



COLEGIO DE POSTGRADUADOS
INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS VERACRUZ
POSTGRADO EN AGROECOSISTEMAS TROPICALES

CARACTERIZACIÓN DE JUGO DE SÁBILA (*Aloe vera* (L.) Burm.)
FRESCO Y PROCESADO EN DOS ÉPOCAS DE COSECHA

TANIA ISABEL VIDAÑA REYES

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS

TEPETATES, MANLIO FABIO ALTAMIRANO, VERACRUZ, MÉXICO.

2020

La presente tesis, titulada: **Caracterización de jugo de sábila (*Aloe vera* (L.) Burm.) fresco y procesado en dos épocas de cosecha**, realizada por la alumna: **Tania Isabel Vidaña Reyes**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS EN
AGROECOSISTEMAS TROPICALES

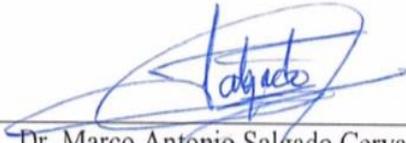
CONSEJO PARTICULAR

Consejera: 

Dra. Rosa Isela Castillo Zamudio

Asesora: 

Dra. Alejandra Soto Estrada

Asesor: 

Dr. Marco Antonio Salgado Cervantes

Asesor: 

Dr. Fredy Morales Trejo

Tepetates. Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, México, 26 de Mayo del 2020

CARACTERIZACIÓN DE JUGO DE SÁBILA (*Aloe vera* (L.) Burm. f.)

FRESCO Y PROCESADO EN DOS ÉPOCAS DE COSECHA

Tania Isabel Vidaña Reyes, MC.

Colegio de Postgraduados, 2020

La demanda de productos a base de sábila ha ido en aumento debido al contenido de compuestos bioactivos a los cuáles se le atribuyen características funcionales. En la región del Sotavento, del estado de Veracruz la sábila se cultiva en temporada de lluvias y de sequía. El procesamiento de la hoja incluye métodos convencionales de conservación y se comercializan a nivel local y nacional. El objetivo fue caracterizar el jugo de sábila procesado con tres métodos de conservación: pasteurización, doble congelación y ultrasonido, obtenido en dos épocas de cosecha. Se usó el jugo fresco como referencia. Las variables analizadas en los jugos fueron: compuestos bioactivos (concentración de acemananos, compuestos fenólicos totales, residuos insolubles en alcohol y contenido de aloína), actividad antioxidante y las características fisicoquímicas (°Brix, acidez, pH, turbidez y parámetros de color). Se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) en el contenido de compuestos bioactivos, actividad antioxidante y características fisicoquímicas del jugo de sábila en función de la época de cosecha de la hoja y del método de conservación. Se concluye que los jugos conservados con doble congelación mantuvieron una concentración alta de acemananos, lo que garantiza la presencia de compuestos bioactivos en los jugos elaborados de forma artesanal.

Palabras clave: sábila, sequía, métodos de conservación, acemanano, aloína

CHARACTERIZATION OF FRESH AND PROCESSED ALOE VERA JUICE

(Aloe vera (L.) Burm. f.) IN TWO HARVEST TIMES

Tania Isabel Vidaña Reyes, MC.

Colegio de Postgraduados, 2020

The demand for aloe-based products has been increasing due to the content of bioactive compounds for which functional characteristics are attributed. In the Sotavento region, in Veracruz state, aloe is cultivated in rainy and drought season. The life is processed using traditionally conservation methods and is marketed locally and nationally. The objective was to characterize the aloe juice processed with three conservation methods: pasteurization, double freezing and ultrasound, obtained in two harvest times. Fresh juice was used as a reference sample. The variable analyzed were: the bioactive compounds (acemannan concentrations, total phenolic compounds, alcohol insoluble residues and aloin content), antioxidant activity and the physicochemical characteristics ($^{\circ}$ Brix, acidity, pH, turbidity and color parameters). Significant ($p < 0.05$) differences in the content of bioactive compounds, antioxidant activity and physicochemical characteristics in aloe juice were recorded, depending on the harvest times of the leaf and the preservation method. The double freezing preservation method, maintained a high concentration of acemannan, which guarantees the presence of bioactive compounds in the juices using traditional methods.

Key words: Aloe, dry season, conservation methods, acemannan, aloin

DEDICATORIAS

La Tesis la dedico a **DIOS**, por prestarme la vida y regalarme una hermosa familia.

Y con mucho cariño:

A Mis Padres: Quienes han estado a mi lado en todo momento, me permitieron estudiar una carrera y que día a día me animan con su ejemplo para no rendirme nunca.

A Mis Hermanos, Nena y Bily: Por ser quienes me han alegrado la vida con su llegada y son la mayor motivación para ser una mejor persona y profesionalista cada día.

A Tulio: Porque no solo ha sido ese abrazo incondicional, sino también ese apoyo constante.

A mi Abuelita Malenita: Porque sé que en cada oración que realiza pone mi vida en las manos de Dios.

A la Familia Reyes-Fernández: Por darme ánimos siempre que lo necesito, hacerme sentir parte de ustedes y creer en mí.

AGRADECIMIENTOS

Al Colegio de Postgraduados, especialmente a Campus Veracruz y sus catedráticos, por darme la oportunidad de realizar mis estudios de Maestría en Ciencias en Agroecosistemas Tropicales.

Al consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el financiamiento para poder realizar los estudios de Maestría en Ciencias.

A los miembros del Consejo Particular: Dra. Rosa Isela Castillo Zamudio, Dra. Alejandra Soto Estrada, Dr. Fredy Morales Trejo y Dr. Marco Antonio Salgado Cervantes por su orientación, aportes y guía en esta investigación.

Al laboratorio de Ingeniería de Alimentos de la UNIDA-ITV por abrirme las puertas de sus laboratorios y aulas, permitiéndome tomar cursos, seminarios y ocupar un lugar como una más de sus estudiantes.

Al Instituto Tecnológico de Tepic, principalmente al Laboratorio Integral en Ingeniería en Alimentos (LIIA), a la Dra. Rosa Isela Ortiz Basurto, a los doctores Isaacs, Adriana, a la maestra Adilene y a la residente Hermilia, por permitirme realizar la estancia de investigación y el desinteresado apoyo en el aprendizaje de técnicas, manejo de equipo y la obtención de resultados relevantes de la presente Tesis.

Al Laboratorio de Geomática del CP-Campus Veracruz, principalmente al maestro Juan Acosta, por su valiosa aportación en la elaboración del mapa del área de estudio.

Al Dr. Pablo Díaz por compartir sus conocimientos de estadística y ayudarme en el análisis de las variables estudiadas.

A la química Nora por siempre tener la disposición de auxiliarme en cada técnica realizada.

A mi madre por estar en los periodos de cosecha de sábila y procesarla junto a mí.

A don Alberto, productor de sábila, quien contribuyó con la materia prima usada en la investigación.

A mis compañeros de Generación Primavera-2018: por su compañerismo y amistad durante el periodo de estudio de la Maestría. Compartir con ellos en aulas, hicieron mejores las clases.

A mis amigos que siempre tuvieron una palabra de aliento durante este proceso: Abigail, Alan Jair, Abimael, Charito, Gloria, Alejandro, René, Orlando y Diana.

CONTENIDO

	Página
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1 Concepto de agroecosistema.....	4
2.1.1 El Agroecosistema con sábila.....	5
2.2 Generalidades de la sábila.....	6
2.2.1 Producción de sábila.....	7
2.2.2 Requerimientos climáticos y edáficos de la planta.....	8
2.2.3 Estructura y composición química de la sábila.....	9
2.3 Relación entre las características de sábila y la disponibilidad de agua.....	10
2.4 Procesos de conservación de los alimentos.....	11
2.4.1 Pasteurización.....	13
2.4.1.1 Efecto de la pasteurización en características de jugos.....	14
2.4.2 Congelación.....	16
2.4.2.1 Efecto de la congelación en jugos.....	17
2.4.3 Ultrasonido.....	17
2.4.3.1 Efecto de los ultrasonidos en alimentos.....	18
2.5 Presencia de compuestos bioactivos y actividad antioxidante en bebidas funcionales.....	20
2.6 Síntesis de la revisión de literatura.....	22
3. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA.....	23
3.1 Problema de investigación.....	24
4. HIPÓTESIS GENERAL.....	24

4.1	Hipótesis particulares.....	25
5.	OBJETIVO GENERAL.....	25
5.1	Objetivos específicos	25
6.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	26
6.1.	Área de estudio	26
6.2.	Materia prima y extracción de jugo	27
6.3.	Procesamiento del jugo	29
6.4.	Determinación de compuestos bioactivos y actividad antioxidante de los jugos de sábila.....	30
6.4.1.	Acemananos.....	30
6.4.2.	Compuestos fenólicos totales.....	31
6.4.3.	Residuos insolubles en alcohol	31
6.4.4.	Aloína.....	32
6.4.5.	Actividad antioxidante	33
6.5.	Caracterización fisicoquímica de los jugos de sábila.....	33
6.6.	Diseño experimental y análisis estadístico	35
7.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	35
7.1	Compuestos bioactivos y actividad antioxidante del jugo de sábila.....	36
7.1.1	Efecto de la época de cosecha sobre el contenido de compuestos bioactivos y actividad antioxidante.....	37
7.1.2	Efecto del método de conservación sobre el contenido de compuestos bioactivos y actividad antioxidante del jugo de sábila	39
7.1.3	Determinación de aloína	46
7.2	Caracterización fisicoquímica del jugo de sábila.....	49
7.2.1	Caracterización fisicoquímica de jugo de sábila con respecto a la época de cosecha	51
7.2.2	Caracterización fisicoquímica de jugo de sábila con respecto al método de conservación	54

7.2.3	Parámetros de color en los jugos de sábila en función de la época de cosecha y método de conservación.....	62
9.	RECOMENDACIONES.....	68
10.	LITERATURA CITADA.....	68
	Anexo 1. Curva de calibración para la determinación de acemananos con β -Glucano	82
	Anexo 2. Curva de calibración de compuestos fenólicos totales con ácido gálico.....	83
	Anexo3: Curva de calibración para la determinación de residuos insolubles en alcohol y azúcares totales con glucosa.....	84
	Anexo4: Curva de calibración para la determinación de aloína y ejemplo de un cromatograma con el estándar de aloína 10 $\mu\text{g/mL}$	85
	Anexo5: Curva de calibración para la determinación de actividad antioxidante.	86

LISTA DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Estados productores de sábila, superficie sembrada, superficie cosechada y volumen producido.....	8
Cuadro 2. Métodos de conservación a través de la historia.....	12
Cuadro3. Gradiente de fase móvil para determinación de aloína	32
Cuadro4. Metodologías empleadas para analizar variables fisicoquímicas.....	33
Cuadro5. Tratamientos de la investigación	35
Cuadro 6. Análisis de varianza de las variables medidas en el jugo de sábila bajo diferentes épocas de cosecha y métodos de conservación.	36
Cuadro 7. Concentración de compuestos bioactivos y actividad antioxidante en el jugo de sábila con respecto a la época de cosecha	38
Cuadro 8. Concentración de compuestos bioactivos y actividad antioxidante en los jugos frescos y tratados bajo diferentes métodos de conservación.	41
Cuadro 9. Concentración de compuestos bioactivos y actividad antioxidante presentes en el jugo de sábila en cada tratamiento analizado (interacción época de cosecha*método de conservación)	45
Cuadro 10. Cuadro comparativo de estudios de aloína en distintos tipos de muestras, método de análisis y concentración de aloína.	49
Cuadro 11. Análisis de varianza de las variables fisicoquímicas analizadas en jugos de sábila obtenidos en función de la época de cosecha y los métodos de conservación.....	50
Cuadro 12. Variables fisicoquímicas analizadas en jugos de sábila, con respecto a la época de cosecha. 52	
Cuadro 13. Valores de las variables fisicoquímicas obtenidos en el jugo de sábila en cada método de conservación	56
Cuadro 14. Variables fisicoquímicas en jugos de sábila en cada tratamiento evaluado (época de cosecha*método de conservación).....	58

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Esquema de un agroecosistema con sábila. Las secciones resaltadas en rojo señalan los factores del agroecosistema considerados en la presente investigación de Tesis.....	6
Figura 2. Ubicación geográfica de la parcela donde se obtuvieron las hojas de sábila.	26
Figura3. Diagrama de la metodología de la investigación.....	28
Figura 4. Concentración de aloína en jugos de sábila($\mu\text{g/mL}$), en función de las épocas de cosecha, del método de conservación y de la interacción de tratamientos. Las letras sobre las barras representan medias estadísticamente iguales con la prueba T ($p<0-05$).	47
Figura 5. Valores de color (L^* , a^* y b^*) de jugos de sábila con respecto al método de conservación y a la interacción de tratamientos.	64

1. INTRODUCCIÓN

La sábila (*Aloe vera* L.), también conocido como *Aloe barbadensis* Mill., es una planta xerofítica oriunda de la región noroccidental de África. Pertenece a la familia *Aloaceae* y al género *Aloe*, el cual abarca aproximadamente 350 especies distribuidas en regiones áridas y semiáridas de todo el mundo (Albornoz e Imery, 2003). La sábila tiene amplios usos en la industria alimentaria, farmacéutica y cosmética (Calzada y Pedroza, 2005; Piña-Zambrano, 2005; Ibargüen *et al.*, 2015; Bonilla y Jiménez, 2016). La parte que más se usa de esta planta es la pulpa o tejido parenquimático (gel), debido a sus propiedades funcionales, antioxidantes y terapéuticas (Domínguez-Fernández *et al.*, 2012).

Las propiedades que se le atribuyen a la planta son: desinfectante (García *et al.*, 2001; Pareek *et al.*, 2013), antiviral (Castellanos *et al.*, 2001; Zandi *et al.*, 2007; Kim *et al.*, 2016), antibacterial (Lawrence *et al.*, 2009; Tippayawat *et al.*, 2016), laxante (Hamman, 2008; Ashafa *et al.*, 2011), antiinflamatoria (García *et al.*, 2001; Ferraro, 2009) e inmunoestimuladora (Molero-Paredes y Mato, 2008). Se destaca su actividad contra enfermedades de la piel, como dermatitis, psoriasis y contra los daños de la irradiación solar, además de las afecciones en los ojos. También, ayuda en los desórdenes intestinales, tales como estreñimiento atribuyéndole acción antidisentérica, antihemorroidal, cicatrizante, laxante y coletérica (Dagne *et al.*, 2000; Vega *et al.*, 2005).

La sábila se caracteriza principalmente por la presencia de compuestos de gran poder antioxidante: los compuestos fenólicos, principalmente cromonas y antraquinonas (Vega *et al.*, 2005) y polisacáridos como el acemanano (Dagne *et al.*, 2000; Vega *et al.*, 2005; Drago *et al.*, 2006; Izaguirre-Silva *et al.*, 2013). Las propiedades antivirales, antimicrobianas y desinfectantes de la sábila son adjudicadas a sus polisacáridos.

El principal polisacárido es el acemanano, polímero bioactivo de la sábila y cuya presencia aumenta la resistencia inmunológica del cuerpo humano contra parásitos, virus y bacterias causantes de enfermedades (Zacatecas-Ibañez *et al.*, 2016).

Estudios demuestran que la concentración de azúcares presente en las hojas de sábila no varía con las épocas de cosecha (Van Wyk *et al.*, 1995; Rodríguez-García *et al.*, 2007, Silva *et al.*, 2010; Franco-Salazar *et al.*, 2012; Franco-Salazar *et al.*, 2014). Sin embargo, otros compuestos como clorofila, aloína, proteínas y prolina (aminoácido regulador de múltiples procesos bioquímicos y fisiológicos en las células), aumentan con mayor disponibilidad de agua (Delatorre-Herrera *et al.*, 2010). Por tanto, es sustancial considerar otros criterios de calidad del gel que indiquen si la disponibilidad de agua (de lluvia o riego) afecta a sus componentes.

La sábila es una de las materias primas de gran demanda en los mercados nacionales y extranjeros por su uso en las industrias de cosméticos, farmacéuticos y de alimentos (Izaguirre-Silva *et al.*, 2013). El aprovechamiento adecuado de la planta, está asociado a los métodos de conservación de los productos obtenidos a partir del gel y la estabilización de sus componentes bioactivos y microestructura (Alvarado-González *et al.*, 2012).

Una alternativa de procesamiento de la sábila es la elaboración de bebidas funcionales, ya que esta posee compuestos que, por su ingesta, ayudan y/o fortalecen ciertos órganos y funciones en el organismo. Por ello, la importancia de analizar si los compuestos bioactivos que pueden aportar características funcionales en la sábila se mantienen tras procesos de transformación y conservación del gel.

Las técnicas de conservación del gel son: a) pasteurización, que es un método convencional usado en la elaboración de jugos y que contribuye al aumento de la vida útil del alimento (Villareal *et al.*, 2013); b) doble congelación, técnica cuya finalidad es de romper las células y estructura del parénquima debido a la formación continua de cristales de gran tamaño y aportar características particulares en el jugo de sábila. Este método es usado de forma artesanal por los productores y pequeños procesadores de sábila de la región del sotavento en el estado de Veracruz; y c) aplicación de ultrasonido de potencia, tecnología emergente usada en la industria alimentaria para desestabilizar las estructuras del alimento, romper células y coadyuvar a la extracción de compuestos de interés; este método puede llegar a inactivar microorganismos y enzimas causantes del deterioro de alimentos que, en muchos casos, son los responsables de la modificación no solo física, sino también química de compuestos de interés (Robles-Ozuna y Ochoa-Martínez, 2012).

El objetivo de la presente investigación fue caracterizar el jugo de sábila procesado con tres tecnologías de conservación (pasteurización, doble congelación y ultrasonido), obtenido en dos épocas de cosecha. Esta investigación se desarrolla en el seno de la Línea de Generación y/o Aplicación del Conocimiento (LGAC) Cadenas agroalimentarias y agroindustriales del trópico (CAAT), pues se centra en evaluar propuestas acordes a la situación actual, en una región del trópico, para generar valor y conocimiento pertinente en el ámbito de la cadena de sábila y la optimización de procesos.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Concepto de agroecosistema

El agroecosistema es concebido como un ecosistema modificado por el hombre que interactúa con factores socioeconómicos y tecnológicos para la utilización de los recursos naturales con fines de producción para la obtención de alimento y servicios en beneficio del hombre (Vilaboa -Arroniz *et al.*, 2009).

Platas-Rosado *et al.* (2017) retoman la definición de Rogers (1962) y definieron el concepto de agroecosistema como una abstracción de la realidad para el análisis del proceso de producción primaria mediante el cual, el hombre se apropia de la naturaleza y la modifica de acuerdo a sus intereses productivos, de acuerdo a los componentes social, económico y cultural; por tanto, estos componentes pueden influir en la adopción y utilización de tecnología en cada agroecosistema.

En el contexto de la presente Tesis, el agroecosistema se describe como la unidad más pequeña de estudio de la actividad agrícola, visto desde un enfoque agroecológico y sistémico. Donde un sistema abierto tiene entradas (insumos) y salidas (productos) que pueden ser materiales, energía (incluye el trabajo humano), información o dinero y está compuesto por un conjunto de condiciones físicas y biológicas que interactúan entre sí, teniendo al ser humano como un sistema de conciencia, mismo que controla y toma decisiones de acuerdo con el contexto socioeconómico, sus motivaciones, necesidades, aspiraciones y posibilidades económicas, sociales, culturales y políticas. Se desarrolla en un lugar geográfico definido, bajo un contexto histórico. Su fin es la obtención de productos agrícolas para alimentación y beneficio del hombre, usando conocimientos tradicionales,

teóricos y tecnológicos que posibilitan el uso adecuado de los recursos, además busca la sustentabilidad basándose en principios de la agroecología.

El agroecosistema es parte de un supra sistema donde existen normatividades, políticas, cuestiones éticas, culturales y económicas que permitan tener una interacción benéfica para el agroecosistema (Gliessman, 2001; Morales-Morales *et al.*, 2004; Sarandón y Flores, 2009; Pérez y Marasas, 2013).

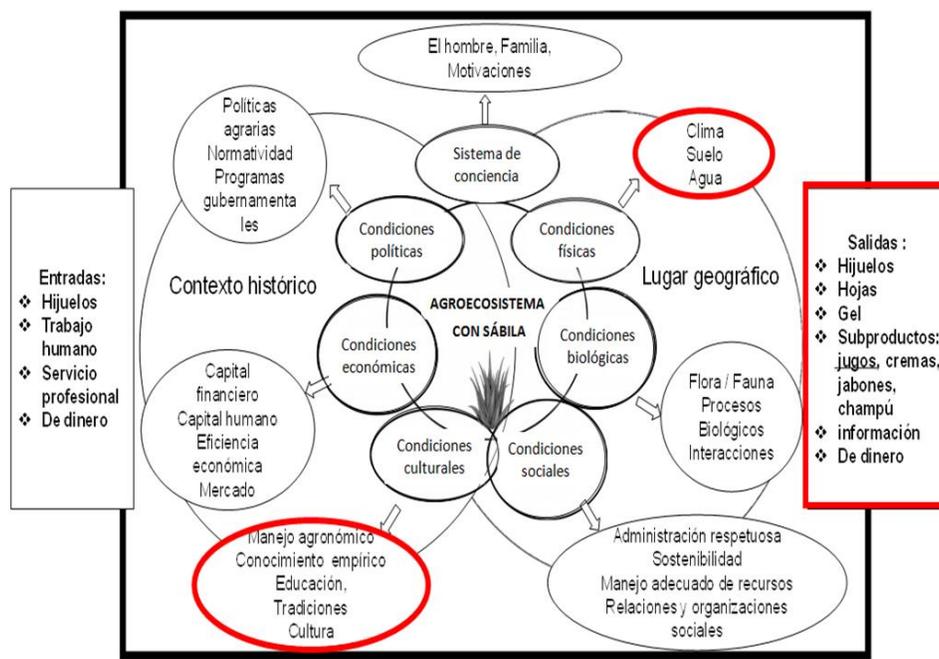
2.1.1 El Agroecosistema con sábila

Es importante en el estudio de los agroecosistemas obtener información para la generación de valor y optimización de los procesos agroalimentarios y agroindustriales que permitan concebir propuestas tecnológicas y estudios especializados sobre distintos eslabones y actores de la cadena para mejorar su eficiencia.

El agroecosistema del cultivo de *Aloe Barbadensis* Miller (Figura 1). Es visto como sistema abierto, que posee entradas (insumos, hijuelos, etc.) y salidas, donde una salida importante en este caso son las hojas (pencas) de sábila listas para comercializar y usar como materia prima en la agroindustria y subproductos como residuos de la hoja de sábila e hijuelos para siembra. El agroecosistema es complejo en interacción con otros cultivos y árboles tropicales como mangales, naranjales, entre otros y fauna típica de la región, aves, conejos, roedores, reptiles, insectos, etc.

Es por ello que, de acuerdo al análisis del concepto de los agroecosistemas, la presente investigación tuvo como propósito, por una parte, relacionar un factor del entorno (disponibilidad de agua) y el fin del agroecosistema (obtención de un jugo); asociado a actividades de conservación realizadas a partir del conocimiento empírico que permiten

obtener jugo de sábila característico en la zona productora en el estado de Veracruz; y por otro lado, comparar este subsistema artesanal mediante tecnología apropiada con el subsistema semi-industrial donde intervienen otros actores, empresas de suministro de equipo y centros de investigación, que complementan y dan valor agregado al producto. En ambos sistemas se obtiene un subproducto potencial con características deseables y que cumple con las demandas del consumidor final.



Elaboración propia.

Figura 1. Esquema de un agroecosistema con sábila. Las secciones resaltadas en rojo señalan los factores del agroecosistema considerados en la presente investigación de Tesis.

2.2 Generalidades de la sábila

La sábila (*Aloe vera* (L.) Burm. f.) es una planta xerófila oriunda de la región noroccidental de África. Pertenece al género *Aloe*, el cual abarca aproximadamente 350 especies distribuidas en regiones áridas y semiáridas de todo el mundo (Albornoz e Imery,

2003). Sin embargo, de estas especies se ha demostrado que son cuatro tipos los que presentan mayores propiedades medicinales: *Aloe barbadensis* Miller, *Aloe perryi* Baker, *Aloe ferox* y *Aloe arborescens*. *Aloe barbadensis* Miller es la más utilizada en la medicina curativa y la más popular en el mundo entero, llamada comúnmente *Aloe vera* (Vega *et al.*, 2005).

Las características de la sábila varían según la especie y el hábitat en el que crece. Suelen tener troncos muy cortos o arborescentes; son perennes, con rizomas largos; hojas gruesas carnosas, basilares, caulinares que están acomodadas en forma de rosetas, con bordes espinosos o dentados presentando diferentes tonalidades de verde (Calzada y Pedroza, 2005).

Es una planta de hojas alongadas, carnosas y ricas en agua, características de las plantas suculentas. Se agrupan formando rosetas de hojas perennes y pueden crecer a una altura entre 50 y 70 cm (Martínez *et al.*, 1996). En las plantas jóvenes, las hojas aparecen a nivel de la tierra, pero el tallo puede crecer más de 25 cm de largo en las plantas viejas. Puede haber de 12 a 16 hojas por planta. Las hojas jóvenes son más o menos erectas, mientras que las de mayor edad son más anchas y bajas. La planta es madura cuando tiene cerca de 4 años y tiene un periodo de vida cerca de 12 años (Eshun y He, 2004).

2.2.1 Producción de sábila

México es el principal país exportador de materias primas (pencas y gel) de sábila en el mundo (Moreno *et al.*, 2014). En el continente americano, México se posiciona en primer lugar con el 56% de la superficie destinada para la producción de sábila (Salas, 2013). Los estados con mayor producción de sábila son San Luís Potosí, Campeche, Tamaulipas, Morelos, Puebla, Veracruz y Yucatán (INEGI, 2018). El país cuenta con una superficie

sembrada de 5,605.99 ha, de los cuales el estado de Tamaulipas ocupa el primer lugar y el estado de Veracruz se posiciona en el segundo lugar (SIAP, 2018). En el Cuadro 1 se presentan los estados productores de sábila, la superficie sembrada, cosechada y el volumen producido, registrados para el año 2018 en el portal del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), Para la siembra bajo la modalidad hídrica de riego corresponden 2,585.2 ha y 2,870.22 ha de temporal.

Cuadro 1. Estados productores de sábila, superficie sembrada, superficie cosechada y volumen producido.

ESTADO PRODUCTOR	SUPERFICIE SEMBRADA (ha)	SUPERFICIE COSECHADA (ha)	VOLUMEN PRODUCIDO (T)
Tamaulipas	4424.4	3710.0	129743.0
Veracruz	702.0	700.0	63000.0
Campeche	149.0	35.0	1350.0
San Luis Potosí	118.0	118.0	5605.0
Puebla	89.0	89.0	6259.3
Morelos	72.1	72.1	3876.8
Yucatán	40.0	40.0	777.2
Sonora	10.0	10.0	320.0
Durango	1.5	0	0
TOTAL	5605.9	4774.1	210931.3

SIAP (2018).

2.2.2 Requerimientos climáticos y edáficos de la planta

La sábila se desarrolla en sitios cuyos climas tienen temperaturas medias anuales entre 18 y 25 °C. El tipo de suelo ideal para el cultivo de la sábila es el profundo con buen drenaje, de textura media, preferentemente franco con tendencia arenosa. No obstante, se desarrolla bien en cualquier tipo de suelo, inclusive en aquellos con alto porcentaje de pedregosidad. Se

desarrolla en suelos con amplio rango de pH, desde los ácidos hasta los altamente alcalinos (Narváez, M., 2003). Esta planta puede crecer también en áreas que reciben entre 200 y 800 mm de lluvia anual, en regiones con climas secos y extremos, climas semi-cálidos con lluvias en invierno y promedio de precipitación mayor a 450 mm y en la zona del trópico húmedo (Gómez *et al.*, 2001).

2.2.3 Estructura y composición química de la sábila

En la estructura de la hoja de sábila se distinguen dos partes principales, la corteza fotosintética y el parénquima (gel) (Vega *et al.*, 2005).

De acuerdo con Domínguez-Fernández *et al.* (2012), la sábila químicamente se caracteriza por la presencia de constituyentes fenólicos: las cromonas (aloensina) y las antraquinonas (aloína, barbaloína, isobarbaloína y aloemodina), que presentan actividad contra una gran variedad de virus. La principal antraquinona es la aloína, principal componente del acíbar (sustancia amarga, espesa, oscura y resinosa que se extrae de las hojas), que la secreta como defensa ante depredadores por su olor y sabor desagradable; tecnológica y sensorialmente este constituyente no es deseable en el jugo (Boudreaux *et al.*, 2017).

Quispe *et al.* (2018) evaluaron compuestos fenólicos en *A. vera* en Chile. Identificando 25 compuestos: cuatro eran cinámicos. ácidos y derivados, cuatro cromonas, nueve compuestos de antraceno y derivados, siete flavonoides y una oxilipina. Se observó la mayor actividad antioxidante en la cáscara que en el gel, raíces y flores. Los autores concluyen que la capacidad antioxidante podría estar relacionada con la presencia de varios compuestos fenólicos que fueron identificados en la cáscara, siendo más alta que en las otras partes de la sábila.

Por otra parte, el gel o pulpa, es una masa gelatinosa e incolora formada por células parenquimáticas (Femenia *et al.*, 1999). Está constituido de agua, mucílagos y otros carbohidratos, ácidos y sales orgánicas, enzimas, saponinas, taninos, heteróxidos antracénicos, esteroides, triglicéridos, aminoácidos, ácidos ribonucleicos, trazas de alcaloides, vitaminas y minerales (Dagne *et al.*, 2000; Choi y Chung, 2003; Ni *et al.*, 2004; Hamman y Viljoen, 2008).

2.3 Relación entre las características de sábila y la disponibilidad de agua

En la presente investigación se realizó el estudio del jugo de sábila cultivada en la región Sotavento del estado de Veracruz, en las épocas de lluvia y sequía (estiaje), para registrar y analizar de qué manera la disponibilidad de agua afecta o beneficia el contenido de compuestos bioactivos, actividad antioxidante y características fisicoquímicas. Para ello se llevó a cabo una revisión de algunos artículos de interés en relación al objetivo de estudio.

En la sábila, la disponibilidad de agua es esencial para alcanzar mayor crecimiento vegetativo, productividad (Van Wyk *et al.*, 1995), biomasa, tasa de crecimiento (Rodríguez-García *et al.*, 2007) y número de hojas e hijuelos (Silva *et al.*, 2010). Franco-Salazar *et al.* (2012; 2014) señalan que la concentración de azúcares totales en el gel, no varía entre las épocas de cosecha. En época de lluvia se favorece la producción de biomasa fresca y el contenido de clorofilas, agua, proteínas y prolina. Mientras que, en época de sequía, aumentó la concentración de aloína.

En cuanto a concentración de compuestos bioactivos, Cuevas *et al.* (2016) analizaron el contenido de acemananos en dos fracciones de carbohidratos obtenidos del jugo de sábila. En el gel obtenido en la temporada de lluvias la fracción de alto peso molecular presentó un

valor de 99.97 ppm de acemananos y la fracción de bajo peso molecular un valor de 9.36 ppm: Por otra parte, el gel obtenido en la temporada de sequía mostró un valor de 106.03 de acemananos en la fracción de alto peso molecular y 26.93 ppm en la fracción de bajo peso molecular. Esto indica que obtuvieron una mayor concentración de acemananos durante la época de sequía.

2.4 Procesos de conservación de los alimentos

La conservación de alimentos es una acción o método diseñado para mantenerlos en un nivel deseado de calidad y evitar su descomposición. Es importante mencionar que la descomposición de los alimentos no solo ocurre mediante el ataque de microorganismos, sino que puede sufrir alteraciones como oxidación de grasas, desnaturalización de proteínas, actividad enzimática, cambio de color y sabor debido a factores extrínsecos e intrínsecos del alimento como materia prima, la formulación del producto, el proceso aplicado, las condiciones sanitarias del proceso, envasado, almacenamiento y distribución y las prácticas de los consumidores (Badui, 2001).

Los métodos de conservación de alimentos deben mantener, en el mayor grado posible, sus atributos de calidad, incluyendo color, textura, sabor y especialmente valor nutritivo (FAO, 1993).

A través de la historia, el ser humano ha evolucionado en la forma de conservar los alimentos (Arroyo, 2008). En el Cuadro 2 se presentan de manera general algunos de los métodos de conservación usados en distintas épocas. El método de conservación más eficiente y eficaz para cada alimento debe elegirse según la naturaleza del mismo (Carrillo y Reyes, 2013). Por ejemplo, Villareal *et al.*, (2013) afirman que, el principal desafío en la

elaboración de una bebida, es preservar sus nutrientes y hacerlo atractivo desde el punto de vista sensorial.

Cuadro 2. Métodos de conservación a través de la historia

Época	Método de conservación
Tiempos primitivos	Utilización de sal común, hielo, sol, aire.
Antiguo Egipto	En esta región se utilizaban una serie de líquidos como el aceite, los derivados del vinagre, y en algunos lugares también se usaba la miel.
Reino Persa	Adición de azúcares
Tiempos Griegos	Confitado de frutas y hortalizas
Antigua Roma	Adición de dióxido de azufre (SO ₂) alVino
Siglo XIV	Empleo del adobo
Siglo XVII	Empleo del bórax
Siglo XIX	Aplicación de sulfitos a carnes. Pasteurización. Ácidos orgánicos: bórico, fórmico, salicílico, benzoico.
Siglo XX	Congelación de alimentos. Conservadores químicos de 2 ^a generación Irradiación Liofilización Procesos no térmicos: alta presión y pulsos eléctricos Envasado en atmósfera modificada y envasado activo
Siglo XXI	Procesamiento por pulsos de luz Campos eléctricos de gran intensidad Calentamiento por radiofrecuencia Irradiación, procesamiento por microondas Termosonicación, ultrasonidos Envases inteligentes, envases inteligentes, películas antimicrobianas comestibles para productos de IV gamma..

Modificada de Aguilar, 2012.

Entre los métodos de conservación empleados habitualmente en la agroindustria de productos derivados de frutales como jugos, mermeladas, trozos de fruta o néctares se encuentran: la: pasteurización, ultra-alta pasteurización, ultrasonidos, pulsos eléctricos (Jiménez, 2003). A continuación, se detallan los métodos usados en la presente Tesis.

2.4.1 Pasteurización

La pasteurización es un proceso térmico creado por Louis Pasteur en 1864, que tiene como objetivo la eliminación parcial de la flora banal y la eliminación total de la microbiota patógena, además de inactivar enzimas perjudiciales (Frazier, 1993). Este método consiste en el incremento de temperatura a una menor a la de ebullición del medio en un tiempo determinado, que varía, de acuerdo al tipo de pasteurización que se trate. La pasteurización es un tratamiento relativamente suave (temperaturas generalmente inferiores a 100 °C), que se utiliza para prolongar la vida útil de los alimentos durante varios días (Fellows, 2000).

La FAO (1993) indica que la pasteurización es un método de conservación fundamental para pulpas o jugos, ya que corresponde a un tratamiento térmico menos drástico que la esterilización, pero suficiente para inactivar los microorganismos causantes de enfermedades y constituye un proceso adecuado para la conservación por corto tiempo. Además, la pasteurización de los jugos, clarificados o néctares y de las pulpas de las frutas, permite la estabilización de los mismos para luego conservarlas mediante la combinación con otros métodos como la refrigeración y la congelación, todo lo cual contribuirá a mantener la calidad y la duración del producto en el tiempo.

Las temperaturas de pasteurización óptimas en jugos de futas se han establecido en un intervalo de 65-85 °C. Villareal *et al.* (2013) encontraron las temperaturas óptimas para llevar a cabo la pasteurización en las siguientes frutas: mora (80 °C/120 s), mango (85 °C/120 s),

tomate (80 °C/90 s), naranja (75 °C/90 s). En el caso de sábila, De Rodríguez *et al.* (2005) encontraron una pasteurización adecuada a 65 °C durante 30 minutos. Sin embargo, Aguilar *et al.*, (2011) encontraron que se logra una pasteurización óptima en un intervalo de temperaturas de 70 a 80 °C.

2.4.1.1 Efecto de la pasteurización en características de jugos

Se han realizado diversas investigaciones para conocer el efecto de la pasteurización sobre características en jugos, por ejemplo, Martínez y Rosenberger (2013) mencionan que, en el proceso de pasteurización, el tiempo es un limitante importante, ya que si el tratamiento térmico es excesivo el producto pierde su valor nutritivo y puede incluso adquirir características desagradables en su gusto, aroma, color y textura.

Carrandi (1995) evaluó el efecto de conservantes en la estabilidad de jugo de tuna pasteurizado donde también observaron los cambios físicos (color) y químicos que se desarrollaron en el jugo pasteurizado con el sistema HTST (98-100 °C, 15-20 s). El color sufrió cambios en detrimento de la calidad del jugo, la acidez aumentó y el pH disminuyó.

Por otra parte, Roque *et al.*, (2005) realizaron una caracterización fisicoquímica de jugos de naranja destinados a vinificación, el tratamiento térmico de pasteurización fue de 94- 96 °C durante 30 s, y se observaron diferencias en las variables entre los jugos naturales y los que sufrieron tratamiento térmico.

Novillo (2009) desarrolló y evaluó características físicas y químicas (color, viscosidad, sólidos solubles, pH, humedad en fruta fresca y fenólicos solubles totales) en el jugo de dos variedades de carambola (*Averrhoa carambola*) amarilla y verde, con y sin pasteurización. En los tratamientos hubo disminución de compuestos fenólicos durante su almacenamiento.

Por otro lado, Ochoa-Velasco *et al.* (2012) determinaron las propiedades antioxidantes (compuestos fenólicos y capacidad antioxidante) y fisicoquímicas (pH, sólidos solubles totales, acidez titulable, color) de jugo fermentado y sin fermentar de tres variedades de pitahaya. Se pasteurizó a 70 °C durante 3 minutos. La pasteurización afectó a todas las variables medidas.

Reyes *et al.*, (2013) analizaron los cambios fitoquímicos (color y antocianinas) y en la actividad antioxidante (polifenoles y capacidad antioxidante) en jugo de açai producidos por efectos de pasteurización. La pasteurización generó polimerización de antocianinas, pero tuvo efecto conservador en color y contenido de polifenoles.

Custode (2015) efectuó un estudio comparativo entre la pasteurización abierta y al vacío en las propiedades físicoquímicas de un néctar a base de maracuyá, zanahoria y noni. Se analizaron las propiedades físicoquímicas (pH, sólidos solubles, vitamina C). Se observó una clara tendencia de descenso en los parámetros antes mencionados con respecto a las muestras crudas.

Rodríguez-Villacis y Hernández-Monzón (2017) desarrollaron una bebida fermentada de suero con la adición de jugo de sábila y pulpa de fruta. Se pasteurizó a 65 °C por 15 min y se obtuvo una bebida de lacto suero fermentado estandarizada en sólidos totales lácteos con cultivos probióticos, con la adición de pulpa de guanábana y jugo de sábila, hipocalórica, con buenas características nutricionales y con una vida de almacenamiento de hasta 21 días bajo condiciones de refrigeración (4 °C).

Buñay (2018) diseñó una bebida a base de mezclas de néctares de mango y maracuyá. Aplicó el método de pasteurización (70°C por 30 min) y los resultados mostraron una retención en los parámetros de calidad en las bebidas pasteurizadas.

Carcamo-Medina *et al.* (2019) evaluaron el efecto de la pasteurización en los parámetros de color de la superficie del jugo de uchuva. Evaluaron dos tratamientos de pasteurización (80 °C durante 15 minutos y 94 °C durante 29 minutos). Los resultados indicaron que ningún tratamiento de pasteurización afectaron el valor de luminosidad de la uchuva sin tratar. Sin embargo, los valores de cromaticidad y el índice de amarillamiento del jugo de uchuva se modificaron tras el tratamiento.

2.4.2 Congelación

La congelación permite conservar alimentos por largos periodos de tiempo. La disminución de la temperatura, ocasiona la reducción de la actividad enzimática (Galiano, 2006) y de las reacciones oxidativas, debido a la formación de cristales de hielo que modifican la disponibilidad del agua y evitan que se favorezcan las reacciones deteriorativas (Gómez-Sánchez *et al.*, 2007). La energía cinética de las moléculas de agua contenida en un alimento se reduce a medida que la temperatura disminuye; por lo tanto, el aumento de las fuerzas intermoleculares de atracción y la disminución de la energía cinética son las causas de que los líquidos cristalicen (Dickinson, 1979). Debido a las bajas temperaturas se favorece la reducción significativa tanto de la velocidad de crecimiento de microorganismos, como el correspondiente deterioro de los productos por la actividad de éstos.

Durante el proceso de congelación, el tamaño y la posición de los cristales de hielo formados son características críticas en el deterioro de la estructura de la célula vegetal (Millán *et al.*, 2007).

A pesar de la creciente investigación y desarrollo de tecnologías nuevas de conservación, la congelación sigue siendo uno de los métodos más utilizados (Rahman y Vélez–Ruiz, 2007).

2.4.2.1 Efecto de la congelación en jugos

En 1962, Barlow patentó un método de congelación de jugo de frutas de cítricos, para conservar alimentos líquidos y más particularmente jugos de cítricos de forma que cuando se descongelan regresan a su estado original. Gil-Izquierdo *et al.* (2002) estudiaron cinco procesos a escala industrial, entre ellos, la congelación; utilizados en la fabricación comercial de jugo de naranja sobre antioxidantes y compuestos benéficos para la salud. El proceso de congelación causó una disminución considerable en los compuestos fenólicos.

En la pulpa de la parcha real, Gamez-Villazana y García-Rujano (2012) estudiaron algunas características físicas y químicas (humedad, cenizas, almidón, acidez, sólidos solubles, pH y ácido ascórbico). Encontraron que, de las variables evaluadas, la congelación (por 72 horas), afectó al contenido de almidón, actividad de agua y acidez titulable.

2.4.3 Ultrasonido

El efecto conservador del ultrasonido está asociado a los fenómenos complejos de cavitación gaseosa, que explican la generación y evolución de micro burbujas en un medio líquido. Por ello, la energía liberada, así como el choque mecánico asociadas al fenómeno de implosión, afectan la estructura de las células situadas en el micro entorno (Herrero y Romero, 2006).

Las tecnologías emergentes en materia de conservación de alimentos, se han convertido en el centro de atención de gran parte de la industria alimentaria (Rodríguez-Sauceda *et al.*, 2014). El empleo de ultrasonido en el procesamiento de alimentos está basado en la ventaja

que representa sobre los procesos tradicionales, al reducir tiempos de proceso y mejorar atributos de calidad (Robles-Ozuna y Ochoa-Martínez, 2012).

La cavitación es el principal fenómeno físico producido durante la aplicación de ultrasonidos. Esta se efectúa en las regiones de un líquido en el que se producen ciclos de expansión y compresión de forma alterna (Ozuna *et al.*, 2011). Durante los ciclos de expansión, los ultrasonidos provocan el crecimiento de las burbujas existentes en el medio o la formación de otras nuevas y, cuando éstas alcanzan un volumen al que no pueden absorber más energía, implosionan violentamente, sobre la superficie del alimento o en el medio, para volver al tamaño original (Castillo-Zamudio, 2015). Esta acción supone la liberación de toda la energía acumulada, que afecta la estructura de las células situadas en el entorno (Rodríguez-Sauceda *et al.*, 2014; Gimferrer, 2009).

Por otra parte, se ha demostrado que las formas esporuladas de microorganismos son muy resistentes a la acción de los ultrasonidos (se requieren horas para su inactivación), mucho más que las formas vegetativas. Así, el efecto de los ultrasonidos sobre los patógenos en los alimentos es limitado y depende de múltiples factores. Por ello, la inactivación microbiana se produce como consecuencia de una mezcla, simultánea o alterna, con otras técnicas de conservación (Gimferrer, 2009).

2.4.3.1 Efecto de los ultrasonidos en alimentos

Con respecto al efecto de ultrasonidos en algunos fitoquímicos, se ha demostrado que el incremento de temperatura es mínimo, lo que permite mantener el contenido de compuestos bioactivos como antocianinas (Tiwari *et al.*, 2009).

Filomena *et al.* (2012) evaluaron el efecto de ultrasonidos (40 kHz; 150 W; 15 min) sobre la actividad ATP-asa y propiedades funcionales en surimi de tilapia con el fin de preservar la calidad. El proceso de ultrasonido no afectó la capacidad de retención de agua y cohesividad del surimi, pero incrementó: actividad ATP-asa, contenido de proteína, dureza, elasticidad, masticabilidad y disminuyó humedad. A pesar de los cambios, el surimi mantuvo una calidad adecuada.

Porras *et al.* (2011) estudiaron el efecto de la aplicación de ultrasonido sobre las propiedades fisicoquímicas y reológicas de pulpa de mango. Evaluaron la influencia de las variables, frecuencia y el tiempo de exposición, en los sólidos solubles °Brix, pH, densidad y porcentaje de acidez. Los autores concluyeron que de las propiedades fisicoquímicas de la pulpa demostraron ser afectadas significativamente por el tiempo de exposición a las ondas de ultrasonido. Chacón-Garza y Montañez-Sáenz (2014), compararon los efectos del ultrasonido y el tratamiento térmico sobre los parámetros de calidad del jugo de toronja. Ninguno de los métodos afectó significativamente los niveles de sólidos totales y pH en el jugo de toronja ni el valor de la turbidez incrementó significativamente en los tratamientos evaluados.

Rodríguez *et al.* (2015) analizaron el efecto del tiempo de exposición (15, 30, 45 y 60 min) al ultrasonido (40 kHz), sobre las características fisicoquímicas (sólidos solubles, acidez titulable, pH), reológicas (viscosidad aparente, esfuerzo cortante, índice de comportamiento reológico e índice de consistencia) y microbiológicas (mesófilos viables, hongos y levaduras) en la pulpa de chirimoya. Demostraron que el tiempo de exposición al ultrasonido, tiene efecto significativo sobre todas las variables. Indicaron que el mejor tratamiento fue a los 45, 30 y 15 min, para el contenido de sólidos solubles, acidez titulable y pH, respectivamente;

en tanto que a los 15, 30, 30 y 15 min, para la viscosidad aparente, esfuerzo cortante, índice de comportamiento reológico e índice de consistencia.

Pérez y Pérez (2019) evaluaron en efecto de ultrasonido sobre características fisicoquímicas en jugo de zarzamora. Existió efecto significativo del tiempo de exposición al ultrasonido y la temperatura del proceso sobre la acidez titulable, contenido de sólidos solubles y contenido de vitamina C.

2.5 Presencia de compuestos bioactivos y actividad antioxidante en bebidas funcionales

Los alimentos funcionales, según la National Academy of Sciences (EEUU) los ha definido como: alimentos modificados, que tienen un ingrediente que demuestra una acción que favorece e incrementa el bienestar del individuo y disminuye los riesgos de enfermedades, más allá de la función tradicional de los nutrientes que contiene (Vega *et al.*, 2005).

Un alimento puede considerarse funcional, si además del valor nutricional intrínseco, es decir por su composición y aporte nutritivo, ha demostrado tener un efecto benéfico sobre una o más funciones del organismo, de tal manera que mejora el estado de salud y bienestar o reducción de riesgo de ciertas enfermedades (Hernández-Rojas y Vélez-Ruíz, 2014). Los efectos benéficos en la salud se pueden favorecer por la presencia de compuestos bioactivos ácidos grasos, antioxidantes, fitoquímicos, prebióticos, probióticos, vitaminas y minerales (Ramírez, 2010).

Los compuestos bioactivos han atraído la atención de los consumidores y la comunidad científica teniendo en cuenta las evidencias epidemiológicas que muestran los beneficios de

la ingesta en la prevención de las enfermedades humanas, entre ellos: las vitaminas, carotenoides, compuestos fenólicos y fibra dietética (Baquero *et al.*, 2016). La capacidad antioxidante de ciertos metabolitos o compuestos bioactivos, contribuye a reducir el riesgo de enfermedades cardiovasculares, además ha sido comprobada la actividad de compuestos antioxidantes contra alergias, inflamación, hipertensión, artritis y carcinógenos (Muñoz *et al.*, 2007).

Marin *et al.* (2014) elaboraron una bebida a base de soya, suero y fructo-oligosacárido, fermentada con cultivo probiótico y aromatizada con miel que presentó parámetros fisicoquímicos adecuados y el estándar requerido por la legislación brasileña para contar el número de células viables que lo hacen un producto funcional.

Bonilla *et al.* (2015) estudiaron formulados de maíz morado y estevia. Estos productos presentaron valores altos en cuanto a compuestos bioactivos: polifenoles, antiocianinas y actividad antioxidante por lo que concluyeron que es una bebida funcional.

Milán-Carrillo *et al.* (2017) obtuvieron una bebida funcional con una mezcla de harinas de maíz azul y frijol negro cuyo valor nutricional fue estimado de acuerdo a su actividad antioxidante, compuestos fenólicos totales. Los resultados demostraron que la bebida tiene un potencial antioxidante, anti-hipertensivo y antidiabético elevado.

Los investigadores mantienen una continua búsqueda de nuevas fuentes alternativas de materias primas para elaborar este tipo de productos, estableciendo el desarrollo de mezclas óptimas de ingredientes, que conlleven a características organolépticas, físicas, químicas y funcionales deseables, y se adapten a los gustos de los consumidores (García y Pacheco-Delahaye, 2010).

Recientemente, la sábila ha llamado la atención como ingrediente para la elaboración de alimentos funcionales (Sehgal *et al.*, 2013; Ramanchadra y Rao, 2008), debido principalmente a la concentración de carbohidratos como polimananos acetilados y otros compuestos benéficos para la salud como aminoácidos, glicoproteínas, enzimas, vitaminas, minerales, ácidos orgánicos y compuestos fenólicos (Rodríguez *et al.*, 2011; Domínguez-Fernández *et al.*, 2012; Moreno, 2013). Por lo anterior, tiene una participación relevante en la industria de los “*healthfood*” y nutracéuticos, así como de alimentos funcionales. En este mercado, se utiliza principalmente el jugo bebible puro de sábila para alimentación saludable, con acciones curativas y como refrescante (Linaje *et al.*, 2008).

Izaguirre-Silva *et al.* (2013) concluyeron que la elaboración de un jugo de sábila de buena calidad por medio del uso de tecnologías emergentes, contribuiría a mejorar la calidad de vida del hombre, así como la prevención de algunas enfermedades.

Existen en el mercado bebidas con el término de “funcionales” con presencia de sábila; por ejemplo, Rodríguez-Villacis y Hernández-Monzón (2017) desarrollaron una bebida fermentada a partir desuero de leche con jugo de sábila y pulpa de guanábana hipocalórica, con buenas características nutricionales y vida de almacenamiento de 21 días.

2.6 Síntesis de la revisión de literatura

La sábila es un cultivo prometedor para el estado de Veracruz, debido a su adaptación a distintas condiciones agroecológicas y el alto valor comercial. Contiene compuestos bioactivos y antioxidantes con aplicación en la industria cosmetológica, alimentaria y farmacéutica. El principal compuesto presente en el gel es el acemanano, por lo que conservarlo mediante la aplicación de métodos en condiciones controladas, permitiría

obtener un jugo con una calidad diferenciada. Por el contrario, la aloína es un compuesto no deseable en el jugo por lo que es importante disminuir su concentración o eliminarla totalmente. Los métodos de conservación de jugo de sábila que se usan en la actualidad son métodos térmicos, que pueden modificar o minimizar la calidad de los alimentos. Existen otros métodos de conservación en donde se preservan las propiedades sin dañar su composición; en jugos, se propone el uso de ultrasonido de potencia que por sus características podrían mejorar las cualidades organolépticas y retener la mayor cantidad de nutrientes.

En la región de estudio, se cultiva sábila de temporal y se realizan subproductos partir del gel de sábila. Sin embargo, no se ha evaluado la relación entre la presencia de compuestos bioactivos, actividad antioxidante y características fisicoquímicas del jugo de sábila en las dos épocas de cosecha y los cambios que sufren debido al método de conservación empleado.

3. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

En el estado de Veracruz, existen sembradas aproximadamente 700 ha de sábila, de las cuales, sólo el 10% se comercializa la penca (hoja) como materia prima a estados con mayor producción para su exportación y posteriormente, el procesamiento a subproductos de 2ª o 3ª generación realizado en otros países. Esto provoca que gran parte del cultivo de sábila en la región no tenga un valor agregado y no se generan mayores ingresos a los productores locales.

La mayoría de los productores que controlan en el agroecosistema con sábila en la región del Sotavento presentan dificultades para entrar en el mercado nacional e internacional, por lo que, en gran parte de la producción sembrada se generan pérdidas postcosecha

importantes y desperdicios en el ecosistema. Las causas principales de dichas pérdidas son debidas a que no cuentan con una hoja con atributos de calidad mínimos que exige el mercado, escaso o nulo conocimiento de un buen manejo del cultivo, técnicas sustentables para el procesamiento y transformación de la hoja e incipientes canales de comercialización.

Por lo anterior, es necesario estudiar el contenido de compuestos bioactivos, actividad antioxidante y características fisicoquímicas del jugo de sábila producido en la región del Sotavento en el estado de Veracruz, en forma artesanal, a fin de demostrar si es un producto con características químicas diferenciadas que cumple con la calidad que demanda el consumidor y con ello, generar un valor agregado en el cultivo Asimismo, es importante cuantificar los atributos de calidad del jugo, tanto en época de lluvias y sequías, para definir la época de sembrado y corte que confieren un mayor valor desde el punto de vista nutricional.

3.1 Problema de investigación

Se desconoce la relación entre el contenido de compuestos bioactivos, actividad antioxidante y características fisicoquímicas del jugo de sábila elaborado de forma artesanal, respecto a la época de corte de la planta que se cultiva en el estado de Veracruz y el método de conservación empleado.

4. HIPÓTESIS GENERAL

El contenido de compuestos bioactivos, actividad antioxidante y las características fisicoquímicas del jugo de sábila dependen de la época de cosecha de las hojas. Además, el uso de métodos de conservación permite retener componentes de interés presentes en el jugo de sábila natural.

4.1 Hipótesis particulares

- Existen diferencias entre el contenido de compuestos bioactivos y actividad antioxidante del jugo de sábila en función de la época de cosecha de la planta y del tipo de método de conservación.
- Las características fisicoquímicas de los jugos de sábila no presentan variación entre las épocas de cosecha de las hojas, pero si hay diferencias en función del tipo del método de conservación.

5. OBJETIVO GENERAL

Caracterizar el jugo de sábila (*Aloe vera* L.) obtenido en dos épocas de cosecha (sequía y lluvias) y procesado mediante tres métodos de conservación (pasteurización, congelación y ultrasonido).

5.1 Objetivos específicos

- Cuantificar los componentes bioactivos (acemananos, compuestos fenólicos totales, residuos insolubles en alcohol, aloína) y la actividad antioxidante del jugo de hojas de sábila, cosechadas en las épocas de sequía y lluvia y su retención de acuerdo al método de conservación
- Evaluar las características fisicoquímicas (°Brix, pH, sólidos totales, turbidez, viscosidad, color, azúcares totales, azúcares reductores, y proteína) del jugo de hojas de sábila cosechadas en dos épocas del año y el efecto con respecto al método de conservación

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. Área de estudio

La parcela de donde se obtuvo la sábila se localiza en la región de Sotavento del estado Veracruz, en el municipio de Puente Nacional, en la localidad de Conejos ubicada en las coordenadas longitud: -96.491667y latitud: 19.310278, a una altura de 140 msnm (Figura 2). En esta región se concentra el 50% de las plantaciones de sábila del estado de Veracruz. Su clima es cálido húmedo y sub-húmedo con abundantes lluvias en verano; con una temperatura promedio de 26.5 °C y su precipitación pluvial media anual es de 979.3 mm.

El presente estudio tuvo lugar en el año 2019. De acuerdo al registro climatológico en el año 2018 (CONAGUA, 2018), la época de sequía abarca los meses de abril a junio y la época en la que se registró la mayor cantidad de agua de lluvia fueron entre los meses de julio a septiembre de ese mismo año. Por lo tanto, las cosechas de las hojas de sábila que fueron seleccionadas para este estudio se realizaron en la primera semana de abril, mayo y junio (época de sequía) y en la primera semana de julio, agosto y septiembre (época de lluvias).

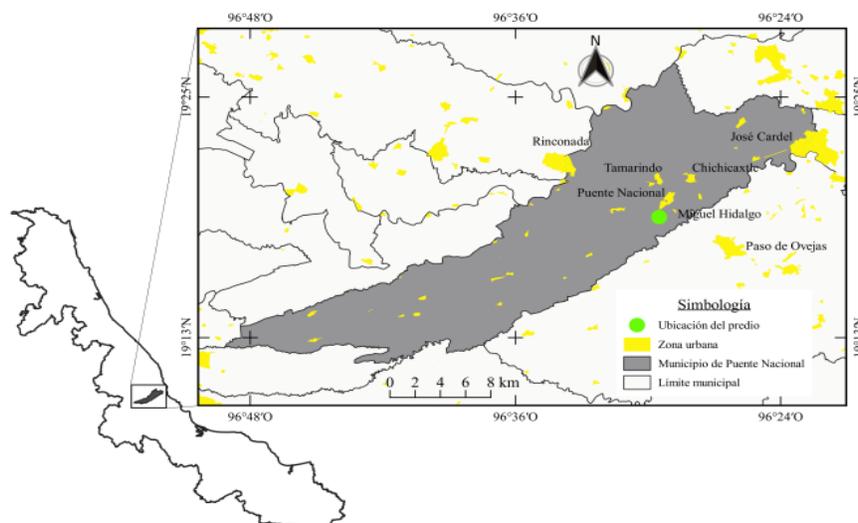


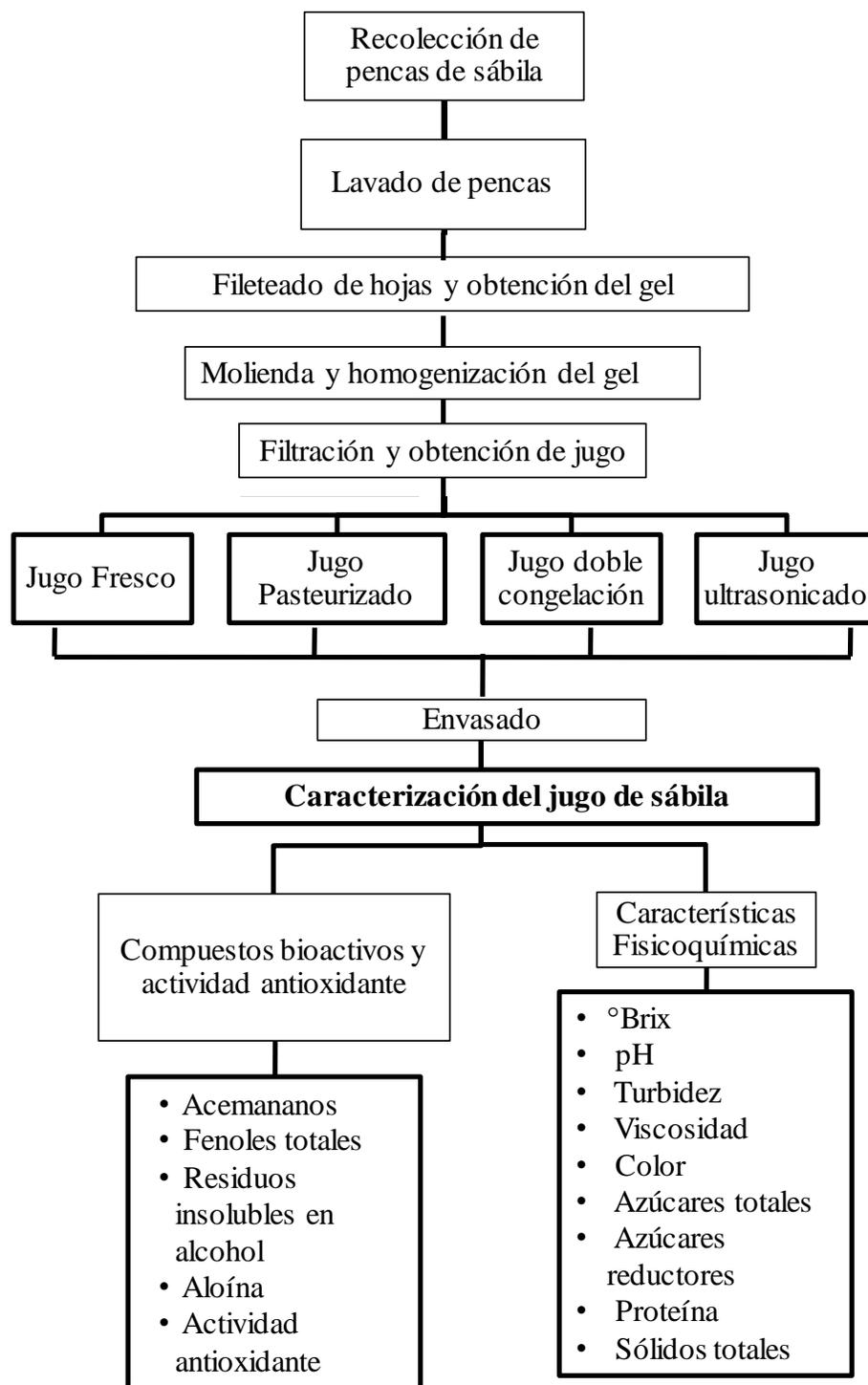
Figura 2. Ubicación geográfica de la parcela donde se obtuvieron las hojas de sábila.

6.2. Materia prima y extracción de jugo

Se seleccionaron plantas de sábila de la variedad *Barbadensis* Miller, de dos años de edad. La extracción del jugo se llevó a cabo en la Planta Piloto de Procesos Agroalimentarios del Campus Veracruz, del Colegio de Postgraduados (CP-CV) localizado en la Carretera Xalapa-Veracruz km 88.5, Tepetates, municipio de Manlio Fabio Altamirano, Veracruz.

En la Figura 3 se muestra el diagrama general de la metodología empleada en la investigación.

Para la obtención del mucílago (gel o cristal), las pencas u hojas de sábila fueron cortadas de la parte inferior del tallo de la planta, mediante un corte en la base de la hoja. Tras la cosecha, las hojas se lavaron y desinfectaron con una solución clorada (200 ppm). Posteriormente, los extremos de la hoja (punta y base) se cortaron en forma manual, usando un cuchillo de acero inoxidable y se desecharon. La sección de hoja útil se fileteó manualmente separando la corteza del mucílago, obteniendo así los filetes.



Elaboración propia

Figura 3. Diagrama de la metodología de la investigación.

Los filetes se molieron en una licuadora industrial marca Internacional® modelo LI-3A y después se filtraron en una coladera de 2 mm, a temperatura ambiente (20°C). El mucilago filtrado es el Jugo Fresco (**FJ**) usado como muestra de referencia. Se envasó en recipientes con taparrosca de 500 ml y se mantuvo a 4°C hasta su posterior análisis o procesamiento posterior: a) Doble congelación, b) Pasteurización o c) Ultrasonido

6.3. Procesamiento del jugo

Los procesos de conservación empleados fueron realizados en el Laboratorio de Análisis de alimentos del CP-Campus Veracruz. Los métodos usados para el análisis de las propiedades fisicoquímicas de los jugos recién extraídos y procesados, para ambas épocas de cosecha, se llevaron a cabo en la Unidad de Investigación y Desarrollo de Alimentos (UNIDA) del TNM/Instituto Tecnológico de Veracruz, y el análisis de los compuestos bioactivos de los jugos se realizaron en el Laboratorio Integral de Investigación en Alimentos (LIIA) del TNM/Instituto Tecnológico de Tepic.

Los métodos de conservación aplicados en los jugos de sábila, se realizaron a partir del gel extraído en época de sequía y lluvia.

Jugo pasteurizado (PJ): El jugo fresco se colocó en un vaso de precipitados de 1 L, se calentó en una placa de calentamiento a una temperatura de 70 °C por 10 minutos (Aguilar *et al.*, 2011). Se envasó en frascos con taparrosca de 100 mL y se guardó a 4 °C hasta su análisis.

Jugo con doble congelación: Se usó el proceso de congelación convencional (-4 °C) por 12 horas, tiempo en el cual 10 L de jugo se solidificaron completamente. Se descongelaron a una temperatura de 25 °C y se repitió el proceso una vez más. Esta técnica de doble

congelación, es el método usado para procesar jugos artesanalmente por pequeños agroindustriales de la zona. La muestra descongelada por segunda vez, fue envasada en recipientes con taparrosca de 100 mL.

Jugo ultrasonificado: Se realizó la metodología propuesta por Izaguirre-Silva *et al.* (2013): El jugo fresco se colocó en un vaso de precipitados de 100 mL y se introdujo en un baño ultrasónico (Marca Branson Ultrasonic™ modelo CPX-952-338R), pre-llenado con agua destilada a una temperatura de 30 °C, con una frecuencia de 40 kHz durante una hora. La temperatura del agua se mantuvo constante durante el tiempo de proceso usando recirculación con agua fría.

6.4. Determinación de compuestos bioactivos y actividad antioxidante de los jugos de sábila

6.4.1. Acemananos

La determinación del contenido de acemananos se realizó por el método colorimétrico propuesto por Eberendu *et al.* (2005) con algunas modificaciones.

Se realizaron diluciones en una proporción 1:10 del extracto de *Aloe vera* mediante la adición de agua destilada. Se tomó un volumen de 1 mL del extracto diluido y se mezcló con 500 µL de NaOH 0.2 M mediante un vórtex. Se agregaron 200 µL de rojo Congo 2×10^{-4} M a la mezcla y se homogeneizó por medio de vórtex. Se dejó reposar durante una hora a temperatura ambiente y en ausencia de luz. Posteriormente, se determinó el valor de la absorbancia a 540 nm en un espectrofotómetro (Ray y Aswatha, 2013).

La cantidad de acemananos presentes en la muestra se cuantificó a partir de la elaboración de una curva de calibración preparada con β -glucano como estándar, en el intervalo de concentración 10-500 mg/L (Anexo 1).

6.4.2. Compuestos fenólicos totales

La cuantificación de compuestos fenólicos totales presentes en los jugos del gel de sábila se realizó mediante la metodología propuesta por Rico *et al.* (2019) con el reactivo de Folin-Ciocalteu. Se colocaron en tubos de ensayo 150 μ L de jugo y 150 μ L de reactivo Folin 2M, se dejó reposar durante 2 minutos a 40 °C. Posteriormente, se añadieron 1200 μ L de Na_2CO_3 al 5% y se incubó por 20 minutos a 40 °C. Finalmente, se realizaron las lecturas utilizando una celda de cuarzo de 1 mL en un espectrofotómetro con una absorbancia de 760 nm. Se obtuvo la curva de calibración con ácido gálico en intervalo de concentraciones entre 10 y 100 μ g/ μ L (Anexo 2).

6.4.3. Residuos insolubles en alcohol

El contenido de RIA se determinó por medio del método empleado por Tobo (2016). Éste corresponde al contenido de polisacáridos presentes en el extracto. Las muestras de extracto de sábila (2 mL) se mezclaron con etanol 95% (v/v) refrigerado a 4 °C en proporción extracto: etanol de 1:3. Esta mezcla se mantuvo durante una noche y bajo refrigeración (4 °C).

El precipitado resultante se recolectó por centrifugación a 12 000 rpm a 4 °C durante 10 min seguido del secado del mismo a 50 °C. El contenido de RIA se determinó como el contenido de carbohidratos totales presentes en el precipitado. Dicha determinación se hizo por medio del método fenol-sulfúrico, utilizando glucosa como estándar (Anexo 3).

6.4.4. Aloína

Para la extracción de aloína, cada muestra de jugo se diluyó con una relación 1:1 (v/v) en etanol acidificado al 0,1% con ácido acético. Se centrifugaron a 5000 rpm por 3 min y se filtraron los sobrenadantes a través de filtros de nylon de 0.2 μm .

El contenido de aloína se cuantificó usando cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC, por sus siglas en inglés) con un detector de arreglo de diodos (DAD). Para esto, se utilizó la metodología propuesta por Brown *et al.* (2014) con modificaciones. Se empleó una columna XBridge® C18 5 μm 4.6x 150mm y se aplicó un gradiente isocrático formado por agua acidificada al 0.1% (v/v) con ácido acético (fase móvil A) y acetronilo acidificado al 0.1% (v/v) con ácido acético (fase móvil B) como se muestra en el Cuadro 3, a flujo de 1 mL/min y a 25°C.

Cuadro 3. Gradiente de fase móvil para determinación de aloína

Tiempo (minutos)	Fase móvil A (%)	Fase móvil B (%)
0.0	83.0	17.0
8.0	83.0	17.0
12.0	0.0	100.0
13.0	0.0	100.0
14.0	83.0	17.0
18.0	83.0	17.0

La cuantificación de aloína se realizó mediante la curva de calibración con estándar de aloína Sigma-Aldrich® con una solución patrón de 100 $\mu\text{g/mL}$ de aloína disolviendo 2.83 mg del estándar en 25.0 mL de metanol (Anexo 4). El área bajo la curva obtenida de los

cromatogramas (Anexo 4) se registró en la ecuación de la curva para obtener la concentración.

6.4.5. Actividad antioxidante

El ensayo de actividad antioxidante mediante reductor férrico (FRAP), fue llevado a cabo por colorimetría según el método descrito por González-Centeno *et al.* (2012) con algunas modificaciones para ajustarse a la celda espectrofotométrica. Los valores FRAP, se determinaron mezclando una solución de TPTZ 10 mM en 40 mM de HCl, una solución acuosa de FeCl₃-6H₂O 20 mM y tampón de acetato 0.3 mM (pH 3.6) en una proporción de 1:1:10. Todas estas soluciones fueron preparadas el día del análisis en ausencia de luz, a 37°C. La curva de calibración se obtuvo usando Trolox de 0.0.3 0.25 µg/mL como estándar (Anexo 5).

6.5. Caracterización fisicoquímica de los jugos de sábila

En el Cuadro 4 se muestran las variables fisicoquímicas analizadas en esta investigación y metodologías empleadas para la determinación de cada una.

Cuadro 4. Metodologías empleadas para analizar variables fisicoquímicas

VARIABLE	METODOLOGÍA EMPLEADA
°Brix	El contenido de sólidos solubles se realizó por el método indirecto por refractometría de acuerdo con la norma AOAC 983.17. Se cubrió de muestra líquida la superficie de muestreo del refractómetro digital marca Atago® Pocket.
pH	La determinación de pH del jugo se determinó por medio de un multiparamétrico de la marca HANNA HI 2550.
Turbidez	El análisis de turbidez se llevó a cabo mediante por nefelometría con un turbidímetro marca HANNA instruments® modelo HI93703, 10 mL de

VARIABLE	METODOLOGÍA EMPLEADA
	muestra se vertieron en las cubetas de medición y se realizaron las lecturas, así como el registro de las mismas por cada tratamiento.
Viscosidad	Se determinó la viscosidad de cada tratamiento mediante un reómetro Discovery HR-1 marca TA Instruments® utilizando una geometría de plato cono de 2° a 25 °C.
Color	Las variables de respuesta fueron las coordenadas cromáticas L*, a* y b* medidos mediante un colorímetro. El análisis de color se llevó a cabo sobre el jugo, realizando tres mediciones por cada muestra.
Azúcares totales	El contenido de azúcares totales se determinó como el contenido de carbohidratos totales presentes. Dicha determinación se hizo por medio del método fenol-sulfúrico descrito por Aguilar <i>et al.</i> (2011). En tubos de ensayo se colocaron 2 mL de muestra diluida 1:10 con agua destilada, se agregó 1 mL de fenol al 5% y 5 mL de H ₂ SO ₄ . Se agitó a 2500 rpm en un vortex y se dejó reposar 30 min a 25 °C. Finalmente, se realizaron las lecturas utilizando una celda de cuarzo de 1 mL en un espectrofotómetro con una absorbancia de 490 nm. La curva de calibración se realizó utilizando glucosa como estándar.
Azúcares reductores	El ensayo para cuantificar el contenido de azúcares reductores se llevó a cabo de acuerdo al método propuesto por Ávila <i>et al.</i> (2012) con el reactivo DNS. Se colocaron en tubos de ensayo 100 µL de muestra y 2 mL de reactivo DNS. Los tubos se sometieron a ebullición por 5 min. Posteriormente, se añadieron 5 mL de agua destilada y se tomaron las lecturas en el espectrofotómetro a una absorbancia de 575 nm. La curva de calibración se elaboró utilizando glucosa como estándar.
Proteína	Se llevó a cabo por el método Kjeldahl descrito por Varón <i>et al.</i> , 2007
Sólidos totales	A partir de la NORMA MEXICANA OFICIAL NMX-F-083-1986. “Alimentos. Determinación de humedad en productos alimenticios”, para expresar el porcentaje de sólidos totales se efectuó mediante la diferencia del peso total con el porcentaje de humedad

6.6. Diseño experimental y análisis estadístico

El cuadro 5 presenta el número de tratamientos realizados en la investigación.

Cada una de las variables se evaluó con un diseño completamente al azar con arreglo factorial de los tratamientos, con 2 factores donde el factor **A** (época de cosecha) con 2 niveles (lluvia y sequía) y el factor **B** (método de conservación) con 4 niveles (fresco, pasteurizado, doble congelación y ultrasonido) con 3 repeticiones. El análisis estadístico se realizó utilizando el procedimiento ANOVA, en las diferencias estadísticas, se realizó una comparación de medias, utilizando la prueba de T con un nivel de significancia del 5% utilizando el procedimiento del paquete estadístico SAS 9.3 (2011).

Cuadro 5. Tratamientos de la investigación

Época	Proceso	TRATAMIENTO
Sequía	Fresco	1. Sequía-Fresco (Seq-Fre)
	Pasteurizado	2. Sequía-Pasteurizado (Seq-Pau)
	Doble congelación	3. Sequía-Doble congelación (Seq-Dco)
	Ultrasonido	4. Sequía-Ultrasonido (Seq-Us)
Lluvia	Fresco	5. Lluvia-Fresco (Lluv-Fre)
	Pasteurizado	6. Lluvia-Pasteurizado (Lluv-Pau)
	Doble congelación	7. Lluvia-Doble congelación (Lluv-Dco)
	Ultrasonidos	8. Lluvia-Ultrasonido (Lluv-Us)

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las hojas de sábila contienen antioxidantes que pueden aumentar la vida útil y el valor nutricional y funcional de los alimentos. El jugo que se extrae de sus hojas es utilizado ampliamente en la industria cosmética, farmacéutica y alimentaria. La fitoquímica del gel de

sábila ha revelado la presencia de más de 200 compuestos químicos bioactivos. Además, hoy en día, gran porcentaje de la población mundial, prefiere consumir productos que sean más naturales, que tengan propiedades funcionales o curativas y además nutricionales en lugar de productos ultra procesados. Asimismo, se ha señalado que las diferentes condiciones agroclimáticas han tenido efectos sobre los fitoquímicos, el contenido fenólico total (TPC) y el potencial antioxidante de la planta de sábila (Kumar *et al.*, 2017).

A continuación, se expone el análisis realizado sobre la influencia de la época de cosecha de la hoja de sábila y el método de conservación usado, en el contenido de compuestos bioactivos, actividad antioxidante y las características fisicoquímicas presentes en el jugo de sábila.

7.1 Compuestos bioactivos y actividad antioxidante del jugo de sábila

En el Cuadro 6 se presenta el análisis de varianza del contenido de compuestos bioactivos (acemananos, compuestos fenólicos y residuos insolubles en alcohol) y actividad antioxidante, evaluadas en el jugo de sábila en función de la época de cosecha (sequía y lluvia) y del método de conservación (pasteurización, doble congelación y ultrasonidos), usando el jugo fresco (sin tratar), como tratamiento dereferencia. Existieron diferencias estadísticas altamente significativas en todas las variables.

Cuadro 6. Análisis de varianza de las variables medidas en el jugo de sábila bajo diferentes épocas de cosecha y métodos de conservación.

VARIABLE	FUENTE	CM	Pr>F
Acemananos	Época	21004.1075	<0.0001**
	Proceso	99175.7440	<0.0001**
	Época*Proceso	54428.8510	<0.0001**
Compuestos fenólicostotales	Época	85.6245	<0.0001**
	Proceso	41.7014	<0.0001**

VARIABLE	FUENTE	CM	Pr>F
	Época*Proceso	9.8495	<0.0001**
Residuos insolubles en alcohol	Época	16.3911	0.0028**
	Proceso	374.7262	<0.0001**
	Época*Proceso	80.5932	<0.0001**
Actividad antioxidante	Época	0.0003	<0.0001**
	Proceso	0.0012	<0.0001**
	Época*Proceso	0.0004	<0.0001**
Aloína	Época	38.1374	0.0066**
	Proceso	63.4375	0.0005**
	Época*Proceso	17.1853	0.0193**

CM: Cuadrado de la media, ** Altamente Significativo ($p < 0,05$).

7.1.1 Efecto de la época de cosecha sobre el contenido de compuestos bioactivos y actividad antioxidante

El jugo de sábila, obtenido en la época de sequía, es el que conserva mayor cantidad de acemananos con 999.89 μg de β -glucano/mL en comparación con el jugo de sábila de la época de lluvia con 940.72 μg de β -glucano/mL (Cuadro 7). Al respecto, Paz *et al.* (2017) y Zacatecas-Ibañez *et al.* (2016) observaron que el aumento del estrés hídrico promueve que la sábila sintetice una mayor cantidad de polisacáridos de almacenamiento de agua, como el acemanano. Yaron (1993) señaló que el contenido de polisacáridos es menor en plantas con irrigación constante. El modo de riego puede tener una influencia considerable en la composición del mucílago de la hoja, incluso más que la edad o la estación climática. Este sistema puede afectar principalmente a los polímeros ricos en manosa como el acemanano. Se sabe que los polisacáridos ricos en manosa de las plantas de sábila actúan como almacenamiento de alimentos y energía y ayudan a proteger la planta de la desecación cuando el agua es escasa o no disponible (Minjares-Fuentes *et al.*, 2017; Liu *et al.*, 2019). Por ello, se incrementa la producción de estos polisacáridos ante el estrés hídrico.

En los jugos obtenidos durante época de sequía, se registraron las concentraciones de compuestos fenólicos totales más alta ($35.319 \pm 0.175 \mu\text{g}$ de ácido gálico /mL), con respecto a los jugos de la época de lluvia ($31.541 \pm 0.175 \mu\text{g}$ de ácido gálico /mL) (Cuadro 7). De acuerdo con Imery (2007) el estrés ambiental en las plantas producido por las altas temperaturas, la elevada radiación solar y la escasez de humedad, inducen a la producción de estos compuestos fenólicos, lo que coincide con los resultados obtenidos para esta variable en la presente investigación. De la misma manera, Treutter (2005) concluyó que los compuestos fenólicos se presentan en mayor medida al someter a la planta a algún tipo de estrés; en este caso, durante la época de sequía, debido a la baja disponibilidad de agua.

Cuadro 7. Concentración de compuestos bioactivos y actividad antioxidante en el jugo de sábila con respecto a la época de cosecha

COMPUESTOS BIOACTIVOS Y ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE	ÉPOCA DE COSECHA	
	Sequía	Lluvia
Acemananos (μg de β -glucano/mL)	$999.89 \pm 4.289\text{a}$	$940.72 \pm 4.289\text{b}$
Compuestos fenólicos totales (μg de Ácido gálico /mL)	$35.319 \pm 0.175\text{a}$	$31.541 \pm 0.175\text{b}$
Residuos insolubles en alcohol (μg de glucosa /mL)	$44.87 \pm 0.323\text{a}$	$43.217 \pm 0.323\text{b}$
Actividad antioxidante (μg de Trolox/mL)	$0.052 \pm 0.0006\text{b}$	$0.06 \pm 0.0006^{\text{a}}$

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales con la prueba de T ($p < 0,05$).

Los jugos obtenidos en la época de sequía presentaron mayor concentración de residuos insolubles en alcohol ($44.87 \pm 0.323 \mu\text{g}$ de glucosa /mL) que los jugos de sábila en la época de lluvia ($43.217 \pm 0.323 \mu\text{g}$ de glucosa /mL) (Cuadro 7). Algunos estudios han demostrado que los residuos insolubles en alcohol (RIA) se encuentran principalmente en el gel de la hoja y están compuestos principalmente por polisacáridos como manosa, celulosa y el acemanano

(Ni *et al.*, 2004; Hamman, 2008; Zacatecas-Ibañez *et al.*, 2016). En este sentido, los RIA, presentaron el mismo comportamiento que el acemanano medido en los jugos de sábila en función de la época de cosecha, es decir la concentración fue mayor en época de sequía.

Con respecto a la actividad antioxidante, se observó (Cuadro 7) que el jugo de sábila obtenido en la época de lluvia, registró valores más altos ($0.06 \pm 0.0006 \mu\text{g}$ de Trolox/mL) con respecto a la época de sequía ($0.052 \pm 0.0006 \mu\text{g}$ de Trolox/mL). Lo anterior concuerda con lo reportado por Ray y Dutta (2013) quienes encontraron el mayor porcentaje de actividad antioxidante en el gel de sábiladurante la época de verano (lluvia).

7.1.2 Efecto del método de conservación sobre el contenido de compuestos bioactivos y actividad antioxidante del jugo de sábila

La concentración de acemananos en los jugos de sábila tratados con doble congelación (Cuadro 8) presentaron la mayor concentración ($1081.56 \pm 6.066 \mu\text{g}$ de β -glucano/mL). Por tanto, este método de congelación, no solo conserva y prolonga la vida útil, sino que favorece la presencia de una mayor cantidad de acemananos en relación con el jugo de sábila fresco (sin tratar) ($1001.00 \pm 6.066 \mu\text{g}$ de β -glucano /mL). Este efecto puede deberse a que, durante la congelación se forma una estructura más compleja del polímero del acemanano que podría resultar de la generación de nuevos puentes de hidrógenos entre las cadenas de acemanano y otros oligosacáridos, registrando mayor concentración de estos glucomananos Rodríguez-González *et al.*, 2011).

El contenido de acemananos en el jugo de sábila tratado mediante ultrasonidos ($1013.78 \pm 6.066 \mu\text{g}$ de β -glucano /mL) no mostró diferencias con el contenido en el jugo fresco sin tratar. Sin embargo, el jugo conservado mediante pasteurización disminuyó un 22 % la concentración de acemananos con respecto al jugo fresco, registrando un valor de

784.89±6.066 µg de β-glucano /mL (Cuadro 8). Este comportamiento ha sido observado por varios autores. Femenia *et al.* (2003) reportan una disminución del rendimiento de acemananos en gel deshidratado entre 11 y 27% con respecto al gel de sábila en estado fresco, en función del tipo de método de secado aplicado. Asimismo, Minjares-Fuentes *et al.* (2017) registraron una disminución del contenido de acemananos del 55.5 % en el gel de sábila sometido a temperaturas de secado convectivo con respecto al gel sin tratar. En ambos estudios justifican este comportamiento a los cambios estructurales y de composición en los principales polisacáridos del gel de sábila, y particularmente aquellos que afectan al acemanano, causados por los procesos térmicos (Rendón-Salcido *et al.*, 2009). Los acemananos tienen muchas aplicaciones farmacológicas y biológicas en la medicina e industria ya que está comprobada su acción contra enfermedades orales, metabólicas, cardiovasculares, antitumorales; además por su actividad inmunoestimuladora, anticancerígena, antioxidante y probiótica (Liu *et al.*, 2019).

El contenido de compuestos fenólicos totales en el jugo fresco (35.249±0.247µg de ácido gálico/mL), disminuyó ligeramente después de someterse a los métodos de conservación aplicados (Cuadro 8). Esto coincide con lo reportado por Paniagua-Martínez *et al.* (2018) quienes registran una disminución de 10.9 % en la concentración de compuestos fenólicos en el jugo de naranja pasteurizado, con respecto al jugo sin tratar. Es importante mencionar que la conservación de los compuestos fenólicos es un indicador de calidad de jugos, por ello la importancia de su retención (Gómez *et al.*, 2011).

En las plantas, los compuestos fenólicos son metabolitos esenciales para el crecimiento, reproducción y como agente protector ante patógenos (Matos, 2011). Estos compuestos producen actividad antioxidante principalmente debido a su papel como agentes reductores

(Heş *et al.*, 2019). Es la actividad biológica más importante, responsable del efecto preventivo sobre algunas enfermedades de origen cardiaco e inmunológico (Echavarría *et al.*, 2009).

Cuadro 8. Concentración de compuestos bioactivos y actividad antioxidante en los jugos frescos y tratados bajo diferentes métodos de conservación.

Compuestos Bioactivos y Actividad Antioxidante	MÉTODO DE CONSERVACIÓN			
	Fresco (sin tratar)	Pasteurizado	Doble congelación	Ultrasonido
Acemananos (μg de β -glucano/mL)	1001.00 \pm 6.066b	784.89 \pm 6.066c	1081.56 \pm 6.066 ^a	1013.78 \pm 6.066 ^b
Compuestos fenólicos totales (μg de ácido gálico/mL)	35.249 \pm 0.247 ^a	34.486 \pm 0.247 ^b	29.513 \pm 0.247 ^c	34.472 \pm 0.247 ^b
Residuos insolubles en alcohol (μg de glucosa/mL)	34.222 \pm 0.456 ^d	52.935 \pm 0.456 ^a	42.12 \pm 0.456 ^c	46.898 \pm 0.456 ^b
Actividad antioxidante (μg de Trolox/mL)	0.043 \pm 0.0008 ^c	0.044 \pm 0.0008 ^c	0.066 \pm 0.0008 ^b	0.071 \pm 0.0008 ^a

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales con la prueba de T ($p < 0.05$).

En el cuadro anterior, se observa que la concentración de compuestos fenólicos en el jugo pasteurizado (34.486 \pm 0.247 μg de ácido gálico/mL) y ultrasonificado (34.472 \pm 0.247 μg de ácido gálico/mL) fueron significativamente ($p < 0.5$) mayores que la concentración obtenida en el jugo sometido a doble congelación (29.513 \pm 0.247 μg de ácido gálico/mL). En otros estudios, la pasteurización realizada en condiciones controladas permitió retener la presencia de compuestos fenólicos totales tras el procesamiento (Alper *et al.*, 2005; Burin *et al.*, 2010). Con respecto a la aplicación de ultrasonidos de potencia, en la recuperación de compuestos fenólicos se ha estudiado ampliamente acoplados al proceso de extracción con valores de

eficiencia mayores a los obtenidos con la extracción convencional; por ejemplo, Rico *et al.* (2019) aplicaron ultrasonidos de potencia y promovieron una mayor recuperación de compuestos fenólicos con elevada capacidad antioxidante demostrando ser una alternativa prometedora para intensificar el proceso de extracción de componentes con actividad biológica a partir de diferentes matrices vegetales.

Para el contenido de residuos insolubles en alcohol se encontraron concentraciones significativamente ($p < 0.05$) mayores en todos los jugos sometidos a métodos de conservación (Cuadro 8), con respecto al jugo fresco ($34.222 \pm 0.456 \mu\text{g}$ de glucosa/mL). La concentración más alta se encontró en el jugo pasteurizado ($52.935 \pm 0.456 \mu\text{g}$ de glucosa/mL), seguido del jugo ultrasonicado ($46.898 \pm 0.456 \mu\text{g}$ de glucosa/mL) y finalmente en el jugo sometido a doble congelación ($42.12 \pm 0.456 \mu\text{g}$ de glucosa/mL). En este sentido, Rodríguez-González *et al.* (2011) obtuvieron resultados similares en gel de sábila, ya que las muestras pasteurizadas presentaron valores más altos en esta variable que las muestras frescas. Este aumento se puede atribuir a que, durante el procesamiento existen cambios en el estado físico, estructura y composición de los polisacáridos (Galanakis *et al.*, 2010; Nindo *et al.*, 2010).

Respecto a la actividad antioxidante se registraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre métodos de conservación (Cuadro 8). El método de conservación que presentó la mayor actividad antioxidante en el jugo de sábila fue el de ultrasonido ($0.071 \pm 0.0008 \mu\text{g}$ de Trolox/mL), seguido de la doble congelación ($0.066 \pm 0.0008 \mu\text{g}$ de Trolox/mL), y el pasteurizado ($0.044 \pm 0.0008 \mu\text{g}$ de Trolox/mL); este último presentó una actividad antioxidante significativamente ($p < 0.05$) menor que en el jugo fresco ($0.043 \pm 0.0008 \mu\text{g}$ de Trolox/mL).

Los valores bajos de actividad antioxidante en los jugos tras la pasteurización, han sido demostrados por varios autores debido al incremento en la temperatura. Eshun y He (2004) observaron que, el proceso de pasteurización modificó el contenido de la actividad biológica del gel de sábila. Santander *et al.* (2017) en una bebida mixta de leche UHT descremada con pulpa de tomate de árbol, encontraron que los tratamientos térmicos son por lo general, la causa principal de la disminución de los antioxidantes naturales. Otros estudios han demostrado que, los tratamientos térmicos provocan una disminución de los nutrientes, principalmente los antioxidantes, parámetros fisicoquímicos, compuestos bioactivos y la capacidad antioxidante (Saeeduddin *et al.*, 2015; Chagua *et al.*, 2020). No obstante, Domínguez-Fernández *et al.* (2012) mencionan que la actividad biológica del gel puede permanecer intacta, cuando éste es calentado a 65 °C por periodos inferiores a 15 minutos.

La retención de compuestos antioxidantes por el método de ultrasonidos ha sido evaluada por varios autores. Se ha demostrado que, tiempos prolongados de exposición al ultrasonido, superior a 45 minutos, provoca una mayor extracción de compuestos antioxidantes presentes en las estructuras vegetales que son lixiviados al jugo o solvente; por lo tanto, se registra una mayor actividad antioxidante en la solución final, como se observa en la presente investigación. Abidet *et al.* (2013) reportaron un 15% de aumento en la capacidad antioxidante en jugo de manzana con el uso de ultrasonido durante 60 min; Zafra-Rojas *et al.* (2013) demostraron también, un aumento del 12% en la actividad antioxidante de jugo de pera expuesto a ultrasonido.

En el Cuadro 9 se concentran los resultados del contenido de compuestos bioactivos y actividad antioxidante de los jugos de sábila, derivados de las interacciones entre las variables estudiadas: **época de cosecha y método de conservación**. Este cuadro presenta una matriz

con los promedios \pm error estándar de los variables en los ocho tratamientos (interacciones) evaluados.

En cuanto a los acemananos se presentaron las concentraciones más altas en ambas épocas, en el jugo procesado con doble congelación, Sin embargo, en el jugo del tratamiento Lluvia-Doble congelación se encontró el valor más alto de acemananos (1107.11 ± 8.579 μg de β -glucano/mL). Los valores más bajos de contenido de acemananos se encontraron en los jugos pasteurizados, en ambas épocas de cosecha. Como se ya se mencionó, esto se debe a que los procesos térmicos, mayores de 60 $^{\circ}\text{C}$, tienen efectos en las propiedades fisicoquímicas del acemanano (Sriariyakul *et al.*, 2016) y producen modificaciones estructurales (Femenia *et al.*, 2003). Cuando el gel de sábila es sometido a temperaturas de secado (≥ 70 $^{\circ}\text{C}$) se ha demostrado que la desacetilación es probablemente uno de los principales procesos que deterioran la estructura del acemanano (Liu *et al.*, 2019) Existen discrepancias en cuanto a la composición de polisacáridos en el gel de sábila, estas están relacionadas con el método de separación y determinación empleados, o bien a las labores culturales en el manejo del cultivo, la composición del suelo o condiciones climáticas (Rodríguez *et al.*, 2011, Lagunes-Domínguez, 2019). Otros factores importantes para la variación en la composición del gel de sábila son la etapa de crecimiento y la temporada de cosecha de la planta (Liu *et al.*, 2019).

En cuanto a la concentración de compuestos fenólicos totales, el mayor contenido se obtuvo en los tratamientos Sequía-Fresco (36.527 ± 0.35 μg de ac. gálico/mL), Sequía-Pasteurizado (37.416 ± 0.35 μg de ac. gálico/mL) y Sequía-Ultrasonido (37.444 ± 0.35 μg de ac. gálico/mL), los valores más bajos fueron obtenidos en los tratamientos de Doble congelación (Cuadro 9).

Cuadro 9. Concentración de compuestos bioactivos y actividad antioxidante presentes en el jugo de sábila en cada tratamiento analizado (interacción época de cosecha*método de conservación)

Tratamiento	Acemananos (μg de β- glucano/mL)	Compuestos fenólicos totales (μg de ac. gálico/mL)	Residuos insolubles en alcohol (μg de glucosa/mL)	Actividad antioxidante (μg de Trolox/mL)
Sequía-Fresco	987.11 \pm 8.579d	36.527 \pm 0.35a	38.481 \pm 0.646d	0.037 \pm 0.001e
Sequía- Pasteurizado	957.11 \pm 8.579e	37.416 \pm 0.35a	56.296 \pm 0.646 ^a	0.04 \pm 0.001e
Sequía-Doble congelación	1056.00 \pm 8.579b	29.888 \pm 0.35d	41.425 \pm 0.646c	0.074 \pm 0.001b
Sequía- Ultrasonido	999.33 \pm 8.579d	37.444 \pm 0.35a	43.277 \pm 0.646c	0.057 \pm 0.001c
Lluvia-Fresco	1014.89 \pm 8.579cd	33.972 \pm 0.35b	29.962 \pm 0.646e	0.048 \pm 0.001d
Lluvia- Pasteurización	612.67 \pm 8.579f	31.555 \pm 0.35c	49.574 \pm 0.646b	0.049 \pm 0.001d
Lluvia-Doble congelación	1107.11 \pm 8.579 ^a	29.138 \pm 0.35d	42.814 \pm 0.646c	0.057 \pm 0.001c
Lluvia- Ultrasonido	1028.22 \pm 8.579c	31.499 \pm 0.35c	50.518 \pm 0.646b	0.085 \pm 0.001 ^a

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales con la prueba de T ($p < 0,05$).

De acuerdo al cuadro anterior, los jugos sin tratar registraron los valores más bajos de residuos insolubles en alcohol tanto en época de lluvia (29.962 \pm 0.646 μg de glucosa/mL) como en sequía (38.481 μg de glucosa/mL). Como se mencionó antes, en la época de sequía se manifiestan algunos mono y oligosacáridos, debido a que ayudan en la captación de agua cuando la planta se encuentra en estrés (Paz *et al.*, 2017). En general, los métodos de conservación aplicados en los jugos, en ambas épocas, promovieron el aumento de residuos insolubles en alcohol.

Respecto a la actividad antioxidante, el valor más alto (85 μg de Trolox/mL) se obtuvo en el tratamiento Lluvia-Ultrasonido (Cuadro 9); en cambio, los tratamientos Sequía-Fresco y Sequía-Pasteurizado presentaron los valores más bajos (0.37-0.4 μg de Trolox/mL). Esto indica que una baja disponibilidad de agua en el cultivo afecta la formación de compuestos con actividad antioxidante.

7.1.3 Determinación de aloína

La Figura 4 muestra la concentración de aloína ($\mu\text{g}/\text{mL}$) promedio, obtenida en las muestras de jugos de sábila en función de las épocas de cosecha, del método de conservación y de la interacción época*método; resultaron ocho tratamientos evaluados.

De acuerdo a la época de corte de la hoja de sábila, la mayor concentración de aloína se encontró en los jugos elaborados con el gel de la época de lluvia (6.15 μg de aloína/mL). En este mismo contexto, Silva *et al.* (2010) encontraron que la concentración de aloína en las hojas de sábila aumenta con el estrés hídrico; por ejemplo, el mayor contenido de aloína se fue encontrado en plantaciones con una disponibilidad de agua inferior al 20% en comparación a la concentración de aloína registrada en plantas con mayor disponibilidad de agua. En contraste, Franco-Salazar *et al.* (2014) encontraron que en la época de sequía existe mayor concentración de este compuesto. Sin embargo, esto se explica debido a que los autores miden el volumen de acíbar (exudado) que se extrae por gravedad en la penca cortada de forma transversal, a diferencia de la metodología empleada en la presente investigación donde se cuantificó por HPLC a partir del gel de la hoja.

La ubicación geográfica, incluida el suelo y el clima, períodos de crecimiento, estado de madurez y tratamientos postcosecha de la hoja, juegan un papel crítico en la determinación de la composición y la estructura características de los principales metabolitos y polisacáridos

de sábila, que a su vez podrían resultar en la modificación no solo de las propiedades funcionales, sino también, los efectos benéficos en la misma planta (Liu *et al.*, 2019). Esto explica las posibles discordancias entre la presente investigación y otros autores.

Con respecto al **método de conservación**, el uso de ultrasonidos disminuyó un 93% la concentración de aloína en el jugo fresco (9.01 μg de aloína/mL) registrando un valor de (0.64 μg de aloína/mL). Esto puede indicar la aplicación de ultrasonidos en el jugo de sábila, es una buena estrategia para eliminar la aloína y cumplir con los parámetros establecidos en la normativa para el consumo de estos productos.

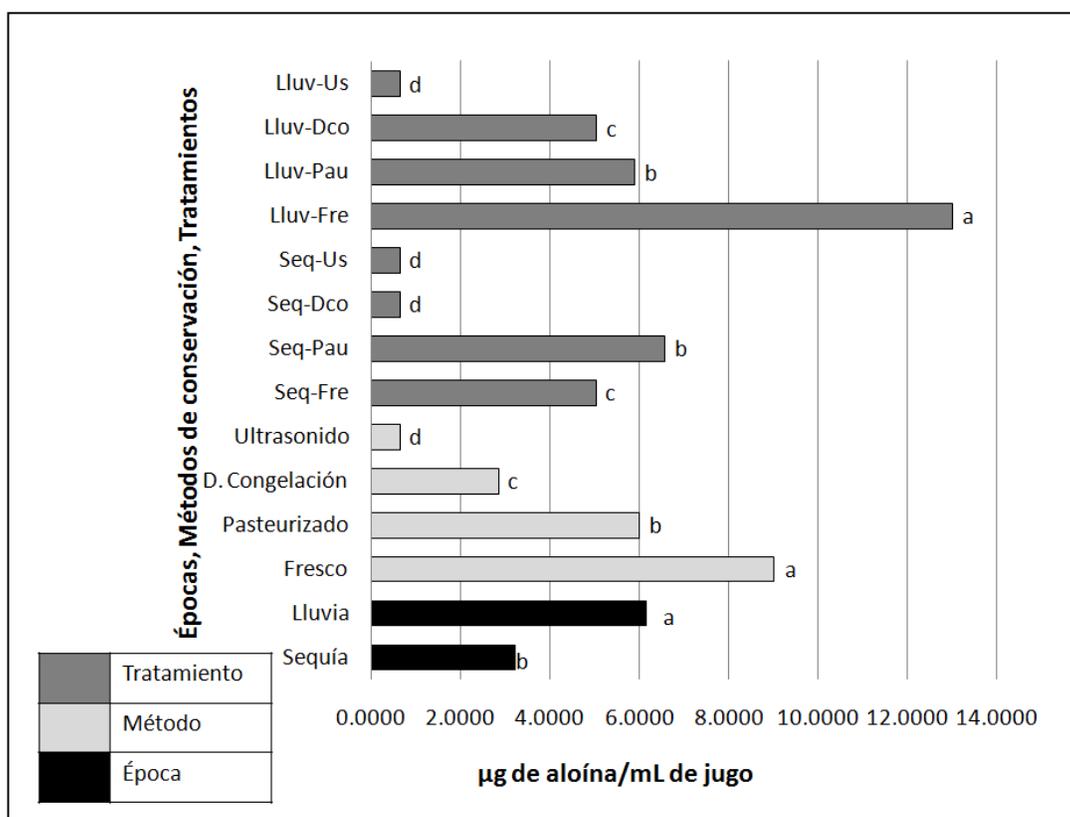


Figura 4. Concentración de aloína en jugos de sábila ($\mu\text{g}/\text{mL}$), en función de las épocas de cosecha, del método de conservación y de la interacción de tratamientos. Las letras sobre las barras representan medias estadísticamente iguales con la prueba T ($p < 0.05$).

La mayor concentración de aloína obtenida con respecto a los tratamientos estudiados, fue en la interacción Lluvia-Fresco (13.0 µg de Aloína/mL), y las menores concentraciones se observaron en los tratamientos: Sequía-Doble congelación, Sequía-Ultrasonido y Lluvia-Ultrasonido con un promedio de 0.64 µg de aloína/mL.

La Unión Europea establece que el límite máximo de concentración de aloína en productos destinados al consumo humano es de 0.1 mg/kg (Molero *et al.*, 2016). Todos los tratamientos, con excepción del tratamiento de Lluvia-Fresco cumplen con lo anterior. Sin embargo, el proceso que elimina mayormente la aloína en el jugo de sábila es el de ultrasonido de potencia.

Se ha encontrado que la concentración de aloína es mayor en plantas jóvenes, a diferencia del contenido de β -polisacáridos, el cual no se ve afectado por la edad de la planta. Asimismo, los espectros de luz en intensidades bajas, han mostrado también, concentraciones de aloína y β -polisacáridos más bajas (Lucini *et al.*, 2013).

En el Cuadro 10 se presenta un cuadro comparativo de estudios sobre la concentración de aloína reportados por otros autores y los valores obtenidos en la presente investigación. Existen discrepancias en los resultados debido a los tipos de muestra usados para la extracción y método de análisis para la cuantificación.

La concentración de aloína, como la mayoría de los compuestos bioactivos presentes en las hojas de sábila, también depende de otros factores como la edad de la planta, la especie cultivada, el clima y el manejo del cultivo sábila ya que influyen en la composición física y química de la sábila (Domínguez-Fernández *et al.*, 2012).

Cuadro 10. Cuadro comparativo de estudios de aloína en distintos tipos de muestras, método de análisis y concentración de aloína.

Tipo de muestra	Método de análisis	Concentración de Aloína
Gel liofilizado (Paéz <i>et al.</i> , 2000)	Cromatografía de Gases Capilar-Espectrometría de Masas (GC-MS)	No se detectó presencia de aloína.
Gel pasteurizado (Lozano <i>et al.</i> , 2011)	HPLC con detector DAD y lámpara UV-Vis, columna Agilent Eclipse XDB-C18	173.6-64.2 mg/mL
Gel secado al sol (Jawade y Chavan, 2013)	HPLC utilizando una columna Symmetry® C-18 (4,6 x 250 mm, 5 µm) detector UV	0.000467-0.0005 Kg/Kg de hoja fresca
Gel liofilizado (Gupta <i>et al.</i> , 2012)	HPLC (WATER Corporation, EE. UU., Lichrocart® C18 coloumn	4-12 mg/gm
Acíbar o exudado de sábila antes (decocción) y después del hidrólisis (hidrolizado) (Chiang <i>et al.</i> , 2012)	HPLC utilizando una columna C-18 (4,6 x 250 mm, 5 µm) detector UV-VIS	76.1 y 77.7 µmol / g en decocción e hidrolizado, respectivamente.
Hojas completas de sábila (Lucini <i>et al.</i> , 2013)	Cromatografía líquida seguida de espectrometría de masas en tándem con fuente de ionización por electropulverización (LC-ESI / MS / MS)	2.55-2.99 g/kg
Jugo fresco (sin tratar), pasteurizado, con doble congelación y ultrasonificado. Presente investigación, 2019.	HPLC con un detector de arreglo de diodos. Con una columna XBridge® C18 5µm 4.6x 150mm	0.64- 13 µg de aloína/mL

7.2 Caracterización fisicoquímica del jugo de sábila

Las variables medidas en los jugos de sábila para la caracterización fisicoquímica fueron: °Brix, pH, turbidez, viscosidad, color, azúcares totales y reductores, proteínas y sólidos totales.

El Cuadro 11 muestra los cuadrados medios (CM) y la significancia estadística obtenidos en el análisis de varianza de las variables fisicoquímicas evaluadas en el jugo de sábila

obtenidos en dos épocas de cosecha (sequía y lluvia) y bajo diferentes métodos de conservación (pasteurización, doble congelación y ultrasonidos), usando el jugo fresco (sin tratar) como referencia.

Cuadro 11. Análisis de varianza de las variables fisicoquímicas analizadas en jugos de sábila obtenidos en función de la época de cosecha y los métodos de conservación.

VARIABLE	FUENTE	CM	Pr>F
°Brix	Época	0.5400	<0.0001**
	Proceso	0.2827	<0.0001**
	Época*Proceso	0.0077	0.0430**
pH	Época	0.2539	<0.0001**
	Proceso	0.0035	<0.0001**
	Época*Proceso	0.0035	<0.0001**
Turbidez	Época	1751.0416	<0.0001**
	Proceso	16020.7926	<0.0001**
	Época*Proceso	273.9583	<0.0001**
Viscosidad	Época	0.0007	<0.0001**
	Proceso	0.0000	0.0008**
	Época*Proceso	0.0000	0.0165**
Color (L)	Época	0.1247	0.8536
	Proceso	104.9702	<0.0001**
	Época*Proceso	1.7932	0.6832
Color (a)	Época	0.3082	0.8333
	Proceso	84.7204	0.0003**
	Época*Proceso	2.5646	0.7670
Color (b)	Época	0.0121	0.8011
	Proceso	14.8109	<0.0001**
	Época*Proceso	0.0156	0.9672
Azúcares totales	Época	3242984.846	<0.0001**
	Proceso	371146.878	<0.0001**
	Época*Proceso	138748.028	<0.0001**
Azúcares reductores	Época	68029.7526	<0.0001**
	Proceso	112606.4999	<0.0001**
	Época*Proceso	18935.2015	<0.0001**
Sólidos totales	Época	0.0491	0.0042**
	Proceso	0.0600	0.0002**
	Época*Proceso	0.0260	0.0068**

CM: Cuadrado de la media, ** Altamente Significativo ($p < 0,05$).

7.2.1 Caracterización fisicoquímica de jugo de sábila con respecto a la época de cosecha

En el Cuadro 12 se presentan los valores de las variables °Brix, pH, turbidez, viscosidad, azúcares totales y reductores, proteínas y sólidos totales de los jugos de sábila, con respecto a la época de cosecha.

Los jugos obtenidos en la época de sequía presentaron los valores más altos de sólidos solubles (1.07°Brix). Se ha encontrado un comportamiento similar en otros estudios. Salgado-García *et al.* (2003) observaron que cuando la caña se somete a estrés hídrico hay un aumento en °Brix favorecido por la disminución del contenido de humedad. Asimismo, Garzón *et al.* (2013) en su estudio con jugo de naranja reportaron que el exceso de agua puede reducir el contenido de azúcares por un efecto de dilución. De la misma forma, en jugo de uva, Pire *et al.* (1989) concluyeron que los tratamientos realizados en época de sequía tuvieron mayores valores de °Brix.

Los valores de pH con relación a la época de cosecha (Cuadro 12) muestran que los jugos de la época de sequía, son menos ácidos (4.851 ± 0.002). Esto discrepa con los resultados de Ferreyra *et al.* (2003) quienes, en su análisis de vino de vides sometidas a estrés hídrico, no obtuvieron diferencias entre sus tratamientos. Estas diferencias pueden estar atribuidos al tipo de cultivo y diferencias en las condiciones agroclimáticas. No existen reportes actuales sobre el comportamiento del pH en jugos de sábila.

Los valores de turbidez en los jugos de sábila de la época de sequía (204.833 ± 0.862 NTU) alcanzaron valores significativamente ($p < 0.05$) mayores que los jugos en época de lluvia. Los jugos extraídos generalmente son turbios debido a las partículas insolubles en agua y

macromoléculas coloidales (Medivez y Minchón, 2010), por lo tanto, si existe menor cantidad de agua, aumenta la presencia de estos compuestos.

Cuadro 12. Variables fisicoquímicas analizadas en jugos de sábila, con respecto a la época de cosecha.

VARIABLE	ÉPOCA DE COSECHA	
	Sequía	Lluvia
°Brix	1.075±0.013 ^a	0.775±0.013 ^b
pH	4.851±0.002 ^a	4.646±0.002 ^b
Turbidez (NTU)	204.833±0.862 ^a	187.75±0.862 ^b
Viscosidad (Pa*s)	0.015±0.0007 ^b	0.026±0.0007 ^a
Azúcares totales (μ g glucosa/mL)	1831.018±18.89 ^a	1095.833±18.89 ^b
Azúcares reductores (μ g glucosa/mL)	334.722±3.09 ^a	228.24±3.09 ^b
Proteína (%)	8.978±0.077 ^a	5.487±0.077 ^b
Sólidos totales (%)	0.974±0.018 ^a	0.883±0.018 ^b

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales con la prueba de T ($p < 0,05$).

A diferencia del pH y turbidez, la viscosidad más alta se encontró los jugos de la época de lluvia (0.026±0.0007 Pa*s) (Cuadro 12). Esto difiere con lo reportado por Ruíz *et al.* 2010 quienes mencionan que a medida que aumenta la concentración de sólidos solubles en los jugos, la viscosidad también lo hace de forma apreciable. En este estudio, en los jugos de la época de sequía se presentaron valores más elevados de sólidos, pero no tuvo un efecto en la viscosidad del jugo. Esto puede deberse a las propiedades intrínsecas de la sábila: la microestructura del gel (Domínguez-Fernández *et al.* 2012), las ramificaciones de la cadena

de polímeros del acemanano (Minjares-Fuentes *et al.*, 2017) o factores edafoclimáticos que afectan su consistencia (Lagunes-Domínguez, 2019)

Las concentraciones de azúcares totales y reductores más altas, se encontraron en el jugo de la época de sequía ($1831.018 \pm 18.89 \mu\text{g}$ glucosa/mL y $334.722 \pm 3.09 \mu\text{g}$ glucosa/mL, respectivamente) con respecto al jugo de la época de lluvia (Cuadro 12). Diversos autores señalan que, bajo estrés por sequía, algunas plantas como la sábila pueden degradar o acumular carbohidratos (Zacatecas-Ibañez *et al.*, 2016, Cuevas *et al.*, 2016). Este mismo compartimento fue observado en la concentración de acemananos en la presente Tesis.

Estos resultados difieren con lo reportado por Franco-Salazar *et al.* (2012) quienes, al realizar un análisis en dos parcelas diferentes en época de lluvia y sequía, no encontraron diferencias entre épocas en cuanto a azúcares totales. Sin embargo, se ha demostrado que la composición de los polisacáridos es variable según lugar de cultivo y época del año (Larinova *et al.*, 2004).

En el jugo de la época de sequía se obtuvo el mayor porcentaje de proteína (8.978 ± 0.077 %) con 3.5% más que el jugo de la época de lluvia (Cuadro 12). En contraste, Franco-Salazar *et al.* (2014) encontraron 29.3 % mayor concentración de proteínas en los jugos de la época de lluvia, con respecto a la época de sequía. Esta discrepancia en los resultados puede ser debida a la cercanía con el mar de la plantación de sábila ya que, durante la falta de agua, la planta puede desarrollar una inhibición de la síntesis y/o degradación de las proteínas provocando la reducción de los aminoácidos totales, entre ellos, la prolina. Dicho aminoácido es osmoprotector (García *et al.*, 1997) y su incremento en algunas plantas es una respuesta a condiciones ambientales desfavorables como la sequía (Chamán, 2007) a lo que se atribuyen los resultados obtenidos en los resultados de la presente Tesis.

En el jugo de la época de sequía se obtuvo el porcentaje mayor de sólidos totales (0.974%) (Cuadro 12). De la misma manera, Delatorre-Herrera *et al.* (2010) y Nuñez-Colima *et al.* (2018) reportaron que el estrés hídrico moderado puede favorecer la concentración de los sólidos en el gel, aspecto que le da mayor valor en el mercado.

7.2.2 Caracterización fisicoquímica de jugo de sábila con respecto al método de conservación

Los °Brix del jugo pasteurizado (1.016 ± 0.019) y ultrasonificado (1.05 ± 0.019) no tuvieron efecto significativo ($p > 0.05$) con respecto al jugo fresco (1.033 ± 0.019). Sin embargo, el método de doble congelación registró un valor menor (0.6 °Brix) (Cuadro 13). En este mismo sentido, Mejía *et al.* (2006) indicaron que la disminución de °Brix registrada en pulpa de arazá congelada, puede deberse a la fermentación de los carbohidratos debido a los procesos anaerobios durante las operaciones de manejo y almacenamiento.

Como se muestra en el Cuadro 13, en el jugo fresco (sin tratar) se encuentra el valor más alto de pH (4.778 ± 0.003), con respecto a los métodos de pasteurización (4.731 ± 0.003) y ultrasonidos (4.726 ± 0.003) donde se registraron los valores más bajos. Esto puede deberse a la modificación estructural que sufren algunos compuestos tras la aplicación de temperatura durante la pasteurización o la cavitación producida por los ultrasonidos, lo cual podría contribuir a un mayor grado de acidez por la disminución del valor de pH.

Los métodos de conservación estudiados disminuyeron significativamente ($p < 0.05$) el valor de turbidez registrado en el jugo fresco (249.833 ± 1.219 NTU); el valor registrado para el jugo tratado con ultrasonido fue 222.416 ± 1.219 NTU, seguido del jugo pasteurizado (181.833 ± 1.219 NTU) y con doble congelación (131.083 ± 1.219 NTU). Esta disminución en la turbidez puede estar asociada a las modificaciones estructurales de los componentes

nutritivos en los jugos tras el método de conservación, en particular por los ultrasonidos que provoca cambios químicos y/o físicos de la pared celular vegetal (Soria y Villamiel, 2010); esto modifica a su vez las propiedades del jugo y afecta la cantidad de partículas disueltas en la técnica de turbidez realizada en el presente trabajo.

Los valores de viscosidad presentaron variaciones respecto al método de conservación (Cuadro 13). El jugo más viscoso fue el tratado con ultrasonido (0.025 ± 0.001 Pa*s) y el menos viscoso fue el pasteurizado (0.017 ± 0.001 Pa*s). Este comportamiento indica que la viscosidad del jugo de sábila podría ser inversamente proporcional a la temperatura. Por ejemplo, Ruiz *et al.* (2010) registraron el incremento de viscosidad en jugos de melocotón, manzana y pera a medida que disminuye la temperatura de proceso. Otros estudios han demostrado que la aplicación de ultrasonidos modifica la viscosidad de los alimentos, la cual puede aumentar o disminuir, dependiendo de la intensidad, además el efecto puede ser temporal o permanente y modifica directamente la textura del producto (Soria y Villamiel, 2010).

La mayor concentración de azúcares totales se registró en los jugos tratados con pasteurización (1687.962 ± 26.724 μ g glucosa/mL) y ultrasonido (1646.296 ± 26.724 μ g glucosa/mL) (Cuadro 13), en donde no hubo diferencias significativas entre ellos. La menor concentración de azúcares se registró en el jugo fresco y en el jugo con doble congelación. Este comportamiento se puede deber a la exposición prolongada a la temperatura de pasteurización o a la cavitación durante la aplicación de ultrasonido que provoca rompimiento de estructuras complejas de polisacáridos, favoreciendo la presencia de una mayor cantidad de azúcares con estructura más simples que son determinados mediante la técnica de Dubois.

Cuadro 13. Valores de las variables fisicoquímicas obtenidos en el jugo de sábila en cada método de conservación

VARIABLE	MÉTODO DE CONSERVACIÓN			
	Fresco	Pasteurización	Doble congelación	Ultrasonidos
°Brix	1.033±0.019a	1.016±0.019a	0.6±0.019b	1.05±0.019 ^a
pH	4.778±0.003a	4.731±0.003c	4.758±0.003b	4.726±0.003c
Turbidez (NTU)	249.833±1.219a	181.833±1.219c	131.083±1.219d	222.416±1.219b
Viscosidad (Pa*s)	0.021±0.001b	0.017±0.001c	0.02±0.001b	0.025±0.001 ^a
Azúcares totales (μg glucosa/mL)	1356.481±26.724b	1687.962±26.724a	1162.962±26.724b	1646.296±26.724 ^a
Azúcares reductores (μg glucosa/mL)	444.444±4.38a	237.037±4.38c	120.37±4.38d	324.074±4.38b
Proteína (%)	9.189±0.109a	7.6±0.109b	6.44±0.109c	5.702±0.109d
Sólidos totales (%)	1.061±0.026a	0.935±0.026b	0.821±0.026d	0.897±0.026c

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales con la prueba de T ($p < 0.05$).

En cuanto a los azúcares reductores, hubo diferencias significativas entre todos los jugos; el valor más alto se obtuvo en el jugo fresco ($444.444 \pm 4.38 \mu\text{g}$ glucosa/mL), seguido del jugo ultrasonificado ($324.074 \pm 4.38 \mu\text{g}$ glucosa/mL), del jugo pasteurizado ($237.037 \pm 4.38 \mu\text{g}$ glucosa/mL) y por último en el jugo tratado con doble congelación ($120.37 \pm 4.38 \mu\text{g}$ glucosa/mL). Esto indica que los azúcares simples, hexosas y cetosas, presentes en el jugo fresco fueron degradados de manera significativa mediante cualquier método de conservación. Estos valores discrepan del contenido de azúcares reductores reportados por Lozano *et al.* (2011) en el gel de sábila, ($3610 \mu\text{g}$ glucosa/mL). Esto puede deberse a los

procesos de filtración usado en la elaboración de los jugos como tratamiento previo al método de conservación.

Los métodos de conservación estudiados disminuyeron el contenido de proteína del jugo fresco (9.189 ± 0.109 %). El valor más bajo fue registrado en el jugo tratado mediante ultrasonidos (5.702 ± 0.109 %). Este comportamiento de degradación de proteínas mediante ultrasonidos ha sido explicado por varios autores. La concentración de grandes cantidades de energía en el medio durante la aplicación de ultrasonidos, provoca una despolimerización de proteínas a una potencia, tiempo y frecuencia dadas (Muñoz-Labrador *et al.*, 2019). Además, los fenómenos de expansión y compresión a los que es sometida la muestra de jugo durante el ultrasonido, puede provocar la desnaturalización de las proteínas y por ello se cuantifica una menor concentración tras su aplicación (Chandrapala y Leong, 2015). El jugo tratado con doble congelación presentó una disminución de 30 % en comparación con el jugo fresco; esto puede deberse a que la congelación puede alterar la estructura de las proteínas (Peé *set al.*, 2013). Al congelarse y descongelarse la modificación de fuerzas moleculares y el descenso de la energía, causan transformación en la estructura (Dickinson, 1976).

Por otra parte, el jugo fresco registró el mayor contenido de sólidos (1.061 ± 0.026 %) y el menor se obtuvo en el jugo tratado con doble congelación (0.821 ± 0.026 %). Este comportamiento está relacionado con los valores más bajos de turbidez y % proteína registrados en los jugos de doble congelación explicados anteriormente.

El Cuadro 14, concentra los resultados de las características fisicoquímicas de los jugos de sábila, derivados de las **interacciones** entre las variables estudiadas: **época de cosecha y método de conservación**. Este Cuadro presenta una matriz con los promedios \pm error estándar de los ocho tratamientos evaluados.

En los jugos de los tratamientos Sequía-Fresco, Sequía-Pasteurizado y Sequía-Ultrasonido, se obtuvieron los valores más altos de °Brix (Cuadro 14). La menor concentración de °Brix se encontró en los jugos de los tratamientos de Sequía-Doble congelación (0.5 °Brix). Aguilar *et al.* (2011) encontraron valores iniciales entre 0.91 y 0.96 de °Brix en muestras frescas de gel de sábila, pasteurizadas y con antimicrobianos naturales. Por otro lado, Guevara *et al.* (2016) obtuvieron un promedio de 1.0 °Brix en los jugos frescos de sábila. Asimismo, el Consejo Internacional de Ciencias del Aloe (IASC, por sus siglas en inglés), establece que el contenido de azúcares en la sábila es muy bajo, aunque no se indican un valor estándar.

Los tratamientos de Lluvia-Pasteurización y Lluvia-Ultrasonido, registraron los valores más bajos de pH, 4.607 y 4.603, respectivamente (Cuadro 14). Los valores promedio de pH en los jugos obtenidos en todos los tratamientos de la época de sequía (pH=4.8) fueron más altos que los valores estándares permitidos por el IASC (3.5 a 4.7); sin embargo, estos podrían ser ajustados con la adición de ácido cítrico (He *et al.*, 2005).

Los valores de pH obtenidos en el jugo de sábila en la presente investigación, coinciden con los reportados por Guevara *et al.* (2016) quienes registraron valores de pH de entre 4.6 y 4.9 en jugos de sábila cultivada con distintos niveles de biofertilizantes. Asimismo, Aguilar *et al.* (2011) reportan valores de pH entre 3.25 y 3.40. Estas discrepancias, puede deberse a la variedad de sábila usada en los estudios y las condiciones edafo-climáticas donde crece el cultivo (Lagunes-Domínguez, 2019).

El jugo con mayor viscosidad fue en el tratamiento Sequía-Ultrasonido (0.016 ± 0.001 Pa*s). Sin embargo, los jugos obtenidos en la misma época, pero tratados mediante pasteurización (0.011 ± 0.001 Pa*s) y doble congelación (0.015 ± 0.001 Pa*s) fueron los jugos

menos viscosos de todos los tratamientos evaluados. En la teología del mucílago de sábila, se observa que el mucílago se comporta como un fluido No Newtoniano, dentro de la clasificación de los pseudo-plásticos. Es decir, en los fluidos con este tipo de comportamiento, la viscosidad desciende a medida que aumenta la velocidad de corte hasta mantenerse constante (Pérez *et al.*, 2019). Este comportamiento ha sido observado por Cervantes-Martínez *et al.* 2014 en jugos de sábila reconstituidos sometidos a procesos térmicos. Los autores señalan que el uso de temperaturas en el procesamiento del jugo de sábila, puede afectar la estructura física de las cadenas de polímeros, además puede disminuir el peso molecular debido a la degradación de los polisacáridos y provocar una disminución en el valor de la viscosidad del jugo.

Los valores de turbidez en jugo fresco, en ambas épocas, disminuyeron significativamente después de la aplicación de cualquiera de los métodos estudiados. El jugo con mayor turbidez fue obtenido en el tratamiento Sequía-Fresco (255 ± 1.725 NTU), y la menor turbidez se registró en el jugo de Lluvia-Doble congelación (123.333 ± 1.725 NTU) (Cuadro 14).

La turbidez en un jugo está relacionada con las partículas en suspensión compuestas de una mezcla de proteínas, pectinas, lípidos, entre otras. Esta disminución de turbidez puede estar asociada al efecto de la temperatura o a la actividad enzimática que genera la separación de las fases en el jugo (Paniagua-Martínez *et al.*, 2018).

Por otra parte, la concentración más alta de azúcares totales en los jugos se encontró en los tratamientos Sequía-Pasteurización (2020.37 ± 37.79 μg glucosa/mL) y Sequía-Ultrasonido (2057.407 ± 37.79 μg glucosa/mL) y la menor en el tratamiento Lluvia-Fresco (811.111 ± 37.79 μg glucosa/mL).

Cuadro 14. Variables fisicoquímicas en jugos de sábila en cada tratamiento evaluado (época de cosecha*método de conservación)

Tratamiento	°Brix	pH	Turbidez (NTU)	Viscosidad (Pa*s)	Azúcares totales (µg glucosa/mL)	Azúcares reductores (µg glucosa/mL)	Proteína (%)	Sólidos totales (%)
Sequía-Fresco	1.2±0.027a	4.863±0.005a	255±1.725a	0.018±0.001c	1901.851±37.79b	579.629±6.19a	10.129±0.154a	1.198±0.037a
Sequía-Pasteurizado	1.2±0.027a	4.856±0.005a	184.833±1.725e	0.011±0.001d	2020.37±37.79a	253.703±6.19e	9.57±0.154b	0.965±0.037b
Sequía-Doblecongelación	0.7±0.027c	4.837±0.005b	138.833±1.725f	0.015±0.001cd	1344.444±37.79c	137.037±6.19g	8.457±0.154c	0.852±0.037b
Sequía-Ultrasonido	1.2±0.027a	4.85±0.005a	240.666±1.725b	0.016±0.001c	2057.407±37.79a	368.518±6.19b	7.758±0.154d	0.878±0.037b
Lluvia-Fresco	0.86±0.027b	4.694±0.005c	244.666±1.725b	0.024±0.001b	811.111±37.79e	309.259±6.19c	8.249±0.154c	0.923±0.037b
Lluvia-Pasteurización	0.83±0.027b	4.607±0.005d	178.833±1.725d	0.022±0.001bc	1355.555±37.79c	220.37±6.19f	5.63±0.154e	0.905±0.037b
Lluvia-Doblecongelación	0.5±0.027d	4.679±0.005c	123.333±1.725g	0.025±0.001b	981.481±37.79d	103.703±6.19h	4.424±0.154f	0.79±0.037c
Lluvia-Ultrasonido	0.9±0.027b	4.603±0.005d	204.166±1.725c	0.033±0.001 ^a	1235.185±37.79c	279.629±6.19d	3.646±0.154g	0.915±0.037b

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales con la prueba de T ($p < 0,05$).

De acuerdo con Aguilar *et al.* (2011), los monosacáridos libres son un importante componente de la pulpa de sábila, lo que representa del 20-30% del gel fresco. Los valores de azúcares totales obtenidos por los autores, se encuentran entre 3.1 mg/mL para el gel de sábila tratado térmicamente y 4.0 mg/mL para la pulpa conservada mediante antimicrobianos naturales. Estos valores son mayores a los registrados en los jugos analizados en la presente Tesis, debido al proceso de filtración previo a la aplicación del método de conservación usado.

Los azúcares reductores en el jugo de sábila registraron el valor más alto (579.629 μg glucosa/mL) en el tratamiento Sequía-Fresco y el tratamiento donde se obtuvo la menor concentración (103.703 μg glucosa/mL) fue en el de Sequía-Doble congelación. Este comportamiento fue observado por Tejacal *et al.* (2015) quienes observaron una reducción aproximada del 50% en los azúcares reductores en el jugo de mamey refrigerado a 10 °C con respecto al jugo fresco. Esta disminución la atribuyeron a una modificación en el metabolismo de los azúcares debido a la temperatura baja. De la misma manera, la pulpa de níspero estudiada por Valdivia (2019) presentó una disminución de concentración de azúcares reductores a una temperatura de 4 °C.

El porcentaje de proteína más alto se registró en el tratamiento sequía-fresco (10.129 \pm 0.154 %). Este valor disminuyó significativamente en la mayoría de los métodos de conservación aplicados y los valores más bajos fueron registrados en los tratamientos de la época de lluvia (Cuadro 14). Como se comentó previamente, cualquiera de los métodos aplicados puede provocar la desnaturalización de las proteínas. Es decir, producen un cambio en su estructura física; sin embargo, a pesar de este cambio no afectan a la composición de aminoácidos (Mejía-López *et al.*, 2017).

En cuanto a sólidos totales, el valor más alto se mostró en el tratamiento de Sequía-Fresco (1.198 ± 0.037), y el menor en el tratamiento de Lluvia-Doble congelación (0.79 ± 0.037) (Cuadro 14). El porcentaje de sólidos más alto en los tratamientos de la época de sequía se atribuyen a que en durante este periodo, la planta es sometida a estrés hídrico mismo que promueve la concentración de sólidos totales en la misma (Nuñez-Colima *et al.*, 2018). La disminución del contenido de sólidos totales en todos los jugos tratados con los métodos de conservación se relaciona con los cambios en la estructura y liberación de agua provocados por los efectos de temperatura y cavitación en los jugos (Ulloa, 2013; Arevalo, 2017). Los valores de sólidos totales se encuentran en el mismo orden de magnitud que los registrados por otros autores que van entre 0.64 % (Wangy Strong, 1995) y 2.98 (Calazada y Pedroza, 2005). Las discrepancias entre el contenido de sólidos reportados pueden deberse a los factores intrínsecos de la sábila analizada como edad de la plantación, estado de madurez en las hojas de sábila usadas, variedad o bien a factores edafoclimáticos.

7.2.3 Parámetros de color en los jugos de sábila en función de la época de cosecha y método de conservación

El color en los jugos de sábila se registró a través de las coordenadas cromáticas: L (luminosidad), a* (coordenada rojo/verde) y b* (coordenada amarillo/azul). Un valor de a+ indica mayor rojez y a- indica verde; un valor de b+ indica que tiene hacia el amarillo y b- indica azul. Las coordenadas de color medidas en los jugos de sábila no mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) con respecto a la época de cosecha. Los jugos de sábila tuvieron valores promedios de L= 18.14, a*=12.98 y b*= -0.59 que resultaron en los parámetros Chroma= 13.07 y Hue= 0.04°. No existen hasta la fecha estudios sobre los parámetros de color en jugos de sábila en distintas épocas de cosecha.

En la Figura 5, se presentan los valores de las coordenadas de color medidas en los jugos de sábila con respecto al método de conservación y al tratamiento (**interacción época de cosecha*método de conservación**). Los métodos de conservación provocaron una disminución en la luminosidad de los jugos.

El jugo fresco presentó un valor de $L^* = 23.3$, seguido del jugo pasteurizado (19.22), ultrasonicado (17.42) y el método que más afectó la luminosidad fue el de doble congelación (12.63), reduciendo un 46% con respecto al jugo fresco.

En cuanto al valor de a^* , los jugos procesados mediante pasteurización (15.73) y doble congelación (15.89) presentaron un aumento del 70% con respecto al jugo fresco (9.30); el jugo ultrasonicado (11.01) solo presentó un aumento del 18%. Entre más alto sea el valor de a^* indica que el color del jugo tiende más al rojo. Esto puede ser debido a que el contacto del jugo con el aire, durante la manipulación, o las altas temperaturas durante el método de pasteurización, pudo haber sufrido oxidación y despolimerización de las enzimas presente en el jugo, por lo que el color pasa de verde a rosáceo o marrón a través del tiempo.

Los valores de b^* del jugo ultrasonicado (1.59) y del jugo pasteurizado (-0.7) fueron mayores que el del jugo fresco (-1.52), y de los jugos con doble congelación (-1.75). En general, las coordenadas cromáticas encontradas en los jugos analizados en la presente Tesis, difieren de los valores obtenidos por Minjares-Fuentes *et al.*, (2017) quienes registraron valores promedios de $L^*=87.2$, $a^*=-3.2$ y $b^*=10.4$ para el jugo de sábila fresco.

Métodos y Tratamientos

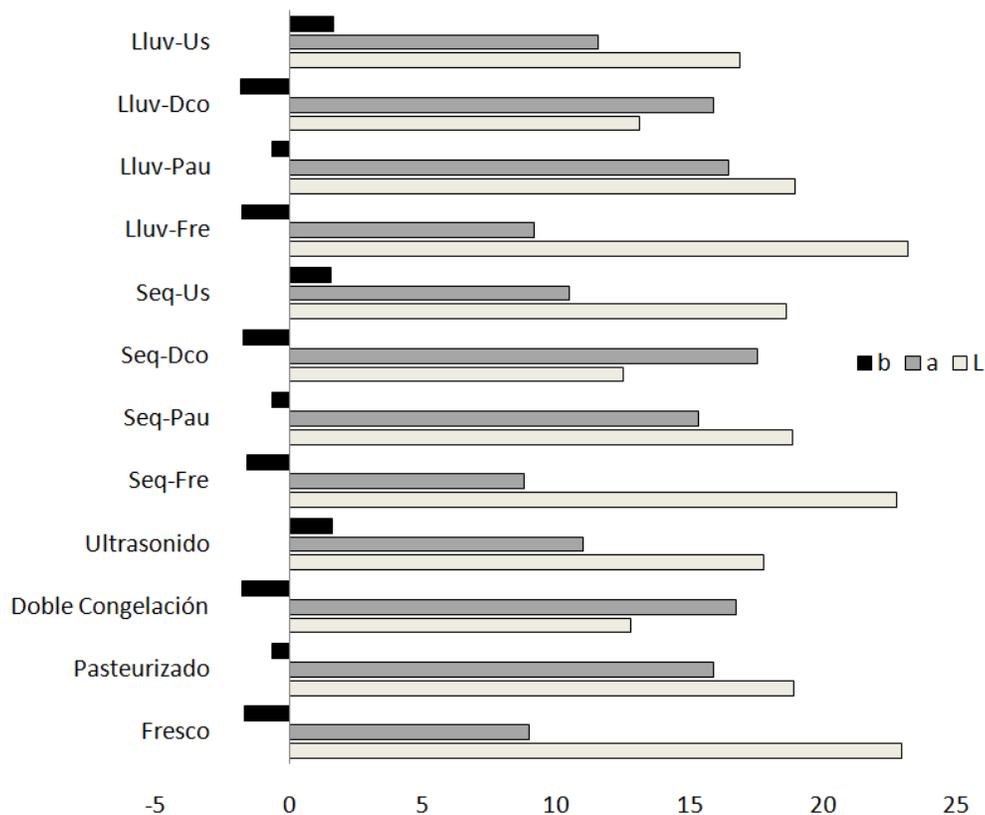


Figura 5. Valores de color (L^* , a^* y b^*) de jugos de sábila con respecto al método de conservación y a la interacción de tratamientos.

Con respecto a las interacciones época*método, El valor de Luminosidad de los jugos de sábila de los tratamientos Sequía-Fresco ($L=22.75$) y Lluvia-Fresco ($L=23.85$) fueron más mayores con respecto a los jugos de sábila tratados, en cualquier época de cosecha (Figura 5). Asimismo, los valores de las coordenadas a^* fueron más bajos, tanto en sequía-Fresco ($a^*=8.79$) como en Lluvia-Fresco ($a^*=9.82$) (Figura 5). Es decir, que los métodos de conservación empleados aumentaron ésta variable, ya que como se observa todos los tratamientos en los cuales los jugos fueron procesados, presentaron una variación que tiende al cambio del color verde al rojo, con respecto a los jugos frescos. En contraste, la coordenada b^* que indica una tendencia hacia el color amarillo, presentó valores positivos y más altos en

los tratamientos de Sequía-Ultrasonido y Lluvia-Ultrasonido (1.56 y 1.62, respectivamente) y en los jugos de los tratamientos sequía-pasteurización y lluvia-pasteurización (-0.67 y -0.73, respectivamente), en comparación con los tratamientos sequía-fresco y lluvia-fresco (-1.61 y -1.44, respectivamente).

Este comportamiento en las coordenadas cromáticas se ha encontrado en otros jugos de frutas tratados por ultrasonidos o mediante tratamientos térmicos. Paniagua-Martínez *et al.* (2018) encontró que en jugo de naranja tratado mediante ultrasonidos ocasionó una diferencia en los valores de color con relación a jugos frescos. Por ejemplo, la disminución del valor de L^* , es decir una pérdida de brillo y una disminución en los valores de a^* en el jugo con ultrasonidos en comparación con el jugo fresco. Asimismo, en los resultados de Fabroni *et al.* (2010) de la misma manera obtuvieron valores más bajos de L^* , a^* y b^* en los jugos de naranja tratados mediante ultrasonidos.

En cuanto a color en gel, pocos o nulos estudios han determinado los parámetros de color en del jugo de sábila líquido. Domínguez-Fernández *et al.* (2012) mencionan que es incoloro y, Gómez *et al.* (2001), indican que es un líquido claro y de color blanco o ligeramente amarillento. Pedroza *et al.* (2009) y Aguilar *et al.* (2011) señalan que el gel de sábila, durante su procesamiento puede sufrir modificaciones originadas por contaminación microbiana y factores como la temperatura y el oxígeno que implica una reducción de su vida útil, originando cambios indeseables de color, pero no miden parámetros de color de forma instrumental.

En jugos procesados, Pérez-Álvarez *et al.* (2008) analizaron jugos de sábila de una empresa procesadora y obtuvieron valores en las coordenadas cromáticas ($a^* = -0.46$, $b^* = 15.54$, $L^* = 55.30$) que difieren de los encontrados en los jugos del presente estudio. Esto

puede deberse a la diferencia en el control de las variables de tiempos y temperaturas empleados en el método de pasteurización utilizado de manera industrial en la empresa procesadora, ya que señalan la obtención de un jugo ligeramente ámbar. Por ello, la importancia de controlar las variables de los métodos de conservación usados para prolongar la vida útil del jugo de sábila y agregar valor, a fin de mantener los estándares de calidad del consumidor.

8. CONCLUSIONES

Se comprobó la hipótesis general: La época de cosecha de las hojas de sábila tuvo efecto en el contenido de compuestos bioactivos, actividad antioxidante y las características fisicoquímicas de los jugos evaluados. Además, la aplicación de métodos de conservación no afectó la disponibilidad de los componentes bioactivos presentes en el jugo de sábila fresco (sin tratar).

Respecto a la **hipótesis particular 1**, no hubo evidencia para rechazar la hipótesis particular ya que existieron diferencias significativas en los componentes bioactivos y actividad antioxidante del jugo de sábila en función de la época de cosecha de la hoja y del método de conservación.

Los jugos de sábila cosechada en época de sequía presentaron un mayor contenido de compuestos bioactivos: acemananos, compuestos fenólicos totales y residuos insolubles en alcohol. El jugo tratado con la doble congelación, con respecto al jugo fresco, presentó los valores más altos de acemananos, que constituyen los oligosacáridos con actividad funcional más importantes en el jugo de sábila. Asimismo, los métodos procesamiento con ultrasonido

y doble congelación, incrementaron la capacidad antioxidante y los residuos insolubles en alcohol de los jugos.

Los jugos obtenidos poseen una concentración de aloína que se encuentra dentro de lo establecido por el IASC, Además, se observó que la mayor concentración de aloína se encontraba en los jugos extraídos en época de lluvias.

Respecto a la **hipótesis Particular 2**, se rechaza parcialmente, ya que las propiedades fisicoquímicas de los jugos de sábila presentaron variación entre las épocas de cosecha de las hojas y variaron en función del método de conservación. Las variables funcionales °Brix, pH y turbidez presentaron valores más altos en los jugos de la época de sequía. No obstante, en época de sequía se obtuvo una menor viscosidad con respecto a la época de lluvia.

Los °Brix de los jugos tratados con pasteurización y ultrasonido no mostraron diferencias en los respecto al jugo fresco, sin embargo, los tratados con doble congelación tuvieron menores valores. El pH y la turbidez disminuyeron en los jugos tratados. En cuanto a viscosidad, todos los jugos presentaron un comportamiento de fluido No Newtoniano. Los jugos de sábila obtenidos durante la época de sequía presentaron mayores contenidos de azúcares totales, reductores, proteína y sólidos totales. Los métodos de pasteurización y ultrasonido contribuyeron al aumento del contenido de azúcares totales en el jugo.

Los parámetros de color de los jugos no variaron significativamente entre épocas de cosecha, pero sí entre métodos de conservación y tratamientos.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se pudo comprobar que los métodos artesanales de conservación (congelación y pasteurización) usados para el procesamiento de jugos en las zonas productoras de sábila, en la región de Sotavento, permiten retener compuestos

bioactivos que garantizan la fabricación de jugos funcionales saludables que podrían satisfacer las demandas actuales del consumidor.

9. RECOMENDACIONES

Realizar un análisis microbiológico a fin de probar la eficiencia de cada método de conservación en la inhibición de microorganismos como mesófilos, coliformes, hongos y levaduras que provocan disminución de la calidad e inocuidad del jugo ya que causan alteraciones de textura, organolépticas y enfermedades en los consumidores.

Estudiar la vida de anaquel de cada jugo, gel, la cáscara y flores para determinar el efecto del tipo de procesamiento en relación con el contenido de compuestos bioactivos, actividad antioxidante y las características fisicoquímicas a través del tiempo.

Desarrollar un análisis sensorial y de productos de valor agregado a partir del gel, la cáscara y las inflorescencias de sábila para determinar sus propiedades organolépticas en función de condiciones agroclimáticas y método de conservación.

10. LITERATURA CITADA

- Abid, M., S. Jabbar, T. Wu, M. M. Hashim, B. Hu, S. Lei y X. Zeng. 2013. Effect of ultrasound on different quality parameters of apple juice. *Ultrasonics Sonochemistry*, 20: 1182–1187.
- Aguilar F., D. C., V. Moo H.; N. Cob C., G. Rivera M. L. y Vargas V. E. Tamayo C. y J Tamayo C. 2011. Vida útil del jugo de sábila (*Aloe vera* MILL), en presencia de propóleo, citracidin y nisina. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha* 12: 94-100.
- Aguilar M. J. 2012. Métodos de conservación de alimentos. Red Tercer Milenio S.C. ©Derechos Reservados Viveros de Asís 96, Col. Viveros de la Loma, Tlalnepantla, C.P. 54080, Estado de México
- Albornoz, A.R. y J. Imery. 2003. Evaluación citogenética de ocho poblaciones de *Aloe vera* L. de la península de Araya-Venezuela. *Ciencia (LUZ)* 11: 5-13.

- Alper, N., K. S. Bahceci y J. Acar. 2005. Influence of processing and pasteurization on color values and total phenolic compounds of pomegranate juice. *Journal of Food Processing and Preservation* 29: 357–368.
- Alvarado-González J.S., J.J. Chanona-Pérez, J. S. Welte-Chanes, G. Calderon-Domínguez, I. Arzate-Vázquez, S. U. Pacheco-Alcalá, V. Garibay-Febles y G. F. Gutiérrez-López. 2012. Propiedades ópticas, microestructurales, funcionales y nanomecánicas de películas comestibles de gel de *Aloe vera*/gomagelano. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 11: 193-210.
- Arevalo S., S. T. 2017. “Agua en los alimentos”. Memoria descriptiva. Escuela de Formación Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias
- Arroyo P. 2008. La alimentación en la evolución del hombre: su relación con el riesgo de enfermedades crónico degenerativas. *Boletín Médico del Hospital Infantil de México* 65: 431-440.
- Ashafa A., A. Abass, T. Sunmonuy y A. Ogbe. 2011. Laxative potential of the ethanolic leaf extract of *Aloe vera* (L.) Burm. f. in Wistar rats with loperamide-induced constipation. *Journal of Natural Pharmaceuticals*, 2: 158-162.
- Ávila N. R., B. Rivas P., R. Hernández M. y M. Chirinos. 2012. Contenido de azúcares totales, reductores y no reductores en *Agave cocui* Trelease. *Multiciencias* 12: 129 – 135.
- Badui, S. D. 2001. Química de los alimentos. Ed. Pearson Education. México D. F. 94- 104.
- Baquero, G. D. C., Paternina, G. S. A., y Cadavid, M. V. 2016. Frutas tropicales: fuente de compuestos bioactivos naturales en la industria de alimentos. *Ingenium* 17: 29-40.
- Barlow T. G. 1962. Early diagnosis and treatment of congenital dislocation of the hip. *Journal of Bone and Joint Surgery. Britis* 44: 292–301.
- Bonilla B., M. J. y L. G. Jiménez H. 2016. Potencial industrial del Aloe vera, *Revista Cubana de Farmacia* 50 (1).
- Bonilla, P., F. Quispe, L. Negrón y A. Zavaleta. 2015. Compuestos bioactivos y análisis sensorial de una bebida funcional de maíz morado (*Zea mays* L.) y estevia (*Stevia* SP.). *Ciencia e Investigación* 18: 37-42.
- Boudreau M. D., G. R. Olson, V. P. Tryndyak, M. S. Bryant, R. P. Felton y F. A. Beland. 2017. From the Cover: Aloin, a Component of the Aloe Vera Plant Leaf, Induces Pathological Changes and Modulates the Composition of Microbiota in the Large Intestines of F344/N Male Rats. *Toxicological Sciences* 158: 302–318.
- Brown P. N., R. Yu, C. Kuan, J. Finley, E. M. Mudge y S. Dentali. 2014. Determination of Aloin A and Aloin B in *Aloe vera* Raw Materials and Finished Products by High-Performance Liquid Chromatography: Single-Laboratory Validation. *Journal of AOAC International* 97: 1323–1328.
- Buñay M. N. A. 2018. Desarrollar una bebida a base de mezclas de néctares de mango (*Mangifera indica*) y maracuyá (*Passiflora edulis*). Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Químicas.

- Burin, V. M., L. D. Falcão, L. V. Gonzaga, R. Fett, J. P. Rosier y M. T. Bordignon-Luiz. 2010. Colour, phenolic content and antioxidant activity of grape juice. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 30: 1027–1032.
- Calzada R., A. M. y Pedroza S, A. 2005. Evaluación fisicoquímica del gel y jugo de la hoja de sábila (*A. barbadensis*) en diferentes prácticas de manejo. *Revista Chapingo* 4: 93 - 102.
- Cárcamo-Medina L., M. Elezar-Turcios, y L. E. Ordóñez-Santos. 2019. Cambios en los compuestos bioactivos del jugo de uchuva (*Physalis peruviana* L.) pasteurizado. *Tecnología y Alimentos* 22: 145-153.
- Carrandi, L. 1995. Efecto de conservantes en la estabilidad de jugo de tuna pasteurizado. Memoria de TmHtulo. Ing. Agrónomo. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales Universidad de Chile. 61 pp.
- Carrillo I. M. L. y Reyes M. A. 2013. Vida útil de los alimentos. *Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias* 2: 32-56.
- Castellanos Puerto E., M. M. Rodríguez Acosta, T. Vázquez González y A. Sin Mayor. 2001. Efecto antiviral del extracto acuoso de *Aloe barbadensis* contra el virus de la hepatitis B. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*. 6: 7-11.
- Castillo Zamudio, R. I. 2015. Inactivación microbiana en matrices cárnicas mediante fluidos supercríticos asistidos por ultrasonidos de potencia. Tesis Doctoral. Universitat Politècnica de València. p. 36-44
- Cervantes-Martínez C. V., L. Medina-Torres, R. F. González-Laredo, F. Calderas, G. Sánchez-Olivares, E. E. Herrera-Valencia y J. Rodríguez-Ramirez. 2014. Study of spray drying of the *Aloe vera* mucilage (*Aloe vera barbadensis* Miller) as a function of its rheological properties. *LWT-Food Science and Technology* 55: 426-435.
- Chacón-Garza L.E. y J.C. Montañez-Sáenz. 2014. Efectos de los tratamientos de Ultrasonido y Calentamiento óhmico sobre aspectos de calidad de jugo de Toronja (*Citrus paradisi*). *Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica* 7.
- Chagua R. P., R. J., Malpartida Y. y A. Ruíz R. 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: 45-57.
- Chaman M. 2007. Variaciones en el contenido relativo de agua y la concentración de prolina en *Capsicum annum* L. induced by NaCl. *Arnaldoa*. 14:251- 258.
- Chandrapala J. y Leong T. 2015. Ultrasonic processing for dairy applications: Recent advances, *Food Engineering Reviews* 7: 143-158.
- Chiang, H. M., Y. T. Lin, P. L. Hsiao, Y. H. Su, H. T. Tsao, y K. C. Wen. 2012. Determination of marked components—aloin and aloe-emodin—in *Aloe vera* before and after hydrolysis. *Journal of Food and Drug Analysis* 20: 646-652.
- Choi S. y M. Chung. 2003. A review on the relationship between *Aloe vera* components and their biologic effects. *Seminars in Integrative Medicine* 1: 53-62.

- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2018. Resúmenes Mensuales de Temperatura y Lluvia. Fecha de consulta: febrero 2019.
- Cuevas B., C. Méndez, I. Islas-Flores, S. Solís-Pereira, L. Cuevas-Glory, G. Muñoz, M. Vargas y J. Cortez. 2016. Main Polysaccharides Isolated and Quantified of *Aloe vera* Gel in Different Seasons of the Year. *Food and Nutrition Sciences* 7: 447-453.
- Custode F. C. 2015. Estudio comparativo entre la pasteurización abierta y al vacío en las propiedades físico-químicas, microbiológicas y sensoriales de un néctar a base de maracuyá (*Passiflora edulis* Sims.), zanahoria (*Daucus carota* L.) y noni (*Morinda citrifolia* L.).
- Dagne E., D. Bisrat, A. Viljoen y B-E. Van Wyk. 2000. Chemistry of *Aloe* Species. *Current Organic Chemistry*. 4: 1055-1078.
- De Rodríguez, D. J., Hernández-Castillo, D., Rodríguez-García, R. y Angulo-Sánchez, J. L. 2005. Antifungal activity in vitro of *Aloe vera* pulp and liquid fraction against plant pathogenic fungi. *Industrial Crops and Products* 21: 81-87.
- Delatorre-Herrera J., I. Delfino, C. Salinas, H. Silva y L. Cardemil. 2010. Irrigation restriction effects on water use efficiency and osmotic adjustment in *Aloe vera* plants (*Aloe barbadensis* Miller). *Agricultural Water Management* 97: 1564–1570.
- Dickinson. T.R. 1979. Introducción a la Química, Publicaciones Cultural, México.
- Domínguez-Fernández R.N., I. Arzate-Vázquez, J. J. Chanona-Pérez, J. S. Welti-Chanes, J. S. Alvarado-González, G. Calderón-Domínguez, V. Garibay-Febles y G. F. Gutiérrez-López. 2012. El gel de *Aloe vera*: estructura, composición química, procesamiento, actividad biológica e importancia en la industria farmacéutica y alimentaria. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 8: 23-43.
- Drago Serrano M. E., M. López López y T.R.Saíñz E. 2006. Componentes bioactivos de alimentos funcionales de origen vegetal. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas* 37: 57- 68.
- Eberendu A., G. Luta, J. Edwards, B. McAnelly y B. Davis. 2005. Quantitative Colorimetric Analysis of Aloe Polysaccharides as a Measure of *Aloe vera* Quality in Commercial Products. *Journal of AOAC International* 88: 684-691.
- Echavarría Z. B., A. Franco S. y A. Martínez M. 2009. Evaluación de la actividad antioxidante y determinación del contenido de compuestos fenólicos en extractos de macroalgas del Caribe Colombiano. *Vitae*: 126-131.
- Eshun, K. y He, Q. 2004. *Aloe vera*: A valuable ingredient for the food, pharmaceutical and cosmetic industries-A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 44: 91-96.
- Fabroni S.; M. Amenta, N. Timpanaro y P. Rapisarda. 2010. Supercritical carbon dioxide-treated blood orange juice as a new product in the fresh fruit juice market. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 11:477-484.
- Fellows, P. J. 2000. *Food Processing Technology. Principles and Practice*. 2nd Edición. Woodhead Publishing, Cap. 11.

- Femenia A., E. Sanchez, S. Simal y C. Rossello. 1999. Compositional features of polysaccharides from *Aloe vera* (*Aloe barbadensis* Miller) plant tissues. *Carbohydrate Polymers* 39, 109-117.
- Femenia A., P. García-Pascual, S. Simal y C. Rosselló. 2003. Effects of heat treatment and dehydration on bioactive polysaccharide acemannan and cell wall polymers from *Aloe barbadensis* Miller. *Carbohydrate Polymers* 51: 397–405.
- Ferraro G. M. 2009. Revisión de la *Aloe vera* (*barbadensis* Miller) en la dermatología actual. *Rev. Argent. Dermatol.* 90: 218-223.
- Ferreira E.R., G. Selles V., R. Ruiz S., Y I. Selles M. 2003. Efecto del estrés hídrico aplicado en distintos periodos de desarrollo de la vid cv. Chardonna y en la producción y calidad del vino. *Agricultura Técnica* 63: 277-286.
- Filomena A., L. E. Díaz, A. Puig y I. Sotelo. 2012. Efecto de ultrasonido sobre la actividad ATP-asa y propiedades funcionales en surimi de tilapia (*Oreochromis niloticus*) *Vitae* 19: S379-S381.
- Franco-Salazar V., J. Véliz y L. Rojas. 2012. Ecofisiología de *Aloe vera* (L.) Burm. f. en Guayacán, Península de Araya, estado Sucre, Venezuela. *Interciencia.* 37:444-450.
- Franco-Salazar V., J. Véliz y R. Valerio. 2014. Algunos parámetros fisiológicos de *Aloe vera* (L.) Burm. F. (sábila) en Guayacán, península de Araya, estado Sucre, Venezuela, *Saber* 26: 18-24.
- Frazier W. C. 1993. *Microbiología de los alimentos*. Acribia. Zaragoza, España.
- Galanakis C. M., E. Tornberg, y V. Gekas. 2010. A study of the recovery of the dietary fibres from olive mill wastewater and the gelling ability of the soluble fibre fraction. *LWT – Food Science and Technology*, 43: 1009–1017.
- Galiano C. 2006. *Saber comprar, conservar y congelar nuestros alimentos*. Madrid: Ed Espasa Calpe.
- Gamez-Villazana J. y T. García-Rujano. 2012. Efecto de la congelación sobre algunas características físicas y químicas en la pulpa de la parcha real (*Passiflora quadrangularis* L.). *Bioagro* 24: 61-64.
- García A, J. Engler, S. Lyer, T. Gerats, M. Van Montagu y A. Caplan. 1997. Effects of osmoprotectants upon NaCl stress in rice. *Plant Physiology* 115:159-169.
- García López A., A. Vizoso Parra, A. Ramos Ruiz, J. Piloto Ferrer, V. Pavón González y E. A. Rodríguez Leyes. 2001. Estudio toxicogenético de un polisacárido del gel de *Aloe vera* L. *Revista Cubana de Plantas Medicinales* 6: 52-55.
- García M, A., y E. Pacheco-Delahaye. 2010. Evaluación de de una bebida láctea instantánea a base de harina de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) con la adición de ácido fólico. *Revista Chilena de Nutrición* 37: 480–492.
- Garzón C. D. L., J. E. Vélez-Sánchez y J. O. Orduz R. 2013. Efecto del déficit hídrico en el crecimiento y desarrollo de frutos de naranja Valencia (*Citrus sinensis* Osbeck) en el piedemonte del Meta, Colombia. *Acta Agronómica* 62: 136-147.

- Gil-Izquierdo A., M. I. Gil y F. Ferreres. 2002. Effect of Processing Techniques at Industrial Scale on Orange Juice Antioxidant and Beneficial Health Compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50: 5107–5114.
- Gimferrer, M. N. 2009. Tratamientos no térmicos en los alimentos. Consumer Eroski. <http://www.consumer.es/seguridad-alimentaria/ciencia-y-tecnologia/2009/01/19/182763.php>
- Gliessman S.R. 2001. Agroecología: Procesos ecológicos en agricultura sustentable. Segunda edición. Editorial Universidade/ UFRGS. Porto Alegre, Brasil.
- Gómez G. M. 2011. Efectos de los polifenoles del vino tinto sobre la disfunción endotelial hipertensiva. Universidad de Granada.
- Gómez, F. y L. Vivas y C. Santamaría. 2001. Prácticas de cultivo y algunos factores edafológicos que podrían influir sobre la calidad del gel de sábila (*Aloe barbadensis* Miller). *Revista Chapingo, Serie zonas áridas* 2: 68-73.
- Gómez-Sánchez A. I, T. G. Cerón-Carrillo, V. Rodríguez-Martínez y M. M. Vázquez-Aguilar. 2007. Aspectos tecnológicos de la congelación en alimentos. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos* 1: 80-96.
- González-Centeno M. R., M. Jourdes, A. Femenia, S. Simal, C. Rosselló y P.-L. Teissedre. 2012. Proanthocyanidin Composition and Antioxidant Potential of the Stem Winemaking Byproducts from 10 Different Grape Varieties (*Vitis vinifera* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 60:11850–11858.
- Guevara C. G. A., A. P Sandoval, R. T. Calzada, I. S. Cohen, J. A. S. Gaxiola y J. A. C. Rivero. 2016. Uso de biofertilizantes en la producción de sábila *Aloe vera* (L.) LN Burm y calidad de gel. *Investigación y Ciencia* 24: 26-32.
- Gupta, M., S. Kiran, A. Gulati, B. Sing y R. Tewari. 2012. Isolation and identification of phosphate solubilizing bacteria able to enhance the growth and aloin-A biosynthesis of *Aloe barbadensis* Miller. *Microbiological research*: 167: 358-363.
- Hamman J. 2008. Composition and Applications of *Aloe vera* Leaf Gel. *Molecules*, 13:1599–1616.
- Hamman J. H. y A. Viljoen. 2008. Use of *Aloe vera* for increasing the bioavailability of poorly absorbable drugs. SA patent application 2008/01542.
- He, Q., L. Changhong, E. Kojo y Z. Tian. 2005. Quality and safety assurance in the processing of *Aloe vera* gel juice. *Food control* 16: 95-104.
- Hernández-Rojas M. y J. F. Vélez-Ruíz. 2014. Suero de leche y su aplicación en la elaboración de alimentos funcionales. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos* 8: 13-22.
- Herrero A. M. y M.D. Romero de Ávila. 2006. Innovaciones en el procesado de Alimentos: Tecnologías no térmicas. *Revista de medicina de la Universidad de Navarra* 50:71-74.
- Heś, M., K. Dziedzic, D. Górecka, A. Jędrusek-Golińska y E. Gujska. 2019. *Aloe vera* (L.) Webb.: Natural Sources of Antioxidants—A Review. *Plant Foods for Human Nutrition* 1-11.

- Ibargüen A., M. Pinzón y L. Arbeláez. 2015. Elaboración y caracterización de películas comestibles a base de gel de aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller L.). Alimentos Hoy, Revista de la Asociación Colombiana de Ciencia y Tecnología de Alimentos 23: 133-149.
- Imery, J (2007). Inestabilidad cariológica durante la formación de células madres del polen en Aloe vera (*Aloaceae*). Revista de Biología Tropical 55: 805-813.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2018.
- Izaguirre-Silva J., R. Belmares-Cerda y M. Cruz-Hernández. 2013. Uso de tecnologías emergentes para la elaboración de bebidas funcionales (*Aloe vera*). Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila 5: 12-15.
- Jawade N. R. y A. R. Chavan. 2013. Ultrasonic-assisted extraction of aloin from *Aloe vera* gel. Procedia Engineering 51: 487-493.
- Jiménez Bolaños, G. (2003). Caracterización microbiológica de la pulpa de piña para su pasteurización y uso industrial. Proyecto de Graduación. Universidad de Costa Rica.
- Kim J. H., J.-Y. Yoon, S. Y. Yang, S.-K. Choi, S. J. Kwon, I. S. Cho y G. S. Choi. 2016. Tyrosinase inhibitory components from *Aloe vera* and their antiviral activity. Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry 32: 78–83.
- Kumar, S., Yadav, A., Yadav, M., y Yadav, J. P. 2017. Effect of climate change on phytochemical diversity, total phenolic content and in vitro antioxidant activity of *Aloe vera* (L.) Burm. f. BMC Research notes, 10: 60.
- Lagunes-Domínguez. A.; 2019. Efecto de zonas agroecológicas sobre la morfología, contenido de gel y de aloína en plantas de sábila (*Aloe vera* (L.) Burm. f.). Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Campus Veracruz.
- Larionova, M., R. Menéndez Castillo, O. Valiente Hernández, y V. Fusté Moreno. 2004. Estudio químico de los polisacáridos presentes en *Aloe vera* L. y *Aloe arborescens* Miller cultivados en Cuba. Revista Cubana de Plantas Medicinales 9.
- Lawrence R., P. Tripathi y E. Jeyakumar. 2009. Isolation, Purification and Evaluation of Antibacterial Agents from *Aloe vera*. Brazilian Journal of Microbiology, 40:906–915.
- Linaje M.S, N.M. De la Fuente, A. Alvarado, N. Arguijo, J. Elizarrarás, R. Pérez, E. Torres, S. Ugalde y J. Sifuentes. 2008. Yogurt: Sábila y Nopal (Alimentos Probióticos) Universidad Autónoma de Coahuila-Escuela de Ciencias Biológicas
- Liu C., Y. Cui, F. Pi, Y. Cheng, Y. Gu, y H. Qian. 2019. Extraction, Purification, Structural Characteristics, Biological Activities and Pharmacological Applications of Acemannan, a Polysaccharide from *Aloe vera*: A Review. Molecules 24: 1554.
- Lozano U., L. A., C.s Muvdi N. y L. D., Mejía U. 2011. Estabilización del gel de *Aloe Barbadensis* Miller y disminución de su concentración por adsorción en columna con carbón activado. Revista ION, Bucaramanga (Colombia) 24: 61-67.

- Lucini L., M. Pellizzoni y G. P. Molinari. 2013. Anthraquinones and b-polysaccharides content and distribution in Aloe plants grown under different light intensities. *Biochemistry System Ecological* 51:264–268.
- Marin M., N. Ávila, R. Dasilva R. y M. Ribeiro. 2014. Caracterizaçao físico-química e sensorial de bebida probiótica de soja. *Revista Digital Library of Journals* 32.
- Martínez A. M. y M. R. Rosenberger. 2013. Modelado numérico de pasteurización artesanal de leche y jugos naturales. *Mecánica Computacional XXXII*: 2485-2501.
- Martínez M. J., J. B. Badel y N. A. González. 1996. Ausencia de actividad antimicrobiana de un extracto acuoso liofilizado de *Aloe vera* (sábila). *Revista Cubana de Plantas Medicinales* 1:18-20.
- Matos A. A. 2011. Producción de aloína en callos y hojas de brotes de zábila (*Aloe vera* L.) regenerados in vitro *Bioagro* 23: 79-86.
- Mejía, H.L.J., S.L.P. Restrepo y C.C.E. Narváez. 2006. Cambios físicos, químicos y sensoriales durante el almacenamiento congelado de pulpa de arazá (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh). *Agronomía Colombiana* 24, 87-95.
- Mejía-López, A., S. Rodas y D. Baño. 2017. La desnaturalización de las proteínas de la leche y su influencia en el rendimiento del queso fresco. *Enfoque UTE8*: 121-130.
- Mendívez V. C. y C. Minchón M. 2010. Viscosidad cinemática y turbidez optimizadas en jugo mixto de “poro poro” y “caña de azúcar”. *Scientia* 2: 47-57.
- Milán-Carrillo J., R. Gutiérrez-Dorado, E. O. Cuevas-Rodríguez, L. M. Sánchez-Magaña, J. J. Rochín-Medina y C. Reyes-Moreno. 2017. Bebida funcional con potencial antidiabético y antihipertensivo elaborada con maíz azul y frijol negro bioprocesados. *Revista Fitotecnia Mexicana* 40: 451-459.
- Millán E., L. P. Restrepo y C. E. Narváez. 2007. Efecto del escaldado, de la velocidad de congelación y de descongelación sobre la calidad de la pulpa congelada de arazá (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh) *Agronomía Colombiana* 25: 333-338.
- Minjares-Fuentes R., L. Medina-Torres, R. F. González-Laredo, V. M. Rodríguez-González y V. E. A. Femenia. 2017. Influence of water deficit on the main polysaccharides and the rheological properties of *Aloe vera* (*Aloe barbadensis* Miller) mucilage. *Industrial Crops and Products* 109: 644-653
- Minjares-Fuentes, R., Rodríguez-González, V. M., González-Laredo, R. F., Eim, V., González-Centeno, M. R., y Femenia, A. 2017. Effect of different drying procedures on the bioactive polysaccharide acemannan from *Aloe vera* (*Aloe barbadensis* Miller). *Carbohydrate polymers* 168: 327-336.
- Molero T., G. Ettiene y M. Viloría. 2016. Determinación de aloína en poblaciones de *Aloe vera* L. (= *Aloe barbadensis* Miller.) del occidente de Venezuela *Multiciencias* 16: 143-152.
- Molero-Paredes T. y Á. Matos. 2008. Efectos de la inducción artificial de la poliploidía en plantas de *Aloe vera* (L.). *Boletín del centro de investigaciones biológicas* 42: 111–133.

- Morales Morales M.; J. P. Martínez Dávila; G. Torres Hernández y E. Pacheco Velasco. 2004. Evaluación del potencial para la producción ovina con el enfoque de agroecosistemas en un ejido de Veracruz, México. *Técnica Pecuaria México* 42:347-359.
- Moreno V. J. 2013. Extracción de compuestos antioxidantes del gel de *Sábila*. Optimización del proceso mediante la aplicación de la metodología de superficie de respuesta.
- Muñoz J., A. M., Ramos-Escudero, D. F., Alvarado-Ortiz Ureta, C., y Castañeda C., B. 2007. Evaluación de la capacidad antioxidante y contenido de compuestos fenólicos en recursos vegetales promisorios. *Revista de la Sociedad Química del Perú* 73: 142-149.
- Muñoz-Labrador A., M. Prodanov y M. Villamiel. 2019. Effects of high intensity ultrasound on disaggregation of a macromolecular procyanidin-rich fraction from *Vitis vinifera* L. seed extract and evaluation of its antioxidant activity. *Ultrasonics sonochemistry* 50: 74-81
- Narváez M. D. 2003. Producción y Mercadeo de *Sábila (Aloe barbadensis* Miller). Monografía. Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro.
- Ni Y., D. Turner, K. Yates y I. Tizard. 2004. Isolation and characterization of structural components of *Aloe vera* L. leaf pulp. *International Immunopharmacology* 4: 1745- 1755.
- Nindo C. I., J. R. Powers, y J. Tang. 2010. Thermal Properties of *Aloe vera* Powder and Rheology of Reconstituted Gels. *Transactions of the ASABE* 53: 1193–1200.
- Novillo, G.C. 2009. Desarrollo y evaluación física, química y sensorial de jugo de dos variedades de carambola (*Averrhoa carambola*). Trabajo de grado. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.
- Núñez-Colima, J. A., A. Pedroza-Sandoval, R. Trejo-Calzada, I. Sánchez-Cohen y R. Mata-González. 2018. Effect of biofertilizers on growth of *Aloe (Aloe barbadensis* Miller) and gel quality under different soil moisture contents Efecto de biofertilizantes en el crecimiento de *sábila (Aloe barbadensis* Miller) y calidad de gel en *Revista Chapingo Serie Horticultura* 24(1).
- Ochoa-Velasco C. E., V. García-Vidal, J. J. Luna-Guevara, M. L. Luna-Guevara, P. Hernández-Carranza y J. A. Guerrero-Beltrán. 2012. Características antioxidantes, fisicoquímicas y microbiológicas de jugo fermentado y sin fermentar de tres variedades de pitahaya (*Hylocereus* spp) *Scientia Agropecuaria* 3: 279-289.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 1993.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 2000.
- Ozuna, C., J. A. Cárcel, J. V. García-Pérez y A. Mulet. 2011. Improvement of water transport mechanisms during potato drying by applying ultrasound. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91(14), 2511-2517.
- Paniagua-Martínez, I., A. Mulet, M. A. García-Alvarado y J. Benedito. 2018. Orange juice processing using a continuous flow ultrasound-assisted supercritical CO₂ system: Microbiota inactivation and product quality. *Innovative food science & emerging technologies* 47: 362-370.

- Pareek S., A. Nagaraj, P. Sharma, M. Atri, S. Walia, S. Naidu y A. Yousuf. 2013. Disinfection of Dental Unit Water Line Using *Aloe vera*: In Vitro Study. International Journal of Dentistry, 1–6.
- Paz Q. M., C. Salinas, M. Gotteland y L. Cardemil. 2017. Acemannan and Fructans from *Aloe vera* (*Aloe barbadensis* Miller) Plants as Novel Prebiotics. Journal of Agricultural and Food Chemistry 65:10029–10039.
- Páez A, G. Gebre, M. González, T. Tschaplinski. 2000. Growth, soluble carbohydrates, and aloin concentration of *Aloe vera* plants exposed to three irradiance levels. Environmental and Experimental Botany 44:133-139.
- Pedroza S. A., F. Gómez L., J. A. Samaniego-Gaxiola, R. Trejo C. y J. Ruiz T. 2009. Caracterización del proceso de industrialización y comercialización de la sábila: Estudio de caso. Revista Chapingo Serie Zonas Áridas 8:241-246.
- Peés L. D. G., S. B. C. Techera, D. Escobar, A. C. F. Picun, G. C. Boam, F. L. Belacci y S. González. 2013. Efecto de la congelación de leche caprina sobre la estabilidad oxidativa, calidad higiénico sanitaria y de composición en un rebaño de la raza Saanen. Innotec 8: 60-66.
- Pérez B., V. J., J. R. Minjares-Fuentes J. J. Martínez García, J. G. Baez G., M. G. Candelas Cadillo. 2019. Composición Química, Propiedades Físicas y Reológicas del mucílago de *Aloe barbadensis* Miller. Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos 4: 902-906.
- Pérez R. C. V. y F. R. Pérez A. 2019. Efecto del tiempo de exposición al ultrasonido y la temperatura en las propiedades fisicoquímicas, contenido de vitamina C y recuento de mohos y levaduras del mesocarpio de “zarzamora” *Rubus floribundus* Kunth (Rosaceae). Arnaldoa 26: 297-304.
- Pérez, M. y M. E. Marasas. 2013. Servicios de regulación y prácticas de manejo: aportes para una horticultura de base agroecológica. Ecosistemas 22:36-43.
- Pérez-Álvarez, J., S. Aquino-Triana, A. Flores-Espinoza, P. Ramírez-Baca, M. G. Candelas-Cadillo, M. Aguilera-Ortiz y M. R. G. Chew. 2008. Descripción de la calidad fisicoquímica, microbiológica y nutrimental de jugo de sábila *Aloe vera* var. *barbadensis*. In Memoria de Congreso. Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos y II Simposium Internacional de Ciencias Químicas. Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Piña-Zambrano H. 2005. Perfil preliminar del mercado de la sábila (*Aloe barbadensis* Mill.) en el estado Falcón, Venezuela, Bioagro 17: 85-92.
- Pire, R., E. Tortolero, Y. de Fréitez y M. de Pire. 1989. El riego de la vid (*Vitis vinifera* L.) en Tocuyo, Estado Lara. I. Relaciones suelo-agua. Agronomía Tropical 38: 135-154.
- Platas-Rosado, D. E., J. Vilaboa-Arroniz, L. González-Reynoso, V. H. Severino L., G. López-Romero, y I. Vilaboa-Arroniz. 2017. Un análisis teórico para el estudio de los agroecosistemas. Tropical and Subtropical Agroecosystems 20: 395-399.

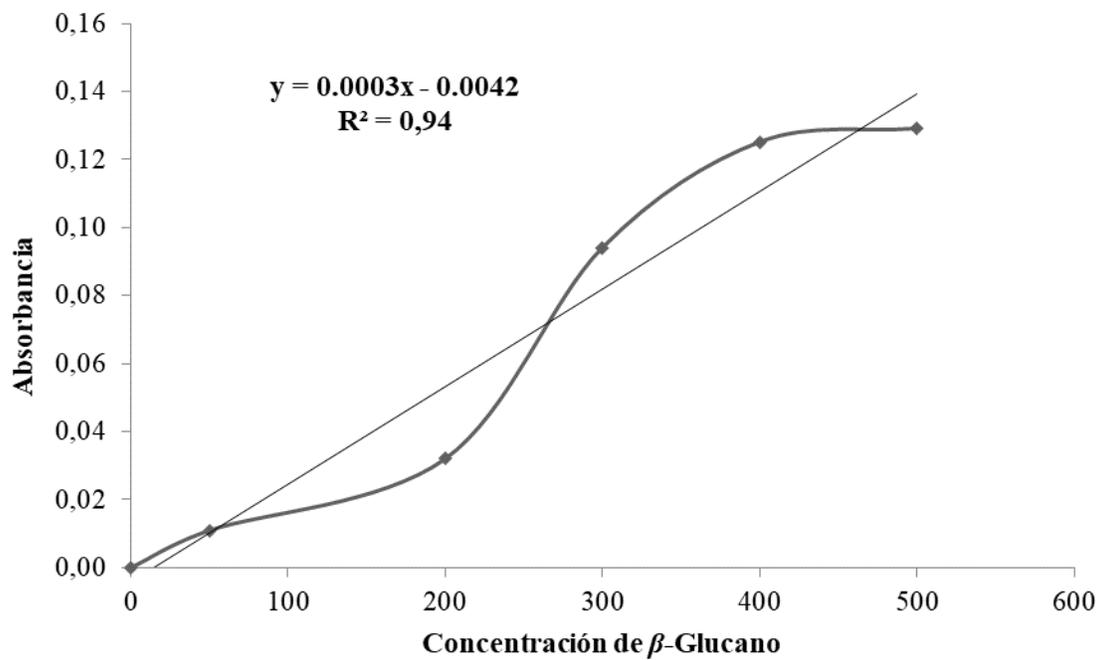
- Porras O., G. González, A. Castellanos, J. Ballesteros y M. Pacheco. 2011. Efecto de la aplicación de ondas de ultrasonido sobre las propiedades fisicoquímicas, reológicas y microbiológicas de pulpa de mango (*Mangifera indica* L.) variedad común. *Alimentos hoy* 20: 52-77.
- Quispe Cristina, M. Villalobos, J. Bórquez y M. Simirgiotis. 2018. Chemical Composition and Antioxidant Activity of *Aloe vera* from the Pica Oasis (Tarapaca, Chile) by UHPLC-Q/Orbitrap/MS/MS. *Journal of Chemistry* 2018: <https://doi.org/10.1155/2018/6123850>.
- Rahman, M. y J. Vélez-Ruiz. 2007. Food preservation by freezing. In: M. Rahman (ed.). *Handbook of Food Preservation*. CRC Press. Boca Ratón, FL. pp. 635-665.
- Ramachandra, C. T. y P. S. Rao. 2008. Processing of *Aloe vera* Leaf Gel: A Review. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences* 3: 502–510.
- Ramírez S. 2010. Alimentos funcionales. *Virtualpro* 101: 1-2.
- Ray A. y S. Aswatha. 2013. An analysis of the influence of growth periods on physical appearance, and acemannan and elemental distribution of *Aloe vera* L. gel. *Industrial Crops and Products*, 48: 36-42.
- Ray, A., y Dutta, S. D. 2013. A panoptic study of antioxidant potential of foliar gel at different harvesting regimens of *Aloe vera* L. *Industrial Crops and products* 51: 130-137.
- Rendón-Salcido L. A., P.Colunga-GarcíaM., L. F. Barahona-Pérez, E.Pimienta-Barrios, A. Magdub-Méndez y A. Larqué-Saavedra.2009. Sugars and alcoholic byproducts from henequen (*Agave fourcroydesas*) influenced by plant age and climate. *Revista fitotecnia Mexicana*32:39-44.
- Reyes, G.A. 2013. Efecto de pasteurización y almacenamiento en la estabilidad química y antioxidante de jugo de açai (*Euterpe oleracea* Mart.). Escuela Agrícola Panamericana. Zamorano. Honduras.
- Rico R. J., A. A. Borrego, R. E. Solís, C. E. Galaviz, G. J. J. Martínez, E. M. A. Sáenz, A. Femenia, F. R. Minjares. 2019. Compuestos fenólicos y actividad antioxidante de extractos obtenidos con ultrasonido de potencia a partir de mezclas de *Aloe vera* (*Aloe barbadensis* Miller) y pasta prensada de uva, *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos* 4.
- Rico R. J., A. Borrego A., E. Solís R., E. Galaviz C., J. J. Martínez G., M. A. Sáenz E., A. Femenia y R. Minjares F. 2019. Compuestos fenólicos y actividad antioxidante de extractos obtenidos con ultrasonido de potencia a partir de mezclas de *Aloe vera* (*Aloe barbadensis* Miller) y pasta prensada de uva, *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos* 4.
- Robles-Ozuna, L. E. y Ochoa-Martínez L. A. 2012. Ultrasonido y sus aplicaciones en el procesamiento de alimentos. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha* 13: 109-122.
- Rodríguez A. F., F. R. Pérez A., M. J. Obregón A., G. Barraza J., M. Vega T. y A. C. Ferradas H. 2015. Efecto del tiempo de exposición al ultrasonido sobre las características

- fisicoquímicas, reológicas y microbiológicas en la pulpa de “chirimoya” *Annona cherimola* Mill. (*Annonaceae*). *Arnaldoa* 22: 367 – 380.
- Rodríguez-García R., D. J. de Rodríguez, J. A. Gil-Marín, J. L. Angulo-Sánchez y R. H. Lira-Saldivar. 2007. Growth, stomatal resistance, and transpiration of *Aloe vera* under different soil water potentials. *Industrial Crops and Products*, 25: 123–128.
- Rodríguez-González V., A. Femenia, R. González-Laredo, R. Rocha-Guzmán, J. Gallegos-Infante A, M. Candelas-Cadillo, P. Ramírez-Baca, C. Simal, C. Rosselló. 2011. Effects of pasteurization on bioactive polysaccharide acemannan and cell wall polymers from *Aloe barbadensis* Miller. *Carbohydrate Polymers*, 86:1675-1683.
- Rodríguez-Sauceda R., G. E. Rojo-Martínez., R. Martínez-Ruiz., H.H. Piña-Ruiz., B. Ramírez-Valverde., H. Vaquera-Huerta y M. Cong-Hermida. 2014. Envases inteligentes para la conservación de alimentos. *Ra Ximhai* 10: 151-173.
- Rodríguez-Villacis D. H. y A. Hernández-Monzón. 2017. Desarrollo de una bebida fermentada de suero con la adición de jugo de *Aloe vera* y pulpa de fruta *Tecnología Química XXXVII*: 46-57.
- Rogers E. Diffusion of innovations. New York, Free Press, 1962.
- Roque A. H., M. M. Ferreyra, M. del C. Schwab, L. M. Gerard, L. M. Zapata y C. V. Davies. 2005. Caracterización fisicoquímica y microbiológica de jugos de naranja destinados a vinificación. *Ciencia, Docencia y Tecnología XVI*: 219-239.
- Ruiz, Y., J. Sánchez, E. Hernández, J. M. Auleda, y M. Raventós. 2010. Viscosidad de zumos comerciales de melocotón, manzana y pera a temperaturas cercanas a la congelación. *Afinidad* 67(546).
- Saeeduddin M., Abid, M., Jabbar, S., Wu, T., Hashim, M. M., Awad, F. N., Zeng, X. 2015. Quality assessment of pear juice under ultrasound and commercial pasteurization processing conditions. *LWT - Food Science and Technology*, 64: 452–458.
- Salas Z., M. E. 2013. Análisis del Comercio de Materias Primas Derivadas de Sábila en el Mercado de los Estados Unidos 1999-2012. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 3 p
- Salgado-García S., R. Núñez-Escobar y L. Bucio-Alanis. 2003. Determinación de la dosis óptima económica de fertilización en Caña de azúcar. *Terra latinoamericana* 21:267-2.
- Santander M. M., O. Osorio y D. Mejía-España. 2017. Evaluación de propiedades antioxidantes y fisicoquímicas de una bebida mixta durante almacenamiento refrigerado. *Revista México de Ciencias Agrícolas* 34: 84-97.
- Sarandón, S. J. y C. C. Flores. 2009. Evaluación de la sustentabilidad en agroecosistemas: Una propuesta metodológica. *Agroecología* 4: 19-28.1
- Sehgal, I., W. D. Winters, M. Scott y K. Kousoulas. 2013. An in vitro and in vivo toxicologic evaluation of a stabilized *Aloe vera* gel supplement drink in mice. *Food and Chemical Toxicology*, 55, 363–370.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2018

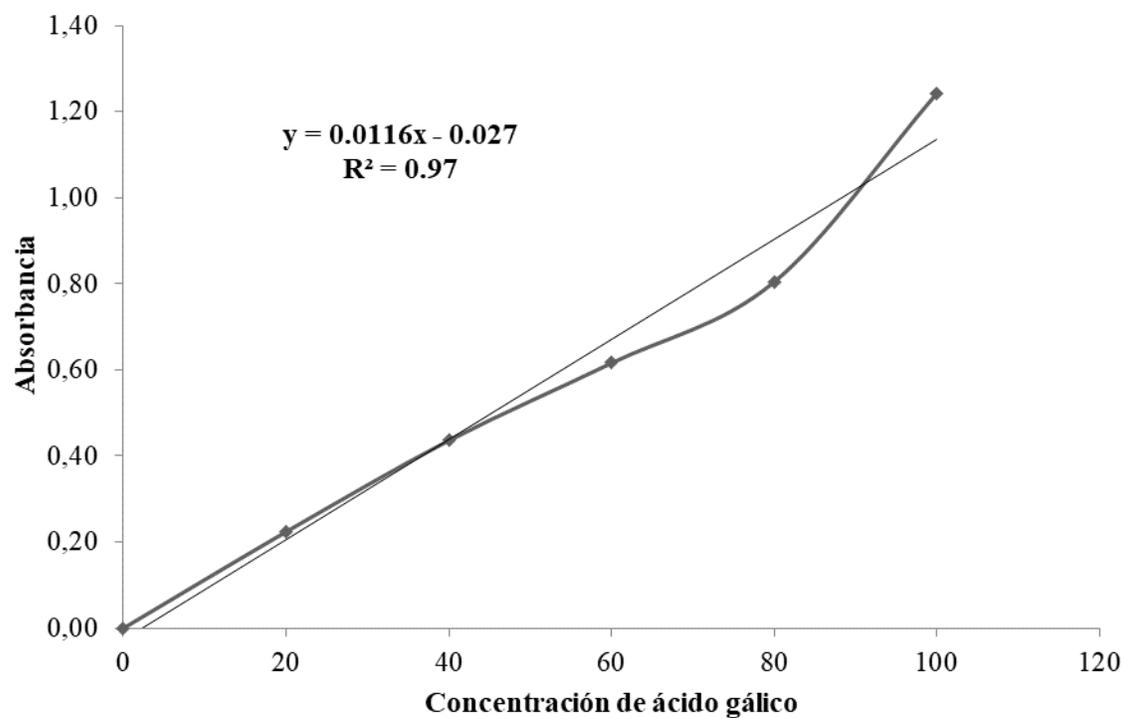
- Silva H., S. Sagardia, O. Seguel, C. Torres, C. Tapia, N. Franck y Cardemil L. 2010. Effect of water availability on growth and water use efficiency for biomass and gel production in *Aloe vera* (*Aloe barbadensis* M.). *Ind. Crops. Prod.* 31: 20-27.
- Soria, A. C., y Villamiel, M. 2010. Effect of ultrasound on the technological properties and bioactivity of food: a review. *Trends in food science & technology* 21: 323-331.
- Sriariyakul, W., T. Swasdisevi, S. Devahastin y S. Soponronnarit. 2016. Drying of *Aloe vera* puree using hot air in combination with far-infrared radiation and high-voltage electric field: Drying kinetics, energy consumption and product quality evaluation. *Food and Bioproducts Processing* 100: 391–400.
- Tejacal, I. A., B. V. Martínez, D. G. Sánchez, P. J. López, M. A. Rodríguez, Ó. G. V. Torres y A. M. Morales. 2015. Efecto de la baja temperatura en el metabolismo de carbohidratos y calidad de frutos de zapote mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.) HE Moore & Stearn). *Acta Agrícola y Pecuaria* 1: 70-77.
- Tippayawat P., N. Phromviyo, P. Bouero y A. Chompoosor. 2016. Green synthesis of silver nanoparticles in *Aloe vera* plant extract prepared by a hydrothermal method and their synergistic antibacterial activity. *Peer Journal*, 4.
- Tiwari B.K., C. P. O'Donnell y P.J. Cullen. 2009. Effect of sonication on retention of anthocyanins in blackberry juice. *Journal of Food Engineering* 93:166-171.
- Tobo N., O. M. 2016. Purificación de acemananos de *Aloe vera*: estudio de la hidrólisis enzimática y determinación de condiciones de ultrafiltración tangencial. Tesis propuesta a la División de Estudios de Posgrado e Investigación. Instituto Tecnológico de Tepic.
- Treutter, D. 2005. Significance of Flavonoids in Plant Resistance and Enhancement of Their Biosynthesis. *Plant Biology* 7: 581–591.
- Ulloa J. A. 2013. Ultrasonido: aplicaciones en el campo de los alimentos. *Revista Fuente nueva época* 4: 1- 13.
- Valdivia C., C. R. 2019. Efecto de la temperatura en la cinética de acidez, sólidos solubles y azúcares reductores en pulpa de níspero (*Eriobotrya japonica* L.). Trabajo de Tesis. Universidad Nacional de Trujillo.
- Van Wyk, B. E., Van Oudtshoorn, M. V. R. y Smith, G. F. 1995. Geographical variation in the major compounds of *Aloe ferox* leaf exudate. *Plantas Medicinales* 61: 250-253.
- Varon J., K. Alvarez, J. Torres, Y. A. López y G. E. Guerrero. 2007. Obtención de algunos parámetros de referencia del suelo y del mucílago de *Aloe vera* cultivado en el corregimiento de Combia Risaralda y en el municipio de Montenegro Quindío. *Scientia et Technica Año XIII*: 145-149.
- Vega A., N. Ampuero, L. Díaz y R. Lemus. 2005. El *Aloe vera* (*Aloe barbadensis* Miller) como componentes de alimentos funcionales. *Revista Chilena de Nutrición* 32:208-214.
- Vilaboa-Arroniz, J., P. Díaz-Rivera, O. Ruiz-Rosado, D.E. Platas-Rosado, S. González-Muñoz y F. Juárez-Lagunes. 2009. Caracterización socioeconómica y tecnológica de los

- agroecosistemas con bovinos de doble propósito de la región del Papaloapan, Veracruz, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 10: 53 – 62.
- Villareal Y. D., D. F. Mejía E., O. Osorio M.Y, A. F. Cerón. 2013. Efecto de pasteurización sobre características sensoriales y contenido de vitamina c en jugos de frutas. *Biotechnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* 11: 66-75.
- Wang, Y. T. y Strong, K. J. 1995. Monitoring physical and chemical properties of freshly harvested field grown *Aloe vera* leaves. A preliminary report. *Phytotherapy Research*, 7: S1-S4.
- Yaron A. 1993. Characterization of *Aloe vera* gel before and after autodegradation, and stabilization of the natural fresh gel. *Phytotherapy Research* 7: S11–S13.
- Zacatecas-Ibañez J.A., E.A. Ramírez-Camacho, M. G. Candelas-Cadillo, V.M. Rodríguez-González, A. Femenia, R. Minjares-Fuentes, M. A. Sáenz-Esqueda. 2016. Contenido de polisacáridos bioactivos de *Aloe Barbadensis* Miller bajo condiciones de estrés. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos* 1: 776-781.
- Zafra-Rojas Q. Y., N. Cruz-Cansino, E. Ramírez-Moreno, L. Delgado-Olivares, J. Villanueva-Sánchez, y E. Alanís-García. 2013. Effects of ultrasound treatment in purple cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) juice. *Ultrasonics Sonochemistry*, 20(5), 1283–1288.
- Zandi K., M. Abbas Zadeh, K. Sartavi y Z. Rastia. 2007. Antiviral activity of *Aloe vera* against herpes simplex virus type 2: An in vitro study. *African Journal of Biotechnology* 6: 1770-1773.

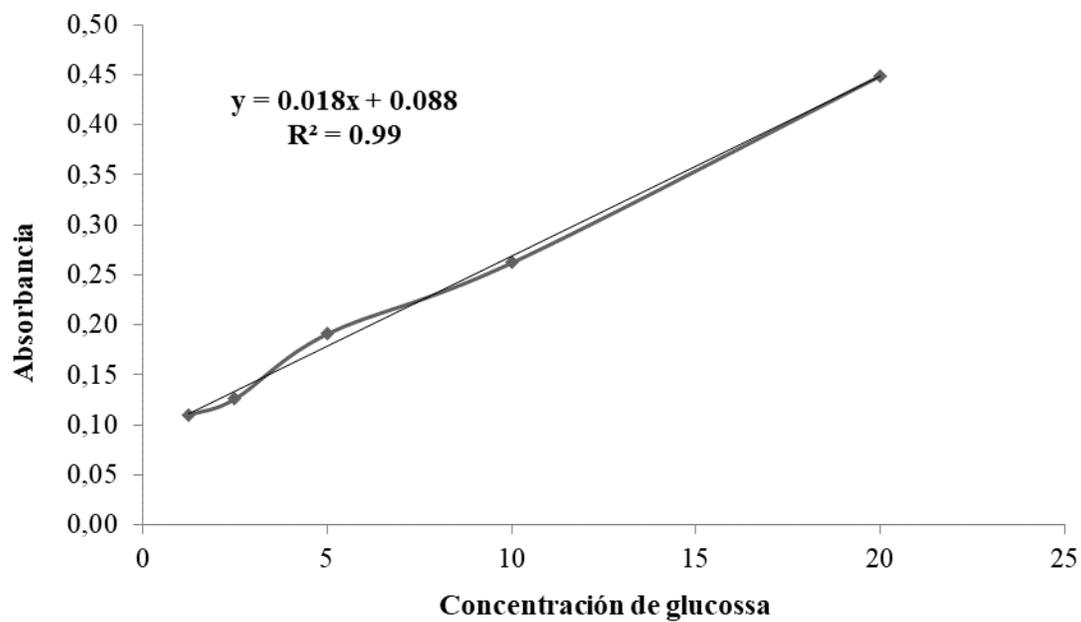
Anexo 1. Curva de calibración para la determinación de acemananos con β -Glucano



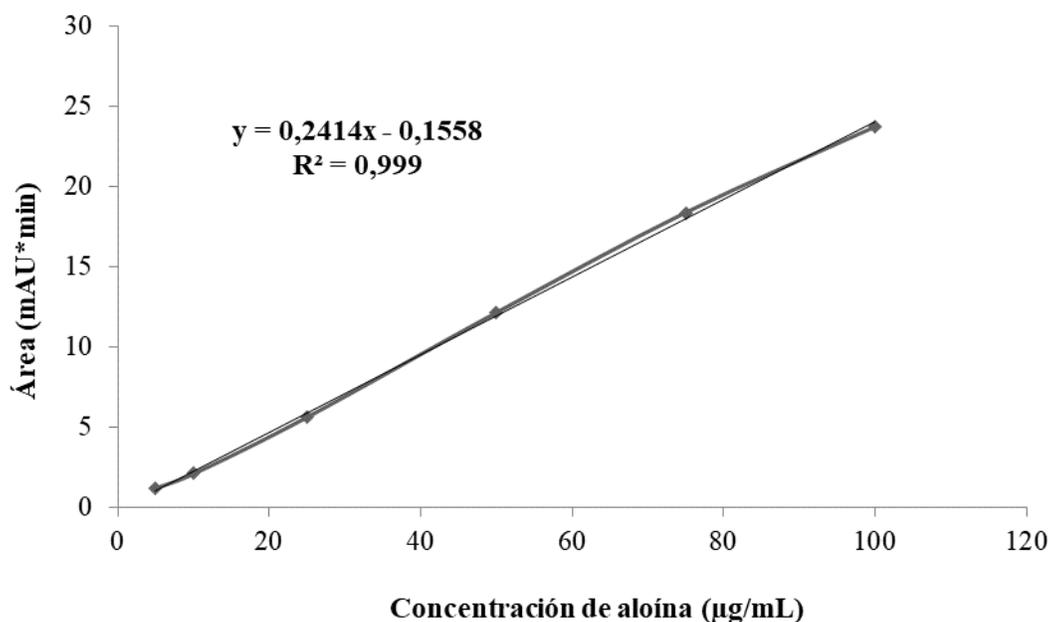
Anexo 2. Curva de calibración de compuestos fenólicos totales con ácido gálico



Anexo 3: Curva de calibración para la determinación de residuos insolubles en alcohol y azúcares totales con glucosa.



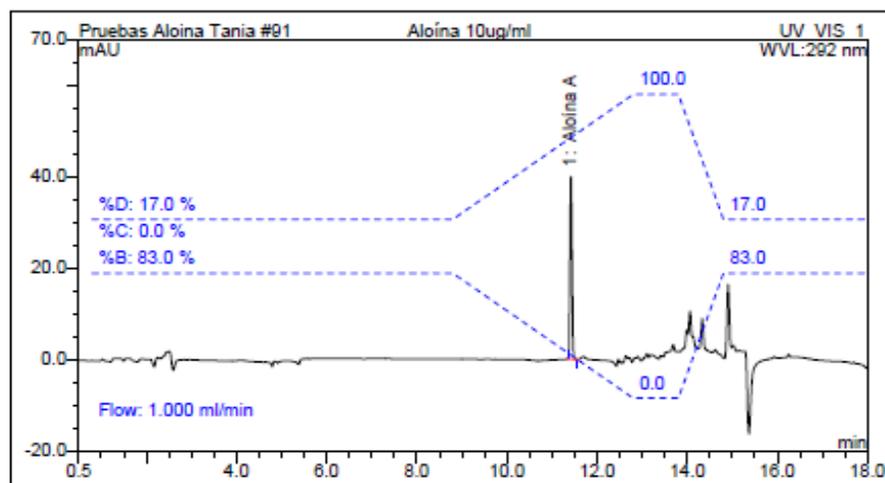
Anexo 4: Curva de calibración para la determinación de aloína y ejemplo de un cromatograma con el estándar de aloína 10 µg/mL



Sample Analysis Report

Sample Name:	Aloína 10ug/ml	Sample No.:	91
Sequence Name:	Pruebas Aloína Tania		
Program Method:	ALOINA	Injection vol.:	1.0
Quantitation Method:	Programa	Dilution Factor:	1.0000
Date Time Collected:	22/7/2019 7:28 p.m.	Sample Wt.:	1.0000
System Operator:	Dionex	Sample Amt.:	1.0000

Peak No.	Component Name	Retention Time	Area mAU*min	Height mAU	Amount	Relative Amount %
1	Aloína A	11.42	2.095	39.962	n.a.	n.a.



Anexo 5: Curva de calibración para la determinación de actividad antioxidante.

