.org/content/16/3/144.abstract>
- Tagliazucchi, D. & Bellesia, A. (2015). The gastro-intestinal tract as the major site of biological action of dietary melanoidins. *Amino Acids*, 47(6), 1077-1089. <https://doi.org/10.1007/s00726-015-1951-z>
- Tovar-Robles, C. L., Perales-Segovia, C., Cedillo, A. N., Valera-Montero, L. L., Gómez-Leyva, J. F., Guevara-Lara, F., Hernández-Duque, J. L. M. & Silos-Espino, H. (2011). Effect of aguamiel (agave sap) on hematic biometry in

- rabbis and its antioxidant activity determination. *Italian journal of animal science*, 10(2), e21. <https://doi.org/10.4081/ijas.2011.e21>
- Turkmen, N., Sari, F., Poyrazoglu, E. S. & Velioglu, Y. S. (2006). Effects of prolonged heating on antioxidant activity and colour of honey. *Food Chemistry*, 95(4), 653-657. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.02.004>
- U.S. Food & Drug Administration. (April, 2020). Code of Federal Regulations Title 21, Vol 2. Part 114, Subpart E. Sec. 114.90. Consulta en línea: <https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcfr/CFRSearch.cfm?fr=114.90> (Consultado el 6 de febrero de 2021).
- Velázquez-Ríos, I. O., González-García, G., Mellado-Mojica, E., Veloz-García, R. A., Dzul-Cauich, J. G., López, M. G. & García-Vieyra, M. I. (2019). Phytochemical profiles and classification of Agave syrups using ¹H-NMR and chemometrics. *Food science & nutrition*, 7(1), 3-13. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6341176/>
- Villarreal-Morales, S. L., Muñiz-Márquez, D. B., Michel-Michel, M., González-Montemayor, Á.-M., Escobedo-García, S., Salas-Tovar, J. A., Flores-Gallegos, A. C. & Rodríguez-Herrera, R. (2019). 7 - Aguamiel a Fresh Beverage from Agave spp. Sap with Functional Properties. In A. M. Grumezescu & A. M. Holban (Eds.), *Natural Beverages* (pp. 179-208). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816689-5.00007-9>
- Willems, J. L. & Low, N. H. (2012). Major Carbohydrate, Polyol, and Oligosaccharide Profiles of Agave Syrup. Application of this Data to Authenticity Analysis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(35), 8745-8754. <https://doi.org/10.1021/jf3027342>

4 FRUCTOOLIGOSACÁRIDOS DE AGUAMIEL Y JARABE OBTENIDO DE CINCO CULTIVARES DE *Agave salmiana* FRUCTOOLYGOSACCHARIDES OF AGUAMIEL AND SYRUP OBTAINED FROM FIVE CULTIVARS OF *Agave salmiana*

4.1 Resumen

El perfil de carbohidratos permite diferenciar entre jarabe industrializado obtenido de agaves azules o de agaves pulqueros e indica su calidad y autenticidad. Por otro lado, el procesamiento a bajas presiones y los cultivares de una misma especie podrían afectar el perfil de carbohidratos del aguamiel (AM) y por tanto del jarabe de aguamiel (JA). El objetivo de esta investigación fue conocer el contenido de carbohidratos en el AM y en el JA obtenido a baja presión, de cinco cultivares de *A. salmiana*, para identificar perfiles diferenciales y su calidad nutricional. Se hizo un análisis de covarianza bajo un diseño en bloques completos al azar, las covariables fueron el pH y los sólidos solubles totales (SST), los bloques los días de recolección del AM, los tratamientos los cultivares de *A. salmiana* (Cimarrón, Penca Larga, Xamini, Manso y Negro) y la unidad experimental 400 mL de AM de cada cultivar para análisis y 400 mL para obtener los JA. Tanto en AM como en JA, se cuantificaron azúcares reductores directos (ARD), azúcares totales (AT), sacarosa, azúcares solubles totales (AST) y contenido de inulina; los FOS se determinaron por cromatografía en capa fina (CCF). El AM de los cv. Cimarrón y Negro tuvo mayor contenido de ARD y el de Penca Larga y Xamini presentaron menor contenido de azúcares totales respecto a los otros cultivares. El AM de los cinco cultivares tuvo en promedio 1.8 % de sacarosa y 5.4 % de inulina. En los JA se obtuvo 15 % de ARD, 26 % de inulina y 23 % de sacarosa en promedio y se observó la presencia de 1-kestosa. Se encontró bajo contenido de azúcares totales en los JA obtenidos. La presencia de FOS e inulina evidenció la calidad nutricional de los AM y JA obtenidos de los cinco cultivares.

Palabras clave: *Agave salmiana*, azúcares reductores, 1-kestosa, inulina, baja presión.

Tesis de Maestría en Ciencias en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria, Posgrado en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria, Universidad Autónoma Chapingo

Autor: Maricela Rojo Burgos

Director de Tesis: José Joel Enrique Corrales García

4.2 Abstract

The carbohydrate profile allows differentiation between industrialized syrup obtained from blue agaves or pulque agaves and indicates their quality and authenticity. On the other hand, the processing at low pressure and the cultivars of the same species could affect the carbohydrate profile in aguamiel (AM) and therefore of the aguamiel syrup (JA). The objective of this research was to know the carbohydrate content in the AM and JA obtained at low pressure, from five cultivars of *A. salmiana*, to identify differential profiles and their nutritional quality. An analysis of covariance was performed under a randomized complete blocks design, the covariates were pH and total soluble solids (TSS), the blocks were the days of AM collection, the treatments were the *A. salmiana* cultivars (Cimarron, Manso, Negro, Penca Larga y Xamini) and the experimental unit was 400 mL of AM of each cultivar for analysis and 400 mL to obtain the JA. In both, AM and JA, direct reducing sugars (DRS), total reducing sugars (TRS), sucrose, total soluble sugars (TS) and inulin content were quantified; FOS were determined by thin layer chromatography. The AM of cv. Cimarron and Negro had higher DRS content and that of Penca Larga and Xamini presented lower total sugars content with respect to the other cultivars. The AM of the five cultivars had an average of 1.8% sucrose and 5.4% inulin. In JA, 15% TRS, 26% inulin and 23% sucrose were obtained on average and the presence of 1-kestose was observed. Low content of total sugars was found in the JA obtained. The presence of FOOS and inulin evidenced the nutritional quality of AM and JA obtained from the five cultivars.

Key words: 1-Kestose, inulin, reducing sugars, low pressure.

4.3 Introducción

Los carbohidratos de las plantas de agave son utilizados para su desarrollo vegetativo en los primeros 5 años, después se acumulan en el tallo y una vez alcanzada la madurez de la planta, los fructanos hidrolizados y los carbohidratos solubles se consignan para la formación y aparición de la estructura floral, evento con alta demanda energética, después de la cual las plantas mueren. El metabolismo de los fructanos en agaves se ha relacionado con su tolerancia a la sequía, dándole una ventaja de desarrollo a la planta en condiciones climáticas adversas (Espinosa-Andrews et al., 2021; López & Mancilla-Margalli, 2007).

Los fructanos son el principal componente de los carbohidratos contenidos en los agaves, representando más del 60 % de los carbohidratos solubles en agua (López et al., 2017). El agave junto a la achicoria y la alcachofa Jerusalén constituyen los tres principales cultivos usados industrialmente para la obtención de inulina (Sosa-Herrera & Delgado-Reyes, 2017).

El valor de los agaves se estima en función de los fructanos y contenido de azúcares reductores almacenados en su tallo o piña; sin embargo, esto depende de factores abióticos como el clima, suelo, y la altitud a la que se encuentran las plantas, así como de la especie (López & Mancilla-Margalli, 2007).

Los fructanos son polímeros con grado de polimerización de más de 10 hasta 260, mientras que los FOS son compuestos de bajo grado de polimerización de la fructosa ($DP \leq 10$) (Benkeblia, 2013). La inulina es un ejemplo de fructano y 1-kestosa, nistosa y 1-fructofuranosilnistosa son FOS comúnmente encontrados en las especies de agave (López et al., 2017).

Los fructanos y FOS son considerados fibras solubles y prebióticos además de tener otros usos en la industria de alimentos como edulcorantes, modificadores de textura o sustitutos de grasa. El aguamiel (AM) y el concentrado de aguamiel o jarabe de aguamiel (JA) constituyen una fuente natural de FOS y fructanos, compuestos que les atribuyen importantes beneficios para la salud humana (López et al., 2017; Sosa-Herrera & Delgado-Reyes, 2017).

Willems and Low, 2012 señalan que el perfil de oligosacáridos depende del método de procesamiento del jarabe. Dichos autores encontraron un rango de SST de 74.6 a 77.5 °Bx, en 19 muestras de jarabe de agave analizadas, el rango de pH fue de 4.18 a 6.0, el contenido de fructosa estuvo entre 71.9 % y 92.1 %, seguido de la glucosa con rango de 4.73 % a 15.06 %.

Muñiz-Márquez et al. (2015) observaron cambios en el perfil de azúcares del AM de *A. salmiana* sometida a 121 °C por 15 minutos. El tratamiento térmico influyó en el contenido de azúcares reductores observándose un aumento de estos con el tratamiento (47.25 g L⁻¹ y 32.33 g L⁻¹ en AM con y sin tratamiento, respectivamente). Asimismo, el contenido de sacarosa en el AM no tratada fue de 1.66 g L⁻¹ y aumentó a 41.39 g L⁻¹ en AM con tratamiento térmico.

Por otra parte, González-Montemayor et al. (2020) analizaron el efecto de la temperatura en JA de *A. salmiana* y *A. atrovirens*, los principales efectos observados fueron cambios en color. A menor temperatura se encontraron los JA más oscuros debido al mayor tiempo de procesamiento que permitió la formación de los productos de la reacción de Maillard. A temperatura de 95 °C, se encontró el mayor contenido de 5-Hidroximetilfurfural (HMF), haciendo evidente el efecto indeseable del tratamiento térmico. En cuanto al perfil de carbohidratos, la glucosa, fructosa y sacarosa fueron los principales, pero también encontraron FOS, aunque en menor proporción que lo reportado en AM. A menor temperatura (70 °C) se observó mayor cantidad de sacarosa y menor contenido de 1-fructofuranosilnístosa en los JA obtenidos.

El objetivo de este trabajo fue conocer el contenido de carbohidratos en el AM y en el JA de cinco cultivares de *A. salmiana* para identificar perfiles diferenciales con potencial para su aprovechamiento agroindustrial y su calidad nutricional.

4.4 Materiales y métodos

4.4.1 Obtención de aguamiel

Durante cinco días se recolectó 1 L de AM de los cultivares Cimarrón, Penca Larga y Xamini en la comunidad Durango Daboxtha, Cardonal, Hidalgo (20°32'29.1"N, 99°04'24.1"W); y en la comunidad de Belem, Otumba, Estado de México (19°37'42.7"N, 98°47'33.4"W), se recolectó AM de los cv. Manso y Negro. Las muestras se mantuvieron en hielo para su traslado al laboratorio a temperaturas de refrigeración, donde se midió el pH y los SST, posteriormente se dividieron en botellas de PET de 500 mL y se congelaron a -18 °C hasta su procesamiento en JA y posterior análisis.

4.4.2 Obtención de jarabe de aguamiel

Para obtener el JA se descongeló medio litro de AM a temperatura ambiente, se midieron pH y SST y se colocaron 400 mL en un rotaevaporador Laborta 4003 Control (Heidolph, Germany) para su evaporación. La presión de evaporación se programó en 73 ± 3 mbar, pero al finalizar el proceso disminuyó hasta 59 ± 2 mbar. La temperatura para el proceso de evaporación se programó en 40 ± 3 °C la cual se alcanzó después de 5 min de iniciar el proceso y al finalizar el proceso disminuyó hasta 35 ± 2 °C. La temperatura en el baño de agua al inicio del proceso fue de 60 °C y durante el proceso se mantuvo de 70 a 75 °C hasta finalizar. El matraz de evaporación se mantuvo girando después de los primeros 5 min de 200 a 250 rpm hasta finalizar el proceso. El tiempo del proceso de evaporación fue de 28 ± 2 min.

4.4.3 Azúcares reductores directos (ARD)

Los ARD se determinaron según la metodología de Lane-Eynon con la modificación de Soxhlet (AOAC 923.09) (Horwitz, 2000). Se diluyeron 10 mL para el caso de AM y 2 g en el de JA en 50 mL de agua destilada y se clarificaron con 50 mL de crema de alumbre; la mezcla se dejó en reposo por 18 h a temperatura ambiente y posteriormente se filtró con papel filtro y se aforó a 100 mL. El filtrado

se colocó en una bureta de 25 mL para la titulación por triplicado con la solución de Fehling.

4.4.4 Azúcares totales (AT)

Los AT se midieron por el método de Lane-Eynon con la modificación de Soxhlet (AOAC 923.09) (Horwitz, 2000). La hidrólisis ácida de 50 mL del extracto de AM o JA clarificado se hizo con ácido clorhídrico concentrado (36.5-38 %) a 65 °C por 15 min, neutralizando inmediatamente con NaOH al 40 %. La titulación se hizo por triplicado. El contenido de sacarosa se calculó por diferencia de ART y ARD.

4.4.5 Azúcares solubles totales (AST)

Los AST se determinaron por el método de antrona descrito por Witham, Blaydes and Devlin (1971) con algunas modificaciones. Se obtuvieron extractos de AM (concentración de 0.04 mL mL⁻¹) y de JA (concentración de 0.005 g mL⁻¹) con etanol al 70 %. Los extractos se mantuvieron en baño de agua por 2 min a temperatura de ebullición, posteriormente se enfriaron, filtraron y aforaron con etanol acuoso para mantener la misma concentración. Se evaporó 1 mL de los extractos en baño de agua a punto de ebullición, el residuo se diluyó con agua destilada y se aforó a 50 mL. Se mezcló 0.5 mL de la dilución con 1 mL de agua destilada en tubos de ensayo y con una bureta se añadieron 3 mL de antrona (Merck 1.01468.0010, USA) al 4 % en ácido sulfúrico, manteniendo los tubos en agua fría por 5 min. Los tubos se agitaron con un vórtex y se pusieron a ebullición por 3 min en baño de agua, inmediatamente se pasaron a un baño de agua fría para bajar su temperatura y medir la absorbancia ($\lambda = 620$ nm) a temperatura ambiente en espectrofotómetro UV-Vis DR 5000 (HACH, Germany). La concentración de azúcares se estimó con una curva patrón de fructosa (Merck k38435307 840, Germany) (0-100 μ g mL⁻¹). Los análisis se hicieron por duplicado, expresando los datos como % de fructosa.

4.4.6 Inulina

La inulina se cuantificó según el método descrito por Anan'ina et al. (2009) con algunas modificaciones. Se prepararon extractos de AM y de JA con agua destilada (concentración de 0.01 g mL⁻¹ y 0.001 g mL⁻¹, respectivamente). Los extractos se mantuvieron en baño de agua a 85 °C por 30 min. Se aforó 1 mL de los extractos con HCL (5 % v/v) a 25 mL en matraces de aforo. Los matraces se mantuvieron en baño de agua caliente (85 °C) por 2.5 h, posteriormente se enfriaron a temperatura ambiente (~22 °C), se volvieron a aforar con HCL (5 %) y se midió la densidad óptica a 285 nm con un espectrofotómetro (Genesys 10s, Thermo Scientific, USA). El contenido de inulina se calculó como % de fructosa con la siguiente ecuación:

$$X = \frac{D \cdot 100 \cdot 25}{298 \cdot m \cdot 1} \quad \text{Ecuación (4)}$$

Donde X es el contenido de inulina en %, D es la densidad óptica a 285 nm, 298 es el índice específico de absorción del producto de transformación de la fructosa tras la hidrólisis ácida y m es el peso de la muestra en gramos.

4.4.7 Fructooligosacáridos (FOS)

Se usó el método de cromatografía en capa fina (CCF) para la determinación cualitativa de los FOS en AM y JA de acuerdo con Lingyun et al. (2007). Se colocó 1 µL de extracto acuoso de AM, JA y estándares analíticos de D-glucosa (Sigma-Aldrich 47249, USA), sacarosa (Sigma-Aldrich PHR1001, USA), 1-kestosa (Sigma-Aldrich 72555, USA), nistosa (Sigma-Aldrich 56218, USA), D-Fructosa grado HPLC (Sigma 47739, USA) e inulina de achicoria (Sigma I2255, USA) en una cromatoplaqueta de gel de sílice con soporte de aluminio (Merck 1.05554.0001, Germany). La placa se colocó en una cámara de elución por 12 h, el eluyente fue una mezcla de n-butanol-isopropanol-ácido acético-agua (7:5:4:2). Posteriormente, la placa se roció con el revelador de anilina - difenilamina - ácido fosfórico - acetona (1:1:5:50) y se calentó a 85 °C por 10 min para visualizar los azúcares.

4.4.8 Planeación experimental

Se aplicó un análisis de covarianza bajo a un diseño en bloques completos al azar (Fernández-Escobar, Trapero-Casas y Domínguez-Jiménez, 2018), los tratamientos fueron los cultivares de *A. salmiana* Cimarrón, Manso, Negro, Penca Larga y Xamini, las covariables fueron pH y SST y el factor de bloqueo fueron los días de recolección.

El modelo lineal del diseño es: $Y_{ij} = \mu + \beta_i + T_j + \gamma X_{ij} + e_{ij}$

Donde:

Y_{ij} = valor de la variable respuesta obtenido en el j-ésimo tratamiento ubicado en el i-ésimo bloque.

μ = efecto medio general.

β_i = efecto del i-ésimo bloque.

T_j = efecto del j-ésimo tratamiento.

γ = coeficiente de covarianza.

X_{ij} = valor de la covariable obtenido en el j-ésimo tratamiento ubicado en el i-ésimo bloque.

e_{ij} = término de error aleatorio, con distribución normal, independientes, media 0 y varianza δ^2 .

Las variables respuesta medidas fueron el contenido de ARD, ART, AST, sacarosa e inulina y la unidad experimental fue de 400 mL para los análisis en AM y 400 mL de AM para la obtención del JA, de cada cultivar. Se aplicó la diferencia mínima significativa (DMS) a $p < 0.05$. Todos los análisis estadísticos se hicieron con el programa de SAS® versión 9.4 (Fernández-Escobar, Trapero-Casas y Domínguez-Jiménez, 2018).

4.5 Resultados y discusión

4.5.1 Azúcares reductores directos (ARD)

El Cuadro 8 muestra los resultados obtenidos de los azúcares en AM y JA. Los cultivares analizados mostraron diferencias significativas en el contenido de ARD

del AM ($p < 0.05$). Se observa que el efecto de los cv. Cimarrón y Negro sobre contenido de ARD fue igual, sin embargo, el AM del cv. Cimarrón registró valores significativamente superiores a los cv. Manso, Penca Larga y Xamini, los cuales tuvieron las concentraciones más bajas, esto puede ser debido a la influencia de las covariables de pH y SST que fueron significativas ($p < 0.05$), además de que las condiciones abióticas influyeron en las diferencias encontradas (López & Mancilla-Margalli, 2007; Muñiz-Márquez et al., 2015).

Muñiz-Márquez et al. (2015) reportaron valores de 3.23 y 4.73 % de ARD en AM de *A. salmiana* no tratada y tratada térmicamente respectivamente. Por su parte, Hernández-Ramos (2014) obtuvo un rango de 0.8 a 7.6 % en el AM de *A. salmiana* recolectada de diferentes sitios; estos datos son equiparables a los obtenidos en el presente estudio. Hernández-Ramos (2014) también encontró diferencias significativas entre los cultivares respecto a los ARD y ART del AM y atribuyó esta diferencia al tiempo que los productores dejan entre la etapa del corte de la yema apical floral del maguey y la primera extracción del AM.

Enríquez-Salazar et al. (2017) también indican que la edad del maguey y la época o estación del año en que se colecte el AM influyen en el contenido de estos azúcares.

Bautista y Arias (2008) reportan ARD en *A. americana* de 0.97 %, empleando el método volumétrico, valor inferior al obtenido para *A. salmiana* en este estudio. Por el contrario, Chagua-Rodríguez et al. (2020) reportaron 11.4 % de azúcares reductores en AM de *A. americana*, determinados espectrofotométricamente, lo cual es superior a los resultados de este estudio en *A. salmiana*. Es probable que el método usado para la cuantificación de estos azúcares haya influido en estas diferencias.

No se observó ninguna diferencia en los ARD de los JA, registrando un contenido medio de 15.4 %.

El contenido de ARD en el JA tuvo menor proporción en comparación con la sacarosa, la cual aumentó de 8.6 a 23.8 veces en el JA, Saputro, Van de Walle and Dewettinck (2019) indican que usando la evaporación al vacío se puede reducir la inversión de la sacarosa y consecuentemente se presentan mayores cantidades de sacarosa que de azúcares reductores en el jarabe de palma de azúcar, lo cual también se observó en el JA.

Cuadro 8. Contenido de azúcares reductores, totales y sacarosa en aguamiel y jarabe de cinco cultivares de *A.salmiana* (valores en peso fresco).

Cultivar	ARD (%)	*ART (%)	Sacarosa (%)	~AST (%)
Aguamiel				
Cimarrón	4.96 ± 0.37 ^a	6.49 ± 0.56 ^{ab}	1.46 ± 0.58 ^a	7.12 ± 0.56 ^a
Manso	3.13 ± 0.37 ^c	5.65 ± 0.56 ^{abc}	2.40 ± 0.58 ^a	5.90 ± 0.56 ^{ab}
Negro	4.28 ± 0.37 ^{ab}	6.69 ± 0.56 ^a	2.39 ± 0.58 ^a	6.25 ± 0.56 ^{ab}
Penca Larga	3.12 ± 0.37 ^c	4.15 ± 0.56 ^c	0.99 ± 0.58 ^a	4.17 ± 0.56 ^c
Xamini	3.37 ± 0.37 ^{bc}	4.93 ± 0.56 ^{bc}	1.49 ± 0.58 ^a	5.58 ± 0.56 ^{abc}
Media general	3.77 ± 0.37	5.58 ± 0.56	1.74 ± 0.58	5.80 ± 0.56
Jarabe de aguamiel				
Cimarrón	21.94 ± 3.0 ^a	50.29 ± 2.5 ^a	26.93 ± 4.0 ^a	37.6 ± 2.15 ^c
Manso	12.50 ± 3.0 ^a	40.87 ± 2.5 ^b	26.95 ± 4.0 ^a	43.1 ± 2.15 ^{bc}
Negro	18.30 ± 3.0 ^a	40.04 ± 2.5 ^b	20.70 ± 4.0 ^a	49.8 ± 2.15 ^a
Penca Larga	9.45 ± 3.0 ^a	34.00 ± 2.5 ^{bc}	23.33 ± 4.0 ^a	44.7 ± 2.15 ^{ab}
Xamini	14.70 ± 3.0 ^a	30.77 ± 2.5 ^c	15.28 ± 4.0 ^a	48.1 ± 2.15 ^{ab}
Media general	15.36 ± 3.0	39.19 ± 2.5	22.64 ± 4.0	44.67 ± 2.15

Los valores corresponden a la media ± error estándar de cinco repeticiones. Medias con diferente letra en columna tanto para aguamiel como jarabe, son diferentes (DMS, p< 0.05). * Método Lane-Eynon con la modificación de Soxhlet. ~ Método de antrona.

Hernández-Ramos et al. (2020) reportaron una mayor proporción de ARD respecto a la sacarosa en JA de *A. salmiana* y una proporción inversa en JA de *A. mapisaga*. El contenido de ARD en el JA para ambas especies fue mayor, a lo reportado en este estudio, debido principalmente a las condiciones del proceso

de obtención de los JA que derivó en la mayor proporción de sacarosa que azúcares reductores en el JA (Saputro et al., 2019).

Por otro lado, las altas temperaturas por tiempos cortos favorecen a la formación de ARD por la presencia de inulinasa e invertasa que degradan a los oligómeros presentes sin formar dímeros (González-Montemayor et al., 2020). Sin embargo, Muñiz-Márquez et al. (2015) observaron en AM de *A. salmiana*, tratada térmicamente a 121 °C por 15 min, el aumento de la sacarosa en más de veinte veces. Los autores señalan que la hidrólisis de oligómeros y polímeros presentes en el aguamiel está relacionada con este aumento de sacarosa. Mellado-Mojica and López (2015) también identificaron mayor proporción de sacarosa respecto a los ARD al comparar endulzantes naturales.

El contenido de sacarosa en AM y JA no fue significativamente diferente ($p < 0.05$) entre los cultivares (Cuadro 8). El promedio de sacarosa en AM fue de 1.74 % y en JA fue de 22.6 %.

4.5.2 Azúcares totales (AT)

Los cultivares tuvieron un efecto significativo en el contenido de azúcares totales por el método de Lane-Eynon (AT). En la determinación de azúcares totales por este método, se encontró que el AM de los cv. Cimarrón y Negro registraron el mayor contenido de azúcares y Manso, Penca Larga y Xamini el menor contenido (Cuadro 8).

En AM el contenido de AT fue bajo en comparación con lo reportado por Bautista y Arias (2008) (9.1 %) y Hernández-Ramos (2014) (8.4 a 11.9 %), quienes usaron este mismo método.

En JA, el cv. Cimarrón registró el contenido más alto de AT y los cv. Penca Larga y Xamini el menor contenido. Hernández-Ramos et al. (2020) reportaron mayor contenido de AT que los obtenidos en este estudio, en jarabes obtenidos a baja presión (157 mbar, 55-58 °C). Registrando un promedio de 54 % en jarabes de *A. salmiana* y 69 % en jarabes de *A. mapisaga*.

Las diferencias encontradas en los JA no se deben solo a los cultivares, sino que hay otros factores que influyen en el perfil de carbohidratos, como las condiciones del procesamiento térmico (pH y temperatura) o el método de producción (González-Montemayor et al., 2020), así como la especie y otros factores abióticos.

4.5.3 Azúcares solubles totales (AST)

Los cultivares tuvieron un efecto sobre el contenido de azúcares totales por el método de antrona (AST). El AM del cv Cimarrón presentó un contenido de azúcares totales significativamente mayor al cv. Penca Larga. Muñiz-Márquez et al. (2015) reportaron un contenido de azúcares totales por este mismo método de 10.3 % en AM de *A. salmiana*, el cual es mayor al obtenido en este estudio. El origen geográfico o factores abióticos diferentes pueden explicar estas diferencias (López- Mancilla-Margalli, 2007).

Se encontró que los JA cv. Negro, Penca Larga y Xamini fueron significativamente superiores a los de Cimarrón y Manso en el contenido de AST.

El método de antrona (AST) en general permitió la cuantificación de más azúcares que el método de Lane-Eynon (AT), excepto para el JA del cv. Cimarrón, el cual se caracterizó por el menor contenido de sólidos solubles totales (SST) respecto a los otros jarabes (valores no reportados), este factor pudo haber influido también en el menor contenido de AST.

En el caso del JA, la hidrólisis de los carbohidratos complejos que contiene el AM depende de la acidez, la temperatura y el tiempo del procesamiento. Si la temperatura en el procesamiento es baja, como ocurrió en este caso, los polisacáridos no se degradan o se degradan poco y si es muy alta ocurre la caramelización, el contenido de azúcares totales será bajo en cualquier caso (Chagua-Rodríguez et al., 2020).

4.5.4 Inulina

El efecto de los cultivares estudiados no resultó significativo sobre el contenido de inulina, tanto en AM como en JA con un contenido promedio de 5.42 % y 25.99 %, respectivamente (Cuadro 9). El contenido de inulina fue afectado por la covariable de SST en el AM ($p=0.027$), los SST se correlacionaron con el contenido de inulina del AM, sin embargo, esta correlación fue baja ($r=0.411$). En el JA las covariables no tuvieron ninguna influencia.

Cuadro 9. Contenido de inulina en aguamiel y jarabe obtenido de cinco cultivares de *A. salmiana* (valores en peso fresco).

	Cultivar	Inulina (%)
Aguamiel	Cimarrón	5.97 ± 0.6^a
	Manso	4.91 ± 0.6^a
	Negro	6.08 ± 2.3^a
	Penca Larga	5.28 ± 0.4^a
	Xamini	4.48 ± 1.2^a
Media general		5.42 ± 1.02
Jarabe de aguamiel	Cimarrón	26.33 ± 2.6^a
	Manso	20.87 ± 2.6^a
	Negro	26.95 ± 2.6^a
	Penca Larga	23.40 ± 2.6^a
	Xamini	32.40 ± 2.6^a
Media general		25.99 ± 2.6

Los valores corresponden a la media $\pm$ error estándar de cinco repeticiones. Medias con diferente letra en columna tanto para aguamiel como jarabe, son diferentes (DMS, $p < 0.05$).

La investigación sobre inulina de agave se ha enfocado a la extracción, producción o uso de este fructano; esto también fue observado por Godínez-Hernández, Aguirre-Rivera, Juárez-Flores, Ortiz-Pérez and Becerra-Jiménez (2016). Estos autores cuantificaron los fructanos (inulina) del tallo de *A. salmiana* por HPLC y los compararon con otras fuentes de inulina encontrando mayor contenido de fructanos (20.4-21.8 % en peso fresco) en comparación con

Helianthus tuberosus y *Cichorium intybus* (16-20 % y 15-20 %, respectivamente). En peso seco, el contenido de fructanos del *A. salmiana* fue de 75.8-82.9 %, cantidad mayor a la reportada para *C. intybus* (70 %) y *A. angustifolia* subsp. *tequilana* (60 %), por lo que *A. salmiana* es una buena fuente de fructanos y puede usarse a nivel industrial.

Ramírez-Higuera (2010) encontró un contenido de inulina en AM de *A. salmiana* de 15.68 g L⁻¹ por HPLC, este valor es inferior al obtenido por el método espectrofotométrico utilizado en este estudio, las diferencias pueden ser debidas principalmente al método utilizado y al origen geográfico del agave (López & Mancilla-Margalli, 2007). Rivera-Espejel et al. (2019) que usaron el mismo método espectrofotométrico en raíces de dalias silvestres, obtuvieron valores de inulina de 55 a 72.25 % en peso seco, mientras que en este estudio fueron de 34.82-46.09 % en AM, 24.54-36.94 % en JA en peso seco.

La media general de inulina en peso seco del JA fue de 30.12 % mientras que en AM fue de 41.11%, lo cual indica que durante el proceso de obtención del JA, bajo las condiciones descritas en la metodología, hubo hidrólisis de la inulina que dio lugar a la formación de sacarosa como lo indicaron Muñiz-Márquez et al., 2015.

4.5.5 Fructooligosacáridos

En la Figura 11 se presentan los azúcares identificados en el AM y en JA de los cinco cultivares de *A. salmiana* por CCF. Las muestras de JA estaban más diluidas que las muestras de AM por lo que en la figura se observan perfiles más tenues indicando las menores cantidades de azúcares en la muestra.

La CCF reveló que el AM contenía glucosa, fructosa y sacarosa como principales azúcares, pero también tenían 1-kestosa, nistosa e inulina. En el Cuadro 10 se presentan los factores de retención (FR) de los azúcares en AM y en el Cuadro 11 los FR del JA.

Las muestras de AM tuvieron mayor contenido de fructosa que de glucosa excepto en el AM del cv. Negro que parece tener mayor contenido de glucosa que los demás, según la tonalidad de los colores y el tamaño de las marcas.

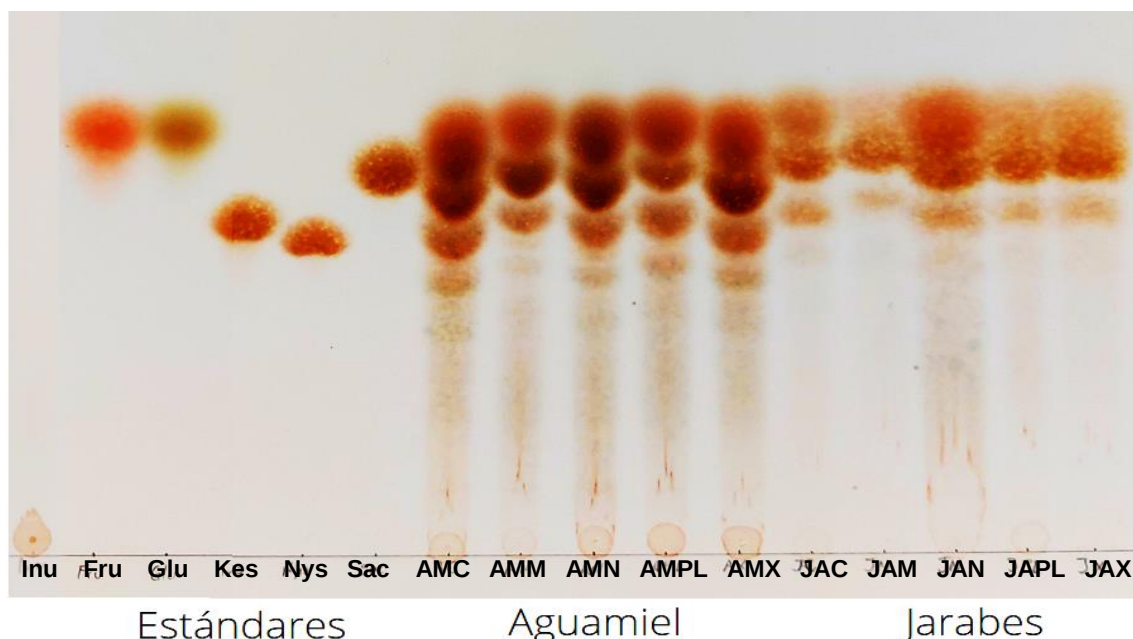


Figura 11. Cromatografía en capa fina de fructooligosacáridos, inulina y azúcares en aguamiel y jarabes. Inu: inulina, Fru: Fructosa, Glu: glucosa, Kes: 1-kestosa, Nys: nistosa, Sac: sacarosa, AMC: AM cv Cimarrón, AMM: AM cv. Manso, AMN: AM cv Negro, AMPL: AM cv. Penca Larga, AMX: AM cv Xamini, JAC: JA cv. Cimarrón, JAM: JA cv. Manso, JAN: JA cv. Negro, JAPL: JA cv Penca Larga, JAX: JA cv. Xamini.

Cuadro 10. Factores de retención de azúcares identificados en aguamiel por CCF.

Factores de retención de estándares				Factores de retención en muestras de AM				
Abreviación	Carbohidrato	DP	FR	AMC	AMM	AMN	AMPL	AMX
Fru	Fructosa	1	0.47	0.46	0.47	0.47	0.47	0.47
Glu	Glucosa	1	0.47	0.45	0.47	0.47	0.47	0.47
Sac	Sacarosa	2	0.43	0.41	0.43	0.42	0.43	0.42
Kes	1-Kestosa	3	0.37	0.36	0.37	0.36	0.37	0.37
Nys	Nistosa	4	0.35		0.36	0.35	0.35	
Inu	Inulina	>10	0	0	0	0	0	0
	Otro	ni	ni	0.31		0.31	0.32	0.31

DP: grado de polimerización, AMC: AM del cv. Cimarrón, AMM: AM del cv. Manso, AMN: AM del cv. Negro, AMPL: AM del cv. Penca Larga, AMX: AM del cv. Xamini, ni: no identificado.

También se observó menor contenido de sacarosa en el AM de Penca Larga, sin embargo, esta diferencia no fue significativa de acuerdo con los datos cuantitativos presentados en el Cuadro 8.

El AM del cv. Manso tuvo menor contenido de 1-kestosa. No se encontró nistosa en el AM de Penca Larga ni de Xamini, pero parece haber indicios de este FOS en el AM de los cv. Manso, Negro y Penca Larga. Otro FOS, no identificado por falta de estándar, se hizo presente en FR de 0.30-0.32 en todos los AM, el cual podría ser 1-fructofuranosilnistosa, que como han reportado Enríquez-Salazar et al. (2017) se encuentra en AM colectada en primavera. Los autores también indicaron la presencia de nistosa en AM colectada en invierno. Peralta-García, González-Muñoz, Rodríguez-Alegría, Sánchez-Flores and López Munguía (2020) encontraron que el perfil de FOS en el AM cambia entre plantas dependiendo su fase de producción.

Peralta-García et al. (2020) indican que los FOS son liberados del tallo o cajete mediante el raspado, por lo que hay una cantidad considerable de fructanos en este material que se desecha dos veces al día. Los FOS se diluyen en el AM cuyo componente principal es la sacarosa (al inicio del ciclo de producción del maguey); también encontraron que nuevos FOS son sintetizados por bacterias del género *Leuconostoc* y *Zymomonas* presentes en el AM inmediatamente después del raspado, las cuales tienen gran influencia en el proceso de fermentación. Para este estudio el AM se recolectó en el mes de marzo, de magueyes con 2 y 3 meses de producción, por lo que se observó bajo contenido de sacarosa en el AM (Cuadro 8).

En todos los JA se encontró 1-kestosa (Figura 11 y Cuadro 11) pero no se detectó inulina por la mayor dilución de la muestra, sin embargo, si se cuantificó.

Por el tamaño, intensidad y color de las marcas en la CCF se observó que el JA del cv. Manso tuvo mayor proporción de sacarosa que de fructosa. El JA del cv. Negro tuvo mayor contenido de azúcares totales seguido del JA de Cimarrón. Los

jarabes de Penca Larga y Xamini tuvieron un perfil muy similar como también se observó en el Cuadro 8 con los resultados de AT y AST.

Cuadro 11. Factores de retención de los azúcares identificados en jarabe de aguamiel por CCF.

Factores de retención de estándares				Factores de retención en muestras de JA				
Abreviación	Carbohidrato	DP	FR	JAC	JAM	JAN	JAPL	JAX
Fru	Fructosa	1	0.47	0.47	0.47	0.47	0.46	0.46
Glu	Glucosa	1	0.47	0.47		0.47	0.46	0.46
Sac	Sacarosa	2	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43
Kes	1-Kestosa	3	0.37	0.37	0.38	0.37	0.37	0.37
Nys	Nistosa	4	0.35					
Inu	Inulina	>10	0			0	0	

FR: factor de retención, DP: grado de polimerización, JAC: JA del cv. Cimarrón, JAM: JA del cv. Manso, JAN: JA del cv. Negro, JAPL: JA del cv. Penca larga, JAX: JA del cv. Xamini.

Los FOS e inulina detectados en el AM y en JA son de gran importancia nutricional, ya que están reconocidos como ingredientes funcionales por su función prebiótica y otros beneficios para la salud (Sosa-Herrera & Delgado-Reyes, 2017; Peralta-García, et al., 2020).

4.6 Conclusión

Los cultivares influyeron en el perfil de carbohidratos del aguamiel recolectado. El aguamiel de los cultivares Cimarrón y Negro tuvieron mayor contenido de azúcares reductores directos, respecto a las demás cultivares. Los aguamieles de los cv. Penca Larga y Xamini presentaron menor contenido de azúcares totales.

La calidad nutricional del aguamiel se evidenció por la presencia de los FOS 1-kestosa y nistosa, del fructano inulina, así como de los azúcares reductores fructosa y glucosa.

Todos los aguamieles obtenidos tuvieron mayor proporción de ARD que sacarosa, mientras que en los jarabes se observó mayor proporción de sacarosa.

Los jarabes obtenidos a baja presión y temperatura tuvieron bajo contenido de azúcares totales respecto a lo reportado en jarabes obtenidos por otros métodos de evaporación. Sin embargo, las cantidades de inulina obtenidas y la presencia del FOS 1-kestosa evidencian su calidad nutricional.

4.7 Literatura Citada

- Anan'ina, N. A., Andreeva, O. A., Mycots, L. P. & Oganessian, E. T. (2009). Standardization of inulin extracted from Dahlia single tubers and some physicochemical properties of inulin. *Pharmaceutical Chemistry Journal*, 43(3), 157-159. <https://doi.org/10.1007/s11094-009-0261-8>
- Bautista, D. N. y Arias, A. G. C. (2008). Estudio químico bromatológico de aguamiel de *Agave americana* L. (Maguey). *Ciencia e investigación*, 11, 46-51. <https://doi.org/https://doi.org/10.15381/ci.v11i2.461>
- Benkeblia, N. (2013). Fructooligosaccharides and fructans analysis in plants and food crops. *Journal of Chromatography A*, 1313, 54-61. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.chroma.2013.08.013>
- Chagua-Rodríguez, P., Malpartida-Yapias, R. J. & Ruíz-Rodríguez, A. (2020). Tiempo de pasteurización y su respuesta en las características químicas y de capacidad antioxidante de aguamiel de *Agave americana* L. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 22(1), 45-57. <https://doi.org/10.18271/ria.2020.532>
- Enríquez-Salazar, M. I., Veana, F., Aguilar, C. N., De la Garza-Rodríguez, I. M., López, M. G., Rutiaga-Quñones, O. M., Morlett-Chávez, J. A & Rodríguez-Herrera, R. (2017). Microbial diversity and biochemical profile of aguamiel collected from *Agave salmiana* and *A. atrovirens* during different seasons of year. *Food science and biotechnology*, 26(4), 1003-1011. <https://doi.org/10.1007/s10068-017-0141-z>
- Espinosa-Andrews, H., Urías-Silvas, J. E. & Morales-Hernández, N. (2021). The role of agave fructans in health and food applications: A review. *Trends in food science & technology*, 114, 585-598. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.06.022>
- Fernández-Escobar, R. Trapero-Casas, A. y Domínguez-Jiménez J. (2018). Experimentación agraria. Madrid: Ediciones Días de Santos, 2018. Disponible en: <https://books.google.com.mx/books?id=zxOgDwAAQBAJ>.
- González-Montemayor, Á.-M., Flores-Gallegos, A. C., Serrato-Villegas, L. E., Ruelas-Chacón, X., López, M. G. & Rodríguez-Herrera, R. (2020). Processing temperature effect on the chemical content of concentrated aguamiel syrups obtained from two different Agave species. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 14(3), 1733-1743. <https://doi.org/10.1007/s11694-020-00421-4>
- Godínez-Hernández, C. I., Aguirre-Rivera, J. R., Juárez-Flores, B. I., Ortiz-Pérez, M. D. & Becerra-Jiménez, J. (2016). Extraction and characterization of *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck fructans. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, XXII(1), 59-72. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62943324004> (IN FILE)
- Hernández-Ramos, L. (2014). Valor nutracéutico y nutricional de aguamiel y miel de maguey obtenida por tres métodos de deshidratación. (Tesis de Maestría, Universidad Autónoma Chapingo. México).
- Hernández-Ramos, L., García-Mateos, M. R., Ybarra-Moncada, M. C. & Colinas-León, M. T. B. (2020). Nutritional value and antioxidant activity of the maguey syrup (*Agave salmiana* and *A. mapisaga*) obtained through three

- treatments. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-napoca*, 48, 1306-1316. <https://doi.org/10.15835/nbha48311947>
- Horwitz, W. (2000). Official methods of analysis of AOAC International. AOAC International.
- Lingyun, W., Jianhua, W., Xiaodong, Z., Da, T., Yalin, Y., Chenggang, C., Tianhua, F. & Fan, Z. (2007). Studies on the extracting technical conditions of inulin from Jerusalem artichoke tubers. *Journal of Food Engineering*, 79(3), 1087-1093. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.03.028>
- López, M. G. & Mancilla-Margalli, N. A. (2007). The nature of fructooligosaccharides in agave plants. *Recent Advances in Fructooligosaccharides Research*, 47-67. https://www.researchgate.net/publication/286685949_The_nature_of_fructooligosaccharides_in_agave_plants
- López, M. G., Camacho-Ruiz, R. M., González-Avila, M., Mellado-Mojica, E., Moreno-Vilet, L. Gutiérrez-Hernández, C. I., Aguirre-Rivera, J. R., ... & Ortiz-Basurto, R. I. (2017). Fructanos de agave: Actualidad y perspectivas. In A. C. Gschaedler M. (Ed.), *Panorama del aprovechamiento de los agaves en México*, Primera Edición, 1, 71-120. AGARED.
- Mellado-Mojica, E. & López, M. G. (2015). Identification, classification, and discrimination of agave syrups from natural sweeteners by infrared spectroscopy and HPAEC-PAD. *Food Chemistry*, 167, 349-357. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.06.111>
- Muñiz-Márquez, D. B., Contreras, J. C., Rodríguez, R., Mussatto, S. I., Wong-Paz, J. E., Teixeira, J. A. & Aguilar, C. N. (2015). Influence of thermal effect on sugars composition of Mexican Agave syrup. *CyTA - Journal of Food*, 13(4), 607-612. <https://doi.org/10.1080/19476337.2015.1028452>
- Peralta-García, I., González-Muñoz, F., Rodríguez-Alegría, M. E., Sánchez-Flores, A. & López Munguía, A. (2020). Evolution of Fructans in Aguamiel (Agave Sap) During the Plant Production Lifetime. *Frontiers in nutrition*, 7, 566950-566950. <https://doi.org/10.3389/fnut.2020.566950>
- Ramírez-Higuera, A. (2010). Evaluación del efecto prebiótico del aguamiel de maguey (*Agave salmiana*) en *Lactobacillus delbruckii* subsp. *bulgaricus*. (Tesis de maestría, Instituto Politécnico Nacional. México). <http://tesis.ipn.mx/handle/123456789/10612>
- Rivera-Espejel, E., A. , Cruz-Alvarez, O., Mejía-Muñoz, J., M. , García-Mateos, M., R., Colinas-León, M., T. B. & Martínez-Damián, M. T. (2019). Physicochemical Quality, Antioxidant Capacity and Nutritional Value in Tuberous Roots of Some Wild Dahlia Species. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-napoca*, 47(3). <https://doi.org/10.15835/nbha47311552>
- Saputro, A. D. Van de Walle, D. & Dewettinck, K. Palm sap sugar: A review. (2019). *Sugar Tech*, 21, 862-867. <https://doi.org/10.1007/s12355-019-00743-8>
- Sosa-Herrera, M. & Delgado-Reyes, V. (2017). Propiedades funcionales y aplicaciones tecnológicas de fructanos. In book: Propiedades funcionales de hoy (pp. 97-116). <https://doi.org/10.3926/oms.357>

- Willems, J. L. & Low, N. H. (2012). Major Carbohydrate, Polyol, and Oligosaccharide Profiles of Agave Syrup. Application of this Data to Authenticity Analysis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(35), 8745-8754. <https://doi.org/10.1021/jf3027342>
- Witham, F. H., Blaydes, D. F. & Devlin, R. M. 1971. *Experiments in plant physiology*. New York, USA: Van Nostrand Reinhold Company.

5 CONCLUSIONES GENRALES

Los cultivares de *A. salmiana* tuvieron efecto sobre el índice de oscurecimiento, contenido de saponinas, azúcares reductores totales y azúcares solubles totales de los jarabes obtenidos a baja presión y temperatura. El pH como covariable influyó significativamente en los compuestos fenólicos totales, la actividad antioxidante (ABTS y FRAP) y las saponinas, por otro lado, los sólidos solubles totales tuvieron efecto significativo en la humedad de los jarabes.

El jarabe del cv. Cimarrón presentó el menor índice de oscurecimiento, menor contenido de saponinas y azúcares solubles totales. El mayor índice de oscurecimiento se presentó en los jarabes de los cv. Manso, Penca Larga y Xamini. El jarabe del cv. Negro presentó el contenido más alto de azúcares solubles totales. El jarabe del cv. Manso tuvo el mayor contenido de saponinas junto con el cv. Penca Larga, sin embargo, presentaron pH mayor al máximo permitido en el estándar mexicano de jarabe de agave.

Los jarabes de aguamiel obtenidos presentaron alta actividad antioxidante con promedio de 3730 $\mu\text{M ET } 100\text{g}^{-1}$, alto contenido de saponinas (11,429 mg ED 100g^{-1}), el contenido de compuestos fenólicos totales en promedio de los cinco cultivares fue de 144.5 mg EAG 100g^{-1} , con 26 % de inulina. Se caracterizaron por su bajo contenido de azúcares totales con mayor proporción de sacarosa que de azúcares reductores y bajo índice de oscurecimiento. Asimismo, se observó la presencia de 1-kestosa en todos los jarabes, fructooligosacárido de importancia nutricional e ingrediente común de los alimentos funcionales.

El proceso de evaporación a baja presión del aguamiel de los cultivares Cimarrón, Manso, Negro, Penca Larga y Xamini permitió la obtención de jarabes con la preservación de fitoquímicos de carácter funcional de los aguamieles que revelan la alta calidad nutracéutica de los jarabes.