



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas

Posgrado en Ciencias en Recursos Naturales
y Medio Ambiente en Zonas Áridas

**CRECIMIENTO DE PLANTA Y PRODUCCIÓN DE BIOMASA Y CALIDAD
DE GEL DE LA HOJA DE SÁBILA [*Aloe vera* (L.) Burm. f.], EN
CONDICIONES DE ESTRÉS HÍDRICO Y SALINO**

TESIS

Que como requisito parcial para obtener el grado de:

**DOCTOR EN CIENCIAS EN RECURSOS NATURALES Y MEDIO
AMBIENTE EN ZONAS ÁRIDAS**

PRESENTA

NIDIA SUSANA SIFUENTES RODRIGUEZ

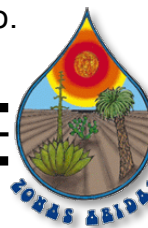
Bajo la dirección de: **Dr. AURELIO PEDROZA SANDOVAL**



APROBADA



Junio, 2020. Bermejillo, Durango, México.



CRECIMIENTO DE PLANTA Y PRODUCCIÓN DE BIOMASA Y CALIDAD DE GEL DE LA HOJA DE SÁBILA [*Aloe vera* (L.) Burm. f.], EN CONDICIONES DE ESTRÉS HÍDRICO Y SALINO

Tesis realizada por **NIDIA SUSANA SIFUENTES RODRIGUEZ** bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de

DOCTOR EN CIENCIAS EN RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE EN ZONAS ÁRIDAS

DIRECTOR:



Dr. Aurelio Pedroza Sandoval

CO-DIRECTOR:



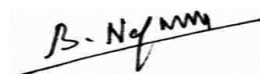
Dr. Ricardo Trejo Calzada

ASESOR:



Dr. Joge A. Zegbe Domínguez

ASESOR:



Dr. Nagamani Balagurusami

LECTOR EXTERNO:



Dr. José Alfredo Samaniego Gaxiola

Contenido

ÍNDICE DE CUADROS.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
AGRADECIMIENTOS	vii
DEDICATORIAS.....	viii
DATOS BIOGRÁFICOS.....	ix
RESUMEN GENERAL	x
ABSTRACT	xi
CAPITULO I	1
1. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
2. OBJETIVOS.....	3
2.1 Objetivo general.....	3
2.2 Objetivos específicos.....	3
3. HIPÓTESIS	3
4. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
4.1 <i>Aloe vera</i> (L.) Burm. f.....	4
4.2 Adaptación a las condiciones de estrés.....	5
4.3 Estrés hídrico.....	6
4.4 Estrés salino	6
4.5 Prácticas de manejo y productividad	7
4.6 Metabolismo ácido de las crasuláceas	9
4.7 Composición química de la hoja de sábila.....	10
4.8 Flavonoides	12
4.9 Enzima Chalcone sintasa (CHS)	12
4.10 Especies reactivas de oxígeno (ERO)	13
5. LITERATURA CITADA.....	14
CAPITULO II	21
INDICADORES DE PRODUCTIVIDAD Y CALIDAD DE GEL DE SÁBILA EN CONDICIONES DE ESTRÉS SALINO	21
RESUMEN.....	21

ABSTRACT.....	22
INTRODUCCIÓN.....	23
MATERIALES Y MÉTODOS.....	25
Ubicación del área de estudio	25
Diseño experimental y tratamientos.....	25
Variables de respuesta	26
Análisis de datos.....	26
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
Crecimiento de la hoja y producción de gel de sábila.....	27
Características químicas del gel.....	31
CONCLUSIONES	35
AGRADECIMIENTO	35
LITERATURA CITADA	36
CAPITULO III	41
PRODUCTIVIDAD DE BIOMASA Y CALIDAD DE GEL DE SÁBILA [<i>Aloe vera</i> (L.) Burm.f.] CON USO DE COBERTURA VEGETAL EN DIFERENTES CONTENIDOS DE HUMEDAD DEL SUELO.....	41
RESUMEN.....	41
ABSTRACT.....	43
INTRODUCCIÓN.....	44
MATERIALES Y MÉTODOS.....	46
Ubicación del área de estudio	46
Diseño experimental y tratamientos.....	46
Variables respuesta	48
Análisis de datos.....	49
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	49
CONCLUSIONES	58
LITERATURA CITADA	58

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Composición de la pulpa de Aloe vera y exudado.....	11
Cuadro 2. Efecto de la salinidad en algunos atributos morfológicos de la hoja de sábila [<i>Aloe vera</i> (L.) Burm. f.].....	28
Cuadro 3. Efecto de la salinidad en diferentes variables de productividad de hoja y gel de sábila [<i>Aloe vera</i> (L.) Burm. f.].....	30
Cuadro 4. Efecto de la salinidad en diferentes variables relacionadas a la calidad del gel de hoja de sábila [<i>Aloe vera</i> (L.) Burm. f.]	31
Cuadro 5. Efecto de la salinidad en la concentración de magnesio (Mg), sodio (Na), potasio (K) y calcio (Ca) en el gel de sábila	33
Cuadro 6. Matriz de coeficientes de correlación (r) de Pearson entre características de calidad de gel, pesos de hoja, gel y planta en [<i>Aloe vera</i> (L.) Burm. f.].....	34
Cuadro 7. Efecto del contenido de humedad del suelo en algunas características químicas y físicas en la planta de sábila, en diferentes fechas de evaluación	53
Cuadro 8. Crecimiento de la planta y hoja de sábila [<i>Aloe vera</i> (L.) Burm.f.] y producción de gel por efecto de cobertura del suelo con rastrojo de maíz.....	55
Cuadro 9. Calidad de gel de la hoja de sábila [<i>Aloe vera</i> (L.) Burm.f.] por efecto de cobertura vegetal en suelo con rastrojo de maíz	55
Cuadro 10. Crecimiento de planta y hoja de la sábila [<i>Aloe vera</i> (L.) Burm.f.] en diferentes contenidos de humedad del suelo (HS) y uso de cobertura vegetal con rastrojo de maíz	56
Cuadro 11. Efecto de la calidad del gel de hoja de sábila [<i>Aloe vera</i> (L.) Burm.f.] en diferentes contenidos de humedad del suelo (HS).....	57
Cuadro 12. Contenido de azúcares y pH del gel de la hoja de sábila [<i>Aloe vera</i> (L.) Burm.f.] en diferentes contenidos de humedad del suelo (HS).....	57

ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁG.
Figura 1. Curva de retención de humedad del suelo del área experimental. Bermejillo, Dgo	47
Figura 2. Altura de planta de sábila en diferentes contenidos de humedad en el suelo y diferentes fechas de evaluación.....	50
Figura 3. Longitud de hoja de sábila en diferentes contenidos de humedad en el suelo y diferentes fechas de evaluación.....	51
Figura 4. Ancho de hoja de sábila en diferentes contenidos de humedad en el suelo y diferentes fechas de evaluación.....	51
Figura 5. Grosor de hoja de sábila en diferentes contenidos de humedad en el suelo y diferentes fechas de evaluación.....	52

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por el apoyo económico brindado durante mis estudios de posgrado 2016-20219.

A la Universidad Autónoma Chapingo, en especial a la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas.

Al Director de esta investigación, Dr. Aurelio Pedroza Sandoval, por su valiosa participación, apoyo y guía a lo largo de este proyecto.

Al Dr. Nagamani Balagurusami, Dr. Jorge A. Zegbe Rodríguez, Dr. Ricardo Trejo Calzada, por su apoyo, confianza y por las asesorías recibidas.

Al Dr. José Alfredo Samaniego Gaxiola por su tiempo en la revisión de la Tesis.

Al Dr. Uriel Figueroa Viramontes y MC Ramón Hernández Salgado por su valiosa participación en la realización de esta investigación.

Al Dr. Umesh K. Reddy por la oportunidad de realizar una estancia de investigación en la Universidad del estado de West Virginia.

Al Dr. Aldo Almeida por su apoyo en la realización de este proyecto.

A todos mis profesores de la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas por compartir sus conocimientos y a todas las personas que, de alguna forma, contribuyeron a la realización de este proyecto de investigación, en especial al M.C. José Antonio Chávez y Tec. Joel Burgueño por su colaboración en el trabajo de campo.

DEDICATORIAS

A Dios por haberme otorgado la oportunidad de realizar y culminar este proyecto de vida, de crecimiento personal y profesional.

A mi Padre Dr. Juan Efrén Sifuentes Castro por su amor, empatía, y ejemplo de lucha y profesionalismo que siempre me brindó.

A mi marido M.CD. Leonardo David Arguelles Rodriguez por su confianza, amor, y apoyo incondicional en nuestra vida juntos y en especial para la realización de este proyecto.

A mi hijo Leonardo Daniel Arguelles Sifuentes por su apoyo y comprensión en la realización de este proyecto y por el orgullo de ser su madre.

A Elba Rodriguez Jordán mi madre, por su ejemplo de fuerza y amor incondicional.

A mis hermanos Elba Nancy, Juan Ernesto y en especial a Gloria Verónica Sifuentes Rodriguez por su apoyo para la realización de este proyecto.

DATOS BIOGRÁFICOS

El presente trabajo de investigación fue realizado por Nidia Susana Sifuentes Rodríguez, Ingeniero Bioquímico con acentuación en alimentos, título obtenido en la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Coahuila, 1995-2000.

Durante el 2001 al 2002 laboró como supervisora de producción en la empresa Tyson de México, posteriormente en el año 2003 laboró en la empresa Pasteurizadora de los productos de leche, S. A. de C. V., en Reynosa, Tamaulipas, como supervisora de control de calidad; y en el periodo del 2005 al 2009, laboró en la empresa BINS A de C.V., como supervisora de control de calidad, sanidad e inocuidad y supervisora de producción.

A partir del año 2010 al 2015 se laboró en el área de la docencia, en la Universidad del Valle de México.

En el periodo comprendido del 2013 al 2014 estudió Maestría en Ingeniería Bioquímica en la Facultad de Ciencias Biológicas de la UA de C.

En el 2016 participó como ponente oral en el XII Congreso nacional sobre recursos bióticos de zonas áridas, con el trabajo de investigación: Delimitación y caracterización de la región centro norte del estado de Coahuila con base a criterios de aridez, sequía y tipos de vegetación; y participación en la modalidad cartel, con el trabajo: Desarrollo de metodología para la medición de tasa fotosintética en *Aloe* por medio de LICOR LI-6400 (IRGA), en URUZA.

En el 2017 participó como ponente oral en el III Congreso Internacional y XIII Congreso nacional sobre recursos bióticos de zonas áridas. "Peso de hoja y contenido de gel de *Aloe barbadensis* M en condiciones de estrés salino", URUZA.

En el periodo de septiembre a noviembre 2019, realizó una estancia de investigación en la Universidad del Estado de West Virginia (WVSU).

RESUMEN GENERAL

CRECIMIENTO DE PANTA Y PRODUCCIÓN DE BIOMASA Y CALIDAD DE GEL DE LA HOJA DE SÁBILA [*Aloe vera* (L.) Burm. f.] EN CONDICIONES DE ESTRÉS HÍDRICO Y SALINO

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del estrés salino e hídrico en el crecimiento de las hojas y calidad de gel de la sábila. El estudio se llevó a cabo en dos experimentos. El primero se llevó a cabo en condiciones de malla-sombra con seis tratamientos salinos: 0, 500, 1000, 2000, 4000 y 8000 mg L⁻¹ de NaCl, lo cual correspondió a una conductividad eléctrica (CE) de 0.36 (agua de riego con contenido natural de NaCl), 1.39, 2.0, 3.6, 5.6, 7.6 dS m⁻¹, respectivamente. El experimento se condujo en un diseño experimental de bloques completos al azar repetido cuatro veces. El segundo experimento se realizó en condiciones de campo en un diseño de parcelas divididas en bloques completos al azar con tres repeticiones. Las parcelas grandes fueron los contenidos de humedad del suelo: alto (22-27%), medio 15-21%) y bajo (8-14%); las parcelas chicas correspondieron a la aplicación al suelo de 10 t ha⁻¹ de rastrojo de maíz como cobertura y sin cobertura (testigo). La biomasa de la hoja y el contenido de gel fueron similares entre 0.36 y 3.6 dS m⁻¹, lo que sugirió cierto grado de tolerancia al estrés salino; sin embargo, a partir de los 5.6 dS m⁻¹ hubo un efecto negativo en éstas y otras variables. La concentración de sólidos solubles totales y los sólidos precipitables en metanol se incrementaron en función de la CE, dentro de ciertos límites. De igual forma, el crecimiento de la planta y hoja, así como el contenido de gel fue negativamente afectado por el estrés hídrico al mantener el contenido de humedad menor al 14% hasta un mínimo de 8%; en tanto que esta condición de estrés favoreció la calidad del gel, con una mayor concentración de sólidos totales, sólidos precipitables en metanol y mayor contenido de azúcares

Palabras clave: *Aloe vera*, salinidad agrícola, calidad química del agua, sólidos totales, estrés vegetal.

Tesis de Doctorado en Ciencias en Recursos Naturales y Medio Ambiente en Zonas Áridas, Unidad Regional Universitaria en Zonas Áridas, Universidad Autónoma Chapingo.

Autor: Nidia Susana Sifuentes Rodriguez

Director de Tesis: Aurelio Pedroza Sandoval.

ABSTRACT

PLANT GROWTH AND PRODUCTION OF BIOMASS AND LEAF GEL QUALITY OF *Aloe Vera* [*Aloe vera* (L.) Burm. f.] IN CONDITIONS OF WATER AND SALT STRESS

The objective of this study was to evaluate the effect of salinity and water stress on leaf growth and gel quality of aloe. The study was carried out in two experiments. The first experiment under shade-mesh conditions consisted in evaluate six saline treatments: 0, 500, 1000, 2000, 4000 and 8000 mg L⁻¹ of NaCl, which corresponds to an electrical conductivity (EC) of 0.36 (irrigation water with natural NaCl content), 1.39, 2.0, 3.6, 5.6, 7.6 dS m⁻¹, respectively. The experiment was conducted in a randomized complete block design. The second experiment was conducted in a randomized block design in an arrangement of split plots with three replications under field conditions. The large plots were the soil moisture content: high (22-27%), medium 15-21%) and low (8-14%); the small plots corresponded to the application to the soil of 10 ton ha⁻¹ of corn stubble and without application of this cover (control). The leaf biomass and gel content were similar in the electrical conductivity between 0.36 and 3.6 dS m⁻¹, which suggested some extent of tolerance to saline stress; however, from 5.6 dS m⁻¹ there was a negative effect on these and other variables. Total soluble solids concentration and the precipitable solids in methanol also increased the EC, up to certain limits. Additionally, the growth of the plant and leaf, as well as the gel content, was negatively affected by water stress, in levels of the moisture content below 14% up to a minimum of 8%; the stress condition favored the gel quality, in terms of a higher concentration of total solids, precipitable solids in methanol and a higher content of sugars.

Key words: *Aloe vera*, agricultural salinity, chemical water quality, total solids, stress plant.

Tesis de Doctorado en Ciencias en Recursos Naturales y Medio Ambiente en Zonas Áridas, Unidad Regional Universitaria en Zonas Áridas, Universidad Autónoma Chapingo.

Autor: Nidia Susana Sifuentes Rodríguez

Director de Tesis: Aurelio Pedroza Sandoval

CAPITULO I

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

En los ambientes áridos y semiáridos del mundo existe un efecto negativo en los recursos naturales, agua, suelo, flora y fauna, debido a las condiciones de sequía e influencia antrópica, por ende, esto repercute en las actividades económicas (Velásquez *et al.*, 2013).

En México más del 50% de la superficie nacional presenta condición árida Clase B (UACH-CONAZA-SEDESOL-SAGARPA, 2004; IPCC, 2012), con características de escasa precipitación pluvial donde se asientan alrededor del 18% de la población nacional (González, 2012). Las políticas y programas de modernización agraria promovidos por el gobierno y las organizaciones financieras internacionales, tales como el Banco Mundial y el Fondo Monetario Internacional, promueven la concentración de tierras en grandes empresas agrícolas a base del monocultivo, lo cual, contribuye negativamente al medioambiente por el uso intensivo de insumos como las semillas mejoradas, herbicidas, pesticidas y la introducción de cultivos con altos requerimientos hídricos (Rodríguez *et al.*, 2008).

La producción de biomasa de las especies vegetales en ecosistemas áridos y semiáridos depende directamente de la disponibilidad de agua y las fluctuaciones estacionales. Las especies apropiadas para estos ecosistemas cuentan con adaptaciones morfológicas y fisiológicas para realizar un uso eficiente de agua (Silva *et al.*, 2010). Entre estas especies esta la sábila, que realiza la vía fotosintética del metabolismo del ácido crasuláceo (MAC), proceso por el cual maximiza el uso del agua, y por ende, minimiza la pérdida de agua vía transpiración (Ramin *et al.*, 2012).

La sábila [*Aloe vera* (L.) Burm. f.] es nativa del mediterráneo del sur de Europa y norte de África. Actualmente se encuentra distribuida en todo el mundo (Barua *et*

al., 2016). Los productos derivados de la sábila, corresponden principalmente a extractos de polvo y gel, los cuales se comercializan en las industrias cosmetológicas, médica y alimenticia. Las especies *A. vera* y *A. arborescens*, son las especies más extensamente cultivadas a nivel comercial (Lee y Park, 2006; Ramachandra y Srinivasa, 2008).

Los principales mercados para la venta de sábila, son aquellos países que tienen una cultura de consumo alimenticio de calidad que benefician a la salud y varios de ellos son países miembros de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) (Cantú, 2015; Moreno *et al.*, 2012). Los países asiáticos y europeos, representan el principal nicho de mercado de productos orgánicos derivados de la sábila (Gómez *et al.*, 1999).

En México la superficie cultivada de sábila es aproximadamente de 14,000 ha, siendo considerado este país como líder a nivel mundial (Aloetrade, 2003-2012) con una producción nacional concentrada básicamente en Tamaulipas y Yucatán, con el 72% y 23%, respectivamente (SAGARPA, 2009).

Las condiciones ambientales en las cuales se desarrollan las plantas como la sábila, están relacionadas directamente con la expresión génica de ésta. Cuando el funcionamiento normal de la planta es limitado por la presencia de un factor ambiental, se dice que la planta está sometida a estrés por ese factor, impidiendo su crecimiento óptimo y afectando su productividad (Gliessman, 2002).

Las respuestas metabólicas de las plantas, inducidas por los factores ambientales, generan metabolitos secundarios, para contribuir a la homeostasis iónica y osmótica de las plantas; los compuestos bioactivos producto del metabolismo secundario protegen a la planta contra el estrés. Diversos metabolitos secundarios poseen una serie de propiedades benéficas para la salud (Pedroza *et al.*, 2015; Núñez-Colima *et al.*, 2017).

La planta de sábila al estar bajo estrés hídrico, salino o por frío entre otros, incrementa la expresión genética de diversas enzimas metabólicas que catalizan la síntesis de metabolitos secundarios, encargados de proveer defensa a la

planta contra factores bióticos y abióticos. Una de estas enzimas es la chalcona sintasa (CHS) que cataliza la síntesis de flavonoides, cuando la planta se encuentra en condiciones de estrés, para darle protección contra los diferentes factores adversos (Martin, 1993).

El sistema producto sábila, representa una alternativa viable para zonas agrícolas marginales con limitaciones de agua, por sus características agronómicas y fisiológicas y su adaptación a condiciones de estrés en zonas áridas. Por lo anterior, la sábila es un cultivo que se ha estado investigando desde la antigüedad por sus propiedades útiles en la industria cosmetológica, alimentaria y medicinal. Actualmente se exploran técnicas de bioproductividad que mitiguen el estrés ambiental producido por la escasez de agua, salinidad, temperaturas extremas, entre otras.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Contribuir al conocimiento del sistema producto sábila en relación al crecimiento, desarrollo y bioproductividad de la sábila [*Aloe vera* (L.) Burm. f.] en condiciones de estrés ambiental propio de las zonas áridas.

2.2 Objetivos específicos

- Evaluar el impacto de la salinidad en el crecimiento, desarrollo y productividad de la sábila.
- Identificar el efecto del estrés hídrico y uso de rastrojo de maíz como cobertura en el suelo, en el crecimiento de la planta y hoja de sábila y la producción y calidad de gel.

3. HIPÓTESIS

Ho. El incremento de la concentración de NaCl en suelo, al aplicar agua salina, no afecta el crecimiento de la planta y de la hoja de sábila, ni la producción y calidad del gel.

Ho. La cobertura del suelo a base de rastrojo de maíz favorece tanto el crecimiento de la planta sábila, así como también la producción y calidad de gel, ante condiciones de déficit hídrico.

4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 *Aloe vera* (L.) Burm. f.

Existen entre 360 a 500 especies de áloe en todo el mundo, pero sólo algunas son útiles en medicina, y sólo cinco son utilizadas como complemento alimenticio (Grace *et al.*, 2015; Lee y Park, 2006). *Aloe barbadensis* Miller (= *A. vera* L), *A. arborescens* Miller, *A. ferox* Miller, *A. vera* var. *chinesis*, y *A. saponaria*, son las especies más utilizadas en la industria médica y cosmetológica (Grace *et al.*, 2015).

La planta de sábila es una rica fuente de polisacáridos, principalmente de acemanano y manosa 6-fosfato. A los polisacáridos que se encuentran en el gel de sábila, se les atribuye que promueven positivamente las actividades biológicas en el organismo humano, como cicatrización de heridas, actividad antifúngica, efectos antidiabéticos, antiinflamatorios y propiedades gastro-protectoras (Choi y Chung, 2003), así como mejoramiento del sistema reticuloendotelial, la estimulación del sistema inmune y tratamiento de tumores, entre otros (Bozzi *et al.*, 2007). La actividad antiinflamatoria de manosa 6-fosfato es similar a los efectos observados del manano acetilado, el cual reduce la inflamación a través de la promoción de la síntesis de prostaglandinas; sin embargo, se considera menos eficaz contra la inflamación causada por reacciones alérgicas (Hamman, 2008).

El gel de sábila es útil para el tratamiento de quemaduras, provee protección a la piel dañada por rayos X, es eficaz en la reducción de las lipoproteínas de baja densidad (LDL), aumenta las lipoproteínas de alta densidad (HDL), disminuye el nivel de glucosa en sangre y se emplean en el tratamiento del herpes genital y psoriasis (Singh y Singh, 2011). Los ácidos grasos de los esteroides vegetales

como el colesterol y campesterol, β sisosterol y lupeol, tienen acción antiinflamatoria, además el lupeol posee propiedades antisépticas y analgésicas (Surjushe *et al.*, 2008). El gel de sábila también tiene propiedades antioxidantes, antialérgicas y antiulcerosas (Sánchez-Machado *et al.*, 2017); los fitoquímicos, tienen una actividad antiproliferativa e inmunoestimuladora, lo cual mitiga problemas de tumores cancerígenos (Lissoni *et al.*, 2009).

El superóxido dismutasa, peroxidasa, vitamina C, vitamina E, β - caroteno contenidos en el gel de sábila, ayudan a eliminar del cuerpo a los radicales libres y mejorar significativamente la regeneración de células para retrasar el envejecimiento (Hamman, 2008).

Los metabolitos secundarios que componen el acíbar (líquido amarillo) de la sábila, son antraquinonas glicosiladas (aloína A y aloína), cromonas glicosiladas (aloesina y aloeresina) y poli fenoles, entre otros (Reynolds, 1985). Algunos estudios sugieren que estos metabolitos, pueden inducir apoptosis; otros estudios han encontrado posibles actividades mutagénicas y cancerígenas del acíbar (Guo & Mei, 2016), por tal motivo el Consejo Internacional de Ciencias del Aloe (IASC), sugirió que el límite de aloína contenido en productos de consumo oral debe ser inferior a 10 ppm (Bejar, 2019).

4.2 Adaptación a las condiciones de estrés

En la naturaleza, las plantas están expuestas a una variedad de estreses bióticos y abióticos. Los virus, las bacterias, los hongos, los nematodos y en general las plagas que atacan a las plantas, producen estrés biótico; mientras que las condiciones extremas de luz, temperatura, agua, sales y minerales, entre otros, producen estrés abiótico (Dao, Linthorst, & Verpoorte, 2011). Las respuestas de adaptación de las plantas a ambientes extremos como el de las zonas áridas, les permiten crecer y reproducirse (Silva *et al.*, 2010).

Las condiciones ambientales extremas, sea de origen biótico o abiótico, limitan el crecimiento y la productividad vegetal debido al estrés al que son sometidas. El estrés es la condición fisiológica alterada causada por factores que influyen

negativamente el equilibrio de la planta. La salinidad, la sequía y la deshidratación por altas temperaturas; provocan estrés osmótico y estrés hídrico mientras que las altas temperaturas, contribuyen indirectamente al estrés osmótico, porque influyen en la captación y pérdida de agua (Gaspar *et al.*, 2002).

4.3 Estrés hídrico

El déficit hídrico es un estrés abiótico que influye negativamente en el crecimiento y rendimiento de los cultivos, por lo tanto, induce cambios en el metabolismo, uno de ellos, es la síntesis de pigmentos fotosintéticos como los carotenoides, que aumentan cuando la planta se encuentra en estrés (Jaleel *et al.*, 2009).

El estrés hídrico disminuye el rendimiento de las hojas, el crecimiento (Hazrati *et al.*, 2017) y la biomasa de la planta de sábila (Jaleel *et al.*, 2009); pero causa un aumento en los compuestos fitoquímicos y bioquímicos, por ejemplo, aloína y prolina (Hazrati *et al.*, 2017). En condiciones de déficit hídrico, la planta de sábila promueve la eficiencia en el uso del agua, realizando un ajuste osmótico, es decir, existe un aumento en la biosíntesis de osmolitos, como prolina, azúcares y polifruktanos, los cuales permiten la retención de agua en las células de las hojas y mantienen la actividad metabólica, sin el riesgo de una plasmólisis celular (Delatorre *et al.*, 2010). Por otra parte, el control de la apertura y cierre estomático de las plantas, está relacionado con la eficiencia en el uso del agua, lo cual es necesario en las zonas áridas, para evitar la pérdida de agua, que puede llegar a ser hasta del 90% (Moreno, 2009).

4.4 Estrés salino

La presencia de exceso de sales solubles en el suelo, se considera un factor limitante en crecimiento y rendimiento de las plantas y se ha convertido en un problema en las zonas áridas y semiáridas. Este estrés, afecta negativamente a las plantas, disminuyendo el potencial hídrico del suelo y restringiendo la absorción de agua por las raíces. Cuando hay acumulación de iones salinos en los tejidos puede inducir desordenes fisiológicos por toxicidad iónica y desequilibrio nutricional, modificando la absorción de nutrientes. Olfati *et al.* (2012) reportaron un efecto negativo en sábila por estrés salino, en la altura,

número de hojas, brotes, el peso de la planta, peso de la hoja y el peso total del gel.

De acuerdo a Xu et al. (2015), el riego de sábila con agua salina (NaCl), en combinación con silicio (Si), mitigó significativamente la inhibición del crecimiento y la reducción de la calidad de gel. También el Si mejoró la actividad de la membrana plasmática, la membrana tonoplástica y los pirofosfatos de la raíz de aloe bajo estrés salino; el jugo de hoja registró un aumento en el contenido de solutos sólidos, sin embargo, el polisacárido de aloe, la aloína y el aloe-emodina, disminuyeron significativamente.

4.5 Prácticas de manejo y productividad

La sábila posee mejores propiedades nutritivas de los dos a tres años de crecimiento y desarrollo, sobre todo en la calidad del gel, como producto de interés comercial, el cual se obtiene de la parte interna de las hojas después de retirarle la cutícula que envuelve a la hoja (SAGARPA, 2009).

Los tres factores más importantes para la producción de gel de sábila son el suministro de agua, la disponibilidad de nitrógeno y la acidez del suelo en el que la planta crece. La tasa de crecimiento de la planta está más asociada a la disponibilidad de agua que a cualquier otro factor. Los factores insolación, viento y humedad, pueden intervenir en la concentración de algunos componentes, como antraquinonas entre otras y a su vez están relacionados con la disponibilidad de agua (Waller *et al.*, 2004).

Es recomendable la aplicación de materia orgánica en el suelo, antes de la siembra y aplicar alrededor de 50 kg de nitrógeno por hectárea cuatro veces al año (después de cada cosecha trimestral) (IASC, 2008). En relación con el estrés hídrico, la baja frecuencia de riego en combinación con altas dosis de fertilización principalmente de N, mejora el rendimiento del gel. Se desconoce la relación que hay entre el agua de riego y la biomasa producida con el gel. Silva *et al.* (2010), encontraron que al hacer riego durante 45 min dia^{-1} con un volumen de agua de

4 L h⁻¹, hubo un aumento considerable en biomasa de la planta y un aumento en cantidad del gel.

Los estudios económicos de productos de sábila indican que el nicho de mercado de mayor importancia actual y potencial, se encuentra en los países europeos y asiáticos, principalmente de gel, jugo o polvo orgánico (Pedroza y Gómez, 2006). De ahí la importancia de fortalecer un paquete tecnológico de producción de sábila bajo condiciones orgánicas y en este caso, bajo condiciones de estrés ambiental, dentro de ciertos límites, destacando el factor hídrico (Pedroza *et al.*, 2015).

El Consejo Internacional de Ciencia en Aloe (IASC, por sus siglas en inglés) aplica indicadores de calidad sólo para materia prima como ingrediente para el uso en productos de consumo oral, tales como:

- El contenido de sólidos totales en el jugo de sábila con cáscara, es de hasta 1.0% y del jugo solo del gel de la hoja es de 0.5 %
- Sólidos > 0.46 % en el jugo del gel de la hoja.
- Contenido de cenizas < 40 %
- La glucosa debe estar contenida en mínimas cantidades.
- El peso seco deberá ser < 5 % para el gel de la hoja, cualquier peso por encima de este nivel se considera hoja entera.

A finales de 1996, en la Comarca Lagunera en los estados de Coahuila y Durango, México, inició un manejo integral sobre el cultivo de la sábila. El principal objetivo de esta primera etapa fue integrar un paquete tecnológico en lo agronómico para este cultivo (Calzada y Pedroza, 2008). De 1997 a 1999, se evaluó el crecimiento y desarrollo de la sábila con diferentes prácticas de manejo de alta productividad, bajo un sistema de fertilización nitrogenada química y orgánica con sistema de acolchado plástico y riego por goteo (Pedroza y Duran, 2005). En el 2000-2001, se inició una segunda etapa para enfatizar estudios más específicos sobre la fitosanidad e iniciar las evaluaciones fisicoquímicas de los

subproductos como el jugo concentrado y el gel, con el objetivo de valorar el potencial de mercado de dichos productos. En el 2008 se determinó la relación de diferentes prácticas agronómicas con características cuantitativas y cualitativas de la producción de la hoja de sábila (Calzada y Pedroza, 2008). También se realizó una investigación sobre producción orgánica de sábila, con resultados exigüos debido a la naturaleza y tipo de productos orgánicos evaluados como ácidos húmicos y fúlvicos, algaenzimas y biocomposta, así como la técnica de aplicación con bomba de aspersión y riego con agua rodada (Aba-Guevara *et al.*, 2016).

4.6 Metabolismo ácido de las crasuláceas

En las zonas áridas los organismos, están expuestos a condiciones ambientales extremas y para poder sobrevivir a esas condiciones, realizan una serie de adaptaciones morfofisiológicas, que puede resultar en un eficiente sistema radicular, la succulencia, la estructura epidérmica, vías fotosintéticas alternativas (C4 y CAM), producción de una gran cantidad de metabolitos secundarios que les permiten enfrentar los factores ambientales adversos de origen biótico y abiótico. Las plantas de zonas áridas tienen características morfológicas y fisiológicas especializadas como cutículas gruesas, baja relación superficie-volumen, succulencia de tejidos (Khajeeyan *et al.*, 2019), presencia de cera epicuticular, baja densidad estomática, capacidad de respuesta estomática (Niechayev *et al.*, 2019). La vía fotosintética CAM, en la que la planta presenta una disminución en la conductancia estomática y tasa neta instantánea de asimilación del CO₂, debido a la captación de CO₂ nocturna, reduciendo la fotorrespiración, para mejorar la eficiencia en el uso del agua (EUA) (Patishtán *et al.*, 2010). Dichas características relacionadas con estrategias de supervivencia como el escape, evasión y tolerancia al estrés (Pagare *et al.*, 2016).

En las plantas CAM, el CO₂ es fijado en dos etapas separadas temporalmente, más que físicamente como ocurre en las C₄. Durante la noche la apertura de estomas permite la difusión de CO₂ que es fijado por fosfoenol piruvato (PEP) y es tomado por la fosfoenol piruvato carboxilasa (PEPc) que lo incorpora en ácidos

C4, que se acumulan en las vacuolas vía una bomba de membrana ATP dependiente. Durante el día, se cierran estomas y los ácidos C4 son llevados al citoplasma, a través de un mecanismo aparentemente pasivo, en donde son descarboxilados. El CO₂ liberado, que alcanza concentraciones internas muy altas, es fijado en los cloroplastos por RUBISCO para incorporarlo al ciclo de Calvin-Benson (Khajeeyan *et al.*, 2019).

La sábila, con ruta fotosintética CAM, tiene la facultad de cambiar a la ruta fotosintética C₃, dependiendo de las condiciones ambientales prevalentes. La fotosíntesis decrece, por ejemplo, ante una disminución progresiva de la tasa relativa de agua y/o el potencial hídrico en las plantas (Tambussi, 2004). El cierre de estomas es inducido por el estrés hídrico, que se muestra a través de una disminución de la conductancia estomática (Pedroza *et al.*, 2016; Lawlor, 2002).

4.7 Composición química de la hoja de sábila

La hoja de la sábila se compone de tres capas: a) Un gel transparente interior que contiene 99 % de agua y el otro 1 % hecho de glucomananos, aminoácidos, vitaminas, esteroides y lípidos. b) La capa intermedia está hecha de látex, la savia amarilla amarga que contiene antraquinonas y glucósidos. c) La capa gruesa exterior de 15 a 20 células llamada corteza, que tiene función protectora y sintetiza los hidratos de carbono y proteínas. Dentro de la corteza los haces vasculares son los responsables del transporte de sustancias como agua (xilema) y almidón (floema) (Surjushe *et al.*, 2008).

En el gel de la hoja de sábila, se encuentra el ácido málico que es un ácido orgánico, el cual es importante para la fotosíntesis de las plantas, ya que actúa como almacenamiento de dióxido de carbono (Bozzi *et al.*, 2007). Adicionalmente, el gel del aloe se puede usar como materia prima para los alimentos funcionales como bebidas, jugos, entre otros, y también para elaborar productos cosméticos. Sin embargo, la aloína que es una antraquinona se encuentra en la savia de la planta, la cual tiene un efecto laxante y es comercializada en polvo (Lee y Park, 2006).

Hamman (2008) y Singh y Singh (2011), han estudiado y reportado la composición de la pulpa de *Aloe vera* y exudado, como a continuación se describe (Cuadro 1).

Cuadro 1. Composición de la pulpa de sábila y exudado

Composición	Compuestos
Antraquinonas	Ácido aloético, antranol, ácido cinámico, barbaloína, ácido crisofánico, emodina, aloe-emodín, éster de ácido cinámico, aloína, isobarbaloína, antraceno, resistanol.
Vitaminas	Ácido fólico, B1, Colina, B2, C, B3, E, B6, beta-caroteno
Minerales	Calcio, magnesio, potasio, zinc, sodio, cobre, hierro, manganeso, fósforo, cromo
Carbohidratos	Celulosa, galactosa, glucosa, xilosa, manosa, arabinosa, aldopentosa, glucomanosa, fructosa, acemanano, sustancias pépticas, L-ramnosa
Enzimas	Amilasa, ciclooxidasa, carboxipeptidasa, lipasa, bradikinasas, catalasa, oxidasa, fosfatasa alcalina, ciclooxigenasa, superóxido dismutasa
Lípidos, y compuestos orgánicos	Esteroides (campesterol, colesterol, β -sitosterol), ácido salicílico, ácido málico, sorbato de potasio, triglicéridos, lignina, ácido úrico, saponinas, giberelina, triterpenos,
Aminoácidos	Alanina, ácido aspártico, arginina, ácido glutámico, glicina, histidina, isoleucina, lisina, metionina, fenilalanina, prolina, tirosina, treonina, valina

Fuente: Hamman (2008) y Singh y Singh (2011).

4.8 Flavonoides

La sábila en condiciones de estrés hídrico y salino, puede desencadenar la expresión de genes para la producción de sustancia antioxidantes, lo cual se traduce en una protección natural para la sábila ya que la protege de las especies reactivas de oxígeno (ERO), y por lo tanto incrementa la calidad del gel. La actividad antioxidante de la sábila también se encuentra relacionada con la presencia de componentes activos como polisacáridos, flavonoides (Vieira *et al.*, 2016) y antraquinonas, las cuales se considera que presentan actividad antioxidante (Choi y Chung, 2003).

Los flavonoides se encuentran en el cloroplasto, se encargan de captar el oxígeno singlete y funcionan como estabilizadores de la membrana de la envoltura externa del cloroplasto. Los flavonoides están presentes en el núcleo de las células mesofílicas y pueden inhibir la generación de ROS formando complejos con iones (Hu *et al.*, 2003).

Los flavonoides se sintetizan a partir de derivados de Phe generados a través de las vías shikimato y fenilpropanoide. La chalcona sintasa (CHS; EC 2.3.1.74) condensa 4-coumaroyl-CoA y malonyl-CoA para formar flavonoide-naringenina de cadena abierta, que se convierte en naringenina por chalcona isomerasa (CHI; EC 5.5.1.6). Naringenin define un punto de ramificación clave para la síntesis de varias clases principales de flavonoides, incluidas flavanonas, flavonoles y antocianinas. La biosíntesis de flavonoides está controlada por factores de transcripción que coordinan la expresión de múltiples genes biosintéticos en respuesta a señales ambientales y de desarrollo (Dao *et al.*, 2011).

4.9 Enzima Chalcone sintasa (CHS)

En un análisis con base genética de diversas especies vegetales en respuesta al estrés, García *et al.* (2005) registraron al menos 60 diferentes genes asociados con las respuestas a sequía en plantas, los cuales tienen acción en diferentes niveles de la cascada de señales desencadenadas por déficit hídrico. Las secuencias de los genes asociados a sequía tienen una alta homología en diferentes especies de plantas.

El análisis del transcriptoma a gran escala ha puesto de manifiesto que estos productos génicos en líneas generales se pueden clasificar en dos grupos:

- A) Un grupo constituye genes que codifican proteínas para proteger las células de los efectos del estrés hídrico. Estos genes incluyen los que gobiernan la acumulación de solutos compatibles (enzimas clave para la biosíntesis de osmolito como prolina, betaína, azúcares, etc.); transporte pasivo a través de las membranas y sistemas de transporte de agua que requieren energía (proteínas de los canales de agua y transportadores de membrana).
- B) y la protección y la estabilización de las estructuras celulares de la desecación y el daño por las especies reactivas de oxígeno (las enzimas de desintoxicación, tales como glutatión transferasa, catalasa, superóxido dismutasa, ascorbato peroxidasa, etc.); enzimas para el metabolismo de ácidos grasos, inhibidores de proteinasa, ferritina y proteínas de transferencia de lípidos; y otras proteínas para la protección de macromoléculas (Cushman y Bohnert, 2000).

CHS es una enzima de condensación, exclusiva de las plantas, que construye un intermedio de 15 carbonos (C15) del cual se derivan todos los flavonoides. Se considera la enzima clave de la biosíntesis de flavonoides, ya que es la primera enzima comprometida con la producción de estos. Debido a que los cambios en la actividad de CHS están estrechamente asociados con la inducción de síntesis de muchos flavonoides diferentes, se considera que interviene en la regulación ambiental de las plantas. (Martin, 1993).

4.10 Especies reactivas de oxígeno (ERO)

El estrés oxidante es una alteración en el equilibrio entre las moléculas oxidantes, que puede ser regulado a través de las especies reactivas de oxígeno (ERO) y las moléculas antioxidantes. Dicho estrés puede provocar daño celular cuando se dan interacciones entre las moléculas oxidantes y proteínas, lípidos y los ácidos nucleicos que constituyen a los organismos (Dao *et al.*, 2011).

Las ERO son continuamente producidas por las plantas, durante su metabolismo, pero también en respuesta a tensiones bióticas y abióticas. En el metabolismo aeróbico de las plantas, al utilizar el oxígeno como aceptor final de electrones se producen las ERO. Posteriormente el oxígeno se reduce produciendo, oxígeno singlete ($^1\text{O}_2$), el radical superóxido (O_2^\bullet), peróxido de hidrógeno (H_2O_2) o el radical hidroxilo (HO^\bullet) (Carrasco *et al.*, 2001). Las ERO pueden provocar alteración en la fisiología e interferir en el metabolismo de las plantas, y puede dañar componentes celulares e inactivar sus funciones. Los ERO deben ser removidos de la planta constantemente, esto se logra con el complejo sistema antioxidante, en el que participan enzimas, proteínas y otros metabolitos, que permiten mantener la homeostasis celular (Gutiérrez, 2006).

Los mecanismos antioxidantes de defensa de las plantas son los metabolitos: ascorbato (ASC), glutatión (GSH), tocoferol, diversos metabolitos secundarios como los flavonoides, entre otros, y los limpiadores enzimáticos endógenos de ERO son, la superóxido dismutasa (SOD), la catalasa (CAT) y las peroxidasas (POD). El control de los niveles de oxidantes, se logra mediante dichos mecanismos (Fraire & Balderas, 2013).

Durante condiciones de estrés, una planta expresa una serie de genes como parte de sus mecanismos de defensa. Entre estos genes, se encuentra el que codifica para la síntesis de la enzima CHS, diversas investigaciones sugieren que esta enzima, se produce en las plantas sometidas a estrés por luz UV, heridas y patógenos microbianos que resultan en la producción de fitoalexinas, con actividad antimicrobiana, actividad insecticida y actividad antioxidante (Dao *et al.*, 2011).

5. LITERATURA CITADA

Aba-Guevara., Pedroza, A., Trejo, R., Sánchez, I., Samaniego, J y Chavéz, J. (2016). Investigación y Ciencia. *Investigación y Ciencia 64*: 26–34.

Aloetrade. (2003-2012). Producción de Aloe (Sábila) en México. Recuperado de: <http://www.aloetrade.com.ar/produccion-de-aloe-mexico>

- Barua A., M. Bordoloi and H. P. Deka (2016). *Aloe vera*: A multipurpose industrial crop. *Industrial Crops and Products* 94: 951-963.
- Bejar, E. (2019). Adulteration of Aloe Vera. *Botanical Adulterants Bulletin*, (June): 1–9.
- Bozzi, A; Perrin, S and Arce Vera, F. 2007. Quality and authenticity of commercial aloe vera gel powders. *Food Chemistry* 103(1): 22–30.
- Calzada, R.A.M. y Pedroza, S.A. (2008). Evaluación físico-química del gel y jugo de la hoja de sábila (*A. barbadensis* M.) en diferentes prácticas de manejo. *Revista Chapingo. Serie Zonas Áridas* 4(2): 93-101.
- Carrasco, A., López-serrano, M., Zapata, J. M., Sabater, B., y Martín, M. (2001). Oxidation of phenolic compounds from *Aloe barbadensis* by peroxidase activity: Possible involvement in defence reactions *Plant Physiol. Biochem.* 39: 521–527.
- Cantú, H. 2015. The OECD and Human Rights: the Case of the Guidelines for Multinational Enterprises and the National Contact Points. *Anuario Mexicano de Derecho Internacional* 15: 611–658.
- Choi, S., y Chung, M. 2003. A review on the relationship between Aloe vera components and their biologic effects. *Seminars in Integrative Medicine* 1(1): 53-62.
- Cushman, J., y Bohnert H. 2000. Genoma se acerca a sembrar la tolerancia al estrés. *Current Opinion in Plant Biology* 3:117 - 124. Grace Olwen, Sven Buerki, Matthew RE Symonds, Félix Forest, Abraham E van Wyk, Gideon F Smith, Ronell R Klopper, Charlotte S Bjora, Sophie Neale, Sebsebe Demissew, Monique SJ Simmonds y Nina Ronsted. 2015. Evolutionary history and leaf succulence as explanations for medicinal use in aloes and the global popularity of *Aloe vera*. *BMC Evolutionary Biology* 15(29):2-12
- Dao, T. T. H., Linthorst, H. J. M., y Verpoorte, R. (2011). Chalcone synthase and its functions in plant resistance. *Phytochemistry Reviews* 10(3): 397–412.

- Delatorre Herrera, J., Delfino, I., Salinas, C., Silva, H., y Cardemil, L. (2010). Irrigation restriction effects on water use efficiency and osmotic adjustment in Aloe Vera plants (*Aloe barbadensis* Miller). *Agricultural Water Management* 97(10): 1564–1570.
- Fraire, V., y Balderas, H. (2013). Abiotic Stress in Plants and Metabolic Responses. In: Plant Responses and Applications in Agriculture. INTECH OPEN, USA. 239 p.
- García O. N. C., Trejo C. R, Pedroza S. A., Gómez L. F. Esparza M. J. H. y Sepúlveda B. M. (2005). Bases moleculares de la resistencia a sequía en plantas. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas* 4(2): 59-64
- Gaspar, T., Franck, T., Bisbis, B., Kevers, C., Jouve, L., Hausman, J. F., y Dommes, J. (2002). Concepts in plant stress physiology. Application to plant tissue cultures. *Plant Growth Regulation* 37(3): 263–285.
- Gliessman, S. (2002). Agroecología-Procesos ecológicos en agricultura sostenible. LITOCAT, Costa Rica, 358 p.
- Gómez, T. L., Gómez, C. M. A., y Schwentesius, R.R. (1999). Desafíos de la agricultura orgánica, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México, 224 p.
- González M. G. (2012). Las zonas áridas y semiáridas de México, y su vegetación. Primera ed. Ed. SEMARNAT-INECC. Impreso en México, 194 p.
- Guo, X., y Mei, N. (2016). Aloe vera: A review of toxicity and adverse clinical effects. *Journal of Environmental Science and Health - Part C Environmental Carcinogenesis and Ecotoxicology Reviews* 34(2): 77–96.
- Gutiérrez, C. G. (2006). CONTRA PATÓGENOS. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente* 12(1): 25–30.
- Hamman, J. 2008. Composition and Applications of Aloe vera Leaf. *Gel. Molecules* 13:1599-1616.

- Hazrati, S., Tahmasebi-Sarvestani, Z., Mokhtassi-Bidgoli, A., Modarres-Sanavy, S. A. M., Mohammadi, H., y Nicola, S. (2017). Effects of zeolite and water stress on growth, yield and chemical compositions of Aloe vera L. *Agricultural Water Management* 181: 66–72.
- Bejar, E. (2019). Adulteration of Aloe Vera. *Botanical Adulterants Bulletin*, (June), 1–9.
- Carrasco, A., López-serrano, M., Zapata, J. M., Sabater, B., & Martín, M. (2001). Oxidation of phenolic compounds from Aloe barbadensis by peroxidase activity : Possible involvement in defence reactions. *Plant Physiol. Biochem.*, 39, 521–527.
- Dao, T. T. H., Linthorst, H. J. M., & Verpoorte, R. (2011). Chalcone synthase and its functions in plant resistance. *Phytochemistry Reviews*, 10(3), 397–412. <https://doi.org/10.1007/s11101-011-9211-7>
- Delatorre-Herrera, J., Delfino, I., Salinas, C., Silva, H., & Cardemil, L. (2010). Irrigation restriction effects on water use efficiency and osmotic adjustment in Aloe Vera plants (Aloe barbadensis Miller). *Agricultural Water Management*, 97(10), 1564–1570. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.05.008>
- Fraire, V., & Balderas, H. (2013). Abiotic Stress in Plants and Metabolic Responses. In *Plant Responses and Applications in Agriculture* (p. 25).
- Gaspar, T., Franck, T., Bisbis, B., Kevers, C., Jouve, L., Hausman, J. F., & Dommes, J. (2002). Concepts in plant stress physiology. Application to plant tissue cultures. *Plant Growth Regulation*, 37(3), 263–285. <https://doi.org/10.1023/A:1020835304842>
- Grace, O. M., Buerki, S., Symonds, M. R. E., Forest, F., Van Wyk, A. E., Smith, G. F., ... Rønsted, N. (2015). Evolutionary history and leaf succulence as explanations for medicinal use in aloes and the global popularity of Aloe vera. *BMC Evolutionary Biology*, 15(1), 1–12. <https://doi.org/10.1186/s12862-015-0291-7>
- Guevara, C. G. A., & Sandoval, Aurelio Pedroza., Ricardo Trejo Calzada.,

- Ignacio sánchez Cohen., José A. samaniego Gaxiola, J. A. C. R. (2016). Investigación y Ciencia. *Investigación y Ciencia*, 64, 26–34.
- Guo, X., & Mei, N. (2016). Aloe vera: A review of toxicity and adverse clinical effects. *Journal of Environmental Science and Health - Part C Environmental Carcinogenesis and Ecotoxicology Reviews*, 34(2), 77–96. <https://doi.org/10.1080/10590501.2016.1166826>
- Gutiérrez, C. G. (2006). CONTRA PATÓGENOS. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 12(1), 25–30.
- Hazrati, S., Tahmasebi-Sarvestani, Z., Mokhtassi-Bidgoli, A., Modarres-Sanavy, S. A. M., Mohammadi, H., & Nicola, S. (2017). Effects of zeolite and water stress on growth, yield and chemical compositions of Aloe vera L. *Agricultural Water Management*, 181, 66–72. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.11.026>
- Hu, Yun., Xu, J. and hu Q. (2003). Evaluation of Antioxidant Potential of Aloe vera (Aloe barbadensis Miller) Extracts Determination of the Contents of Polysaccharide in Aloe. *Agricultural and Food Chemistry*, 51(26), 7788–7791. <https://doi.org/10.1021/jf034255i>
- Jaleel, C. A., Manivannan, P., Wahid, A., Farooq, M., Al-Juburi, H. J., Somasundaram, R., & Panneerselvam, R. (2009). Drought stress in plants: A review on morphological characteristics and pigments composition. *International Journal of Agriculture and Biology*, 11(1), 100–105.
- Khajeeyan, R., Salehi, A., Dehnavi, M. M., Farajee, H., & Kohanmoo, M. A. (2019). 182, 183Physiological and yield responses of Aloe vera plant to biofertilizers under different irrigation regimes. *Agricultural Water Management*, 225(August), 105768. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105768>
- Lissoni, P., Rovelli, F., Brivio, F., Zago, R., Colciago, M., Messina, G., ... Porro, G. (2009). A randomized study of chemotherapy versus biochemistry with chemotherapy plus aloe arborescens in patients with metastatic cancer. *In*

Vivo, 23(1), 171–176.

- Martin, C. R. (1993). Structure , Function , and Regulation of the Chalcone Synthase. In *International Review of Cytology* (Vol. 147, pp. 233–284).
- Moreno. (2009). Respuesta de las plantas al estrés por déficit hídrico . Una revisión Plant responses to water deficit stress . A review. *Agronomía Colombiana*, 27(2), 179–191.
- Niechayev, N. A., Pereira, P. N., & Cushman, J. C. (2019). Understanding trait diversity associated with crassulacean acid metabolism (CAM). *Current Opinion in Plant Biology*, 49, 74–85.
<https://doi.org/10.1016/j.pbi.2019.06.004>
- Olfati, J., Moqbeli, E., Fathollahi, S., & Estaji, A. (2012). Salinity stress effects changed during Aloe vera L. vegetative growth. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, 8(2), 152–158.
- Pagare, S., Bhatia, M., Tripathi, N., Pagare, S., & Bansal, Y. K. (2016). Secondary metabolites of plants and their role: Overview. *Current Trends in Biotechnology and Pharmacy*, 9(January 2015), 293–304.
- Patishtán Pérez, J., Rodríguez García, R., Zavala García, F., & Jasso Cantú, D. (2010). CONDUCTANCIA ESTOMÁTICA Y ASIMILACIÓN NETA DE CO₂ EN SÁBILA (Aloe vera Tourn) BAJO SEQUÍA. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 33(4), 305–314.
- Ramin Rahimi-Dehgolan , Zeinolabedin Tahmasebi Sarvestani, S. A. R. & A. D. (2012). Journal of Herbs , Spices & Medicinal Morphological and Physiological Characters of Aloe vera Subjected to Saline Water Irrigation Morphological and Physiological Characters of Aloe vera Subjected. *Journal of Herbs, Spices & Medicinal Plants*, 18(August 2014), 222–230.
<https://doi.org/10.1080/10496475.2012.671802>
- Sánchez-Machado, D. I., López-Cervantes, J., Sendón, R., & Sanches-Silva, A. (2017). Aloe vera: Ancient knowledge with new frontiers. *Trends in Food*

Science and Technology, 61, 94–102.

<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.12.005>

Silva, H., Sagardia, S., Seguel, O., Torres, C., & Tapia, C. (2010). Effect of water availability on growth and water use efficiency for biomass and gel production in Aloe Vera (*Aloe barbadensis* M .). *Industrial Crops and Products Journal*, 31, 20–27. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2009.08.001>

Tom, R. (2004). *On the genus Aloe*. *Chronica botanica* (Vol. 9).

Yáñez-chávez, L. G., Pedroza-Sandoval, A., Martínez-Salvador, M., Sánchez-Cohen, I., Echavarría-Cháirez, F., Velásquez-Valle, M., & López-Santo, A. (2018). Uso de retenedores de humedad edáfica en la sobrevivencia y crecimiento de dos especies de pastos *Bouteloua curtipendula* [Michx .] Torr . y *Chloris gayana* Kunth Use of soil moisture retainers on the survival and growing of two grass species *Bouteloua cur*. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 9(4), 17.

CAPITULO II

INDICADORES DE PRODUCTIVIDAD Y CALIDAD DE GEL DE SÁBILA EN CONDICIONES DE ESTRÉS SALINO

PRODUCTIVITY INDICATORS AND QUALITY OF ALOE GEL UNDER SALINITY STRESS CONDITIONS

RESUMEN

Las zonas áridas corresponden a grandes regiones del país con problemas de escasez hídrica, suelos superficiales pobres en materia orgánica y altos contenidos de sales. La sábila [*Aloe vera* (L.) Burm.f.] es una alternativa viable de producción ante condiciones limitantes de tipo ambiental. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la salinidad en el crecimiento de las hojas y calidad de gel de la sábila. El estudio consistió en probar seis tratamientos salinos: 0, 500, 1000, 2000, 4000 y 8000 mg L⁻¹ de NaCl, lo cual correspondió a una conductividad eléctrica (CE) de 0.36 (agua de riego con contenido natural de NaCl), 1.39, 2.0, 3.6, 5.6, 7.6 dS m⁻¹, respectivamente. El experimento se condujo en un diseño experimental de bloques completos al azar repetido cuatro veces. Las variables de respuesta que se midieron fueron: longitud de la hoja, ancho de la hoja, grosor de la hoja, biomasa de la hoja, biomasa del gel, biomasa fresca y seca de la planta sin raíz, pH del gel, concentración de sólidos solubles totales y sólidos precipitables en metanol. La biomasa de la hoja y el contenido de gel fueron similares entre 0.36 y 3.6 dS m⁻¹, lo que sugirió cierto grado de tolerancia al estrés salino; sin embargo, a partir de los 5.6 dS m⁻¹ hubo un efecto negativo en éstas y otras variables. La concentración de sólidos solubles totales y los sólidos precipitables en metanol se incrementaron en función de la CE, dentro de ciertos límites. Estos parámetros se consideran como un indicador de alto valor agregado desde el punto de vista comercial. Lo anterior confirma que, ante condiciones moderadas de estrés, en este caso por salinidad en la planta de sábila, se favorece la calidad del gel, aunque con un efecto negativo en el crecimiento y producción de la hoja.

Palabras clave: *Aloe vera*, salinidad agrícola, calidad química del agua, sólidos totales.

ABSTRACT

The arid zones correspond to large regions of the country with problems of water scarcity, shallow soils with poor in organic matter, and high salt content. Aloe [*Aloe vera* (L.) Burm.f.] is a feasible alternative for production under environmentally limiting conditions. The objective of this study was to evaluate the effect of salinity on leaf growth and gel quality of aloe. The study consisted in testing six saline treatments: 0, 500, 1000, 2000, 4000 and 8000 mg L⁻¹ of NaCl, which corresponds to an electrical conductivity (EC) of 0.36 (irrigation water with natural NaCl content), 1.39, 2.0, 3.6, 5.6, 7.6 dS m⁻¹, respectively. The experiment was conducted in a randomized complete block design. The response variables measured were: leaf length, leaf width, leaf thickness, leaf biomass, gel quantity, fresh and dry biomass of the plant without root, gel pH, sugar content, total soluble solids, and precipitable solids in methanol. The leaf biomass and gel content were similar in the electrical conductivity between 0.36 and 3.6 dS m⁻¹, which suggested some extent of tolerance to saline stress; however, from 5.6 dS m⁻¹ there was a negative effect on these and other variables. Total soluble solids concentration and the precipitable solids in methanol also increased the EC, up to certain limits. These parameters are considered as an indicator of high added value from the marketable point of view. The latter confirms that, under moderate stress conditions, in this case by salinity in aloe, the gel quality is favored, although negative effect was observed on the growth and production of aloe leaf.

Index words: *Aloe vera*, agricultural salinity, chemical water quality, total solids.

INTRODUCCIÓN

La sábila [*Aloe vera* (L.) Burm. f.], es nativa del mediterráneo del sur de Europa y norte de África. Actualmente se encuentra distribuida en todo el mundo (Barua *et al.*, 2016). Los productos derivados de la sábila, corresponden principalmente a extractos de polvo y gel, los cuales se comercializan en las industrias cosmetológicas, médica y alimenticia. Las especies *A. vera* y *A. arborescens*, son las especies más extensamente cultivadas a nivel comercial (Park y Lee, 2006; Ramachandra y Srinivasa, 2008).

La hoja de sábila, contiene más de 100 componentes bioactivos que, a través de una compleja interacción sinérgica entre ellos, confieren múltiples beneficios a la salud (Sánchez *et al.*, 2017), por lo que ha sido una de las plantas más utilizadas en la historia de la humanidad (Park y Lee, 2006). Los estudios económicos de productos derivados de la hoja de sábila, indican que el nicho de mercado de importancia actual y potencial, se encuentra en los países europeos y asiáticos (Pedroza y Gómez, 2006).

El tejido del mesófilo de las hojas suculentas de la sábila y su ruta fotosintética de metabolismo ácido crasuláceo (CAM, por sus siglas en inglés) (Borland *et al.*, 2009), son las características anatómico-fisiológicas que le permiten a la planta una gran capacidad de adaptación a las condiciones de estrés por sequía, al mantener potenciales hídricos altos en sus tejidos ante elevadas concentraciones de sales, altas temperaturas o déficit de humedad en el suelo (Pedroza y Gómez, 2006; Grace *et al.*, 2015). De acuerdo con Jin *et al.* (2007), algunas especies de sábila pueden crecer normalmente ante condiciones de estrés salino, sin afectar el crecimiento de manera significativa.

La salinidad edáfica, se refiere a la cantidad de sales presentes en la solución del suelo y puede ser estimada indirectamente mediante la medición de la conductividad eléctrica (CE). El valor de CE es influenciado por la concentración y composición de las sales disueltas. A mayor valor de CE, mayor es la salinidad. Bajo condiciones de sequía o riegos deficitarios, la acumulación de sales en la

superficie de los suelos aumenta, esto debido a que el agua aplicada en el riego, además de ser salina, no es capaz de lavar el exceso de sales, con el consecuente impacto negativo en la producción agrícola (FAO, 2009). El problema de la salinidad de los suelos aumenta por el inadecuado manejo de los agroecosistemas y hace que la agricultura se desplace hacia zonas marginales (Bazzigalupi *et al.*, 2008). De esta manera, el estrés salino es considerado un problema de carácter global por el efecto negativo en el crecimiento y desarrollo de diferentes especies vegetales (Lata y Prasad, 2011; Olfati *et al.*, 2012). Más del 20 % de la superficie cultivable en el mundo se encuentra afectada por la salinidad (Gupta y Huang, 2014).

En las zonas áridas y semiáridas con áreas de riego, el agua es salina y ante condiciones de alta evapotranspiración, se provoca la salinización de los suelos con un efecto colateral en la producción agrícola (Ritzema, 2016). La salinidad de los suelos en la Comarca Lagunera de los Estados de Coahuila y Durango, México, que corresponde a la región de este estudio, es una condición abiótica generalizada, por la deficiente calidad química del agua que se extrae de pozos profundos (Azpilcueta *et al.*, 2017). El uso de cultivos alternativos tolerantes al estrés como el originado por la salinidad de los suelos, es una de las opciones a esta condición de estrés.

La sábila es un cultivo alternativo de alto potencial en regiones agrícolas donde los cultivos tradicionales limitan su producción ante condiciones ambientales adversas, debido a que la planta posee una alta capacidad de adaptación a diferentes ambientes y tolerancia a diversos tipos de estrés, tanto de origen biótico, como abiótico (Pedroza y Gómez, 2006). Además de considerarse como un cultivo alternativo en áreas marginales, los productos derivados de la sábila como el jugo y el gel, son bien cotizados en el mercado nacional e internacional (Aba-Guevara *et al.*, 2016). La demanda de estos productos requiere de alto valor cualitativo, es decir, con un alto contenido de polisacáridos, lo cual es posible cuando la planta se desarrolla en condiciones moderadas de algún tipo de estrés

ambiental (Núñez-Colima *et al.*, 2017). Por lo anterior, este cultivo representa una alternativa productiva desde el punto de vista social, económico y ambiental.

Actualmente, se continúa explorando el conocimiento y tecnología en diferentes cultivos en relación a la tolerancia al estrés ambiental, en la perspectiva de mitigar sus impactos y mantener la actividad productiva en condiciones adecuadas, acorde a las necesidades agroalimentarias de cada región. El objetivo de este estudio fue determinar la respuesta del estrés al aplicar agua salina al suelo en el crecimiento de la planta y su efecto en la producción de biomasa y la calidad del gel de la hoja de sábila [*Aloe vera* (L.) Burm.f.].

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del área de estudio

El estudio se realizó en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en Matamoros, Coahuila México, ubicado a 25°31'58" N y 103°14'32" O, con un promedio de precipitación anual de 240 mm y una temperatura que oscila entre 9 a 41° C y una media de 18° C (Normales climatológicas, 1951-2010).

Diseño experimental y tratamientos

El experimento se realizó en condiciones de malla-sombra en estructura abierta en los costados de 25 x 40 m. La malla fue de color negro, con 90% de sombreado y 10% de transmisión de luz. Se condujo en un diseño experimental de bloques completamente al azar con cuatro repeticiones donde se probaron seis tratamientos salinos: 0 (testigo) 500, 1000, 2000, 4000 y 8000 mg L⁻¹ de NaCl, lo cual correspondió a una conductividad eléctrica (CE) de 0.36 (contenido natural de NaCl en el agua de riego), 1.39, 2.0, 3.6, 5.6 y 7.6 dS m⁻¹, respectivamente. Estos tratamientos fueron aplicados al agua de riego, al inicio del experimento. Las 24 unidades experimentales se colocaron en macetas individuales con 30 L

de capacidad, con suelo de textura franco arenoso a un pH de 8.47. El estudio se llevó a cabo de agosto a diciembre del 2016, para el cual se usaron plantas de un promedio de 30 cm de altura para el trasplante, con un periodo de aclimatación de dos meses (agosto y septiembre) y un mes de riego en los diferentes tratamientos (octubre) y posteriormente se procedió a la medición de variables (noviembre y diciembre). El riego fue de 2 L por semana por cada unidad experimental.

Variables de respuesta

Las variables que se midieron, correspondieron a: longitud de la hoja, mediante uso de cinta métrica; ancho y grosor de la hoja, con uso de vernier (marca Truper Modelo 14388, China). Las variables relacionadas a la calidad de gel fueron: pH, medido con un potenciómetro (marca Conductronic modelo PH140, Puebla, México); concentración de azúcares (°Brix) mediante uso de un refractómetro (Marca AT, modelo PAL-1, Monterrey, N. L., México); concentración de sólidos totales y concentración de sólidos precipitables en metanol, determinados conforme a la metodología citada por Wang y Strong (1995), con base a los estándares de calidad internacional indicados por el Internacional Aloe Science Council (IASC, 2008). La concentración de Mg, Na, K y Ca en Mg L^{-1} , se cuantificó mediante espectrofotometría de absorción atómica por método de flama, de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-117-SSA1-1994 (Aba-Guevara *et al.*, 2016). Al final del experimento, mediante muestreo destructivo, se midió la biomasa de la hoja (g), la biomasa del gel (g), la biomasa fresca y seca de la planta sin raíz y la conductividad eléctrica (CE), ésta última con el medidor de conductividad en extracto saturado del suelo (Marca Horiba, modelo B-173, Querétaro, México).

Análisis de datos

Los datos se analizaron a través de un modelo lineal con el procedimiento GLM del sistema de análisis estadístico SAS versión 9.2 (SAS Institute, Cary, NC). La comparación entre medias de tratamientos se realizó con la prueba del intervalo

estudentizado de Tukey con $p \leq 0.05$. Con el propósito de encontrar las relaciones directas o inversamente proporcionales entre variables, se realizó un análisis de correlación de Pearson, el cual se ejecutó con el mismo programa SAS mediante el procedimiento CORR.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Crecimiento de la hoja y producción de gel de sábila

La longitud (L) de la hoja de sábila fue estadísticamente similar entre tratamientos ($P \leq 0.05$) (Cuadro 1). Lo anterior coincidió con lo indicado por Jin *et al.* (2007), quienes mencionaron que algunas variedades de sábila presentan tolerancia a la salinidad e incluso, que las plantas puedan ser irrigadas con el 50 % de agua de mar, sin afectar significativamente el crecimiento. Rahi *et al.* (2013) reportaron que plantas de sábila fueron capaces de sobrevivir y aun incrementar la biomasa en fresco y en seco de las hojas en condiciones de moderada sodicidad, de hasta 30 % de sodio intercambiable.

En este estudio, el ancho de la hoja fue afectado a partir de una CE de 5.6 a 7.6 dS m^{-1} , con algunas variaciones intermedias; mientras que el grosor de hoja fue más sensible a la salinidad, ya que disminuyó significativamente a partir de 3.6 dS m^{-1} (Cuadro 1). Tanto el ancho como el grosor de la hoja, fueron afectados negativamente por el incremento de la salinidad. Lo anterior pudiera estar asociado a la dificultad en la absorción de agua y de nutrientes por la planta, ocasionando disminución de la biomasa (Ashraf y Harris, 2004; Munns y Tester, 2008). El umbral de tolerancia a la salinidad de la planta de sábila puede ser más alto, debido a que la concentración de sales fue mayor al final del experimento, por el contenido natural de NaCl en el agua de riego, de tal manera que, al término del experimento, la conductividad del suelo saturado fue de 2.32, 5.17, 7.82, 10.9, 20.47 y 40.52 $\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ para los tratamientos inicialmente se instalaron con una CE de 0.36, 1.39, 2.0, 3.6, 5.6, 7.6 dS m^{-1} , respectivamente (Cuadro 2). Lo anterior debido a la adición salina más el contenido natural de sal en el agua de riego. En el tratamiento de 3.6 dS m^{-1} , la CE del suelo al final del experimento llegó a 10.9

dS m⁻¹ y aún en esa condición la longitud y ancho de la hoja no fueron afectados negativamente, pero si, en mayor medida el grosor de la hoja. Esto indicó cierto grado de tolerancia de la sábila al estrés salino ya que, con base a la NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2002), un suelo se considera moderadamente salino de 2.1 a 4.0 dS m⁻¹, suelo salino 4.1 a 8.00 dS m⁻¹, fuertemente salino 8.1 a 16.0 dS m⁻¹ y muy fuertemente salino >16.0 dS m⁻¹.

Cuadro 2. Efecto de la salinidad en algunos atributos morfológicos de la hoja de sábila [*Aloe vera* (L.) Burm.f.]

Tratamientos*	Conductancia eléctrica (dS m ⁻¹)		Atributos morfológicos (cm)		
	Suelo**		Longitud de la hoja	Ancho de la hoja	Grosor de la hoja
0.36 (Testigo)	2.32		33.9 ± 0.6 a	4.4 ± 0.04 a	2.0 ± 0.03 a
1.39	5.2		32.8 ± 0.7 a	4.2 ± 0.09 ab	1.9 ± 0.03 a
2.0	7.82		32.2 ± 0.5 a	4.0 ± 0.1 bc	1.9 ± 0.03 ab
3.6	10.9		33.9 ± 0.5 a	4.5 ± 0.05 a	1.8 ± 0.02 bc
5.6	20.5		32.0 ± 0.3 a	3.8 ± 0.07 c	1.7 ± 0.02 cd
7.6	40.5		33.0 ± 0.6 a	4.0 ± 0.09 bc	1.7 ± 0.04 d

Prueba de Tukey (P ≤ 0.05). Cifras con la misma letra dentro de una misma columna, son estadísticamente iguales. La conductancia eléctrica del agua indicada como testigo fue la registrada en el agua de riego. * y ** son la conductividad eléctrica medida en el agua al aplicar el NaCl una sola vez al inicio del experimento y aquella medida en el suelo al final del experimento, respectivamente.

La biomasa de la hoja y el gel disminuyeron significativamente en las plantas tratadas con riego a una conductividad eléctrica de 5.6 y 7.6 dS m⁻¹ (Cuadro 3). Estas mismas variables se mantuvieron sin diferencia estadística en tratamientos de CE hasta 3.6 dS m⁻¹, lo cual sugirió que, en términos de producción de biomasa de la hoja y del gel, esta planta puede tolerar ese grado de salinidad.

Sin embargo, a medida que se incrementó el nivel de salinidad, la biomasa de la planta en fresco disminuyó (Cuadro 2). Esta variable es uno de los componentes

de crecimiento y producción más importante en este tipo de cultivo, ya que puede afectar otras variables como la biomasa de la hoja y la cantidad de gel (Pedroza *et al.*, 2015). Esto indica que la disminución de la disponibilidad de agua debido al contenido de NaCl en el suelo, sugiere una menor absorción de nutrientes, lo cual pudiera disminuir la capacidad de crecimiento de la planta producto de una reducción de la expansión celular por la pérdida de turgencia (Munns y Tester, 2008). La biomasa en fresco de la parte aérea de la planta de sábila fue significativamente mayor; en tanto que el tratamiento más alto de salinidad provocó la menor biomasa fresca con diferencias significativas, ambas respuestas respecto del testigo ($P \leq 0.05$). Sin embargo, la biomasa fresca de las plantas regadas con soluciones de hasta 3.6 dS m^{-1} no tuvieron una variación significativa (Cuadro 3).

La biomasa seca de las plantas disminuyó significativamente en el tratamiento con una CE de 2.0 dS m^{-1} , aunque los tratamientos con 3.6 y 5.6 dS m^{-1} tuvieron una biomasa seca estadísticamente igual al de las plantas testigo. El tratamiento con 7.6 dS m^{-1} produjo la menor biomasa seca, y se diferenció significativamente del testigo (Cuadro 2). Adicional a lo anterior, es necesario considerar que la CE generada en el suelo por la concentración salina aplicada en el agua, fue de 40.52 dS m^{-1} en el tratamiento más alto de salinidad ($\text{CE} = 7.6 \text{ dS m}^{-1}$), correspondiente a un suelo extremadamente salino de acuerdo a la NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2002). En el tratamiento donde se inició la aplicación del NaCl ($\text{CE} = 1.39 \text{ dS m}^{-1}$), la CE en el suelo fue de $5.17 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$, que corresponde a un suelo ligeramente salino. En este caso, la diferencia en la biomasa seca, correspondió a una reducción de sólo 5.7% , respecto del testigo. Lo anterior confirmó que la sábila presenta amplias perspectivas en sistemas agrícolas marginales, donde la salinidad, sea uno de los factores limitantes de la producción (Pedroza *et al.*, 2009).

Cuadro 3. Efecto de la salinidad en diferentes variables de productividad de hoja y gel de sábila [*Aloe vera* (L.) Burm.f.]

CE* (dS·m ⁻¹)	Rendimiento (g)			
	Biomasa fresca de la planta***	Biomasa seca de la planta***	Biomasa de la hoja	Biomasa del gel
0.36**	1205.8 ± 128.42 a	57.5 ± 5.52 a	178.0 ± 23.94 a	100.3 ± 18.10 a
1.39	1140.0 ± 90.74 ab	54.2 ± 3.32 ab	161.0 ± 28.89 ab	92.1 ± 18.30 ab
2	1008.0 ± 214.76 abc	41.7 ± 11.37 bc	161.0 ± 18.617 ab	84.5 ± 14.95 ab
3.6	957.8 ± 122.17 abc	52.2 ± 7.39 ab	150.1 ± 9.70 ab	86.5 ± 6.55 ab
5.6	687.5 ± 52.43 bc	42.5 ± 1.84 abc	88.1 ± 12.84 b	42.03 ± 8.13 b
7.6	633.3 ± 199.43 c	28.7 ± 10.98 c	76.7 ± 12.47 b	35.90 ± 9.18 b

Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). Cifras con la misma letra dentro de una misma columna, son estadísticamente iguales. CE*= Conductividad eléctrica medida en el agua al aplicar el NaCl una sola vez al inicio del experimento. **= testigo (Sin agregar NaCl, sólo con el contenido natural de este elemento en el agua de riego). ***Correspondiente a la biomasa fresca y seca del total de hojas de la planta de sábila.

Los resultados anteriormente citados, no concordaron con los reportados por otros autores (Jamal-Ali *et al.*, 2012; Moghbeli *et al.*, 2012; García *et al.*, 2014; Murillo-Amador *et al.*, 2015), quienes señalaron baja tolerancia a la salinidad de la sábila, puesto que, a partir de bajas concentraciones de sales, disminuyó significativamente el número de hojas por planta, la biomasa de la misma, biomasa y ancho de la hoja y el contenido de gel, entre otras características. En cambio, en el presente estudio se observó cierta tolerancia de la sábila a ser irrigada con niveles moderados de salinidad en el agua. Esta característica de tolerancia, pudiera estar asociada con la ruta fotosintética CAM (metabolismo ácido crasuláceo, por sus siglas en inglés), lo cual le permite mantener potenciales hídricos altos en los tejidos ante algún estrés abiótico moderado, como el inducido por la salinidad (Borland *et al.*, 2009; Nobel y Zhang, 2006; Winter *et al.*, 2005).

Características químicas del gel

El pH no mostró cambios significativos ($P \leq 0.05$) debido a efecto de tratamiento (Cuadro 4), no obstante, los valores registrados que variaron entre 3.95 y 4.09, son similares a los consignados por Choi y Chung (2003) para geles empleados como materia prima en la elaboración de jugo de sábila. La concentración de azúcares y el porcentaje de sólidos solubles totales, se incrementaron significativamente ($P \leq 0.05$) cuando la CE fue de $7.6 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$; un comportamiento similar ocurrió para el caso de los sólidos precipitables en metanol. Estas variables se integran en la denominación de contenido de polisacáridos, la cual determina la calidad de los derivados de la hoja de sábila. Esto sugiere que, con determinado nivel de estrés, se afecta la producción de hoja de sábila, pero se mejora la calidad del gel, acorde con los estándares establecidos por el IASC (2008).

Cuadro 4. Efecto de la salinidad en diferentes variables relacionadas a la calidad del gel de hoja de sábila [*Aloe vera* (L.) Burm.f.]

CE* (dS m^{-1})	pH	Características químicas del gel		
		Concentración de azúcares (°Brix)	Sólidos totales (%)	Sólidos precipitables en metanol (%)
0.36**	4.1 ± 0.04 a	0.8 ± 0.03 b	0.75 ± 0.04 b	0.32 ± 0.03 c
1.39	3.95 ± 0.032 a	0.80 ± 0.001 b	0.788 ± 0.04781 b	0.352 ± 0.07048 bc
2	3.99 ± 0.060 a	0.85 ± 0.028 b	0.790 ± 0.0465 b	0.451 ± 0.0628 bc
3.6	3.90 ± 0.050 a	0.90 ± 0.040 b	1.021 ± 0.0528 b	0.512 ± 0.0903 bc
5.6	4.00 ± 0.103 a	0.97 ± 0.047 b	1.113 ± 0.0501 ab	0.756 ± 0.1556 ab
7.6	4.00 ± 0.123 a	1.25 ± 0.064 a	1.499 ± 0.2010 a	1.015 ± 0.1159 a

Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). Cifras con la misma letra dentro de una misma columna, son estadísticamente iguales. CE*= Conductividad eléctrica medida en el agua al aplicar el NaCl una sola vez al inicio del experimento. **= testigo (Sin agregar NaCl, sólo con el contenido natural de

este elemento en el agua de riego). CA= Concentración de azúcares; ST= Sólidos totales; SPM= Sólidos precipitables en metanol.

Se ha reportado que, por efecto de la salinidad, el crecimiento de las plantas se ha reducido por efecto dependiente o independiente de la acumulación de iones en la planta (Roy *et al.*, 2013). Es probable que el principal efecto de la salinidad en el crecimiento de la sábila en este estudio, se haya debido a los efectos independientes por la acumulación de iones en los tejidos, ya que, aunque con cierto grado de tolerancia, el K se incrementó significativamente ($P \leq 0.05$) partir de una CE de 5.6 dS m^{-1} y el Na y el Mg fueron significativamente superiores en la CE más alta (7.6 dS m^{-1}); en tanto que el Ca tuvo valores similares entre tratamientos (Cuadro 5). Estos resultados difirieron parcialmente de aquellos encontrados por García *et al.* (2014) quienes reportaron que la salinidad incrementó el contenido iónico de todos los elementos antes citados, excepto el K, el cual disminuyó significativamente. En este estudio el K, junto con el Na y el Mg, se incrementaron en niveles moderadamente altos de salinidad, posiblemente por mecanismos pasivos como el proceso de ajuste osmótico dentro de la planta.

Cuadro 5. Efecto de la salinidad en la concentración de magnesio (Mg), sodio (Na), potasio (K) y calcio (Ca) en el gel de sábila [*Aloe vera* (L.) Burm.f.]

CE* (dS·m ⁻¹)	Concentración de cationes (mg L ⁻¹)			
	Mg	Na	K	Ca
0.36**	0.9 ± 0.1 b	11.8 ± 0.9 b	3.0 ± 0.3b	1.3 ± 0.2 a
1.39	1.1 ± 0.15 ab	11.48 ± 1.92 b	2.28 ± 0.27 b	1.37 ± 0.22 a
2	1.3 ± 0.05-ab	11.93 ± 2.42 b	2.65 ± 0.09 b	1.39 ± 0.07 a
3.6	1.2 ± 0.09 ab	9.63 ± 2.13 b	2.90 ± 0.19 b	1.60 ± 0.25-a
5.6	1.2 ± 0.14 ab	17.64 ± 3.98 b	6.12 ± 0.98-a	1.17 ± 0.15-a
7.6	1.6 ± 0.22 a	33.06 ± 1.65-a	6.59 ± 1.02-a	2.14 ± 0.43 a

Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). Cifras con la misma letra dentro de una misma columna, son estadísticamente iguales. CE*= Conductividad eléctrica medida en el agua al aplicar el NaCl una sola vez al inicio del experimento. ** testigo (Sin agregar NaCl, sólo con el contenido natural de este elemento en el agua de riego).

Se identificó una correlación negativa ($P \leq 0.05$) entre la concentración de los sólidos solubles totales y los sólidos precipitables en metanol del gel, con respecto al crecimiento y producción de biomasa de la hoja. Lo anterior confirma lo referido líneas arriba, relativo a que, por efecto del estrés por salinidad, se disminuye la cantidad de producción, pero mejora la calidad de la misma. Las correlaciones positivas de la biomasa fresca y seca de la planta, con relación a la biomasa fresca y seca de la hoja, se explica por la dependencia entre estas variables (Cuadro 6).

Cuadro 6. Matriz de coeficientes de correlación (r) de Pearson entre las características de calidad del gel, la biomasa de hoja y de la parte aérea de la planta y la cantidad de gel en *Aloe vera* (L.) Burm.f. (n=24).

Variable	ST (%)	SPM (%)	pH	CA (°Brix)	BH (cm)	BG (g)	BFP (%)
SPM	0.88 0.0001						
pH	0.36 0.813	0.36 0.0833					
CA	0.89 0.0001	0.77 0.0001	0.28 0.1766				
BH	-0.72 0.0001	-0.61 0.0014	-0.31 0.1384	-0.71 0.0001			
BG	-0.68 0.0002	-0.58 0.0027	-0.37 0.0743	-0.65 0.0005	0.95 0.0001		
BFP	-0.70 0.0001	-0.67 0.0003	-0.40 0.0497	-0.52 0.0086	0.80 0.0001	0.85 0.0001	
BSP	-0.48 0.0176	-0.48 0.0167	-0.42 0.0388	-0.22 0.302	0.57 0.0032	0.65 0.0005	0.91 0.0001

Correlación simple de Person ($P \leq 0.05$). Cifras en negritas son significativas. ST = solidos totales, SPM = sólidos precipitables en metanol, pH= pH del gel, CA= contenido de azucares, BO= biomasa de la hoja, BG= biomasa del gel, BFP= biomasa fresca de la planta, BSP= biomasa seca de planta.

CONCLUSIONES

Aloe vera (L.) Burm.f. mostró cierto grado de tolerancia en la producción de biomasa, producción de gel y una mayor concentración de sólidos solubles y sólidos precipitables en metanol por efecto de la salinidad; aunque con un moderado impacto negativo en el crecimiento y desarrollo de la hoja. También se promovió una mayor concentración iónica de los elementos K, Na y Mg en función directa de la salinidad, dentro de ciertos límites. Lo anterior es de grandes perspectivas de la sábila como cultivo alternativo en áreas agrícolas marginales por efecto de la salinidad y otros factores limitantes, puesto que, producto de un moderado estrés por salinidad, se puede promover una mayor calidad de gel al favorecer la concentración de polisacáridos, que es un parámetro de alto valor comercial en el mercado.

AGRADECIMIENTO

Se extiende un agradecimiento al Centro Regional de Investigación Norte Centro del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, por las facilidades prestadas para llevar a cabo esta investigación.

LITERATURA CITADA

- Aba-Guevara C. G., A. Pedroza-Sandoval, R. Trejo-Calzada, I. Sánchez-Cohen, J.A. Samaniego-Gaxiola y J. A. Chávez Rivero (2016). Uso de biofertilizantes en la producción de sábila *Aloe vera* (L.) L. N. Burm y calidad de gel. *Investigación y Ciencia* 24:26-32.
- Ashraf M. and P. J. C. Harris (2004). Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. *Plant Science* 166:3-16.
- Azpilcueta-Pérez M.E., A. Pedroza-Sandoval, I. Sánchez-Cohen, Ma. Del R. Salcedo –Jacobó y R. Trejo-Calzada (2017). Calidad química del agua en un área agrícola de maíz forrajero (*Zea mays* L.) en la Comarca Lagunera, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 33:75-83.
- Barua A., M. Bordoloi and H. P. Deka (2016). *Aloe vera*: A multipurpose industrial crop. *Industrial Crops and Products* 94:951-963.
- Bazzigalupi O., S. M. Pistorale y A. N. Andrés (2008). Tolerancia a la salinidad durante la germinación de semillas provenientes de poblaciones naturalizadas de agropiro alargado (*Thinopyrum ponticum*). *Ciencia e Investigación Agraria* 35:277-285.
- Borland A. M., H. Griffiths, J. Hartwell and C. J. A. Smith (2009). Exploiting the potential of plants with crassulacean acid metabolism for bioenergy production on marginal lands. *Journal of Experimental Botany* 60(10):2879–2896.
- Choi S. and M. Chung (2003). A review on the relationship between *Aloe vera* components and their biologic effects. *Seminars in Integrative Medicine* 1:53-62.
- FAO, Food and Agricultural Organization. Estadísticas de producción de higo (2009). Manejo de suelos afectados por salinidad. Portal de suelos de la FAO. Disponible en: <http://www.fao.org/soils-portal/soil->

management/manejo-de-suelos-problematicos/suelos-afectados-por-salinidad/es/ (Septiembre 2016).

- García R. M., E. Franco-Salazar, A. Víctor y J. A. Véliz (2014). Crecimiento y contenido iónico de *Aloe vera* (L.) Burm. f. (Sábila) bajo diferentes concentraciones de NaCl. *Saber* 26:373-384.
- Grace, O. M., S. Buerki, M. Symonds, F. Forest, A. E. Wyk, G.F. Smith and N. Ronsted (2015). Evolutionary history and leaf succulence as explanations for medicinal use in aloes and the global popularity of *Aloe vera*. *BMC Evolutionary Biology* 15:2-12.
- Gupta, B. and B. B. Huang (2014). Mechanisms of salinity tolerance in plants: Physiological, biochemical and molecular characterization. *International Journal of Genomics* 2014:1-18.
- IASC, International Aloe Science Council (2008). Aloe Scientific Primer. Recuperado de : http://www.iasc.org/pdfs/IASC_Aloe_vera_A_Scientific_Primer.pdf
- Jamal-Ali O., E. Moqbeli, S. Fathollahi, and A. Estaji (2012). Salinity stress effects changed during *Aloe vera* L. Vegetative growth. *Journal of Stress Physiology y Biochemistry* 8:152 -158.
- Jin, Z. M., C. H. Wang, Z. P. Liu and W. J. Gong (2007). Physiological and ecological characters studies on *Aloe vera* under soil salinity and seawater irrigation. *Process Biochemistry* 42(4):710–714.
- Lata, C. and M. Prasad (2011). Role of DREBs in regulation of abiotic stress responses in plants. *Journal of Experimental Botany* 62:4731-4748.
- Moghbeli E., S. Fathollahi, H. Salari, G. Ahmadi, F., F. Saliqehdar, A. Safari and S. H. M. Grouh (2012). Effects of salinity stress on growth and yield of *Aloe vera* L. *Journal of Medicinal Plants Research* 6:3272-3277

- Munns R. and M. Tester (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology* 59:651-681.
- Murillo-Amador B., A. Nieto-Garibay, E. Troyo-Diéguez, J. L. García-Hernández, I. L. Hernández-Montiel and R. D. Valdez-Cepeda (2015). Moderate salt stress on the physiological and morphometric traits of *Aloe vera* L. *Botanical Sciences* 93:639-648.
- Nobel, P. S., y Zhang, H. H. (2006) Photosynthetic responses of three codominant species from the north-western Sonoran Desert - a C3 deciduous subshrub, a C4 deciduous bunchgrass, and a CAM evergreen leaf succulent. *Australian Journal of Plant Physiology*, 24(6):787-796.
- Normales climatológicas (1951-2010). Normales Climatológicas por Estado. Recuperado de: <http://www.smn.conagua.gob.mx> › *normales-climatológicas-por-estado*.
- Núñez-Colima J. A., A. Pedroza-Sandoval, R. Trejo-Calzada, I. Sánchez-Cohen y R. Mata-González (2017). Effect of biofertilizers on growth of aloe (*Aloe barbadensis* Miller) and gel quality under different soil moisture contents. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 24(1):27-40.
- Olfati J.A., E. Moqbeli, S. Fathollahi and E. Asqar (2012). Salinity stress effects changed during *Aloe vera* L. vegetative growth. *Journal of Stress Physiology y Biochemistry* 8:152-158.
- Park Y. I. and S. K. Lee (2006). *New perspectives on Aloe*. Springer, New York, USA. 205 p.
- Pedroza S. A. y L. F. Gómez (2006). *La sábila (Aloe sp.) Propiedades, manejo agronómico, proceso agroindustrial y de mercado*. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 209 p.

- Pedroza S.A., L. F. Gómez, G. J. A. Samaniego, C. R. Trejo y T. J. Ruiz (2009). Caracterización del proceso de industrialización y comercialización de la sábila: Estudio de caso. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas* 8:241-246
- Pedroza S. A., C. G. Aba, G. J. A. Samaniego, C. R. Trejo, C. I. Sánchez y R. J. A. Chávez (2015). Características morfológicas y calidad de gel en sábila (*Aloe barbadensis* M.) aplicando algaenzimas y composta. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 6:7-18.
- SEMARNAT, Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2002). NOM-021-RECNAT-2000 Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Recuperado de: <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo69255.pdf>
- SSA, Secretaría de Salud (1995). Norma oficial mexicana NOM-117-SSA1-1994, Bienes y servicios. Método de prueba para la determinación de cadmio, arsénico, plomo, estaño, cobre, fierro, zinc y mercurio en alimentos, agua potable y agua purificada por espectrometría de absorción atómica. Diario Oficial de la Federación, 29 de junio de 1995. Recuperado de: <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/117ssa14.html>
- Rahi T.S., K. Singh and B. Singh (2013). Screening of sodicity tolerance in *Aloe vera*: An industrial crop for utilization of sodic lands. *Industrial Crops and Products* 44:528-533.
- Ramachandra C. and P. Srinivasa (2008). Processing of *Aloe vera* leaf gel: A review. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences* 3:502-510.
- Ritzema H.P. (2016). Drain for gain: Managing salinity in irrigated lands. A review. *Agricultural Water Management* 176:18-28.
- Roy S. J., S., S. Negrao and M. Tester (2013). Salt resistant crop plants. *Current Opinion in Biotechnology* 26:115-124.

Sánchez D. I., J. López, R. Sendón and A. Sánchez (2017). *Aloe vera*: Ancient knowledge with new frontiers. *Trends in Food Science y Technology* 61:94-102.

Wang Y. and K. Strong (1995). A two years study monitoring several physical and chemical properties of field grown *Aloe barbadensis* Miller leaves. *Subtropical Plant Science* 47:34-38.

Winter, K., Aranda, J., y Holtum, J. A. M. (2005). Carbon isotope composition and water use efficiency in plants with crassulacean acid metabolism. *Functional Plant Biology*, 32, 381-388.

CAPITULO III

PRODUCTIVIDAD DE BIOMASA Y CALIDAD DE GEL DE SÁBILA [*Aloe vera* (L.) Burm.f.] CON USO DE COBERTURA VEGETAL EN DIFERENTES CONTENIDOS DE HUMEDAD DEL SUELO

PRODUCTION OF BIOMASS AND QUALITY OF ALOE GEL [*Aloe vera* (L.) Burm.f.] WITH USE OF PLANT COVERAGE IN DIFFERENT SOIL MOISTURE CONTENTS

RESUMEN

La sábila [*Aloe vera* (L.) Burm.f.] es una planta milenaria que ha aportado múltiples beneficios a la humanidad. Es un cultivo de importancia económica y social ante la demanda de sus derivados en la industria cosmetológica, alimentaria y medicinal. El objetivo de este estudio fue identificar el efecto de cobertura con rastrojo de maíz como conservador de humedad en el suelo en diferentes contenidos de humedad edáfica y su impacto en el crecimiento, la productividad de hoja y calidad de gel en sábila. El experimento se condujo en un diseño de parcelas divididas con asignación de tratamientos en bloques completos al azar con tres repeticiones. Las parcelas principales consistieron en contenidos de humedad edáfica: alto (22-27%), medio (15-21%) y bajo (8-14%); y las parcelas chicas, consistieron en la aplicación de 10 t ha⁻¹ de rastrojo de maíz en el suelo como cobertura y sin cobertura (testigo). Los resultados permitieron concluir que el crecimiento de la planta, hoja y el contenido de gel fue negativamente afectado por el estrés hídrico al mantener el contenido de humedad menor al 14% hasta un mínimo de 8%; en tanto que esta condición de estrés favoreció la calidad del gel, en términos de una mayor concentración de sólidos totales, sólidos precipitables en metanol y mayor contenido de azúcares, características que le permiten una mayor competitividad en el mercado, según el Consejo Internacional de Ciencias del Aloe (IASC por sus siglas en inglés). La cobertura

de rastrojo de maíz en el suelo, no mostro ningún efecto, ni por separado, ni en interacción con los niveles de humedad del suelo analizados en este estudio.

Palabras clave: Aloe, estrés hídrico, suelos, cobertura vegetal, agroindustria.

ABSTRACT

Aloe vera (L.) Burm.f. is an ancient plant that has brought multiple benefits to humanity. It is an economic and social crop due to the demand for its derivatives in the cosmetology, food and medicine industries. The objective of this study was to identify the effect of covering with corn stubble as a soil moisture retainer in different moisture edaphic contents and its impact on the growth of the aloe plant and the productivity of the leaf and gel quality. The experiment was conducted in a randomized block design in an arrangement of split plots with three replications. The large plots were the soil moisture content: high (22-27%), medium 15-21%) and low (8-14%); the small plots corresponded to the application to the soil of 10ton ha⁻¹ of corn stubble and without application of this cover (control). The results allowed to conclude that the growth of the plant and leaf, as well as the gel content, was negatively affected by water stress, in levels of the moisture content below 14% up to a minimum of 8%; the stress condition favored the gel quality, in terms of a higher concentration of total solids, precipitable solids in methanol and a higher content of sugars characteristics allow it to be more commercially competitive in the market, according to the International Aloe Science Council (IASC). The ground cover with corn stubble did not show any effect, neither separately, nor in interaction with the soil moisture levels probed in this study.

Key words: Aloe, water stress, soils, vegetation cover, agroindustry.

INTRODUCCIÓN

La agricultura intensiva de un monocultivo, resulta insostenible desde el punto de vista ambiental, por la gran cantidad de agua que demanda, la concentración de la tierra y el uso intensivo de la misma (Salgado, *et al.*, 2015). La explotación agroindustrial, está basada en el sistema de monocultivo, el cual utiliza hasta diez veces más agua que la agricultura multifuncional. Por lo tanto, hay una demanda excesiva del recurso hídrico en los ecosistemas, a través de las grandes y pequeñas comunidades agrícolas, ya que conciben al recurso agua como simple materia prima sujeta a la sobre explotación (Agudelo, 2005).

La agricultura de monocultivo no sólo destruye la biodiversidad local, también altera el ecosistema, ya que con frecuencia se compensan los factores limitantes, con un uso excesivo de fertilizantes químicos y, sobre todo, con el riego masivo, lo cual ocasiona no sólo el agotamiento de las fuentes de agua, sino que promueve la desertificación, el anegamiento, la salinización y la erosión del suelo cultivable (Machado y Campos, 2008).

Una alternativa viable al problema del agua y la desertificación, es la reconversión productiva, hacia la diversificación de cultivos y uso de genotipos más rentables y menos demandantes de agua, que permita un mayor equilibrio de los ecosistemas frágiles, como en las zonas áridas. La sábila [*Aloe vera* (L.) Burm.f.] es una alternativa, viable para desarrollarse en zonas áridas, suelos superficiales y pobres en materia orgánica, por su destacada tolerancia al estrés hídrico, al estrés por calor y salinidad, entre otros diferentes ambientes (Borland *et al.*, 2009).

La sábila tiene una ruta fotosintética propia de las plantas suculentas denominada metabolismo ácido de las crasuláceas (CAM, por sus siglas en inglés). Esto le permite una alta eficiencia en el uso de agua (EUA), al almacenar el agua en sus tejidos y reducir la transpiración al abrir estomas por las noches para la captura de CO₂ y cerrarlos durante el día. La fotosíntesis ocurre mediante la liberación interna de CO₂ para disponerlo a la demanda del proceso metabólico del ciclo Calvin (Niechayev *et al.*, 2019).

En las zonas áridas, el efecto de la sequía reduce considerablemente la disponibilidad hídrica en el suelo, lo cual afecta el crecimiento y desarrollo de las plantas. En algunas ocasiones las plantas logran sobrevivir a la condición de estrés, mediante mecanismos de adaptación, pero disminuye la productividad y el rendimiento, aunque en algunos casos redonda en mejores indicadores de calidad (Medrano *et al.*, 2007).

Además de las propias capacidades de las plantas para adaptarse al estrés ambiental, se han estado explorando una serie de prácticas de manejo que contribuyan a la mitigación del estrés abiótico y se mantenga de una manera sostenible la productividad en los agroecosistemas, como los ambientes áridos, donde el agua es el factor limitante (González *et al.*, 2018). Una de estas prácticas es el uso de coberturas vegetales en el suelo y análisis de su comportamiento en diferentes condiciones de manejo de suelo y agua en áreas agrícolas marginales (Yáñez-Chávez *et al.*, 2018a).

El objetivo de esta investigación, fue estudiar el impacto en el crecimiento de la planta, la producción de biomasa y la calidad de gel de la hoja de sábila [*Aloe vera* (L.) Burm.f.] con el uso de rastrojo de maíz como cobertura vegetal con diferentes contenidos de humedad en el suelo, como prácticas de mitigación del estrés.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del área de estudio

El estudio se realizó en el área experimental de la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo, en Bermejillo, Durango. El área se ubica a 23° 54' LN y 103° 37' LW a una altitud de 1,130 msnm. La región tiene un clima muy seco con lluvias en verano, una precipitación media anual de 239 mm, un porcentaje de lluvias invernal menor al 5 % y una oscilación térmica que varía de 7 a 17°C (García, 1973).

Diseño experimental y tratamientos

El estudio se llevó a cabo en un diseño de parcelas divididas con asignación de tratamientos en bloques completos al azar con tres repeticiones. Las parcelas principales consistieron en los contenidos de humedad edáfica: alto, medio y bajo de: 22-27%, 15-21% y 8-14%, respectivamente; las parcelas chicas consistieron en la aplicación de 10 t ha⁻¹ de rastrojo de maíz en el suelo, como cobertura y sin cobertura (testigo). La unidad experimental consistió de tres surcos de 6 m de longitud y 1 m de ancho. Cada parcela experimental tuvo un margen de 2 m en cada extremo de la parcela, para eliminar el efecto orilla. Las evaluaciones se llevaron a cabo en cada surco medio, en el cual se seleccionaron cuatro plantas al azar, a partir de las cuales se obtuvieron las variables respuesta.

Para el establecimiento de los contenidos de humedad edáfica, se realizó la curva de abatimiento de humedad, mediante el uso de la olla de membrana de presión (Richards, 1948) y se identificaron las constantes de humedad, las cuales correspondieron a la capacidad de campo (CC): 25.5 % (0.0 MPa) de humedad en el suelo y el punto de marchitez permanente (PMP): 13.1 % (-1.5 MPa) (Figura 1). Los tratamientos de humedad edáfica se establecieron, con base a CC y PMP sin embargo, en el tratamiento de humedad bajo, se dejó abatir hasta 8 % considerando el carácter suculento de la planta, lo cual le permite evadir potenciales hídricos bajos en sus tejidos, aunque el suelo muestre valores inferiores al PMP preestablecido.

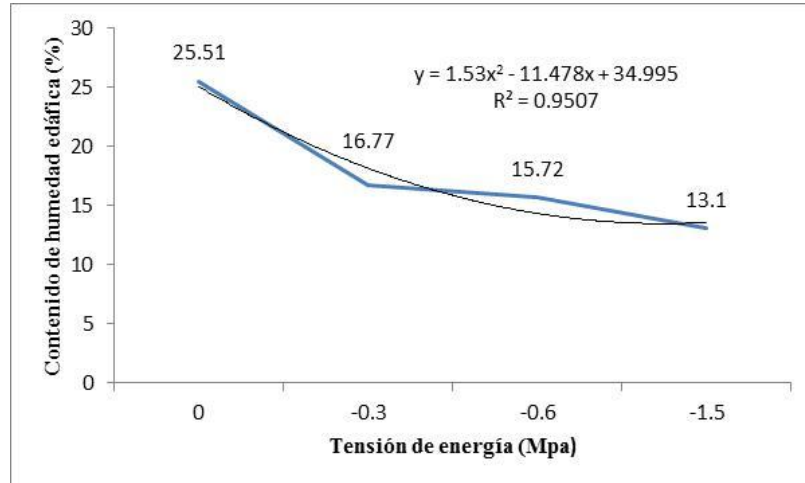


Figura 1. Curva de retención de humedad del suelo del área experimental. Bermejillo, Dgo.

Se estableció un sistema de riego presurizado con uso de cintilla, derivada a partir de una regadera principal y conexiones laterales a base de PVC para cada parcela grande, correspondiente a los contenidos de humedad, controladas mediante llave de paso, que permitieron la salida de agua de acuerdo al programa de riego. Para los tratamientos de contenido de humedad, se determinaron diferentes características físico-químicas del suelo, tales como: textura, densidad aparente, capilaridad, velocidad de infiltración, calidad del agua, evapotranspiración media diaria y el coeficiente experimental de evaporación, para lo cual se aplicó la metodología citada por Pedroza y Durán (2005).

Las parcelas principales del cultivo de sábila de 3.5 años de edad con los siguientes tratamientos: humedad edáfica alto (22-27%), medio (15-21%) y bajo (8-14%). El contenido de humedad del suelo (%) se determinó mediante un medidor en tiempo real con uso de un tensiómetro digital Soil Tester® Modelo HB-2 (Ontario, Canadá).

Variables respuesta

Las variables morfométricas se midieron después de transcurridos 95, 163 y 254 días del año 2017, correspondiente a los meses de marzo, mayo y agosto, respectivamente. La altura de hoja y longitud de hoja de sábila, se midieron con cinta métrica; el ancho y el grosor de hoja, con uso de vernier (marca Truper Modelo 14388, China); el peso de hoja y peso de gel medido con báscula comercial digital Torrey L-PCR 20 kg 110V/220V, para lo cual se midieron tres hojas de mayor desarrollo por planta.

Las hojas de sábila utilizadas en esta investigación fueron hojas firmes y sin daños, para obtener el filete de gel, se eliminó la corteza verde de las hojas para extraer el tejido parenquimatoso, se homogenizó en licuadora (Marca Oster Modelo: 450-20, Monterrey, N. L., México) a temperatura ambiente para su posterior análisis.

Una vez homogenizado el filete de gel de 3 hojas por planta, se hicieron los siguientes análisis: para calidad del gel, el pH se midió con potenciómetro (marca Conductronic modelo PH140, Puebla, México). El contenido de azúcares (°Brix) se determinó con un refractómetro (Marca AT, modelo PAL-1, Monterrey, N. L., México), con base a los estándares de calidad internacional indicados por el Internacional Aloe Science Council (IASC, 2008). La concentración de sólidos totales y sólidos precipitables en metanol de acuerdo a la metodología citada por Wang y Strong (1995). Para obtener los sólidos totales se pesó 1 g del gel utilizando una balanza analítica (modelo Shimadzu AY220) y se llevó a peso constante en estufa de secado (marca Binder B) durante 24 horas, a 105°C.

La concentración de sólidos precipitables en metanol, se obtuvo a partir de los sólidos totales de la siguiente manera: a cada muestra se le añadieron 25 ml de metanol al 99 %, las muestras se pasaron a tubos eppendorf de 50 ml previamente tarado, se agitaron por 30 min a temperatura ambiente con un agitador (Thermoscientific 2346) a velocidad media, y se dejaron reposar 12 horas (preferentemente por la noche).

Posteriormente, se centrifugó y se descartó el sobrenadante y el precipitado se lavó tres veces con 25 ml de metanol al 99%. Después estas muestras se llevaron a una estufa de secado (Binder BD) a una temperatura entre 45-60°C por 24 horas. Los tubos se colocaron en un desecador hasta alcanzar una temperatura ambiente y se pesaron. Las cenizas se obtuvieron a partir de 1 g de gel (balanza analítica, modelo Shimadzu AY220), que se colocó en una capsula de porcelana previamente tarada, y se introdujo a la mufla por 18 h a 540 °C, después, se agregaron 2 ml de ácido nítrico concentrado y se secó en una plancha eléctrica de calentamiento (Thermo Scientific SP131635Q) para evaporar el ácido y aclarar las cenizas. Posteriormente, la muestra se introdujo nuevamente a la mufla por 18 horas a 540 °C, y se colocó en el desecador hasta alcanzar temperatura ambiente y después se pesó, para determinar el contenido de cenizas conforme a la metodología determinada por Wang y Strong (1995).

Análisis de datos

La información se analizó con el sistema de análisis estadístico SAS versión 9.2 (SAS Institute, Cary, NC). La comparación entre medias de tratamientos se hizo con la prueba del intervalo estudentizado de Tukey con $P \leq 0.05$. Para la comparación entre variables respuesta se utilizó el análisis de correlación de Pearson y se ejecutó con el mismo sistema SAS 9.2.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En un análisis comparativo por fechas de evaluación (marzo, mayo y agosto de 2017, la altura de planta, longitud, ancho y grosor de hoja fueron significativamente mayores ($P \leq 0.05$) en los contenidos medios (15-21%) y altos (22-28%) de humedad del suelo, respecto del contenido más bajo (8-14%), en las tres fechas de muestreo realizadas, con ligeras variantes: en la altura de planta y grosor de hoja, el contenido medio de humedad del suelo tendió a igualar su efecto al del contenido bajo de humedad, esto en la última fecha de muestreo (Figuras 4-5). Lo anterior sugiere que la sábila muestra un nivel moderado de

tolerancia al estrés hídrico, sin sacrificar significativamente el crecimiento y desarrollo de la planta y hoja de sábila, ésta última como la fuente de materia prima para el procesamiento industrial de los diferentes productos comerciales. Sin embargo, la productividad si se afecta significativamente en los niveles bajos de humedad edáfica cercano a ligeramente inferior a la marchitez permanente (8-14%). Lo anterior concuerda con lo citado por Isah (2019), quien indica que algunas especies de plantas, disminuyen su crecimiento y producción de biomasa ante condiciones de estrés hídrico. Mantener el crecimiento y desarrollo de la planta con adecuados niveles de productividad al aplicar riegos moderados a la planta de sábila, es una respuesta de perspectiva, ante el grave problema de carencia de recursos hídricos en la región de estudio, principalmente de agua extraída de pozos profundos, donde ya existe un alto problema de sobreexplotación del acuífero (Azpilcueta *et al.* 2018).

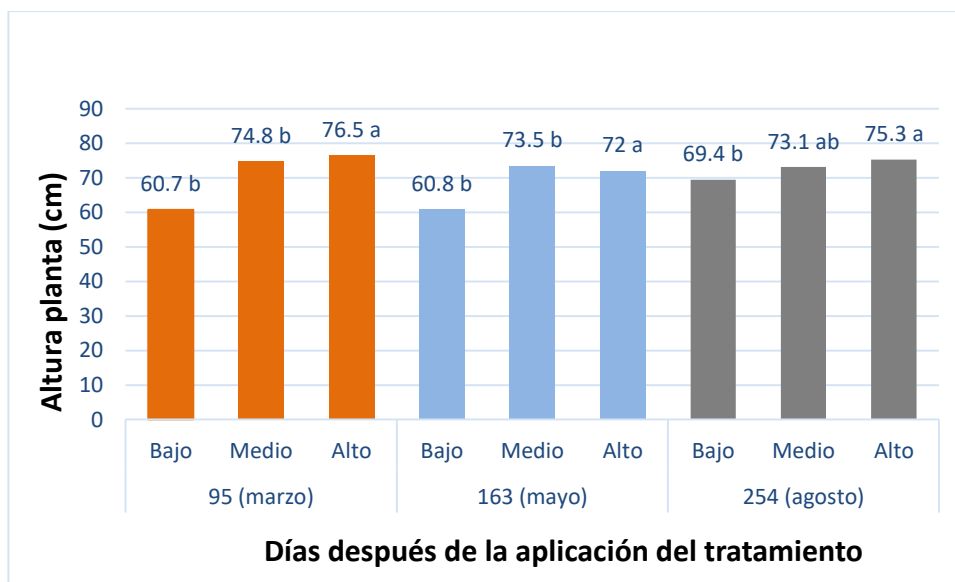


Fig. 2. Altura de planta de sábila en diferentes contenidos de humedad en el suelo y diferentes fechas de evaluación. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). Cifras con las mismas letras sobre barras del mismo color, son estadísticamente iguales.

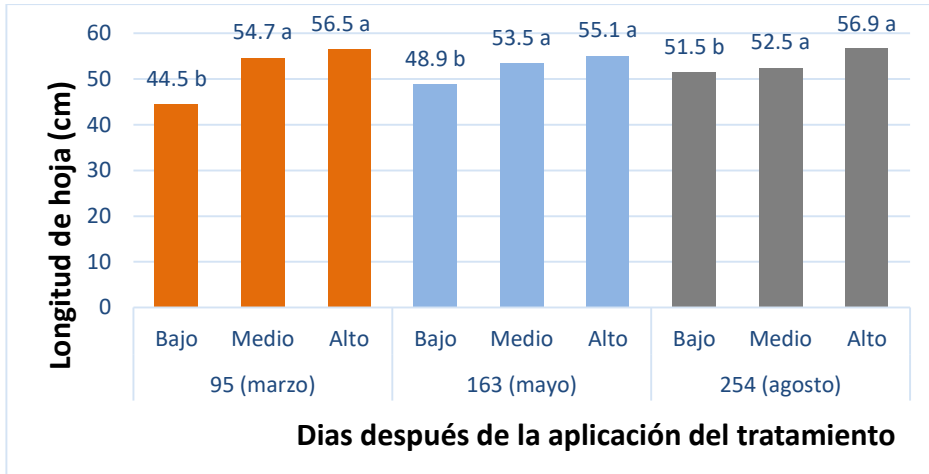


Fig. 3. Longitud de hoja de sábila en diferentes contenidos de humedad en el suelo y diferentes fechas de evaluación. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). Cifras con las mismas letras sobre barras del mismo color, son estadísticamente iguales.

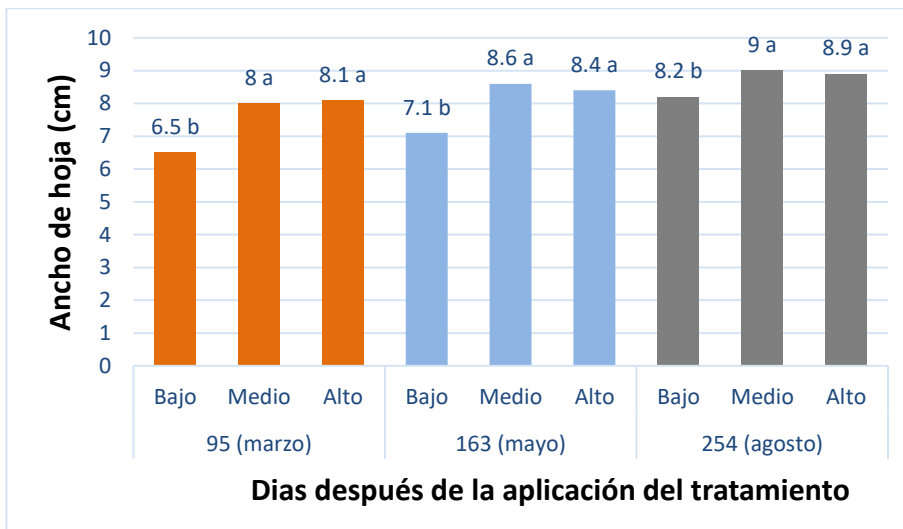


Fig. 4. Ancho de hoja de sábila en diferentes contenidos de humedad en el suelo y diferentes fechas de evaluación. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). Cifras con las mismas letras sobre barras del mismo color, son estadísticamente iguales.

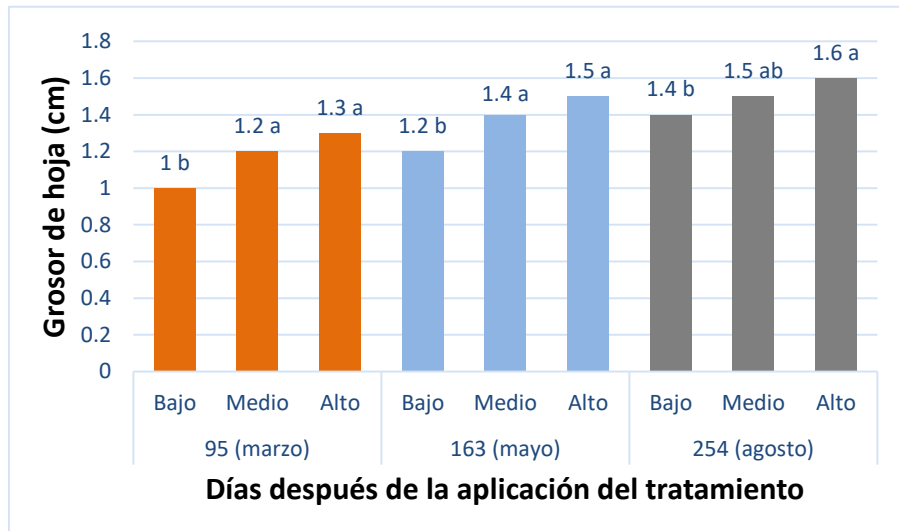


Fig. 5. Grosor de hoja de sábila en diferentes contenidos de humedad en el suelo y diferentes fechas de evaluación. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). Cifras con las mismas letras sobre barras del mismo color, son estadísticamente iguales.

Las características químicas del gel como el pH y el contenido de azúcares en °Brix, éstas variables fueron opuestas en su efecto al registrado en el crecimiento de la planta y desarrollo de la hoja, ya que los valores fueron significativamente mayores ($P \leq 0.05$) en el contenido más bajo de humedad del suelo (8-14%), respecto de los niveles medios y altos, los cuales fueron menores y sin diferencia estadística entre ellos, en las diferentes fechas de muestreo, con la particularidad de que el pH fue más diferenciado a partir de la segunda fecha de evaluación (mayo, 2017), el cual fue mayor, medio y más bajo en los contenidos menores, medios y bajos de contenido de humedad del suelo, respectivamente; este efecto de comportamiento hasta la última fecha de evaluación (agosto, 2017). En cambio, la productividad expresada en peso de hoja y peso de gel de sábila, fue congruente con las variables de crecimiento de planta y desarrollo de la hoja, con valores significativamente mayores en los contenidos medios y altos de humedad del suelo (Cuadro 7).

Cuadro 7. Efecto del contenido de humedad del suelo en algunas características químicas y físicas en la planta de sábila, en diferentes fechas de evaluación.

CHS (%)	pH			°Brix			Peso de hoja (Kg)			Peso de gel (Kg)		
	Días después de la aplicación de los tratamientos en el experimento											
	95	163	254	95	163	254	95	163	254	95	163	254
Bajo (8 -14)	4.9a	4.9a	4.9a	1.7a	1.8 a	1.7 a	0.27b	0.27b	0.29b	0.73b	0.75b	0.75b
Medio (15-21)	4.8b	4.8b	4.8b	1.3b	1.3 b	1.3 b	0.65a	0.63a	0.69a	1.25a	1.31a	1.24a
Alto (22-27)	4.8b	4.7c	4.7c	1.3b	1.3 b	1.3 b	0.67a	0.69a	0.66a	1.29a	1.33a	1.26a

Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). Cifras con las mismas letras dentro de una misma columna, son estadísticamente iguales.

Los resultados anteriormente expuestos, confirma la teoría de que, ante condiciones favorables del ambiente, en este caso de contenido de humedad en el suelo, se favorece el crecimiento y producción de biomasa y gel de la sábila; en tanto que, ante condiciones de estrés hídrico, disminuyen cuantitativamente los indicadores agronómicos, pero se favorecen los indicadores de calidad en este caso del gel de la hoja de sábila, que a final de cuentas es el producto comercial de mayor demanda comercial y que la calidad del mismo define su competitividad en el mercado, tanto nacional como internacional (Pedroza y Gómez, 2006).

Relacionado a lo anterior, Hazrati *et al.* (2017), indican que el estrés hídrico disminuyó el rendimiento de las hojas y el crecimiento de las plantas, pero produjo un aumento en los compuestos fitoquímicos y bioquímicos como la aloína y prolina; de igual manera, Jaleel *et al.* (2009), encontraron que por efecto del déficit hídrico, el crecimiento y rendimiento de los cultivos se afecta negativamente e induce cambios en el metabolismo, uno de ellos es la síntesis de pigmentos fotosintéticos como los carotenoides, que aumentan cuando la planta se encuentra en estrés, aunque la cantidad de biomasa disminuye.

Es recomendable continuar explorando las relaciones hídricas con la productividad y calidad de las cosechas agrícolas, ya que en las condiciones del semidesierto, donde el agua es el factor limitante de carácter total, el productor urge de un balance entre la productividad y la calidad de gel en el caso de la sábila, como cultivo alternativo para la región, de tal manera que sea rentable desde el punto de vista productivo y se oferte un producto de calidad en el mercado, sin uso excesivo de agua. Silva *et al.* (2010), encontraron que al regar la sábila durante 45 min con un volumen de agua de 4 L h^{-1} , hubo un aumento considerable en biomasa de la planta y cantidad del gel, pero no indican lo referente a la calidad de éste último.

El comportamiento de respuesta de la cobertura de rastrojo de maíz en el suelo, el efecto fue exiguo, tanto en las variables de crecimiento y producción de biomasa, como en la calidad del gel, excepto una ligera mayor producción de bioamasa fresca de las hojas y de gel, cuando se aplicó 10 t ha^{-1} de rastrojo de maíz en el suelo (Cuadro 8 y 9). Lo anterior significa, que, ante un ambiente seco con altas tasas de evaporación potencial en el ambiente, la cual llega a ser hasta 10 veces mayor que la precipitación (Pedroza, 1995), la cobertura vegetal, a la dosis que se aplicó en este estudio, no tiene mayor efecto. Lo anterior es contrario a los identificado por Yáñez-Chávez *et al.* (2018a) y Yáñez-Chávez *et al.* (2018b), quienes reportaron un efecto significativo en el crecimiento y desarrollo de pasto al aplicar rastrojo de maíz en el suelo a dosis de 10 ton ha^{-1} , debido a una mejor conservación de la humedad edáfica. Los resultados en este estudio, pudieran estar relacionados al tipo de suelo, el cual es franco-arcilloso y su capacidad de retención hídrica es baja, aún con el efecto mitigador de la evaporación que ejerce la cobertura vegetal. Posiblemente se requiere una dosis más alta de este tipo de cobertura vegetal, que permita un mayor período de protección a las altas tasas de evaporación, ante el carácter semiperene del cultivo de sábila.

Cuadro 8. Crecimiento de la planta y hoja de sábila [*Aloe vera* (L.) Burm.f.] y producción de gel por efecto de cobertura en suelo con rastrojo de maíz.

Cobertura vegetal (t ha ⁻¹)	Altura planta (cm)	Longitud hoja (cm)	Ancho hoja (cm)	Grosor hoja (cm)	Peso tres hojas (Kg)	Peso gel tres hojas (Kg)
10	71.2 a	52.8 a	8.1 a	1.3 a	1.16 a	0.57 a
0 (testigo)	70.1 a	52.5 a	8.1 a	1.3 a	1.05 b	0.51 b

Prueba de Tukey (P≤ 0.05). Valores con las mismas letras dentro de columnas son iguales estadísticamente.

Cuadro 9. Calidad de gel de la hoja de sábila [*Aloe vera* (L.) Burm. f.] por efecto de cobertura vegetal en suelo con rastrojo de maíz.

Cobertura vegetal (ton ha ⁻¹)	pH	Cont. de azúcares (°Brix)
10	4.8 a	1.4 a
0 (testigo)	4.8 a	1.5 a

Prueba de Tukey (P≤ 0.05). Valores con las mismas letras dentro de columnas son iguales estadísticamente.

Respecto al análisis estadístico con los factores de variación en interacción, se observó un comportamiento similar al identificado en el análisis por factores separados, el mayor crecimiento y producción de biomasa se tuvo en los niveles medios y altos de humedad del suelo, con o sin cobertura vegetal, aunque con una ligera mayor sensibilidad con uso de cobertura, ya que desde los niveles medios de humedad del suelo se disminuyó la longitud de hoja; en tanto que en el resto de las variables morfométricas fueron significativamente iguales (P≤ 0.05) en los niveles medios y altos (Cuadro 10).

De igual forma, las variables relacionadas a la calidad del gel, mostraron un efecto inverso, con una mayor concentración de sólidos totales, sólidos precipitables en metano y de cenizas (Cuadro 11), así como una mayor concentración de azúcares en el tratamiento de menor contenido de humedad del suelo (8-14%), es decir, cuando la planta tuvo sometida a una condición de estrés hídrico, independientemente de que tuvieran o no cubierta vegetal. Los contenidos medios y altos de humedad fueron menores, sin diferencia estadística entre ellos ($P \leq 0.05$) en los diferentes indicadores de calidad del gel antes citados. El pH del gel no varió ni por efecto del contenido de humedad en el suelo, ni por efecto de cobertura vegetal (Cuadro 12).

Cuadro 10. Crecimiento de planta y hoja de la sábila [*Aloe vera* (L.) Burm.f.] en diferentes contenidos de humedad del suelo (HS) y uso de cobertura vegetal con rastrojo de maíz.

HS (%)	Altura de planta (cm)		Longitud hoja (cm)		Ancho hoja (cm)		Grosor hoja (cm)	
	SC	CC	SC	CC	SC	CC	SC	CC
Bajo (8-14)	60.5b ±2.8	60.8c ±4.3	45.1b ±3.8	43.8c ±4.8	6.6b ±0.4	6.3b ±1.0	1.0a ±0.1	1.2a ±0.1
Medio (15-21)	73.9a ±4.0	75.8a ±5.3	54.8a ±3.8	54.5b ±3.2	7.8a ±0.6	8.2a ±0.8	1.2a ±0.08	1.3a ±0.2
Alto (22-27)	74.7a ±4.3	78.2a ±5.9	55.7a ±2.5	57.2a ±4.2	7.6a ±2.5	8.6a ±0.9	1.3a ±0.1	1.4a ±0.1

Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). Valores con las mismas letras dentro de columnas son iguales estadísticamente. Contenido de humedad del suelo (HS), tratamiento sin cobertura (SC) y tratamiento con cobertura (CC).

Cuadro11. Efecto de la calidad del gel de hoja de sábila [*Aloe vera* (L.) Burm.f.] en diferentes contenidos de humedad del suelo (HS).

HS (%)	Sólidos totales (%)		SPM (%)		Cenizas (%)	
	SC	CC	SC	CC	SC	CC
	Bajo (8-14)	1.94a	1.821a	1.279a	1.223a	0.624a
Medio (15-21)	1.395b	1.324b	0.845b	0.819b	0.403b	0.447b
Alto (22-27)	1.394b	1.332b	0.805b	0.811b	0.489b	0.461b

Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). Valores con las mismas letras dentro de columnas son iguales estadísticamente. Contenido de humedad del suelo (HS), tratamiento sin cobertura (SC) y tratamiento con cobertura (CC).

Cuadro 12. Contenido de azúcares y pH del gel de la hoja de sábila [*Aloe vera* (L.) Burm.f.] en diferentes contenidos de humedad del suelo (HS).

HS (%)	°Brix		pH	
	SC	CC	SC	CC
Bajo (8-14)	1.766a	1.698a	4.9a	4.92a
Medio (15-21)	1.366b	1.329b	4.81a	4.83a
Alto (22-27)	1.283b	1.30b	4.87a	4.85a

Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). Valores con las mismas letras dentro de columnas son iguales estadísticamente. Contenido de humedad del suelo (HS), tratamiento sin cobertura (SC) y tratamiento con cobertura (CC).

CONCLUSIONES

La altura de planta, ancho y grosor de hoja de sábila [(*Aloe vera* (L.) Burm.f.)] así como la producción de biomasa y contenido de gel, mejoraron significativamente ante condiciones moderadas (15-21%) y altas (22-27%) de contenido de humedad del suelo; sin embargo, contenidos menores de humedad (8-14%) cercanos o inferiores al punto de marchitez permanente, afectaron negativamente a la sábila. Por el contrario, las concentraciones de sólidos totales, sólidos precipitables en metanol, cenizas, pH y °Brix, fueron mayores en el contenido de humedad del suelo entre 8-14%. El cultivo de sábila puede ser una alternativa viable ante la escasez de agua en las zonas áridas, debido a sus mecanismos de adaptación al déficit hídrico, y el uso eficiente de agua, le permite mantener una adecuada producción y calidad de gel. La cobertura vegetal en el suelo a base de rastrojo de maíz a dosis de 10 ton ha⁻¹, mostró un efecto mínimo, con tendencia de respuesta a una mayor producción de biomasa y contenido de gel.

LITERATURA CITADA

- Azpilcueta-Pérez, M.E., Pedroza-Sandoval, A., Trejo-Calzada, R., Sánchez-Cohen, I. y Jacobo-Salcedo, Ma. Del R. 2018. Chemical residuality in maize (*Zea mays* L.) fields irrigated with deep well water. *Revista Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 5(13): 111-117.
- Agudelo, C. R. M. (2005). El agua, recurso estratégico del siglo XXI: strategic resource in the 21st century. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública* 23(1), 91-102. Bejar, E. (2019). Adulteration of Aloe Vera. *Botanical Adulterants Bulletin*, (June), 1–9.
- Carrasco, A., López-serrano, M., Zapata, J. M., Sabater, B., & Martín, M. (2001). Oxidation of phenolic compounds from Aloe barbadensis by peroxidase activity : Possible involvement in defence reactions. *Plant Physiol. Biochem.*, 39, 521–527.
- Dao, T. T. H., Linthorst, H. J. M., & Verpoorte, R. (2011). Chalcone synthase and its functions in plant resistance. *Phytochemistry Reviews*, 10(3), 397–

412. <https://doi.org/10.1007/s11101-011-9211-7>

- Delatorre-Herrera, J., Delfino, I., Salinas, C., Silva, H., & Cardemil, L. (2010). Irrigation restriction effects on water use efficiency and osmotic adjustment in Aloe Vera plants (*Aloe barbadensis* Miller). *Agricultural Water Management*, 97(10), 1564–1570.
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.05.008>
- Fraire, V., & Balderas, H. (2013). Abiotic Stress in Plants and Metabolic Responses. In *Plant Responses and Applications in Agriculture* (p. 25).
- Gaspar, T., Franck, T., Bisbis, B., Kevers, C., Jouve, L., Hausman, J. F., & Dommes, J. (2002). Concepts in plant stress physiology. Application to plant tissue cultures. *Plant Growth Regulation*, 37(3), 263–285.
<https://doi.org/10.1023/A:1020835304842>
- Grace, O. M., Buerki, S., Symonds, M. R. E., Forest, F., Van Wyk, A. E., Smith, G. F., ... Rønsted, N. (2015). Evolutionary history and leaf succulence as explanations for medicinal use in aloes and the global popularity of Aloe vera. *BMC Evolutionary Biology*, 15(1), 1–12.
<https://doi.org/10.1186/s12862-015-0291-7>
- Guevara, C. G. A., & Sandoval, Aurelio Pedroza., Ricardo Trejo Calzada., Ignacio Sánchez Cohen., José A. Samaniego Gaxiola, J. A. C. R. (2016). Investigación y Ciencia. *Investigación y Ciencia*, 64, 26–34.
- Guo, X., & Mei, N. (2016). Aloe vera: A review of toxicity and adverse clinical effects. *Journal of Environmental Science and Health - Part C Environmental Carcinogenesis and Ecotoxicology Reviews*, 34(2), 77–96.
<https://doi.org/10.1080/10590501.2016.1166826>
- Gutiérrez, C. G. (2006). CONTRA PATÓGENOS. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 12(1), 25–30.
- Hazrati, S., Tahmasebi-Sarvestani, Z., Mokhtassi-Bidgoli, A., Modarres-Sanavy, S. A. M., Mohammadi, H., & Nicola, S. (2017). Effects of zeolite and water stress on growth, yield and chemical compositions of Aloe vera L. *Agricultural Water Management*, 181, 66–72.
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.11.026>
- Hu, Yun., Xu, J. and hu Q. (2003). Evaluation of Antioxidant Potential of Aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller) Extracts Determination of the Contents of Polysaccharide in Aloe. *Agricultural and Food Chemistry*, 51(26), 7788–7791. <https://doi.org/10.1021/jf034255i>
- Jaleel, C. A., Manivannan, P., Wahid, A., Farooq, M., Al-Juburi, H. J., Somasundaram, R., & Panneerselvam, R. (2009). Drought stress in plants: A review on morphological characteristics and pigments composition. *International Journal of Agriculture and Biology*, 11(1), 100–105.

- Khajeeyan, R., Salehi, A., Dehnavi, M. M., Farajee, H., & Kohanmoo, M. A. (2019). 182, 183 Physiological and yield responses of Aloe vera plant to biofertilizers under different irrigation regimes. *Agricultural Water Management*, 225(August), 105768. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105768>
- Lissoni, P., Rovelli, F., Brivio, F., Zago, R., Colciago, M., Messina, G., ... Porro, G. (2009). A randomized study of chemotherapy versus biochemistry with chemotherapy plus aloe arborescens in patients with metastatic cancer. *In Vivo*, 23(1), 171–176.
- Liz Patricia Moreno. (2009). Respuesta de las plantas al estrés por déficit hídrico . Una revisión Plant responses to water deficit stress . A review. *Agronomía Colombiana*, 27(2), 179–191.
- Martin, C. R. (1993). Structure , Function , and Regulation of the Chalcone Synthase. In *International Review of Cytology* (Vol. 147, pp. 233–284).
- Niechayev, N. A., Pereira, P. N., & Cushman, J. C. (2019). Understanding trait diversity associated with crassulacean acid metabolism (CAM). *Current Opinion in Plant Biology*, 49, 74–85. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2019.06.004>
- Olfati, J., Moqbeli, E., Fathollahi, S., & Estaji, A. (2012). Salinity stress effects changed during Aloe vera L. vegetative growth. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, 8(2), 152–158.
- Pagare, S., Bhatia, M., Tripathi, N., Pagare, S., & Bansal, Y. K. (2016). Secondary metabolites of plants and their role: Overview. *Current Trends in Biotechnology and Pharmacy*, 9(January 2015), 293–304.
- Patishtán Pérez, J., Rodríguez García, R., Zavala García, F., & Jasso Cantú, D. (2010). CONDUCTANCIA ESTOMÁTICA Y ASIMILACIÓN NETA DE CO₂ EN SÁBILA (Aloe vera Tourn) BAJO SEQUÍA. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 33(4), 305–314.
- Ramin Rahimi-Dehgolan , Zeinolabedin Tahmasebi Sarvestani, S. A. R. & A. D. (2012). Journal of Herbs , Spices & Medicinal Morphological and Physiological Characters of Aloe vera Subjected to Saline Water Irrigation Morphological and Physiological Characters of Aloe vera Subjected. *Journal of Herbs, Spices & Medicinal Plants*, 18(August 2014), 222–230. <https://doi.org/10.1080/10496475.2012.671802>
- Sánchez-Machado, D. I., López-Cervantes, J., Sendón, R., & Sanches-Silva, A. (2017). Aloe vera: Ancient knowledge with new frontiers. *Trends in Food Science and Technology*, 61, 94–102. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.12.005>
- Silva, H., Sagardia, S., Seguel, O., Torres, C., & Tapia, C. (2010). Effect of

water availability on growth and water use efficiency for biomass and gel production in Aloe Vera (*Aloe barbadensis* M .). *Industrial Crops and Products Journal*, 31, 20–27. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2009.08.001>

Tom, R. (2004). *On the genus Aloe. Chronica botanica* (Vol. 9).

Yáñez-chávez, L. G., Pedroza-Sandoval, A., Martínez-Salvador, M., Sánchez-Cohen, I., Echavarría-Cháirez, F., Velásquez-Valle, M., & López-Santo, A. (2018). Uso de retenedores de humedad edáfica en la sobrevivencia y crecimiento de dos especies de pastos *Bouteloua curtipendula* [Michx .] Torr . y *Chloris gayana* Kunth Use of soil moisture retainers on the survival and growing of two grass species *Bouteloua cur.* *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 9(4), 17.