



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS VERACRUZ

POSTGRADO EN AGROECOSISTEMAS TROPICALES

**EFFECTO DE ZONAS AGROECOLÓGICAS SOBRE LA MORFOLOGÍA,
CONTENIDO DE GEL Y DE ALOINA EN PLANTAS DE SÁBILA (*Aloe vera* (L.)
Burm. f.)**

ABIMAE LAGUNES DOMÍNGUEZ

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

TEPETATES, MANLIO FABIO ALTAMIRANO, VERACRUZ, MÉXICO

2019

La presente tesis, titulada: **Efecto de zonas agroecológicas sobre la morfología, contenido de gel y de aloína en plantas de sábila (*Aloe vera* (L.) Burm. f.)**, realizada por el alumno: **Abimael Lagunes Domínguez**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS
AGROECOSISTEMAS TROPICALES

CONSEJO PARTICULAR

Consejero

Dra. Rosa Isela Castillo Zamudio

Asesor

Dr. Arturo Pérez Vázquez

Asesor

Dr. Andrés Antonio Acosta Osorio

Tepetates. Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, México, 6 de noviembre de 2019

EFFECTO DE ZONAS AGROECOLÓGICAS SOBRE LA MORFOLOGÍA, CONTENIDO DE GEL Y DE ALOÍNA EN PLANTAS DE SÁBILA (*Aloe vera* (L.) Burm. f.)

Abimael Lagunes Domínguez, MC.

Colegio de Postgraduados, 2019

El cultivo de sábila (*Aloe vera* (L.) Burm. f.) a nivel internacional y en México ha tomado gran importancia en los últimos cinco años, debido a su uso extendido en la industria alimentaria, cosmética y farmacéutica. En México, la sábila se cultiva en diferentes estados y regiones del país, con diferentes condiciones agroecológicas. Sin embargo, se desconoce si dichas condiciones tienen algún efecto en las características morfológicas, contenido de gel y aloína en las plantas de sábila. Por tanto, el objetivo fue comparar las características morfológicas, el contenido de gel y de aloína en plantas de sábila en función de dos diferentes condiciones agroecológicas y de madurez de la hoja. Se colectaron plantas en Chietla, Puebla (18° 28' 47.8" LN, 98° 35' 24.0" LO y 18° 26' 18.1" LN, 98° 39' 40.6" LO) y en Puente Nacional (19° 18' 30.1" LN, 96° 28' 52.5" LO), Veracruz. En ambos sitios se colectaron 12 plantas de sábila en dos plantaciones; seis plantas durante la época de sequía y seis en lluvias. Se registraron variables morfológicas y edáficas. Para el análisis estadístico de los datos morfológicos se utilizó el programa Rstudio. El ANOVA mostró diferencias ($P < 0.05$) entre espesor, peso de hoja y peso de gel por zonas agroecológicas y épocas del año, con mayores valores durante la época de lluvia para Puebla. El análisis de componentes principales evidenció el efecto de las variables climáticas de altitud, temperatura y precipitación y edáficas como pH, CE, densidad aparente, N, P y K sobre las características morfológicas de las plantas de sábila y el contenido de gel. Se concluye que existe efecto de las zonas agroecológicas sobre las características morfológicas y contenido de gel en las plantas de sábila.

Palabras clave: *Aloe vera* (L.) Burm. f., zonas agroecológicas, época del año, aloína, gel.

**EFFECT OF AGROECOLOGICAL ZONES ON MORPHOLOGY, ALOIN AND GEL
CONTENT IN ALOE PLANTS (*Aloe vera* (L.) Burm. f.)**

Abimael Lagunes Domínguez, MC.

Colegio de Postgraduados, 2019

Production of aloe (*Aloe vera* (L.) Burm. f.), both internationally and in Mexico, has taken great importance in the last five years, due to its widespread use in the food, cosmetic and pharmaceutical industries. In Mexico, aloe is grown in different states and regions of the country, with different agro-ecological conditions. However, it is unknown whether these conditions have any effect on the morphological characteristics, gel content and aloin in aloe plants. Therefore, the objective was to compare morphological characteristics, gel and aloin contents in aloe plants based on two different agroecological conditions and maturity of the leaf. Plants were collected at Chietla, Puebla (18 ° 28'47.8 "LN, 98 ° 35'24.0" LO and 18 ° 26'18.1 "LN, 98 ° 39' 40.6" LO) and at Puente Nacional (19 ° 18'30.1 "LN, 96 ° 28'52.5" LO), Veracruz. In both sites 12 plants of two plantations were collected; six plants during the dry season and six during the rainy season. Morphological and edaphic variables were recorded. For the statistical analysis of the morphological data, the Rstudio program was used. The ANOVA showed statistical differences ($P < 0.05$) between thickness, weight of leaf and weight of gel by agro-ecological zones and times of the year, with higher values during the rainy season for Puebla. The Principal Components Analysis showed the effect of the climatic variables of altitude, temperature and precipitation and edaphic like pH, EC, bulk density, N, P and K on the morphological characteristics of aloe plants and gel content. It can be concluded that there is an effect of agroecological zones on morphological characteristics and gel content in aloe plants.

Keywords: *Aloe vera* (L.) Burm. f., agro-ecological zones, season, aloin, gel.

Agradecimientos

Al Colegio de Postgraduados por brindarme la oportunidad de formarme académicamente.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada para que pudiera realizar mis estudios de Maestría en Ciencias.

A la Unidad de Investigación y Desarrollo en Alimentos (UNIDA) por brindarme el apoyo para realizar parte de mi trabajo de investigación.

A mi consejo particular, Dra. Rosa Isela Castillo Zamudio, Dr. Arturo Pérez Vázquez y al Dr. Andrés Antonio Acosta Osorio por guiarme y motivarme durante mi formación, pero sobre todo por sus aportes, dedicación, comprensión en los momentos difíciles y por su valiosa amistad.

A doña Rosa Trujillo, don Antonio Leano, don Alberto Peña (productores de sábila del estado de Veracruz), MC Anselmo Venegas Bustamante y a los productores de sábila del estado de Puebla, quienes apoyaron a mi trabajo de investigación.

A Tania Isabel Vidaña Reyes, Diana Zubillaga Osorio, Arianna López Velasco, Alan Emilio Arenas Lozano y Fernando Ibáñez de la Cruz, Wendoline Ramírez Tenorio, Mildreth Y. Islas Andrade, Ana Guadalupe Castillo Olmos, Kathia Ethel Prieto Pacheco y Oscar O. Romero Chapol por todo el apoyo brindado durante mi trabajo de investigación, por los buenos momentos vividos y su valiosa amistad.

CONTENIDO

	Página
INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1. Planteamiento del problema.....	2
2. Objetivos	4
2.1 General	4
2.2 Específicos	4
3. Hipótesis.....	5
3.1 General	5
3.2 Específicas.....	5
4. Revisión de Literatura	5
4.1 El agroecosistema.....	5
4.1.1 Definición y antecedentes teóricos	5
4.1.2 La TGS y el análisis de agroecosistemas.....	11
4.1.3 Niveles de análisis de agroecosistemas	12
4.2 El cultivo de sábila	13
4.2.1 Aspectos botánicos y taxonómicos.....	13
4.2.2 Aloína: estructura química y usos potenciales	13
4.2.2.1 Metodologías de cuantificación de la aloína	14
4.3 El cultivo de sábila en el mundo	16
4.3.1 El cultivo de sábila en México	17
4.3.2 El cultivo de sábila en el estado de Puebla.....	19
4.3.3 El cultivo de sábila en el estado de Veracruz	19
4.4 Factores que afectan a la producción de aloína en las hojas de sábila	19
4.4.1 Zona agroecológica y agroclimática.....	19
4.4.2 Lugar de procedencia.....	20
4.4.3 Cantidad de agua	20
4.4.4 Cantidad de luz	21
4.5 Métodos para la obtención de aloína.....	21
4.6 Factores industriales que afectan a la cantidad de aloína.....	22
4.7 Usos de la aloína	23

5. Literatura citada.....	23
CAPÍTULO I. ANÁLISIS SITUACIONAL DEL CULTIVO DE SÁBILA (<i>Aloe vera</i> (L.) Burm. f.) EN LA ZONA COSTERA CENTRAL DEL ESTADO DE VERACRUZ	31
1.1 Introducción	32
1.2 Materiales y métodos	34
1.3 Resultados y discusión	36
1.4 Conclusión.....	45
1.5 Literatura citada.....	46
CAPÍTULO II. CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE SÁBILA (<i>Aloe vera</i> (L.) Burm. f.) CULTIVADA BAJO DIFERENTES CONDICIONES AGROECOLÓGICAS..	49
2.1 Introducción	51
2.2 Materiales y métodos	53
2.3 Resultados y discusión	57
2.4 Conclusión.....	65
2.5 Literatura citada.....	65
CAPÍTULO III. EFECTO DE LAS CONDICIONES CLIMÁTICAS SOBRE EL CONTENIDO DE ALOÍNA EN HOJAS DE SÁBILA (<i>Aloe vera</i> (L.) Burm. f.)	70
3.1 Introducción	71
3.2 Materiales y métodos	73
3.3 Resultados y discusión	76
3.4 Conclusión.....	79
3.5 Literatura citada.....	79
CONCLUSIONES GENERALES.....	82

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Estructura química de la aloína (Elaboración propia).....	14
Figura 2. Localización del municipio de Paso de Ovejas, en el estado de Veracruz.....	35
Figura 3. Climatograma de Puebla y Veracruz durante el año 2018.	54
Figura 4. Análisis de componentes principales (ACP) para Puebla y Veracruz en A) Época de sequía y B) Época de lluvia.	64
Figura 5. Curva de calibración de aloína.	75

LISTA DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Metodologías de HPLC.	15
Cuadro 2. Producción de sábila a nivel mundial.	17
Cuadro 3. Cultivo de sábila en México (2018).	18
Cuadro 4. Principales estados productores de sábila en México.	18
Cuadro 5. Productores de sábila en el municipio de Paso de Ovejas, Veracruz.	37
Cuadro 6. Productores de sábila en el municipio de Paso de Ovejas, Veracruz.	38
Cuadro 7. Inversión total en el cultivo de sábila para su establecimiento y para su mantenimiento (establecido) con fertilización química.	39
Cuadro 8. Valor presente Neto y Tasa Interna de Rendimiento (fertilización química).	40
Cuadro 9. Inversión en el establecimiento y mantenimiento del cultivo de sábila (abonado orgánico).	40
Cuadro 10. VPN y TIR del cultivo de sábila con abonado orgánico.	41
Cuadro 11. Inversión en el establecimiento y mantenimiento del cultivo de sábila sin fertilización.	42
Cuadro 12. Valor Presente Neto y Tasa Interna de Retorno del cultivo de sábila sin fertilización.	42
Cuadro 13. Ranqueo de los principales problemas del cultivo de sábila en el municipio de Paso de Ovejas.	44
Cuadro 14. Características climáticas de Puebla y Veracruz.	55

Cuadro 15. Análisis edáfico de las dos zonas agroecológicas (valores promedio).	58
Cuadro 16. Variables morfológicas en hojas maduras de Puebla y Veracruz para la época de sequía y lluvia del año 2018.	61
Cuadro 17. Rendimientos de acíbar (base seca) de hojas de sábila maduras y tiernas en dos épocas de cosecha.	76
Cuadro 18. Contenido de aloína A (mg/mg exudado seco) en el extracto obtenido en época de sequía y lluvia en dos zonas agroecológicas.	78
Cuadro 19. Contenido de aloína B en época de sequía y lluvia en dos zonas agroecológicas.	78

INTRODUCCIÓN GENERAL

La planta de *Aloe vera* (L.) Burm. f., conocida comúnmente como sábila es originaria de África. Esta planta tiene una larga e importante historia que se expande a lo largo de cientos de siglos, países con significativas propiedades curativas. En el Continente Americano es conocida desde el siglo XVI (Domínguez *et al.*, 2012). Las primeras referencias de la sábila se encuentran en numerosos documentos históricos de los egipcios, griegos, romanos, árabes, indios, chinos, entre otros, que hablan de su empleo para uso medicinal y cosmético (Boudreau y Beland, 2006). Su nombre viene del árabe "*alloe*", que significa: "la sustancia amarga brillante"; la palabra *vera* viene del latín y significa: "verdad" (Surjushe *et al.*, 2008).

De las hojas de la planta de sábila se pueden obtener productos comerciales. Por ejemplo, un exudado comúnmente denominado aloína, que es una droga natural conocida por su efecto catártico y también utilizado como un agente amargo en bebidas alcohólicas; Además, el mucílago presente en el parénquima (centro de las hojas), conocido como gel o cristal, que por sus propiedades es usado como producto dermatológico en la industria cosmetológica y farmacéutica, y en la elaboración de varias bebidas como suplemento dietético y prebiótico (Baudo, 1992; Burger *et al.*, 1994; Eshun y He, 2004).

El gel de sábila es una fuente amplia de micronutrientes esenciales y de compuestos activos, como vitaminas y compuestos fenólicos, que son capaces de reducir diversos padecimientos y enfermedades, tales como el envejecimiento, las enfermedades cardiovasculares, cancerígenas, entre otras (McInerney *et al.*, 2007; Miranda *et al.*, 2009; Singh y Singh, 2011).

El presente trabajo de investigación se ubica en la Línea de Generación y/o Aplicación del Conocimiento (LGAC) de Cadenas agroalimentarias y agroindustriales del trópico (CAAT), debido a que esta LGAC aborda los desafíos de la seguridad alimentaria y sustentabilidad. Se

centra en generar propuestas acordes a la situación actual para la generación de valor y optimización de los procesos de las cadenas agroalimentarias y agroindustriales, generando conocimiento pertinente en el ámbito de las cadenas y la agregación de valor, a fin de: generar estudios especializados y propuestas tecnológicas sobre los distintos eslabones y actores de las cadenas para mejorar su eficiencia. Además, trata de resolver problemas que demandan los diferentes eslabones de las cadenas agroalimentarias y agroindustriales, mediante la participación activa de investigadores y actores involucrados. De hecho, en México existe ya una cadena de valor de sábila, que va de la producción a la obtención de gel y de aloína.

A lo largo de este documento se abordan tres capítulos: **1) Análisis situacional del cultivo de sábila (*Aloe vera* (L.) Burm. f.) en la zona costera central del estado de Veracruz.** Este capítulo informa sobre la situación actual de la sábila en el estado de Veracruz, donde la superficie sembrada ha aumentado en los últimos años; **2) Caracterización morfológica de sábila (*Aloe vera* (L.) Burm. f.) cultivada bajo diferentes condiciones agroecológicas.** En este capítulo se evalúan las diferencias morfológicas de las plantas de sábila provenientes de dos estados productores de este cultivo con remarcables diferencias climáticas; y **3) Efecto de las condiciones climáticas sobre el contenido de aloína presente en las hojas de sábila (*Aloe vera* (L.) Burm. f.).** En el tercer capítulo se aborda el efecto de las características climáticas y edáficas sobre el contenido de aloína presente en las hojas maduras y tiernas de sábila.

1. Planteamiento del problema

La mayor parte de la superficie sembrada en la región central del estado de Veracruz es de temporal. La temporalidad de la producción provoca que solo se tenga producción una o dos veces al año, lo cual dificulta el mantener una relación de compra-venta bajo contrato entre productores y las plantas procesadoras de sábila del país. Esto no sucede para plantaciones en otros estados que

disponen de riego, donde la relación entre productores y las plantas procesadoras es más estrecha y permanente, ya que tiene la opción de tener dos o tres cortes al año, por lo tanto, surten la materia prima en condiciones óptimas en tiempo y forma, y como resultado se da el esquema de agricultura por contrato, permitiendo a las empresas, programar y cubrir los pedidos existentes de producto por entregar, como es el caso de Puebla.

La sábila es un cultivo de reciente introducción en la zona centro del estado de Veracruz. Su ingreso como cultivo comercial data de hace 10 años. Su cultivo ha sido irregular, ya que depende mucho de la demanda del producto y del precio. Se perciben altibajos en la producción y en la constancia de sabileros, ya que en el territorio es frecuente observar plantaciones en abandono y otras con atenciones de manejo agronómico básicas o mínimas. Una de las causas posibles de este abandono son entre otras: la falta de una organización y de consolidación de un grupo organizado para acceder a apoyos institucionales, la falta de diagnósticos institucionales para identificar el problema o los problemas que limitan su cultivo en la zona centro, la falta de estudios sobre el sistema productivo que identifique los costos de producción y formas de eficientizarla, la carencia de una identificación de la tipología de productores, la escasa tecnificación de la producción, la falta de consolidación de una cadena de valor regional, entre otras. Esto provoca que los productores tengan poco acceso a los mercados y banca financiera de manera competitiva o que las empresas procesadoras de la misma se interesen poco en su producción. Esto afecta de igual manera el poder y capacidad de negociación con otros eslabones de la cadena o de consolidar la cadena de valor de manera regional.

La sábila es un cultivo cuya cadena de valor se ha ido consolidando gradualmente pero aún se desconocen aspectos como las características agroecológicas del país que afectan la morfología de la planta, la composición del gel o el contenido de aloína en hojas de sábila. De igual manera se

desconoce el contenido de aloína en función de la madurez de las hojas de sábila. Existen evidencias de que las condiciones agroecológicas pueden influir en las características morfológicas de las plantas (Flück, 1995; Acosta, 2003), en este caso de la sábila (Saks e Ish-shalom-Gordon, 1995; Tawfik *et al.*, 2001). Cabe resaltar, que en muchos estados el cultivo de sábila es considerado como una estrategia de reconversión productiva, particularmente por su rusticidad y de crecer bien aún en condiciones de sequía o en suelos delgados de lomerío. De hecho, la mayor producción nacional se cultiva en tierras de temporal y lo menos bajo condiciones de riego.

Es por ello, que se planteó la pregunta de investigación general: ¿Cuál es el efecto de las condiciones agroecológicas en la morfología de plantas de sábila y de la madurez de la hoja en el contenido de gel y aloína de plantas procedentes de dos zonas agroecológicas de México? Y como preguntas de investigación particulares: 1) ¿Cuál es la situación actual del cultivo de sábila en el estado de Veracruz? 2) ¿Cómo se relacionan las condiciones agroecológicas con las características morfológicas y contenido de gel de las plantas sábila? y 3) ¿Cuál es el efecto de las condiciones climáticas y el estado de madurez de las hojas de sábila sobre el contenido de aloína?

2. Objetivos

2.1 General

Comparar las características morfológicas y cuantificar el contenido de gel y de aloína presentes en hojas de sábila en función de dos diferentes condiciones agroecológicas.

2.2 Específicos

1. Describir la situación actual del cultivo de sábila en la zona costera central del estado de Veracruz.

2. Determinar la relación existente entre las características morfológicas de las plantas de sábila y su contenido de gel, con respecto a dos regiones agroecológicas y dos épocas de cosecha en los estados de Puebla y Veracruz.
3. Comparar el efecto de las condiciones climáticas sobre el contenido de aloína presente en las hojas de sábila en dos estados de madurez.

3. Hipótesis

3.1 General

Las características morfológicas y el contenido de gel y aloína de las plantas de sábila dependen de las condiciones agroecológicas.

3.2 Específicas

1. El manejo adecuado del cultivo de sábila incrementa el rendimiento en campo de la hoja independiente de la época del año.
2. Existe relación entre las características morfológicas y contenido de gel de las plantas de sábila en dos regiones agroecológicas y dos épocas de cosecha.
3. El contenido de aloína presente en las hojas de sábila es afectado por la madurez de la hoja y época de cosecha.

4. Revisión de Literatura

4.1 El agroecosistema

4.1.1 Definición y antecedentes teóricos

Desde sus inicios el concepto de agroecosistemas, su concepción y enfoque, ha sido diferente. Dichos cambios van de la mano con el momento histórico en el que fueron definidos y se

relacionan con los intereses y temas de estudio de cada uno de los autores que lo han definido. Así, la palabra agroecosistema es una palabra compuesta (agro-eco-sistema). Proviene de Agro del latín *ager* o *agri* que significa campo y ecosistema definido como “la distribución de las especies y su ensamblaje, el cual es fuertemente influenciado por el ambiente asociado” (Pérez-Vázquez, 1996).

(Jantzen, 1970; citado por Montaldo, 1982) define al agroecosistema como sistemas fotosintéticos, o sea, captadores de luz para realizar la fotosíntesis y almacenar esa energía en enlaces químicos de productos útiles para la alimentación del hombre y animales. Contempla tres características: eficiencia del sistema fotosintético, baja pérdida de energía por respiración y la tasa de asimilación neta de energía en diferentes partes del cultivo. El autor hace énfasis en la energía y su flujo a través del sistema (planta), así como la productividad y eficiencia ecológica.

(Hernández, 1977; citado por Pérez-Vázquez, 1996) define al agroecosistema como “un ecosistema modificado en menor o mayor grado por el hombre para la utilización de los recursos naturales en los procesos de producción agrícola”. Se observa que a inicios de la aplicación del concepto se limita a dos elementos básicos, que son el hombre y el ecosistema, cuya única finalidad era la producción de alimentos.

Romero (1976) define al agroecosistema como una unidad compuesta por el complejo total de organismos en un área bajo cultivo, junto con la totalidad de las condiciones ambientales, además de las modificaciones hechas por el hombre que lo maneja.

Hart (1985) define al Agroecosistema como un ecosistema donde existe una comunidad biótica y un ambiente físico, con el que esta comunidad interactúa y a diferencia de los ecosistemas naturales, dentro de éste existen poblaciones con valor agrícola y es regulado por la intervención del hombre. Considera aplicables los conceptos ecológicos como: flujo de energía, reciclaje de materiales, entre otros, para el estudio de éstos. Da a conocer los principios y conceptos ecológicos

que forman el fundamento de la agroecología hoy en día. Proporcionó un profundo contenido ecológico para entender la estructura, función, relaciones y dinámica de los agroecosistemas, desde la planta o animal individual, a través de la granja, la región, y finalmente, hasta el sistema global de alimentos. Todos los componentes de los agroecosistemas eran vistos como subsistemas, tales como la tierra, los cultivos, las arvenses, las plagas y las enfermedades. Mediante la comprensión de la relación entre subsistemas podía visualizarse un diseño para integrarlos en un conjunto.

Conway (1987) define a los agroecosistemas como sistemas ecológicos modificados por los seres humanos para producir alimentos, fibra u otros productos agrícolas. Como el sistema ecológico que reemplazan, los agroecosistemas a menudo son estructurales y dinámicamente complejos, pero su complejidad surge principalmente de la interacción entre procesos socioeconómicos y ecológicos. Hace referencia que para estudiar los agroecosistemas no existe un tamaño espacial y estos se pueden analizar de forma jerárquica a través de sus componentes ecológicos y socioeconómicos.

Altieri (2002) define a los agroecosistemas como comunidades de plantas y animales interactuando con su ambiente físico y químico que ha sido modificado para producir alimentos, fibra, combustible y otros productos para el consumo y procesamiento humano. La Agroecología provee una guía para desarrollar agroecosistemas que tomen ventaja de los efectos de la integración de la biodiversidad de plantas y animales. Tal integración aumenta las complejas interacciones y sinergismos y optimiza las funciones y procesos del agroecosistema, tales como la regulación biótica de organismos perjudiciales, reciclado de nutrientes y la producción y acumulación de biomasa, permitiendo así al agroecosistema solventar su propio funcionamiento. El objetivo del diseño agroecológico es mejorar la sustentabilidad económica y ecológica del agroecosistema, con

un sistema de manejo propuesto a tono con la base local de recursos y con una estructura operacional acorde con las condiciones ambientales y socioeconómicas existentes.

Sarandón (2002) define a los agroecosistemas como sistemas muy complejos con componentes biológicos que han sido distribuidos en el tiempo y el espacio, interactuando con componentes socioculturales (objetivos, racionalidades, conocimientos y cultura de los agricultores). Hace de una reflexión sobre la necesidad de una visión sistémica y holística para el abordaje de la producción agropecuaria.

Sans (2007), Describe a los ecosistemas agrícolas como “sistemas antropogénicos, es decir, su origen y mantenimiento van asociados a la actividad del hombre, que ha transformado la naturaleza para obtener principalmente alimentos”. Esta conceptualización tiene un enfoque antropocéntrico ya que considera al hombre como creador y controlador del agroecosistema.

Machado y Campos (2008) definen a los ecosistemas agrícolas o agroecosistemas como aquellos ecosistemas que se utilizan para la agricultura en formas parecidas, con componentes similares e interacciones y funciones semejantes. Los agroecosistemas comprenden policultivos, monocultivos y sistemas mixtos, e incluyen los sistemas agropecuarios, agroforestales, agrosilvopastoriles, la acuicultura y las praderas, los pastizales y las tierras en barbecho. Están en todo el mundo, desde los humedales y las tierras bajas hasta las tierras áridas y las montañas, y su interacción con las actividades humanas comprendidas las actividades socioeconómicas y la diversidad sociocultural es determinante. La conservación de los ecosistemas agrícolas o agroecosistemas reviste una gran importancia para la seguridad alimentaria del planeta, porque contienen los elementos necesarios (suelo, agua y biodiversidad) que son indispensables para la producción agropecuaria.

Vilaboa (2009) define al agroecosistema como un modelo abstracto que determina la unidad de estudio, en diferentes niveles jerárquicos para la evaluación, análisis, comprensión y entendimiento, de manera integral (holística) del ecosistema natural modificado por el hombre desde una perspectiva interdisciplinaria (agronómica, ecológica, socioeconómica), con la finalidad de establecer soluciones a problemas puntuales. Describe al agroecosistema como un modelo conceptual sistémico que permite realizar el análisis de varios aspectos y fenómenos de los sistemas de producción.

León (2012) define el AES como el conjunto de relaciones e interacciones que suceden entre suelos, climas, plantas cultivadas, organismos de distintos niveles tróficos, plantas adventicias y grupos humanos en determinados espacios geográficos, cuando son enfocadas desde el punto de vista de sus flujos energéticos y de información, de sus ciclos materiales y de sus relaciones simbólicas, sociales, económicas y políticas, que se expresan en distintas formas tecnológicas de manejo dentro de contextos culturales específicos. Menciona las relaciones e interacciones que se dan entre el mundo cultural y el ecosistémico representado por el agroecosistema, a través de esto los AES pueden ser delimitados de distintas formas y diversas escalas.

Wang *et al.* (2013) definen a los agroecosistemas como modelos que deben considerar las condiciones biofísicas y sociales, incluyendo el tipo de suelo, la topografía, la cobertura del suelo, la influencia climática, la hidrología y la información geográfica, como los límites del municipio y del estado. El modelo de agroecosistema basado en un área se ha aplicado a nivel regional y estatal para permitir análisis exhaustivos de la sostenibilidad ambiental, de la producción de alimentos y biocombustibles.

Martínez y Leyva (2014) mencionan que los agroecosistemas son un sistema originado por la acción del hombre sobre el ecosistema natural y tiene como objetivos la utilización del medio en

forma sostenida para obtener plantas o animales de consumo inmediato o transformable. Este concepto demuestra la importancia que proporciona la biomasa generalmente no alimenticia para los humanos, a fin de emplearla no solo como alimento animal, sino también como enriquecedora del recurso natural suelo.

Tittonell (2014) define a los agroecosistemas como sistemas socio-ecológicos complejos, con dimensiones biológicas y culturales, y su capacidad de recuperación y adaptabilidad, resultado de las decisiones individuales. Su estudio se centra en la acción humana, la explicación de la diversidad de las estrategias de vida utilizando los conceptos de resiliencia y la capacidad de transformación, y no en los procesos biofísicos subyacentes en los agroecosistemas.

Casanova-Pérez (2015) define el agroecosistema “como un modelo que representa los efectos de la autopoiesis de los sistemas ‘producción de subsistencia, en transición y comercial’, planteamiento teórico conceptual que posibilita abordar la complejidad de la agricultura mexicana contemporánea y, por ende, comprender el porqué de una serie de prácticas de manejo que los productores han utilizado para modificar diversos ecosistemas ubicados en variados espacios geográficos con el propósito de producir alimentos y materias primas”. Este concepto tiene como base el pensamiento sistémico de cuarta generación donde las características principales son las de autorregulación, interdependencia y autopoiesis.

Paleologos et al. (2017), describe a los agroecosistemas como sistemas muy complejos, son básicamente sistemas ecológicos (ecosistemas), con componentes biológicos distribuidos en el tiempo y espacio, interactuando con componentes socioculturales, como los objetivos, conocimientos, racionalidades y culturas de los agricultores. Menciona que la Agroecología surge como un nuevo paradigma de las ciencias agrarias para generar conocimientos para la evaluación, diseño y manejo de agroecosistemas sustentables.

Después de casi 40 años de la primera definición o mención del término agroecosistema, diversos autores conceden importancia a los factores socioeconómicos de la actividad agrícola y a las interacciones y flujos de materiales y energía dentro y hacia fuera del agroecosistema, tratando de entenderlo ya sea como una caja negra (entradas y salidas) o como una caja abierta (procesos). En conclusión, el concepto de agroecosistemas referido a la agricultura con una concepción o ideología de sustentabilidad y un modelo debe servir para entender la agricultura en un carácter flexible, incluyente y multidimensional que permite abordar problemáticas a diferente nivel jerárquico en una escala temporal y resolver problemas de la vida real.

4.1.2 La TGS y el análisis de agroecosistemas

En un sentido amplio, la Teoría General de Sistemas (TGS) se presenta como una forma sistemática y científica de aproximación y representación de la realidad y, al mismo tiempo, como una orientación hacia una práctica estimulante para formas de trabajo transdisciplinarias. Esta se caracteriza por su perspectiva holística e integradora, en donde lo importante son las relaciones y los conjuntos que a partir de ellas emergen. En tanto práctica, la TGS ofrece un ambiente adecuado para la interrelación y comunicación fecunda entre especialistas y especialidades (Arnold y Osorio, 1998).

La TGS se desarrolló para el estudio y características de sistemas dentro de un modelo funcional formado por componentes interrelacionados e interdependientes, considerado como un proceso para analizar el comportamiento expuesto para las diversas ciencias. El modelo propuesto por Ludwig von Bertalanffy ha influido mucho en el análisis de los sistemas y sus componentes (Von Bertalanffy, 1968). Esta se enfoca en el pensamiento sistémico suscrito como una teoría para modelar objetos, naturales o artificiales, simples o complejos, existentes o por aparecer, con ayuda de una herramienta que es el sistema generalizado (Sarabia, 1995).

En conclusión, el concepto de agroecosistema tiene sus bases en el holismo y la TGS; siendo éstos la base de la ecología, la cual estudia, en diferentes niveles jerárquicos (el individuo, la población, la comunidad, el ecosistema y la biósfera) las relaciones recíprocas entre los seres vivos con el ambiente en que habitan.

4.1.3 Niveles de análisis de agroecosistemas

A partir de la agroecología se procura un mayor entendimiento del agroecosistema más amplio, en el que se funden diversas definiciones entendido como un ente de la naturaleza que fácilmente se puede modificar con diseño, y con componentes abiertos y cerrados. En esto son participes productores, en el que el agroecosistemas tiene componentes biofísicos que influyen en una dinámica, dominados por políticas y mercado, que inducen a que producir, cuándo producir, con que tecnología, a que ritmos y tipo de consumidores, entendido el acercamiento hacia lo que se conoce como límite de los agroecosistemas (Nieto *et al.*, 2013).

El análisis multijerárquico se refiere a un examen analítico de un determinado grupo, sector, comunidad o sociedad para establecer cuál es la situación de los elementos esenciales de la problemática estudiada, para el caso de los agroecosistemas permite conocer la repercusión de la agricultura manejada en diferentes modos. Debido a que hay cosas que no se pueden medir directamente, es que surgen indicadores que facilitan los niveles de aprovechamiento en determinada actividad. Por medio del análisis multijerárquico se provee de una herramienta para ayudar en la toma de decisiones frente a un problema determinado (Osorio y Orejuela, 2008).

El concepto del agroecosistema ha evolucionado de una forma infinita, de modo que en la actualidad tiene varias concepciones considerado como un sistema ecológico que puede contar con más de un manejo agrícola e interactúa en un ambiente diverso (cultivos, arvenses, insectos, microorganismos, suelo, clima), relacionados entre sí (Blanco y Leyva, 2007). En los

agroecosistemas se encuentra un controlador que manipula los aspectos sociales y productivos, del cual se sirve para obtener la producción de alimentos, bienes y servicios ambientales para satisfacer las necesidades que demanda (Crúz y Torres, 2015).

El componente del agroecosistema se encuentra organizado por diferentes niveles jerárquicos, en el que se facilita el abordar los sistemas, subsistemas y suprasistemas. Dentro de las funciones de un agroecosistema cualquier alteración que se genere en el sistema, se verá modificado completamente en las funciones de los demás subsistemas, por lo que es esencial analizar las diferentes estructuras por las que se conforma (Doorman, 1980).

4.2 El cultivo de sábila

4.2.1 Aspectos botánicos y taxonómicos

La sábila pertenece a una familia de más de 200 especies llamada Aloeneae, de la familia Liliaceae, originaria de África pero que crecen en Europa y América, ya sea por dispersión natural o porque fueron introducidas por sus múltiples ventajas, actualmente están siendo objeto de cultivo comercial. Del género *Aloe* se han descrito aproximadamente 320 especies, entre las cuales destaca la sábila (*Aloe vera* (L.) Burm. f.). En México las especies cultivadas más frecuentes son: *Aloe vera* (L.) Burm. f. (también conocida como *Aloe barbadensis* Miller) y *Aloe ferox* (Vega *et al.*, 2005).

4.2.2 Aloína: estructura química y usos potenciales

La aloína es un compuesto presente en la sábila que se ha estudiado poco o casi nada en el país. La aloína es un metabolito y glicósido antraquinónico producto de la combinación de una antraquinona simple (genina) con un azúcar (glucosa). La aloína se extrae de fuentes naturales como una mezcla de dos diastereoisómeros, llamados aloína A (también conocida como barbaloína) y aloína B (o isobarbaloína) (Molero *et al.*, 2016) (Figura 1).

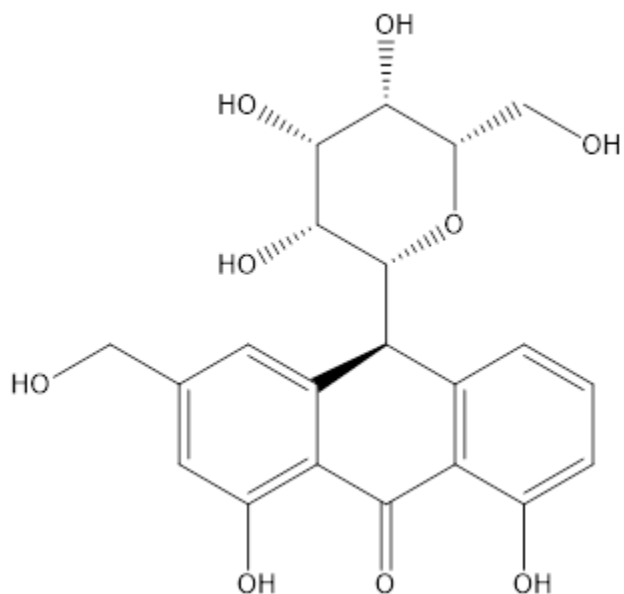


Figura 1. Estructura química de la aloína (Elaboración propia).

Los usos potenciales que tiene la aloína debido a sus propiedades y al efecto que provoca, es útil para combatir el cáncer, la diabetes, y se usa para coadyuvar la actividad del sistema antioxidante, cardiovascular, las enzimas, entre otros. Esto se puede atribuir a los componentes más importantes de la aloína, la aloína A y aloína B (Patel y Patel, 2013).

4.2.2.1 Metodologías de cuantificación de la aloína

Algunos autores han descrito los procesos de obtención de aloína. En donde realizan un corte transversal cerca de la base de la hoja y mantenerla inclinada de manera que el látex contenido fluya. Este proceso tarda aproximadamente seis horas, mientras que otros han extraído la aloína a partir de la cáscara de hoja y del gel mediante ultrasonidos. Para su cuantificación se utiliza actualmente la Cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Metodologías de HPLC.

Fuente	Metodología	Resultado
Gajbhiye y Maiti, 2010.	El contenido de aloína A se estimó por el método de HPLC y se expresó en % en peso seco.	El rendimiento de aloína y el peso de los exudados tuvieron una correlación muy alta y significativa ($r = 0.98$). El contenido más alto de aloína A se registró en las hojas más jóvenes (20,12% en la 2 a hoja), que disminuyó con la edad de la hoja.
Mandrioli <i>et al.</i> , 2011	Desarrollaron y validaron un método de HPLC con absorción de UV en tándem y detección fluorimétrica para el análisis de aloe-emodina a partir de hojas, cápsulas, tabletas, extractos secos, y otros. La fase estacionaria fue una columna de fase inversa C18 y la fase móvil de agua y metanol (30/70, v/v). Se obtuvo una linealidad satisfactoria sobre el rango de 10.0–1000.0 ng/mL para la detección de la matriz de fotodiodos (límite de detección: 3 ng/mL) y sobre Rango de 2.5–1000.0 ng/mL para la detección fluorimétrica (límite de detección: 0.8 ng/mL).	Se determinaron en extractos de <i>A. vera</i> y formulaciones comerciales por ambos medios de detección, con buena precisión (R.S.D.<9% y recuperación >85%). El método parece ser adecuado para el análisis de aloe-emodina en diferentes productos herbales y comerciales, con concentraciones de 1,58 mg/g y 0.45 mg/ml.
Chiang <i>et al.</i> , 2012	Las agliconas ensayadas fueron aloína y aloe-emodina. La linealidad	El contenido de aloína y aloe-emodina en <i>aloe</i> no mostró ningún efecto

Fuente	Metodología	Resultado
	($r > 0.9997$) y la validación (<10%) de las curvas de calibración fueron excelentes.	significativo antes y después de la hidrólisis. Las cantidades de aloína fueron 76.1 ± 5.9 y 77.7 ± 2.8 $\mu\text{mol/g}$ en decocción e hidrolizado; mientras que los de aloe-emodina fueron 8.3 ± 0.5 y 8.1 ± 0.3 $\mu\text{mol/g}$ Esto puede deberse a que el <i>aloe</i> fue procesado.
Brown <i>et al.</i> , 2014.	Se utilizó el método de HPLC para la detección y cuantificación de aloína A y aloína B. La separación se hizo utilizando una columna fusionada C18 núcleo en 18 min bajo condiciones de elución isocráticas que permiten una sola curva de calibración del analito (aloína A) para cuantificar ambas aloínas.	Todos los parámetros de validación cumplieron las normas internacionales de la AOAC. El método descrito es adecuado para su utilización en estudios de validación.

4.3 El cultivo de sábila en el mundo

A nivel mundial, la sábila se cultiva en países con clima semiárido debido a la adaptación suculenta que tiene la planta, esto provoca que no se pueda desarrollar de manera eficiente en lugares que no cumplan con las necesidades climáticas del cultivo. Es así como México es uno de los principales productores de sábila a nivel mundial (Cuadro 2) (Pedroza y Gómez, 2006).

Cuadro 2. Producción de sábila a nivel mundial.

País	Superficie (ha)	Respecto del total (%)
Kenia, Camerún y Nigeria	22,000	39
Taiwán, Corea y Malasia	13750	24
Estados Unidos	5100	9
México	4790	9
República Dominicana	3600	6
Guatemala	2500	5
Costa Rica	2000	4
Venezuela	2000	4
Total	55740	100

Fuente: Pedroza y Gómez (2006).

4.3.1 El cultivo de sábila en México

La sábila puede crecer en climas cálidos, semicálidos, semisecos, secos y templados; crece desde 10 hasta 2,750 msnm. Es por ello que en México se le cultiva en los estados de Campeche, Durango, Morelos, Puebla, Tamaulipas, San Luís Potosí, Veracruz y Yucatán (INEGI, 2018). Con una superficie sembrada de 5,605.99 ha (Cuadro 3), de los cuales el estado de Tamaulipas ocupa el primer lugar y el de Veracruz se posiciona en el segundo lugar (Cuadro 4) (SIAP, 2018).

Cuadro 3. Cultivo de sábila en México (2018).

Modalidad	Superficie Sembrada (Ha)
Riego	2,735.70
Temporal	2,870.29
Total	5,605.99

(Fuente: SIAP, 2018)

Cuadro 4. Principales estados productores de sábila en México.

Estado	Superficie Sembrada (Ha)
Campeche	149
Durango	1.50
Morelos	72.10
Puebla	170
San Luis Potosí	118
Sonora	10
Tamaulipas	4,424.39
Veracruz	702
Yucatán	40

4.3.2 El cultivo de sábila en el estado de Puebla

En el estado de Puebla la sábila se cultiva en los municipios de Huaquechula, Chietla, Huehuetlán El Grande e Izúcar de Matamoros (SIAP, 2018), con una superficie sembrada aproximada de 170 ha según los datos obtenidos de productores, teniendo a los municipios de Chietla e Izúcar de Matamoros como las principales zonas productoras de sábila en el estado; cabe mencionar que todos los cultivos de sábila están bajo la modalidad de riego y de temporal.

4.3.3 El cultivo de sábila en el estado de Veracruz

En el estado de Veracruz la sábila se cultiva en la cuenca del río La Antigua, con una superficie sembrada aproximada de 702 ha según datos obtenidos de la SIAP (2018), teniendo a los municipios de Paso de Ovejas y Puente Nacional como las principales zonas productoras de sábila en el estado; cabe mencionar que todos los cultivos están bajo la modalidad de temporal.

4.4 Factores que afectan a la producción de aloína en las hojas de sábila

4.4.1 Zona agroecológica y agroclimática

La composición física y química de la sábila depende en gran medida de la especie, clima y condiciones de cultivo. Las zonas agroecológicas se encargan de la recolección, realización y análisis de datos de los recursos de áreas de la tierra, definidas en términos de clima, descripción de la tierra y/o cubierta de tierra, y que tiene un rango específico de limitaciones y potencialidades para el uso de estas (FAO, 1997). Por otro lado, una zona agroclimática es las características relacionadas entre el clima y los sistemas de producción (White *et al.*, 2001).

4.4.2 Lugar de procedencia

Las condiciones edafo-climáticas de zonas áridas y semiáridas no son aptas para cultivos por la falta de agua; aunado a ello, la salinidad produce el mismo efecto que el estrés por sequía en las plantas. Debido a las propiedades fisiológicas de la sábila, puede soportar este tipo de estrés, lo cual la convierte en un cultivo alternativo para estas zonas, debido a la importancia industrial que tiene. Se ha demostrado que una plantación de sábila ubicada a 1.47 km de la orilla del mar y otra a 0.52 km; en la temporada de sequías tenían la menor cantidad de volumen foliar, contenido relativo de agua, proteínas y prolina; sin embargo, la cantidad de aloína fue mayor en la plantación que se encontraba más alejada al mar. Las condiciones óptimas para el cultivo de sábila son las zonas costeras alejadas del mar, con suministro de agua, evitando la sobresalinización de suelos; sin embargo, produce mayor aloína con poco suministro de agua (Franco-Salazar *et al.*, 2014).

El contenido de aloína en exudados de hojas está influenciado por factores genéticos (especies) al igual que la cantidad de gel. Los mayores contenidos de aloína se han encontrado en *A. marlothii* seguido de *A. arborescens* y en *A. claviflora* y *A. barbadensis* fueron las únicas especies en las que se encontraron antraquinonas de 18 especies caracterizadas (Cardarelli *et al.*, 2017).

4.4.3 Cantidad de agua

El contenido de aloína aumenta en estrés hídrico. El mayor contenido de aloína se encontró a 20% de disponibilidad de agua mientras que el menor contenido de aloína se encontró al 80% de disponibilidad de agua. Además, se ha demostrado que no hay relación entre el contenido de aloína y el rendimiento de la planta (Hazrati *et al.*, 2017).

4.4.4 Cantidad de luz

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

Al igual que la disponibilidad de carbono, la cual se ve afectada a niveles bajos de luz, más que los carbohidratos solubles. La concentración de aloína representa entre el 93.7 y 95.6% de los compuestos encontrados en el exudado de las hojas y se ha demostrado que la concentración de aloína varía en plantas parcialmente soleadas, pero no existe diferencias con las plantas completamente soleadas (Paez *et al.*, 2000).

4.5 Métodos para la obtención de aloína

Algunos autores han descrito diferentes técnicas de obtención de aloína. De acuerdo a Celestino *et al.*, (2013), la primera etapa es realizar un corte transversal cerca de la base de la hoja y mantenerla inclinada de manera que el látex contenido fluya. Este proceso tarda aproximadamente 6 h. Los autores realizaron tras el corte, una evaporación lenta, a una temperatura de 45 °C en una incubadora durante 6 h, hasta que se obtuvo una masa opaca con la apariencia de una cera fragmentada.

Por otro lado, Jawade y Chavan (2013) realizaron la extracción de aloína asistida por ultrasonidos de potencia, a partir de gel seco de sábila. Los autores evaluaron los parámetros de funcionamiento, tales como: el disolvente, el tamaño de las partículas de gel secas, la carga del gel seco, y la temperatura en el rendimiento del extracto. Los resultados mostraron que con metanol mostró un mejor resultado en la extracción de aloína que el etanol; además que, el tamaño de

partícula entre 0.042-0.841 mm, temperatura de 40 °C, y un tiempo de extracción de 30 minutos, son los parámetros óptimos para este proceso. Los autores encontraron que la difusividad de la aloína incrementa con el aumento de la temperatura. El modelo de difusión, en estado no estacionario, fue usado para estimar el coeficiente de difusión de 5.105×10^{-12} a $8.346 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ en el intervalo de temperaturas de 30 a 50 °C. La energía de activación para la difusión de la aloína en metanol es 20.494 KJ/mol usando la ecuación de Arrhenius. La energía requerida durante 60 minutos en la extracción es de 14.782 Kcal. Por lo que este método puede lograr beneficios en la eficiencia y la tasa de extracción, que si se realiza a escala industrial representaría ganancias económicas para la industria farmacéutica y alimentaria. Los autores concluyen que el uso de ultrasonidos de potencia es una técnica viable en la extracción de compuestos bioactivos de procedencia vegetal, sensibles al calor como la aloína, empleando temperaturas bajas.

4.6 Factores industriales que afectan a la cantidad de aloína

Algunos factores que han mostrado disminuir la cantidad de aloína durante los procesos de transformación son el uso de aguas de lavado a temperaturas altas. Gulia *et al.* (2010) encontraron que un incremento en la temperatura del agua del lavado de las hojas de 50 a 80 °C, disminuye significativamente la concentración de aloína en la hoja. La concentración de aloína encontrada por los autores fue de 10.6 y 1.7 ppm empleando temperatura del agua a 50 y 80 °C, respectivamente.

Por otro lado, se ha observado que el uso de presión hidrostática puede afectar las características funcionales y calidad del gel de aloe. Vega-Galvez (2011) encontraron que la mayor cantidad de aloína se obtiene mediante el proceso de presión hidrostática a 400 MPa, en comparación a 300 MPa; asimismo observaron que las altas presiones tienen influencia en el contenido de minerales, vitamina C y E, actividad antioxidante y contenido fenólico del gel.

4.7 Usos de la aloína

Se ha demostrado que la aloína de *Aloe ferox* ha tenido efectos laxantes. El incremento de la actividad intestinal puede ser debido a la presencia de derivados de glucósidos antranoides de los cuales está compuesta la aloína principalmente. Celestino *et al.* (2013) encontraron que una vez que es ingerida (5 g/kg), la aloína no es absorbida por el intestino y a los 30 minutos de su administración vía oral puede tener un efecto laxante, ya que estimula actividad del colon, acelerando el proceso. Además, en el estudio de toxicidad aguda reveló no ser tóxica, pero mencionan que se necesitan más estudios para apoyar esto.

Otro uso de la aloína presente en el gel es para la cicatrización de heridas por trauma agudo, ya que la solución de aloína puede promover la velocidad de cierre de la herida. La cantidad de fibra de colágeno en la piel que ha sido curada con aloína es más normal, lo que inhibe la formación de tejido cicatrizante. Debido a esta propiedad la aloína puede ser utilizada para el tratamiento de trauma agudo (Li *et al.*, 2017).

Otros usos que tiene la aloína es que tiene efecto en el cáncer, la diabetes, el sistema antioxidante, el sistema cardiovascular, las enzimas, la inflamación, entre otros. Esto se puede atribuir a los componentes más importantes de la aloína, la aloína A y aloína B (Patel y Patel, 2013).

5. Literatura citada

Acosta de la L. L. (2003) Principios agroclimáticos básicos para la producción de plantas medicinales. *Revista Cubana de Plantas Medicinales* 8: 1-5.

- Altieri M. A. (2002)** Agroecología: principios y estrategias para diseñar sistemas agrarios sustentables. Ediciones Científicas Americanas. Agroecología: El Camino hacia una Agricultura Sustentable. Buenos Aires, La Plata. pp: 49-56.
- Arnold M. y F. Osorio. (1998)** Introducción a los conceptos básicos de la Teoría General de Sistemas. *Cinta moebio* 3: 40-49.
- Baudo G. (1992)** *Aloe vera*. *Erboristeria Domani* 2: 29-33.
- Blanco Y. y A. Leyva (2007)** Las arvenses en el agroecosistema y sus beneficios agroecológicos como hospederas de enemigos naturales. *Cultivos Tropicales* 28: 21-28.
- Boudreau M. and F. Beland (2006)** An evaluation of the biological and toxicological properties of *Aloe barbadensis* (Miller) *Aloe vera*. *Journal of Environmental Science and Health* 24: 103-154.
- Brown P. N., R. Yu, C. H. Kuan, J. Finley and E. M. Mudge (2014)** Determination of Aloin A and Aloin B in *Aloe vera* Raw Materials and Finished Products by High-Performance Liquid Chromatography: Single-Laboratory Validation. *Journal of AOAC International* 97: 1-7.
- Burger A., M. Grubert and O. Schuster (1994)** *Aloe vera* - The renascence of a tradicional natural drug as a dermopharmaceutical. *SOFW* 120: 527-529.
- Cardarelli M., Y. Rouphael, M. Pellizzoni, G. Colla, and L. Lucini (2017)** Profile of bioactive secondary metabolites and antioxidant capacity of leaf exudates from eighteen *Aloe* species. *Industrial Crops & Products* 108: 44-51.
- Casanova-Pérez L., J. P. Martínez-Dávila, S. López-Ortiz, C. Landeros-Sánchez, G. López-Romero y B. Peña-Olvera (2015)** Enfoques del pensamiento complejo en el agroecosistema. *Interciencia* 40: 210-216.

Celestino V. R. L., H. M. L. Maranhão, C. F. B. Vasconcelos, C. R. Lima, G. C. R. Medeiros, A. V. Araújo, and A. G. Wanderley (2013) Acute toxicity and laxative activity of *Aloe ferox* resin. *Revista Brasileira de Farmacognosia* 3: 279-283.

Chiang H.-M, Y.-T. Lin, P.-L. Hsiao, Y.-H. Su, H.-T. Tsao, and K.-C. Wen (2012) Determination of Marked Components —aloin and aloe-emodin— in *Aloe vera* before and after hydrolysis. *Journal of Food and Drug Analysis* 20: 646-652.

Conway G. (1987) Las Propiedades de Agroecosistemas, *Agricultural Systems* 24: 95-117.

Crúz H. S. y G. C. Torres (2015) El conocimiento campesino del agroecosistema cafetalero en la sierra sur de Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 2: 147-154.

Domínguez-Fernández R. N., I. Arzate-Vazquez, J. J. Chanona-Perez, J. S. Welti-Chanes, J. S. Alvarado-González, G. Calderon-Dominguez, y G. F. Gutierrez-Lopez (2012) El gel de *Aloe vera*: estructura, composición química, procesamiento, actividad biológica e importancia en la industria farmacéutica y alimentaria. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 11: 23-43.

Doorman F. (1980) La metodología del diagnóstico en el enfoque investigación adaptativa. San José, Costa Rica. 27 p.

Eshun K. and Q. He (2004) *Aloe vera*: A Valuable Ingredient for the Food, Pharmaceutical and Cosmetic Industries—A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 44: 91-96.

Flück H. (1995) The influence of climate on the active principles in medicinal plants. *Journal of Pharmacy and Pharmacology* 7: 361-383.

Franco-Salazar V. A., J. A. Véliz, y R. Valerio C. (2014) Algunos parámetros fisiológicos de *Aloe vera* (L.) burm. f. (sábila) en Guayacán, península de Araya, estado Sucre, Venezuela.

Revista Multidisciplinaria del Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente 26: 18-24.

Gajbhiye N. A. and S. Maiti (2010) Distribution of aloin-A in different leaves of Aloe. *Indian Journal of Horticulture* 64: 563-566

Gulia A., H. K. Sharma, B. C. Sarkar, A. Upadhyay, and A. Shitandi (2010) Changes in physico-chemical and functional properties during convective drying of *Aloe vera* (*Aloe barbadensis*) leaves. *Food and Bioproducts Processing* 88: 161-164.

Hart R. D. (1985) El Agroecosistema. In: Agroecosistema conceptos básicos. Ed. CATIE. Turrialba, Costa Rica. pp: 67-78.

Hazrati S., Z. Tahmasebi-Sarvestani, A. Mokhtassi-Bidgoli, S. A. M. Modarres-Sanavy, H. Mohammadi, and S. Nicola (2017) Effects of zeolite and water stress on growth, yield and chemical compositions of *Aloe vera* L. *Agricultural Water Management* 181: 66-72.

INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2018) Consulta de especies y productos vegetales. <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/CEPAFOP/vege/NombreComun.aspx?op=0&subOp=0&c=11639&s=est#> (septiembre 2018).

Jawade N. R. and A. R. Chavan (2013) Ultrasonic-assisted extraction of Aloin from *Aloe vera* gel. *Procedia Engineering* 51: 487-493.

León S. T. (2012) Agroecología: la ciencia de los agroecosistemas - la perspectiva ambiental. Universidad Nacional de Colombia. Instituto de Estudios Ambientales. pp: 33-35.

Li L.-J., S.-Q. Gao, L.-H. Peng, X.-R. Wang, Y. Zhang, Z.-J. Hu, and J.-Q. Gao (2017) Evaluation of efficacy of aloin in treating acute trauma in vitro and in vivo. *Biomedicine & Pharmacotherapy* 88: 1211-1219.

- Lucini L., M. Pellizzoni, and G. P. Molinari (2013)** Anthraquinones and b-polysaccharides content and distribution in *Aloe* plants grown under different light intensities. *Biochemical Systematics and Ecology* 51: 264-268.
- Machado H. y M. Campos (2008)** Reflexiones acerca de los ecosistemas agrícolas y la necesidad de su conservación. *Pastos y Forrajes* 31: 1-7.
- Mandrioli R., L. Mercolini, A. Ferranti, S. Fanali, and M. A. Raggi (2011)** Determination of aloe emodin in *Aloe vera* extracts and commercial formulations by HPLC with tandem UV absorption and fluorescence detection. *Food Chemistry* 126: 387-393.
- Martínez R. A. y A. Leyva. G. (2014)** La biomasa de los cultivos en el agroecosistema. sus beneficios agroecológicos. *Cultivos Tropicales* 35: 11-20.
- McInerney J. K., C. A. Seccafien, C. M. Stewart and A. R. Bird (2007)** Effects of high pressure processing on antioxidant activity, and total carotenoid content and availability, in vegetables. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 8: 543-548.
- Miranda M., H. Maureira, K. Rodríguez and A. Vega (2009)** Influence of temperature on the drying kinetics, physicochemical properties, and antioxidant capacity of *Aloe vera* (*Aloe barbadensis* Miller) gel. *Journal of Food Engineering* 91: 297-304.
- Molero T., G. Ettiene, y M. Vilorio (2016)** Determinación de aloína en poblaciones de *Aloe vera* L. (*Aloe barbadensis* M.) del occidente de Venezuela. *Multiciencias* 16: 143-152.
- Montaldo P. (1982)** Principios y Conceptos Básicos de los Ecosistemas. Agroecología del Trópico Americano. Centro Interamericano de Información y Documentación Agrícola del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica. 43 p.

- Nieto G. L. E., F. L. Valencia T., G. D. Francis L. (2013)** Bases pluriepistemológicas de los estudios en agroecología. *Entramado* 9: 204-211.
- FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (1997)** Zonificación agro-ecológica. 14 p.
- Osorio G. J. C. y J. P. Orejuela C. (2008)** El proceso de análisis jerárquico (AHP) y la toma de decisiones multicriterio. *Scientia Et Technica* 14: 247-252.
- Paez A., G. M. Gebre, M. E. Gonzalez, and T. J. Tschaplinski (2000)** Growth, soluble carbohydrates, and aloin concentration of *Aloe vera* plants exposed to three irradiance levels. *Environmental and Experimental Botany* 44: 133-139.
- Paleologos M. F., M. J. Iermanó, M. L. Blandi, y S. J. Sarandón (2017)** Las relaciones ecológicas: un aspecto central en el rediseño de agroecosistemas sustentables, a partir de la Agroecología. *Redes - Santa Cruz do Sul: Universida de Santa Cruz do Sul* 22: 92-115.
- Patel K. and D. K. Patel (2013)** Medicinal importance, pharmacological activities, and analytical aspects of aloin: A concise report. *Journal of Acute Disease* 262-269.
- Pedroza S. A. y F. Gómez L. (2006)** La Sábila (*Aloe* spp.). Propiedades, Manejo agronómico, Proceso Agroindustrial y de Mercado. Universidad Autónoma de Chapingo. Texcoco, México. 105 p.
- Pérez-Vázquez A. (1996)** El Concepto de Agroecosistema: definiciones y enfoques. Notas para el Curso Teórico-Práctico de Introducción al Estudio de Agroecosistemas Tropicales. Colegio de Postgraduados. Campus Veracruz. Manlio Fabio, Altamirano, Veracruz, México. pp: 2-19.
- Romero G. A. (1976)** Plaguicidas en los agroecosistemas tropicales: evaluación del conocimiento actual del problema. *Revista Biología Tropical* 24: 69-77.

- Saks Y. and N. Ish-shalom-Gordon (1995)** *Aloe Vera* L., a potential crop for cultivation under conditions of low-temperature winter and basalt soils. *Industrial Crops and Products* 4: 85-90.
- Sans F. X. (2007)** La diversidad de los agroecosistemas. *Revista Ecosistemas* 16: 44-49.
- Sarabia A. A. (1995)** La teoría general de sistemas. Marte. Madrid, España. 171 p.
- Sarandón J. S. (2002)** El agroecosistema: un sistema natural modificado. Ediciones científicas Americanas. La Plata Argentina.
- SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2018)** Anuario estadístico de la producción agrícola. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> (julio 2019).
- Singh A. K. and B. Singh K. (2011)** Processing, food applications and safety of aloe vera products: a review. *Journal of Food Science Technology* 48: 525-533.
- Surjushe A., R. Vasani and D. G. Saple (2008)** *Aloe vera*: a short review. *Indian Journal Dermatology* 53: 163-166.
- Tawfik K. M, S. A. Sheteawi and Z. A. El-Gawad (2001)** Growth and aloin production of *Aloe vera* and *Aloe eru* under different ecological conditions. *Egyptian Journal of Biology* 3: 149-159.
- Tittonell P. (2014)** Livelihood strategies, resilience and transformability in African agroecosystems. *Agricultural Systems* 126: 3-14.
- Vega A. A., N. Díaz L. y R. Lemus (2005)** El *Aloe vera* (*Aloe barbadensis* Miller) como componente de alimentos funcionales. *Revista Chilena de Nutrición* 32: 208-214.

- Vega-Galvez A., M. Miranda, M. Aranda, K. Henriquez, J. Vergara, G. Tabilo-Munizaga and M. Perez-Won (2011)** Effect of high hydrostatic pressure on functional properties and quality characteristics of *Aloe vera* gel (*Aloe barbadensis* Miller). *Food Chemistry* 129: 1060-1065.
- Vilaboa-Arroníz J. (2009)** El concepto de agroecosistema y su aplicación en la ganadería bovina. SOMAS.
- Von Bertalanffy L. (1968)** Teoría general de los sistemas. Fondo de cultura económica. México. 336 p.
- Wang D., S. Kang, J. Nichols, W. Post, S. Liu and Z. Zhao (2013)** A computational framework for spatially explicit agroecosystem modeling: Application to regional simulation. *Journal of Computational Science* 4: 386-392.
- White D. H., G. Lubulwa, K. Menz, H. Zuo, W. Wint and J. Slingenbergh (2001)** Agroclimatic classification systems for estimating the global distribution of livestock numbers commodities. *Environment International* 27: 181-187.

**CAPÍTULO I. ANÁLISIS SITUACIONAL DEL CULTIVO DE SÁBILA (*Aloe vera* (L.)
Burm. f.) EN LA ZONA COSTERA CENTRAL DEL ESTADO DE VERACRUZ**

**FINANCIAL ANALYSIS OF SABILO CULTIVATION (*Aloe vera* (L.) Burm. f.) IN THE
CENTRAL COASTAL ZONE OF THE STATE OF VERACRUZ**

Lagunes-Domínguez, A.¹, Castillo-Zamudio, R. I.¹, Pérez-Vázquez, A.^{1*}

¹Colegio de Postgraduados. Carretera Federal Veracruz-Xalapa, Rancho Tepetates, km 26.5. C. P. 91690. Municipio de Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, Veracruz. México. (parturo@colpos.mx).

RESUMEN

En diversos estados con clima semiárido o de trópico subhúmedo de México se cultiva la sábila (*Aloe vera* (L.) Burm. f.) debido a que cumplen con las características edafo-climáticas que requiere el cultivo, ocupando el estado de Tamaulipas el primer lugar en producción a nivel nacional, y el de Veracruz, el segundo lugar. En Veracruz el cultivo de sábila se encuentra distribuido en la cuenca del río La Antigua. Actualmente el cultivo se encuentra en expansión debido a su demanda y usos industriales, principalmente como bebida funcional, ingrediente de cosmética y en la medicina alternativa. La presente investigación tuvo como objetivo: Describir la situación actual del cultivo de sábila en la zona costera central del estado de Veracruz. La metodología utilizada fue el cuestionario, acompañado con investigación participativa. Con los datos obtenidos se realizó un análisis financiero para determinar los ingresos generados y el margen de ganancia del cultivo de sábila. Los resultados mostraron que la mayor inversión económica del cultivo se realiza para el establecimiento, la cual representa más del 50% de la inversión. Los valores obtenidos de VPN van de 93,185.20 a 45,492.02 y la TIR de 98% a 60%. Estos resultados mostraron que el cultivo de sábila es rentable.

Palabras clave: *Aloe vera* (L.) Burm. f., Análisis financiero, Veracruz

SUMMARY

Aloe (*Aloe vera* (L.) Burm. f.) is cultivated because it meets the soil-climatic characteristics required by the crop, with the state of Tamaulipas occupying the first place in production at the national level, and Veracruz, the second place. In Veracruz, the cultivation of aloe is distributed in the basin of the La Antigua River. Currently the crop is expanding due to its demand and industrial uses, mainly as a functional drink, ingredient of committing and alternative medicine. The objective of this study was to: Describe the current situation of the cultivation of aloe in the central coastal area of the state of Veracruz. The methodology used was the participatory research methods and a questionnaire. With the data obtained, a financial analysis was carried out to determine the income generated and the profit margin of the aloe crop. The results showed that the greatest economic investment of the crop is made for the establishment, which represents more than 50% of the investment. The VPN values obtained from from 93.185.20 to 45.492.02 and the TIR from 98% to 60%, helps to conclude that the aloe crop of is profitable.

Keywords: *Aloe vera* (L.) Burm. f., Financial analysis, Veracruz

1.1 INTRODUCCIÓN

La planta de *Aloe vera* (L.) Burm. f., conocida comúnmente como sábila, es originaria de África. Ésta tiene una larga e importante historia que se remonta a varios siglos atrás, como planta medicinal debido a sus propiedades para la salud humana. Es conocida en el continente americano desde el siglo XVI (Domínguez *et al.*, 2012). Muchas propiedades medicinales han sido atribuidas a esta planta, por ejemplo, acción desinfectante, antiviral, antibacterial, laxante, antiinflamatoria e inmunoestimuladora (Ni *et al.*, 2004). Destaca su actividad contra enfermedades de la piel, como

la dermatitis y contra los daños de la irradiación solar. También ayuda a las afecciones en la vista, desórdenes intestinales como estreñimiento, antihemorroidal, cicatrizante y laxante (Serrano, 2005).

A nivel mundial, la sábila se cultiva en países con climas semiáridos debido a la adaptación que tiene esta planta suculenta, esto hace que no se pueda desarrollar de manera eficiente en lugares que no cumplan con las necesidades climáticas del cultivo. Es así como se introduce en México, país que cuenta con este tipo de clima, lo cual lo posiciona como uno de los principales productores de sábila a nivel mundial (Pedroza y Gómez, 2006). Actualmente se le cultiva en los estados de San Luis Potosí, Campeche, Tamaulipas, Morelos, Puebla, Veracruz y Yucatán (INEGI, 2018). De los cuales el estado de Tamaulipas ocupa el primer lugar, con 4,424.39 ha, y el de Veracruz en segundo lugar, con 702 ha (SIAP, 2018).

Como se mencionó anteriormente, el estado de Veracruz participa a nivel nacional en el cultivo de sábila, principalmente en los municipios de Paso de Ovejas y Puente Nacional, pertenecientes a la cuenca del río La Antigua, con una superficie sembrada de 702 ha (SIAP, 2018), teniendo al municipio de Paso de Ovejas con la mayor superficie sembrada. Es importante resaltar que los cultivos de sábila en el estado de Veracruz por las características de los terrenos y de la infraestructura en la que se encuentran, estos no reciben riego, por lo que se encuentran la mayoría bajo la modalidad de temporal.

El análisis financiero es un estudio que permite determinar la posición financiera de una empresa, y a partir de ahí establecer acciones (Villegas, 2002). El análisis financiero en el rediseño de los agroecosistemas radica en identificar los aspectos económicos y financieros que muestran las condiciones de los costos de producción respecto al nivel de liquidez, solvencia, endeudamiento, eficiencia, rendimiento y rentabilidad, esto proporciona elementos para la toma

de decisiones, económicas y financieras (Infante, 1998). Los procesos del análisis financiero incluyen la tasa interna de retorno (TIR) y el beneficio-costo (B/C) (Herrera *et al.*, 1994).

En cualquier región del país el cultivo de la sábila presenta una problemática muy parecida, por ejemplo, una falta de caracterización de la tipología de productores y del propio sistema de producción, la rentabilidad, deficiente capacitación técnica, innovación tecnológica, y organización de los productores entre otros. Actualmente se desconoce cuál es la situación del cultivo de sábila en el estado de Veracruz, por lo que se desconocen la rentabilidad y problemáticas de éste. Por ello, el objetivo de este trabajo fue: Describir la situación actual del cultivo de sábila en la zona costera central del estado de Veracruz.

1.2 MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El presente trabajo se realizó en el municipio de Paso de Ovejas, Veracruz, México. Ubicado entre los paralelos 19°08' y 19°22' de latitud norte; los meridianos 96°20' y 96°38' de longitud oeste; altitud entre 10 y 400 m. Colinda al norte con los municipios de Puente Nacional y La Antigua; al este con los municipios de La Antigua, Veracruz y Manlio Fabio Altamirano; al sur con los municipios de Manlio Fabio Altamirano, Soledad de Doblado y Comapa; al oeste con los municipios de Comapa y Puente Nacional. Con un clima AW₀ (Figura 2) (SEFIPLAN, 2015).



Figura 2. Localización del municipio de Paso de Ovejas, en el estado de Veracruz.

Para obtener la información se aplicaron tres técnicas participativas: cuestionario, entrevista semiestructurada y lluvia de ideas. Para el análisis de la información obtenida se utilizó el modelo de Samaja y Bogdam que consiste en codificar la información, agrupar datos cuantitativos en porcentajes, frecuencias y sintetizar la información. Por otra parte, el análisis de ranqueo se clasificaron las problemáticas de mayor importancia que se determinaron en la lluvia de ideas, se realizó una matriz con los problemas, se agruparon de acuerdo al nivel de importancia, con la matriz completada se realizó el conteo de puntos de cada problema, para culminar con la sumatoria.

Las variables registradas fueron: Costos fijos, costos variables y costos totales. Para ello se aplicó un cuestionario para registrar las actividades e insumos utilizados en su producción. Para el análisis económico se determinó la rentabilidad económica como fue: Ingresos, egresos, tasa interna de retorno (TIR), valor actual neto (VAN), costo beneficio (relación C/B).

Análisis de la información

Una vez organizados los datos se inició el análisis de la información. La aplicación de los modelos de Samaja y Taylor y Bogdan supone llevar a cabo un proceso que incluye las etapas siguientes: a) codificar toda la información; b) agrupar datos cuantitativos en porcentajes y frecuencias; c) realizar tablas para sintetizar la información; d) efectuar la definición de categorías exhaustivas significativas que constituyeron las variables; e) realizar un estudio descriptivo más profundo (calculando distintos indicadores), acompañado de estudios estadísticos inferenciales; f) interpretar los datos en el contexto en que fueron recogidos; g) extraer conclusiones.

1.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis financiero

A nivel municipio, el cultivo de sábila se produce en las siguientes localidades de Paso de Ovejas, Tejón, Xocotitla, Limón, Matamateo y Loma de Nanche. La superficie total cultivada en el Municipio es de 702 ha y se estima que hay alrededor de 70 productores de sábila, tomando en cuenta a los que han establecido el cultivo desde que llegó al municipio, como a los productores que la están cultivando actualmente. En cuanto a los precios de ventas y el margen de ganancia para el cultivo en el municipio se sabe que genera ingresos de \$60,000 por ha al año según los precios de venta y unidad de producción. Sin embargo, al restarle la inversión (cultivo establecido) el margen de ganancia es de \$45,400 ha⁻¹.

Existen al menos tres organizaciones de productores de sábila en el municipio (SAGARPA, ahora SADER, no cuenta con una lista de productores). Aunque se han realizado intentos por tener una fileteadora en el Municipio de Paso de ovejas, este tipo de proyectos no han fructificado. Existe alguna transformación mínima por algunos productores (jugo, shampoo). Aunque normalmente la

mayor parte de los productores vende la penca como materia prima para la extracción del gel. Los compradores provienen del estado de Tamaulipas, quienes mandan a los cortadores de penca a cosechar una vez al año. El precio de venta por tonelada de sábila va de los 400 a 500 pesos.

A continuación, se detalla los productores (se colocan las iniciales de su nombre por secrecía), la superficie cultivada y municipio. Este grupo es liderado por IVR, grupo de productores con los que se trabajó en el presente trabajo, Cuadro 5.

Otro grupo es liderado NHM, se desconoce el estado actual. La lista de productores se presenta en el Cuadro 6.

Cuadro 5. Productores de sábila en el municipio de Paso de Ovejas, Veracruz.

No.	Productor	Ha	Localidad	Municipio
1	LOJA	3	Conejos	Puente Nacional
2	MAF	5	Paso de Ovejas	Paso de Ovejas
3	TLR	1	Paso de Ovejas	Paso de Ovejas
4	VHE	2.25	Paso de Ovejas	Paso de Ovejas
5	VRI	2	Paso de Ovejas	Paso de Ovejas
	Total	13.25		

Cuadro 6. Productores de sábila en el municipio de Paso de Ovejas, Veracruz.

Nº.	Productor	Ha*	Localidad	Municipio
1	GYGD	1.0	Chichicaxtle	Puente Nacional
2	HMAN	0.5	El Tejón	Paso de Ovejas
3	MAF	0.5	El Tejón	Paso de Ovejas
4	MFJR	0.5	El Tejón	Paso de Ovejas
5	OAG	1.0	Guayabal	Paso de Ovejas
6	OTF	1.0	Guayabal	Paso de Ovejas
7	YVD	1.0	Chichicaxtle	Puente Nacional
Total		5.5		

Datos obtenidos del año 2008.

Para el análisis financiero se realizaron tres grupos de productores de sábila para poder hacer una comparación de los resultados entre los distintos manejos identificados, razón por la que se dividieron en: 1) fertilización química, 2) abonado orgánico y 3) sin fertilización, lo cual permite tener un panorama más amplio sobre este cultivo.

El productor que utiliza la fertilización química, en cuanto al uso de insumos, invierte anualmente un total de \$4,200.00, en materia prima \$20,000.00 (solo en la siembra), en mano de obra \$9,400.00 y en servicios \$1,000.00.

En cuanto a inversión total, se consideraron dos factores, cuando se establece el cultivo y una vez que está establecido. En el establecimiento más el 10% de imprevistos, la inversión es de \$38,060.00, mientras que, cuando está establecido, la inversión más el 10% de imprevistos es de \$16,060.00, Cuadro 7.

Cuadro 7. Inversión total en el cultivo de sábila para su establecimiento y para su mantenimiento (establecido) con fertilización química.

Etapa	Inversión
Establecimiento	\$34,600.00
10% Imprevistos	\$3,460.00
Total	\$38,060.00
Establecido	\$14,600.00
10% Imprevistos	\$1,460.00
Total	\$16,060.00

Para el beneficio se realizó la resta de los ingresos menos los costos, beneficio (ganancia): \$43,940.00; la relación beneficio-costos se obtuvo con el beneficio menos los costos (B/C), B/C: \$2.7360; y la relación beneficio-inversión con el beneficio menos la inversión (B/I), B/I: \$0.9345.

El Valor Presente Neto y la Tasa interna de Retorno, se obtuvieron a partir del flujo de efectivo menos la inversión inicial, el flujo de efectivo es el resultado del ingreso menos el egreso (inversión) a cinco años en futuro, esto dio como resultado el VPN, mientras que la TIR se obtuvo de igualar a cero los flujos descontados a la inversión inicial, Cuadro 8.

Cuadro 8. Valor presente Neto y Tasa Interna de Rendimiento (fertilización química).

Valor Presente Neto (VPN)	Tasa Interna de Retorno (TIR)
\$93,185.20	98%

Para los datos obtenidos del productor que utiliza abonado orgánico, se utilizó la misma metodología para analizar la información. Sin embargo, hubo una diferencia en la inversión inicial debido al uso de insumos orgánicos en la fertilización, con un total de \$4,600.00. En el caso de mano de obra, utiliza la misma cantidad de jornales para cada actividad (siembra, control de malezas, deshierbe, corte de hoja y fertilización) que el productor que utiliza la fertilización química, por lo que la inversión es la misma, la cual da un valor de \$9,400.00.

En comparación al primer productor, se puede observar que su inversión inicial total (con 10% de interés) para el establecimiento del cultivo y para el cultivo establecido se incrementó en \$440, Cuadro 9.

Cuadro 9. Inversión en el establecimiento y mantenimiento del cultivo de sábila (abonado orgánico).

Etapa	Inversión
Establecimiento	\$35,000.00
10% Imprevistos	\$3,500.00
Total	\$38,500.00
Establecido	\$15,000.00
10% Imprevistos	\$1,500.00
Total	\$16,500.00

Al igual que lo anterior, el beneficio, la relación beneficio-costo y la relación beneficio-inversión, se obtuvieron de la misma la forma. Los resultados comparados con los resultados obtenidos por el primer productor variaron, esto se debe al tipo de fertilización, sin embargo, no hubo una diferencia significativa, beneficio: \$43,500.00; B/C: \$2.6364; y B/I: \$0.9540.

En comparación con el manejo químico, el manejo orgánico recibe un VPN y una TIR menor, esto puede deberse a que la aplicación y la inversión del insumo, es mucho mayor en comparación con la cantidad utilizada y precio del fertilizante químico, según los datos obtenidos, Cuadro 10.

Cuadro 10. VPN y TIR del cultivo de sábila con abonado orgánico.

Valor Presente Neto (VPN)	Tasa Interna de Retorno (TIR)
\$90,363.55	95%

En el caso del productor que no utiliza fertilización de ningún tipo, la inversión que realiza en insumos es mucho menor en comparación con los dos primeros productores, insumos: \$3,600.00, por lo que el empleo de jornales es menor: \$9,000.00.

En caso contrario a lo ocurrido con el abonado orgánico en comparación con la fertilización química, las inversiones realizadas en cuanto al establecimiento del cultivo y al cultivo establecido, disminuyó en \$1,100.00 y en comparación con el abonado orgánico, la diferencia fue de \$1,540.00, Cuadro 11.

Cuadro 11. Inversión en el establecimiento y mantenimiento del cultivo de sábila sin fertilización.

Etapa	Inversión
Establecimiento	\$33,600.00
10% Imprevistos	\$3,360.00
Total	\$36,960.00
Establecido	\$13,600.00
10% Imprevistos	\$1,360.00
Total	\$14,960.00

El beneficio, la relación beneficio-costo y la relación beneficio-inversión, se obtuvieron de la misma forma. Al igual que el caso anterior, los resultados obtenidos variaron por la falta de fertilización química u abonado orgánico y la utilización de menos jornales, obteniendo valores de beneficio: \$30,040.00; B/C: \$2.0080; y B/I: \$1.3302.

Y en comparación con ambos tipos de fertilización, obtuvo un VPN y una TIR mucho menor, debido a que no aplica ningún tipo de fertilización, Cuadro 12.

Cuadro 12. Valor Presente Neto y Tasa Interna de Retorno del cultivo de sábila sin fertilización.

Valor Presente Neto (VPN)	Tasa Interna de Retorno (TIR)
\$45,492.02	60%

Con base en los resultados obtenidos, el beneficio obtenido va de los \$43,940.00 a los \$30,040.00, la relación beneficio-costo de \$2.7360 a \$2.0080 y en la relación beneficio-inversión de \$0.9345 a \$1.3302. Según Villegas (2002) menciona indicadores iguales o similares a los utilizados en este trabajo y estos indicadores utilizar para saber si una empresa es rentable o no.

La mayor inversión en el cultivo se realiza en su establecimiento, esto coincide con lo reportado por Báez y Delgado (2014) en un estudio similar realizado en Tamaulipas y utilizan como indicadores producción, precio de venta, insumos, servicios, labores culturales, entre otros, quienes concluyen que la mayor inversión se realiza en el establecimiento del cultivo y que los productores de sábila recuperan sus costos de producción.

Entrevista semiestructurada

En la entrevista semiestructurada todos los productores que accedieron a responderla coincidieron. En cuanto a la importancia que tiene el cultivo para ellos, las respuestas comunes fueron: “mucho” y “muy importante”, esto se debe a que lo ven como una fuente de ingresos. 50 y 50%. Para el caso de la pregunta cómo iniciaron a cultivar sábila, la respuesta común fue: “por un amigo”, por la visión que tienen los productores más antiguos del cultivo. 50 y 25% fue “hace algunos años se inició como cultivo alternativo”. En qué tiene que hacerse para mantener la producción de su sábila, lo que los productores dijeron es: “buen mantenimiento”, pues saben lo que implica no atender en tiempo y forma las necesidades del cultivo. 50 y 50% “tener mercado”. Por último, en qué tiene que hacerse para incrementar la superficie de sábila y número de productores, hubo quienes dijeron “mejorar el mercado”, también mencionaron “apoyo y asesoría” y de la misma forma “unión de los productores”. Sin embargo, todo esto puede englobarse en “apoyos”.

Lluvia de ideas (Ranqueo)

En la lluvia de ideas se identificaron cinco problemas, posteriormente con esta información se elaboró un Ranqueo, siendo el problema de mayor importancia la comercialización del cultivo de sábila. Los problemas detectados fueron: 1) comercialización, 2) falta de apoyo, 3) falta de riego, 4) plagas y 5) mantenimiento, Cuadro 13.

Cuadro 13. Ranqueo de los principales problemas del cultivo de sábila en el municipio de Paso de Ovejas.

Problemas	Número de frecuencia	%
1	6	85.71
2	7	100
3	4	57.14
4	1	14.28
5	1	14.28

Como se observa en el cuadro anterior, el problema de mayor importancia fue la comercialización del cultivo, a los productores de sábila les gustaría tener un mercado local y darle un valor agregado a su producto, por esta razón la falta de apoyo se encuentra en segundo lugar de prioridad, seguido de la falta de riego, aunque el exceso de agua también es visto como un problema, debido a que el exceso de agua genera problemas de hongos en el cultivo. Por el exceso de humedad en épocas de lluvia también surge el problema de plagas y arvenses.

1.4 CONCLUSIÓN

El análisis financiero del cultivo de sábila mostró que los aquellos que tienen fertilización (química y orgánica) a pesar de que la aplicación de estos insumos es baja, el efecto se ve reflejado en la producción y provoca que la inversión realizada varíe (según el manejo), siendo la fertilización orgánica la que recibe mayor inversión; esto muestra la capacidad que tienen las plantas de sábila para la producción de gel sin importar la época del año, siempre y cuando el cultivo reciba un manejo adecuado. El análisis financiero mostró que el cultivo de sábila es rentable para los tres casos, donde la fertilización química tuvo un VPN: 93,185.20 y una TIR: 98%, la fertilización orgánica tuvo un VPN: 90,363.55 y una TIR: 95% y sin fertilización tuvo un VPN: 45,492.02 y una TIR: 60%.

La entrevista semiestructurada permitió identificar la importancia de este cultivo para los productores, debido a que es una fuente de ingresos importante para ellos y permite tener un panorama más amplio (a futuro) de este cultivo, lo que ayuda a la toma de decisiones; de igual manera permite saber qué soluciones buscan los productores a algunos problemas técnicos de producción, lo que ayuda a la elaboración de estrategias que apoyen e impulsen al cultivo de sábila en el estado de Veracruz.

La lluvia de ideas permitió identificar los principales problemas que enfrentan durante el proceso de producción de sábila, tomando como base, su experiencia en el cultivo. A pesar de contar con una ventana de comercialización en el estado de Tamaulipas, la comercialización resultó ser el problema principal de los productores, es decir carecen de un mercado seguro para la comercialización de su producto. Por ello, si se genera una cadena de valor de la sábila y subproductos, se podrá tener un mercado seguro para los productores.

1.5 LITERATURA CITADA

- Báez R. M. A. y J. G. Delgado R. (2014)** Análisis de los costos y rentabilidad de pequeños productores de sábila en municipio de Victoria, Tamaulipas pp. 1-14.
- Domínguez-Fernández R. N., I. Arzate-Vazquez, J. J. Chanona-Perez, J. S. Welti-Chanes, J. S. Alvarado-González, G. Calderon-Dominguez y G. F. Gutierrez-Lopez (2012).** El gel de *Aloe vera*: estructura, composición química, procesamiento, actividad biológica e importancia en la industria farmacéutica y alimentaria. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 11: 23-43.
- Herrera F., C. Velasco, H. Denen y R. Radulovich (1994)** Fundamentos de análisis económico. Guía para investigación y extensión rural. Serie técnica. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 61 p.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2018)** Consulta de especies y productos vegetales. <https://www.inegi.org.mx/> (marzo 2018).
- Infante V. A. (1998)** Evaluación financiera de proyectos de inversión. Editorial Norma. 300 p.
- Ni Y., D. Turner, K. M. Yates y I. Tizard (2004)** Isolation and characterization of structural components of *Aloe vera* L. leaf pulp. *International Immunopharmacology* 4: 1745-1755. <https://doi.org/10.1016/j.intimp.2004.07.006>
- Pedroza S. A. y F. Gómez L. (2006)** La Sábila (*Aloe* spp.). Propiedades, Manejo agronómico, Proceso Agroindustrial y de Mercado. Universidad Autónoma de Chapingo. Texcoco, México. 105 p.
- SEFIPLAN, Secretaria de Finanzas y Planeación del estado de Veracruz (2015)** Sistema de información municipal.

Serrano A. (2005) *Aloe vera: ¿Respalda la evidencia científica las cualidades que le atribuye la medicina natural?* *Metas de Enfermería* 8: 21-22.

SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2018) Anuario estadístico de la producción agrícola. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> (julio 2019).

Villegas V. E. (2002) Análisis financiero en los agronegocios. *Revista Mexicana de Agronegocios*. 10: 336-348.

**CAPÍTULO II. CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE SÁBILA (*Aloe vera* (L.)
Burm. f.) CULTIVADA BAJO DIFERENTES CONDICIONES AGROECOLÓGICAS**

MORFOLOGÍA DE SÁBILA EN CONDICIONES AGROECOLÓGICAS DIFERENTES

**MORPHOLOGICAL CHARACTERIZATION OF SÁBILA (*Aloe vera* (L.) Burm. f.)
GROWN IN DIFFERENT AGROECOLOGICAL CONDITIONS**

MORPHOLOGY OF ALOE IN DIFFERENT AGRO ECOLOGICAL CONDITIONS

Abimael Lagunes-Domínguez¹, Arturo Pérez-Vázquez¹, Andrés Antonio Acosta-Osorio², Rosa Isela Catillo-Zamudio^{1*},

¹Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz, Veracruz, México. ²Cátedra CONACYT en el Instituto Tecnológico de Veracruz. Unidad de Investigación y Desarrollo en Alimentos. Autor para correspondencia: rosychely@colpos.mx

RESUMEN

El cultivo de sábila (*Aloe vera* (L.) Burm. f.) a nivel internacional y en México ha tomado gran importancia en los últimos cinco años, debido a que de sus hojas se extrae un gel de uso extendido en la industria alimentaria, cosmética y farmacéutica. Su mercado se encuentra en expansión por la demanda de productos alimenticios con potencial nutracéutico. En México, la sábila se cultiva en diferentes estados y regiones del país, con diferentes condiciones agroecológicas. Sin embargo, se desconoce si dichas condiciones tienen algún efecto en las características morfológicas y contenido de gel en plantas de sábila. El objetivo fue comparar el efecto de dos regiones agroecológicas en las características morfológicas y contenido de gel en plantas de sábila. Se colectaron plantas en dos regiones productoras de sábila: 1) San Nicolás Tenexcalco y San Miguel Tecolacio, municipio de Chietla, Puebla y 2) Conejos, municipio de

Puente Nacional, Veracruz. Se colectaron seis plantas de sábila en dos plantaciones (tres plantas por plantación) de aproximadamente dos años de edad. Es decir, seis plantas para la época de sequía y seis en lluvia. Las variables morfológicas registradas fueron: largo, ancho, contorno, espesor, peso de hoja, peso de hoja útil, peso de residuos, peso del gel y peso de cáscara. Las variables edáficas analizadas fueron: pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, textura, densidad aparente, nitrógeno total, fósforo y potasio (NOM-SEMARNAT-2000). Las variables agroecológicas registradas para cada región fueron la elevación, temperatura media y precipitación. Para el análisis estadístico se utilizó el programa Rstudio. Se encontraron diferencias estadísticas significativas (Tukey; $P < 0.05$) entre las variables morfológicas de las hojas y contenido de gel en plantas de Puebla respecto a las de Veracruz, particularmente para la época de lluvias. Además, se encontró una correlación alta ($r \geq 70$) entre la variable espesor de hoja y peso de gel, lo cual podría usarse como un indicador de campo para calcular, de forma indirecta, el rendimiento de gel por hectárea cosechada. Se concluye que existen diferencias significativas en las características morfológicas y contenido de gel en plantas de sábila debido a las condiciones agroecológicas como son temperatura, precipitación y tipo de suelo.

Palabras clave: *Aloe vera* (L.) Burm. f., morfología, regiones agroecológicas, Puebla, Veracruz.

SUMMARY

The *Aloe vera* (L.) Burm. f. crop has been of great importance and in Mexico and internationally in the last five years, because a gel extracted from its leaves is widely used in the food, cosmetic and pharmaceutical industries. The demand of food products with nutraceutical potential favor its market expansion. In Mexico, aloe is grown in different states and regions different agro-ecological conditions. However, it is unknown whether these conditions effect or not the morphological characteristics and gel content of aloe plants. The purpose of the present

work was to compare the morphological characteristics and gel content of aloe plants grown in two agroecological regions. Plants were collected in two regions: 1) San Nicolás Tenexcalco and San Miguel Tecolacio, municipality of Chietla, Puebla and 2) Conejos, municipality of Puente Nacional, Veracruz. In each region were collected three plants, total six plants, of approximately two years of age, during the dry season and other six during the rainy season. The morphological variables recorded were: length, width, perimeter, thickness, leaf weight, useful leaf weight, residues weight, gel weight and leaf skin weight. The soil variables analyzed were: pH, electrical conductivity, organic matter, texture, apparent density, total nitrogen, phosphorus and potassium (NOM-SEMARNAT-2000). The agroecological variables recorded were, elevation, average temperature and precipitation for each region. The statistical analysis was performed using the Rstudio program. Puebla showed better morphological characteristics and gel content of leaves than Veracruz (Tukey $P < 0.05$), particularly during the rainy season. In addition, a high correlation ($r \geq 0.70$ a 0.84) was found between the leaf thickness and gel weight; this can be used as a field indicator to calculate gel yield per hectare harvested. It is concluded that there are significant differences in the morphological characteristics and gel content of aloe plants, due to the agroecological conditions, such as temperature, precipitation and soil characteristics.

Keywords: *Aloe vera* (L.) Burm. f., morphology, agro-ecological regions, Puebla, Veracruz.

2.1 INTRODUCCIÓN

La sábila (*Aloe barbadensis* Miller es sinónimo de *Aloe vera* (L.) Burm. f) es una planta suculenta que se cultiva en países con climas semiáridos; pertenece a la familia Asphodelaceae (*Liliaceae*) (Surjushe, 2008) y prospera preferentemente en climas secos (Bs), de 18 a 40 °C y puede llegar a crecer en lugares en donde las precipitaciones alcanzan una media anual de 400 a 2500 mm (Grindlay y Reynolds, 1986; INIFAP, 2012). En general, la planta de sábila se desarrolla

en cualquier tipo de suelo con alto contenido de materia orgánica y buen drenaje, no resiste bajas temperaturas y la alta radiación solar le afecta negativamente, (Pedroza-Sandoval *et al.*, 2006).

México se ubica en cuarto lugar dentro de los principales países productores de sábila a nivel mundial (Pedroza y Gómez, 2006). Los estados en México donde se cultiva comercialmente sábila son: Campeche, Durango, Morelos, Puebla, San Luís Potosí, Sonora, Tamaulipas, Veracruz y Yucatán, entre otros (INEGI, 2018) con una superficie total cultivada de 5,172.27 ha. El estado de Tamaulipas ocupa el primer lugar con 4,044.77 ha, seguida de Veracruz, con 700 ha y Puebla con 170 ha. En el estado de Veracruz, la sábila se cultiva bajo la modalidad de temporal, mientras que el estado de Puebla es bajo la modalidad de riego y temporal o temporada de lluvia (SIAP, 2017). Normalmente se cultiva en los estados con climas que varían de subhúmedo, semiseco y templado; prevaleciendo su cultivo en clima trópico subhúmedo (INEGI, 2019).

Las condiciones edafo-climáticas de las zonas áridas y semiáridas, aunque propicias para ciertas plantas, no es así cuando se cultivan comercialmente, como es el caso de la sábila, debido a la escasez de agua; aunado a ello, la salinidad de esos suelos produce el mismo efecto que el estrés provocado por sequías en las plantas. Sin embargo, debido a las propiedades fisiológicas de la sábila, ésta tolera el estrés hídrico, lo cual la convierte en un cultivo alternativo para estas zonas de clima trópico subhúmedo (Calzada y Pedroza, 2005).

Diversos estudios con sábila demuestran que las condiciones edafo-climáticas, así como la ubicación (cercanía al mar), afectan al desarrollo y crecimiento de la sábila (Flück, 1995; Saks e Ish-shalom-Gordon, 1995; Paez *et al.*, 2000; Tawfik *et al.*, 2001; Acosta, 2003; Franco-Salazar *et al.*, 2012). Franco-Salazar *et al.*, (2014) estudiaron dos plantaciones de sábila en Venezuela, una ubicada a 1.47 km de la orilla del mar (55 msnm) y otra a 0.52 km (7 msnm), encontrando que el menor desarrollo foliar se tuvo durante la época de sequías.

Alagukannan y Ganesh (2006) evaluaron la variabilidad entre diferentes ecotipos de sábila no comercial, correlacionando parámetros de crecimiento con rendimiento y calidad de gel, y encontraron que el peso de hoja se puede utilizar como indicador de selección de sábila para su cultivo. Nejat-zadeh-Barandozi *et al.*, (2012) recolectaron 50 genotipos de sábila de las principales zonas de cultivo en Irán, en lugares con diferente clima (trópico húmedo y árido) y un intervalo de elevaciones (de 5 a 94 msnm), y encontraron que la distribución de los genotipos de sábila proporcionó información para el manejo de los recursos genéticos en dichos sitios de origen; Kumar *et al.*, (2019) determinaron la diversidad y las relaciones entre 74 accesos de germoplasma de *Aloe* de la zona árida de la India, con intervalos de precipitación de 100 hasta 400 mm, y encontraron que las características morfológicas y bioquímicas se pueden utilizar para evaluar la diversidad genética entre genotipos de *Aloe*.

En México, no hay estudios donde se analice si las características morfológicas de las hojas de sábila y su contenido de gel difieren debido a las zonas agroecológicas en donde se le cultiva (plasticidad), así como por época del año, aspectos importantes para determinar su potencial agronómico y comercial, sin considerar su heredabilidad. Por tanto, el objetivo fue determinar la relación existente entre las características morfológicas de las plantas de sábila y su contenido de gel, con respecto a dos regiones agroecológicas y dos épocas de cosecha en los estados de Puebla y Veracruz.

2.2 MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Las dos áreas de estudio seleccionadas corresponden a regiones agroecológicas donde se cultiva sábila con fines comerciales en México, siendo: 1) San Nicolás Tenexcalco y San Miguel

Tecolacio, municipio de Chietla, en el estado de Puebla y 2) Conejos, municipio de Puente Nacional, en el estado de Veracruz.

La Figura 3 muestra la marcha de temperaturas y precipitación a lo largo del 2018 para los estados de Puebla y Veracruz. El régimen de lluvias en Puebla, corresponde a los meses de junio a septiembre, con una temperatura promedio de 17.9 °C y en Veracruz se registraron los mayores valores de precipitación entre los meses de junio a octubre con una temperatura promedio de 27.3 °C.

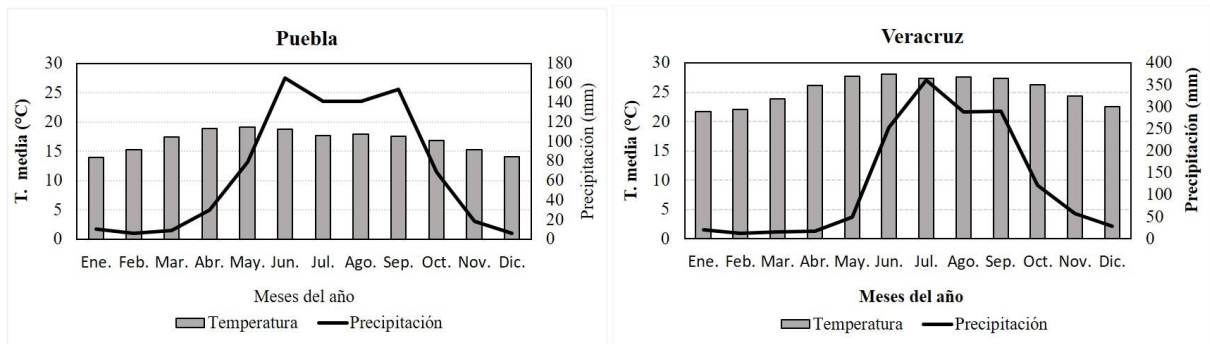


Figura 3. Climatograma de Puebla y Veracruz durante el año 2018.

Por otra parte, el Cuadro 14 muestra las características geográficas y climatológicas de cada región donde se localizan las plantaciones de sábila estudiadas.

Si bien la sábila crece preferente en climas Bs (semiáridos), el auge comercial que este producto ha generado en los últimos tres años, ha provocado un incremento de la superficie sembrada en estados como Puebla y Veracruz, que corresponden a Climas Aw (trópico subhúmedo), y que presentan un periodo de sequía de hasta de ocho meses, lo cual ha permitido el desarrollo adecuado de esta planta.

Material biológico

Se trabajó con plantas del genero *Aloe vera* (L.) Burm. f. y, considerando que su propagación es vegetativa, se supone que se partió de material genético similar en ambas regiones. En cada región, y por época de cosecha, se seleccionaron dos plantaciones de sábila. Para cada plantación se colectaron tres plantas adultas de dos años de edad aproximadamente. De cada planta, se cortaron de la parte basal a apical, las hojas maduras y tiernas. Para el registro de variables morfológicas y contenido de gel, se seleccionaron seis hojas maduras por planta.

Cuadro 14. Características climáticas de Puebla y Veracruz.

	Puebla	Veracruz
Localidad	San Nicolás Tenexcalco y San Miguel Tecolacio. Mpio. Chietla.	Conejos. Mpio. Puente Nacional
Coordenadas	18° 28' 47.8" LN, 98° 35' 24.0" LO y 18° 26' 18.1" LN, 98° 39' 40.6" LO	19° 18' 30.1" LN, 96° 28' 52.5" LO
Elevación (msnm)	1096 y 1102	136
Temperatura promedio anual (°C)	16.9	25.4
Precipitación promedio anual (mm)	827	1516
Tipo de clima*	AW ₀	AW ₁
Clima	Cálido subhúmedo y cálido húmedo.	Cálido subhúmedo.

	Puebla	Veracruz
Suelo	Vertisol, litosol, rendzina y feozem.	Vertisol.
Vegetación**	Selva baja caducifolia con vegetación secundaria arbustiva y arbórea, y matorrales encinosos con vegetación arbustiva.	Bosque bajo subtropical perennifolio con guarambo, jonote, guanacastle y encino.

Elaboración propia. *Basado en la clasificación de Köppen, modificada por García (2004). **Fuente: INAFED, 2018a e INAFED, 2018b

Variables registradas

Análisis de suelo: Este se basó en la norma NOM-SEMARNAT-2000. Para el pH se utilizó el método AS-02; para la conductividad eléctrica (CE) el AS-16; materia orgánica (MO) mediante el método AS-07 de Walkley y Black. La textura (tipo de suelo) mediante el procedimiento Bouyoucos (método AS-09). Para densidad aparente se pesaron 50 g de suelo, se colocaron en una probeta de 100 ml y se compactó; se registró la medida del volumen alcanzado en la probeta y se determinó la densidad mediante la Ecuación 1; la determinación de nitrógeno total por el método AS-25, por procedimientos de digestado; el fósforo y potasio a través de la metodología de *Grow Master* para el análisis de Nutrientes en Agricultura. Los tipos de suelos fueron Franco Arcillo-Arenoso, Franco-Arcilloso y Arcilloso.

$$D = \frac{M}{V} \dots \text{(Ecuación 1)}$$

Donde, D es la densidad del suelo (g/cm³), M es la masa (g) y la V es el volumen ocupado (cm³)

Caracterización morfológica: se midió el largo, ancho y contorno de hoja con una cinta métrica (1 ± 0.1 cm); se pesó la hoja (Phoja), la hoja útil (Phojaú), peso del gel (Pgel), peso de residuos

(Pres), peso de cáscara, corteza de la hoja, (Pcás), peso de tallo y raíz con una balanza de precisión (1 ± 0.01 g); el espesor de la hoja se midió con un Vernier (1 ± 0.1 cm). El corte de cada una de las hojas de la planta se hizo en el sentido de las manecillas del reloj, tomando seis hojas maduras por planta, de aproximadamente dos años de edad.

Análisis estadísticos

Las variables medidas y registradas cumplieron con una distribución normal y homogeneidad de varianza. De las variables morfológicas (largo, ancho, contorno, espesor, Phoja, Phojaú, Pgel, Pres y Pcás) se obtuvo la media y se realizó un análisis de varianza (ANOVA), para observar diferencias estadísticas entre las mismas, mediante la prueba Tukey ($P < 0.05$). Además, se realizaron pruebas de correlación (Pearson) para cada región agroecológica y por época del año a fin de analizar la relación existente con las variables morfológicas y contenido de gel. Adicionalmente, se determinó la asociación entre variables morfológicas y edafo-climáticas mediante un análisis de componentes principales (ACP). Para los análisis estadísticos se utilizó el software Rstudio (versión 3.6.1).

2.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis del suelo

Los análisis de las muestras de suelo de las zonas agroecológicas estudiadas (Cuadro 15) mostraron que, el pH en Puebla fue de mediano a fuertemente alcalino (7.4 y > 8.5) mientras que para Veracruz fue moderadamente ácido (5.1–6.5). La CE en Puebla indica un suelo moderadamente salino (2.1 - 4.0 dS m^{-1}) en comparación a Veracruz donde tuvo efectos despreciables de salinidad (0.15 y 0.26 dS m^{-1}). Por otra parte, se registraron porcentajes de N muy

altos para las dos regiones. Sin embargo, el resto de las variables edáficas no mostraron diferencias relevantes entre ambas zonas.

Si bien, las plantas de sábila pueden crecer en cualquier tipo de suelo con buen drenaje y poca materia orgánica (Pedroza-Sandoval *et al.*, 2006), su crecimiento es mejor en suelos franco-arcillo-arenosos con alto contenido de materia orgánica

Cuadro 15. Análisis edáfico de las dos zonas agroecológicas (valores promedio).

Variable	Puebla		Veracruz	
	Productor 1	Productor 2	Productor 1	Productor 2
Ph	7.4*	8.05	5.40	6.3
CE (dS m ⁻¹)	2.1	1.83	0.26	0.15
MO (%)	1.94	2.3	13.15	2.58
Tipo de suelo	Franco Arcillo- Arenoso	Franco-Arcilloso	Arcilloso	Franco-Arcilloso
Densidad aparente (g mL ⁻¹)	1.14	1.16	1.06	1.21
N (%)	5.79	8.03	5.88	12.92
P (mg/l)	4.25	1.35	3.5	0.5
K (mg/l)	20	13	8	5

*Valor promedio de tres repeticiones, según el método utilizado.

. Lo anterior manifiesta que, tanto las localidades de San Nicolás Tenexcalco y San Miguel Tecolacio (Puebla), como la localidad de Conejos (Veracruz), presentan buenas condiciones agroecológicas (temperatura, precipitación, tipo de suelo, entre otros) para el cultivo de sábila. Sin embargo, a largo plazo el riego que reciben las plantas de Puebla podría traer problemas de salinidad al suelo, lo cual se aprecia en los resultados del análisis de CE (dS m^{-1}).

Características morfológicas

El Cuadro 16 muestra el valor promedio \pm desviación estándar de las variables morfológicas de hojas maduras cosechadas en el mes de mayo, para la época de sequía y en el mes de agosto, para la época de lluvia en las dos regiones agroecológicas estudiadas (Puebla y Veracruz).

Los valores que reportan otros autores (Kumar *et al.*, 2019) para largo de hoja (30 - 60 cm), son similares para las hojas cosechadas en Veracruz en época de sequía y lluvia, pero ligeramente menores a las de Puebla en ambas épocas del año. En cuanto al ancho de hoja para Puebla, en época de sequía se encontraron valores inferiores a lo reportado en la literatura (3 - 10 cm) pero superiores en época de lluvia, mientras que el ancho de hoja en Veracruz, mostraron valores por debajo de las referencias en ambas épocas del año. Con respecto al espesor de hoja, se registraron valores significativamente ($P < 0.05$) mayores en estado de Puebla que en las de Veracruz.

El comportamiento de las variables largo, ancho y espesor de hoja, en la época de lluvia, tuvo la misma tendencia sobre los valores del peso de gel en ambas regiones. El peso de gel obtenido por otros autores (Alagukannan y Ganesh, 2006) varía entre 112 y 282 g/hoja. Estos valores son similares al peso obtenido en las hojas de sábila para el estado de Veracruz (169 g/hoja, sequía 173 g/hoja, lluvia) y ligeramente superior al registrado para Puebla (212 g/hoja, sequía y 291 g/hoja, lluvia).

Las variables morfológicas que registraron valores estadísticamente significativos ($p < 0.05$) en la época de lluvia fueron: espesor, peso de hoja, peso de hoja útil, peso de cáscara y peso de gel en el estado de Puebla y sólo espesor de hoja y tallo en Veracruz.

En la comparación de ambas regiones, las variables de largo y ancho, fueron significativamente ($p < 0.05$) mayores para el estado de Puebla con respecto a Veracruz, tanto en época de sequía como en lluvia, y sólo la variable espesor de hoja registro valores significativamente ($p < 0.05$) más altos para Puebla, en la época de lluvia.

Estos resultados demuestran que la precipitación y un mejor manejo agronómico en Puebla con disponibilidad de agua (riego rodado), permitió un mayor rendimiento de gel, con respecto a las plantaciones de Veracruz, bajo la condición de temporal (lluvia).

Este comportamiento coincide con Alagukannan y Ganesh (2006), quienes evaluaron las variables morfológicas de plantas de sábila recolectadas en diferentes condiciones edafo-climáticas en la India; estos autores encontraron valores similares al presente trabajo, registrando valores (mínimos y máximos) de largo de hoja en un intervalo entre 40.89 y 63.10 cm, 4.40 a 10.92 cm de ancho, 1.53 a 2.74 cm de espesor, 187.76 a 434.30 g de peso de hoja completa y 112.63 a 282.57 g de peso de gel. Esta variación entre los valores máximos y mínimos lo atribuyeron a la composición genética y a la capacidad de los ecotipos de sábila para absorber nutrientes del suelo

En este mismo contexto Kumar *et al.*, (2019) obtuvieron un rango de variación entre 30 a 57.5 cm en largo, 3 a 9.8 cm de ancho y 9.2 a 17.3 cm de espesor, en plantas de sábila recolectadas en la zona árida de la India. Esto evidencia que existe un efecto edafo-climático sobre la morfología de las plantas de sábila, debido principalmente a la disponibilidad de agua

Cuadro 16. Variables morfológicas en hojas maduras de Puebla y Veracruz para la época de sequía y lluvia del año 2018.

Variable	Puebla		Veracruz	
	Sequía	Lluvia	Sequía	Lluvia
Largo de hoja (cm)	60.78*±4.64 ^{ab}	68.02±4.75 ^a	51.45±17.18 ^c	53.23±19.92 ^{bc}
Ancho de hoja (cm)	9.09±0.78 ^{ab}	14.01±17.32 ^a	7.34±1.28 ^b	7.48±1.81 ^b
Contorno de hoja (cm)	21.24±1.83 ^a	21.90±1.11 ^a	17.30±3.40 ^b	16.21±3.78 ^b
Espesor de hoja (cm)	1.84±0.45 ^c	2.68±0.23 ^a	1.88±0.62 ^c	2.17±0.54 ^b
Peso de hoja (g)	468.57±75.17 ^b	715.16±101.47 ^a	392.20±200.51 ^b	430.51±237.29 ^b
Peso de hoja útil (g)	367.88±65.67 ^b	618.09±90.86 ^a	301.87±144.94 ^b	337.74±186.24 ^b
Peso de residuos (g)	100.68±25.24 ^a	97.07±29.06 ^a	90.33±59.19 ^a	92.76±57.56 ^a
Peso de gel (g)	212.17±49.30 ^b	291.87±58.12 ^a	169.28±97.62 ^b	173.26±130.86 ^b
Peso de cáscara (g)	155.70±27.70 ^b	326.21±37.87 ^a	132.58±67.91 ^b	164.47±77.13 ^b
Tallo (g)	644.27±123.10 ^a	639.36±93.75 ^a	595.68±74.48 ^a	388.62±142.29 ^b
Raíz (g)	680.67±173.69 ^a	447.79±95.43 ^{ab}	329.30±104.20 ^b	399.62±170.13 ^b

*Valor promedio de seis hojas maduras ± desviación estándar. Los superíndices a, b y c en hileras representan grupos homogéneos obtenidos mediante ANOVA con un nivel de significancia de Tukey (P<0.05).

En este sentido Franco-Salazar *et al.*, (2012) obtuvieron que la biomasa foliar, es decir el peso de hoja completa (en g) fue mayor en una plantación alejada del mar en época de lluvia, comparada con una plantación cercana al mar, esta variación se le atribuye a la salinidad del suelo. Esto puede compararse con los datos obtenidos en el presente trabajo, donde el peso de hoja y el peso de gel fueron significativamente ($P < 0.05$) mayores en Puebla, que corresponde a un estado más alejado del mar, con respecto al estado de Veracruz.

Cabe mencionar que las variables peso de gel, peso de hoja útil y peso de residuos fueron analizadas debido a que tienen una implicación comercial relevante para los agroindustriales de las regiones productoras, ya que quienes procesan los filetes extraídos de la hoja e intentan realizar propuestas de aprovechamiento de los residuos (cáscara y residuos) para generar productos de mayor valor económico. Por tanto, hubo la necesidad de cuantificar de forma indirecta la cantidad de gel en la hoja y relacionarlo con variables que puedan medirse de forma directa. Esto se realizó a través de la medición del contorno de hoja, largo y ancho y se correlacionó con el peso de gel, en ambas épocas del año. Además, se relacionó con el peso de hoja útil, que corresponde a la sección de hoja que entra a procesamiento para extracción de gel.

Correlación de las características morfológicas

Para la época de lluvia, las variables con una correlación alta fueron contorno de hoja con las siguientes variables: peso de hoja (0.80), peso de hoja útil (0.81), peso de gel (0.73), peso de cáscara (0.82) y peso de tallo (0.72). Asimismo, se encontró una correlación alta y significativa entre el peso total de la hoja con el peso de la hoja útil (0.96) y con el peso del gel (0.94). Esto evidencia que, en los cultivos de Puebla, durante la época de lluvia, el peso de las hojas de sábila es directamente proporcional al peso (contenido) del gel con fines comerciales.

En Veracruz se obtuvo una correlación alta entre el peso de hoja y las variables largo, ancho, contorno y espesor de las hojas para la época de sequía y lluvia. Esto indica que, en cualquier época del año, el contorno de hoja puede usarse como indicador de campo que puede medirse de forma sencilla, para estimar el peso de las hojas en las cosechas y el contenido de gel que puede extraerse.

En este sentido, Alagukannan y Ganesh (2006) encontraron que los rendimientos de hoja y de gel tienen una correlación alta, al igual que con la mayoría de las variables de crecimiento (altura de planta, extensión de la planta, número de hijuelos, tasa de crecimiento, número de hojas, volumen foliar, largo de hoja, ancho y espesor de hoja se correlacionaron con rendimiento de hoja y gel). Esto concuerda con los resultados obtenidos en el presente estudio, donde el peso de hoja se correlacionó con peso de gel en todos los casos. Nejatizadeh-Barandozi *et al.*, (2012) reportan una correlación negativa entre ancho de la hoja más grande, con peso de hoja. Esto difiere con lo encontrado en este trabajo para Veracruz en la época de sequía y lluvia. Kumar *et al.*, (2019) obtuvieron una correlación negativa entre las variables largo y espesor (-0.13), siendo esta correlación similar con lo obtenido en Puebla (-0.08) durante la época de sequía y contrario a lo obtenido en Veracruz donde se tuvieron correlaciones positivas (0.71 y 0.75) para sequía y lluvia, respectivamente.

Análisis de componentes principales

El análisis de componentes principales (ACP) para Puebla y Veracruz en la época de sequía se explica al 86% de las variables evaluadas con los componentes CP 1, CP2 y CP3.

La Figura 4-A, muestra el porcentaje de los datos que representa el CP 1 por sí solo y el porcentaje de los datos que representa el CP 2, junto con el CP 1; mientras que los valores numéricos representan las coordenadas de las variables. El resultado obtenido evidencia que las

variables agroecológicas de elevación (msnm), precipitación (mm), pH, CE, DA y K, tuvieron un efecto importante sobre las características morfológicas de las plantas de sábila: largo, ancho, contorno, espesor, peso de hoja, hoja útil, residuos, gel, cáscara (corteza de la hoja), tallo y raíz.

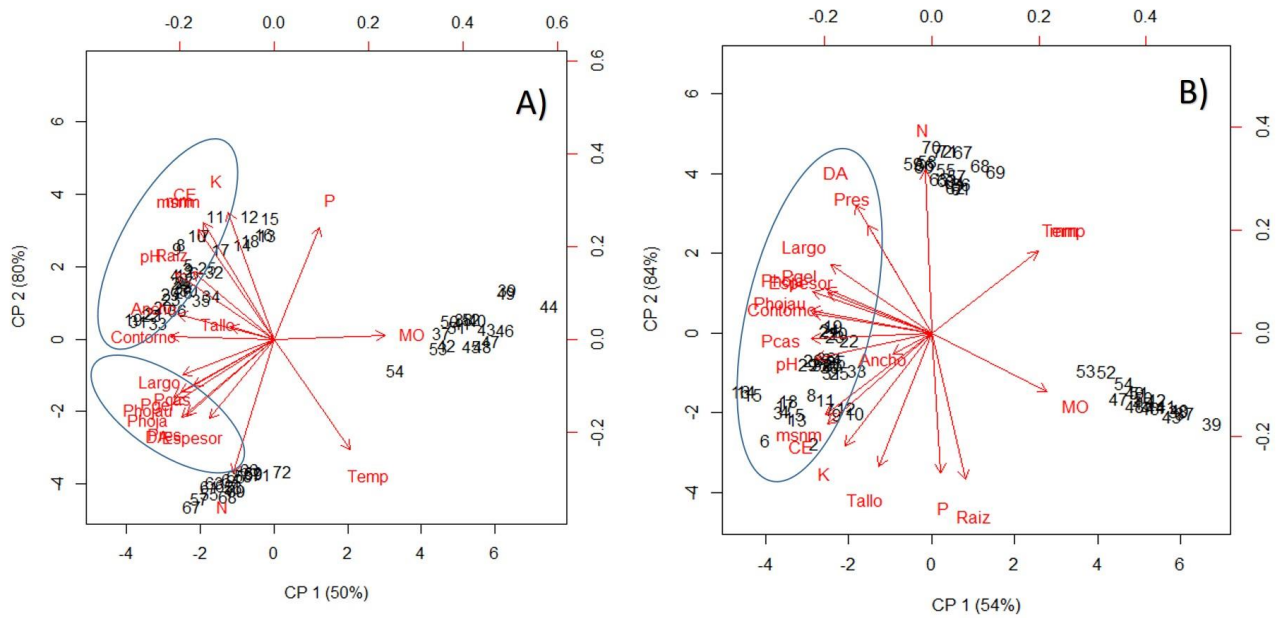


Figura 4. Análisis de componentes principales (ACP) para Puebla y Veracruz en A) Época de sequía y B) Época de lluvia.

Con respecto a la época de lluvia, los CP 1, C2 y CP 3 para Puebla y Veracruz, en su conjunto representaron al 89% de las variables evaluadas.

La Figura 4-B muestra el porcentaje que representa el CP1 junto con el CP2, así como las coordenadas de las variables evaluadas. Se observa que hubo efecto de las variables agroecológicas: msnm (elevación), pH, CE, DA, P y K, sobre las características morfológicas de las plantas de sábila: largo, contorno, espesor, peso de hoja, hoja útil, residuos, gel, cáscara, tallo y raíz.

En síntesis, durante la época de sequía las variables agroecológicas que tienen mayor efecto sobre las características morfológicas de las plantas de sábila fueron: msnm, mm (precipitación) y las características del suelo: pH, CE, DA y K tanto en Puebla como en Veracruz. En época de lluvia, msnm, pH, CE, DA, contenido de fósforo y potasio del suelo, fueron los parámetros que mayor influencia mostraron sobre las características morfológicas de las hojas de sábila y en la producción de gel en las plantas de sábila, para ambas regiones.

2.4 CONCLUSIÓN

Se encontró que hubo diferencias morfológicas en plantas de sábila en función de las características de las regiones agroecológicas (temperatura, elevación, precipitación y tipo de suelo). En Puebla se obtuvieron los valores mayores principalmente en peso de hoja, peso de hoja útil y peso de gel durante la época de lluvias, mientras que en Veracruz no se encontraron diferencias significativas entre época del año para estas variables. Cabe recalcar, que se encontró una alta correlación entre el peso del gel respecto a variables morfológicas como contorno de hoja, lo cual representa un indicador de campo para estimar de forma simple la cantidad de gel producido por hectárea, para cada zona y época del año. Se concluye que las zonas agroecológicas tienen un efecto importante en las características morfológicas y en el contenido de gel en las plantas de sábila.

2.5 LITERATURA CITADA

- Acosta de la L. L. (2003)** Principios agroclimáticos básicos para la producción de plantas medicinales. *Revista Cubana de Plantas Medicinales* 8: 1-5.
- Alagukannan G. and S. Ganesh (2006)** Variation and correlation studies in *Aloe vera* L. ecotypes. *Madras Agricultural Journal* 93: 279-282.

- Calzada R. A. M. y A. Pedroza S. (2005)** Evaluación físico-química del gel y jugo de la hoja de sábila (*A. barbadensis*) en diferentes prácticas de manejo. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas* 4: 93-101.
- Flück H. (1995)** The influence of climate on the active principles in medicinal plants. *Journal of Pharmacy and Pharmacology* 7: 361 - 383. <https://doi.org/10.1111/j.2042-7158.1955.tb12050.x>
- Franco-Salazar V. A., J. A. Véliz y L. Rojas de A. (2012)** Ecofisiología de *Aloe vera* (L.) Burm. f. en Guayacán, península de Araya, estado Sucre, Venezuela. *Interciencia* 37: 444-450.
- Franco-Salazar V. A., J. A. Véliz y R. Valerio C. (2014)** Algunos parámetros fisiológicos de *Aloe vera* (L.) Burm. f. (sábila) en Guayacán, península de Araya, estado Sucre, Venezuela. *Revista Multidisciplinaria del Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente* 26: 18-24.
- García E. (2004)** Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. Quinta edición. Instituto de geografía: Universidad Nacional Autónoma de México, México. pp: 19-49.
- Giuseppe C., B. Murillo-Amador and B. De Lucia (2016)** Propagation techniques and agronomic requirements for the cultivation of barbados *Aloe* (*Aloe vera* (L.) Burm. f.)-A Review. *Frontiers in Plant Science* 7: 1-14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01410>
- Grindlay D. and T. Reynolds (1986)** The *Aloe vera* phenomenon: a review of the properties and modern uses of the leaf parenchyma gel. *Journal of Ethnopharmacology* 16: 117-151. [https://doi.org/10.1016/0378-8741\(86\)90085-1](https://doi.org/10.1016/0378-8741(86)90085-1)

Hanson W. D. (1963) Heritability: In: W.D. Hanson & H. F. Robinson (Eds.), Statistical genetics and plant breeding, pp: 125–140. Publication 982, National Academy of Science, National Research Council, Washington, D.C. pp: 124–140.

INAFED, Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal (2018a)
Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México. Estado de Puebla: Chietla.
<http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM21puebla/municipios/21051a.html>
(septiembre 2018).

INAFED, Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal (2018b)
Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México. Estado de Veracruz Llave: Puente Nacional. <http://siglo.inafed.gob.mx/enciclopedia/EMM30veracruz/municipios/30134a.html>
(septiembre 2018).

INIFAP, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (2012)
Sábila. <http://www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Paquetes2012/133.pdf> (septiembre 2018).

INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2018) Consulta de especies y productos vegetales. <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/CEPAFOP/vege/NombreComun.aspx?op=0&subOp=0&c=11639&s=est#> (septiembre 2018).

INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2019) Climatología.
<https://www.inegi.org.mx/temas/climatologia/> (octubre 2019).

Kumar S., M. M. Azam, K. Venkatesan, A. Pancholy and R. N. Kulloli (2019) Morphological and Biochemical Variability in Aloe Germplasm in Hot Arid Region of India. *Journal of Herbs, Spices & Medicinal Plants* 25: 158-171.
<https://doi.org/10.1080/10496475.2019.1579147>

Nejatzadeh-Barandozi F., M. R. Naghavi, M. E. Hassani, Y. Mostofi, R.S. Mousavi and S. T.

Enferadi (2012) Diversity of Iranian aloe (*Aloe vera* L.) genotypes based on aloenin contents and some morphological traits, *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 87: 673-677. 10.1080/14620316.2012.11512929

Paez A., G. Michael G., M. E. Gonzalez and T. J. Tschaplinski (2000) Growth, soluble carbohydrates, and aloin concentration of *Aloe vera* plants exposed to three irradiance levels. *Environmental and Experimental Botany* 44: 133-139.

Pedroza S. A. y F. Gómez L. (2006) La Sábila (*Aloe* spp.). Propiedades, Manejo agronómico, Proceso Agroindustrial y de Mercado. Universidad Autónoma de Chapingo. Texcoco, México. 105 p.

Saks Y. and N. Ish-shalom-Gordon (1995) *Aloe Vera* L., a potential crop for cultivation under conditions of low-temperature winter and basalt soils. *Industrial Crops and Products* 4: 85-90.

SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2017) Anuario estadístico de la producción agrícola. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> (septiembre 2018).

Surjushe A., R. Vasani and D. G. Saple (2008) Aloe vera: a short review. *Indian Journal of Dermatology* 53: 163-166. doi: 10.4103/0019-5154.44785

Tawfik K. M., S. A. Sheteawi and Z. A. El-Gawad (2001) Growth and aloin production of *Aloe vera* and *Aloe eru* under different ecological conditions. *Egyptian Journal of Biology* 3: 149-159.

**CAPÍTULO III. EFECTO DE LAS CONDICIONES CLIMÁTICAS SOBRE EL
CONTENIDO DE ALOÍNA EN HOJAS DE SÁBILA (*Aloe vera* (L.) Burm. f.)**

**EFFECT OF CLIMATIC CONDITIONS ON THE ALOIN CONTENT ON ALOE LEAFS
(*Aloe vera* (L.) Burm. f.)**

Abimael Lagunes-Domínguez¹, Rosa Isela Catillo-Zamudio^{1*}, Andrés Antonio Acosta-Osorio^{2*},
Arturo Pérez-Vázquez¹

¹Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz, Veracruz, México. ²Cátedra CONACYT en el
Instituto Tecnológico de Veracruz. Unidad de Investigación y Desarrollo en Alimentos.
(rosychely@colpos.mx).

RESUMEN

México se posiciona como uno de los principales productores de sábila a nivel mundial y ocupa el primer lugar en superficie sembrada a nivel del continente americano. Actualmente el *Aloe vera* (L.) Burm. f. es demandado por sus componentes funcionales y bioactivos en la industria alimentaria, cosmética y uno de estos productos es la aloína. La aloína, es un compuesto bioactivo de color amarillento con olor y sabor amargo, utilizado actualmente en la industria farmacéutica por sus propiedades curativas. Aunque existen diversos trabajos sobre obtención y caracterización de aloína en especies de sábila, pero son nulos los trabajos que evalúen el efecto de variables climáticas y de suelo sobre el contenido de aloína en el país. Es por ello que el objetivo fue comparar el efecto de las condiciones climáticas y el estado de madurez de las hojas de sábila sobre el contenido de aloína. La producción de exudado varió entre zona agroecológica, época del año y madurez de la hoja; la concentración de aloína no se ve afectada por la zona agroecológicas, pero si sobre la época del año.

Palabras clave: *Aloe vera* (L.) Burm. f., aloína, zonas agroecológicas, época del año.

SUMMARY

Mexico is positioned as one of the leading producers of aloe in the world and occupies the first place in area planted at the level of the American continent. *Aloe vera* (L.) Burm. f. is currently sued for its functional and bioactive components in the food, cosmetic industry and one of these products is aloin. Aloine is a yellowish bioactive compound with a bitter smell and taste, currently used in the pharmaceutical industry for its healing properties. Although there are several works on obtaining and characterizing aloin in aloe vera species, but there are no studies that evaluate the effect of climatic and soil variables on the aloin content in the country. That is why the objective was to compare the effect of climatic conditions and maturity of the aloe leaves on the aloin content. Exudate production varied between agroecological zone, season and maturity; The concentration of aloin is not affected by the agroecological zone, but about the time of the year.

Keywords: *Aloe vera* (L.) Burm. f., aloin, agroecological zones, season.

3.1 INTRODUCCIÓN

En el continente americano, México se posiciona en primer lugar con 56% superficie destinada para la producción de sábila (Salas, 2013). Actualmente el mercado latinoamericano se encuentra en expansión debido a su uso en la medicina alternativa y a la demanda de productos orgánicos en las industrias (Pedroza et al., 2009). El producto generado a partir de la sábila, más usado y comercializado es su gel. Uno de los subproductos del proceso de obtención del gel es la aloína, un compuesto bioactivo que está tomando importancia en la industria farmacéutica, el cual se encuentra en los vasos capilares que se ubican entre la cáscara y el gel de la penca.

La sábila contiene muchos compuestos bioactivos pero el más conocido es la aloína (1,6- β -D-glucopiranosil-1,8-dihidroxi-3-(hidroximetil)-9(OH)-antraceno-9-one). La aloína es una sustancia

amarilla de sabor amargo y es un derivado C-glucósido de una antraquinona. Con un peso molecular de 418, su fórmula molecular es $C_{21}H_{22}O_9$. Se utiliza como laxante para tratar el estreñimiento del sistema digestivo. La aloína es una mezcla de dos diastereoisómeros, aloína A y B. La cantidad de aloína varía por la especie y condiciones de crecimiento (Patel y Patel, 2013).

Como se mencionó anteriormente, la aloína tiene efectos laxantes. El incremento de la actividad intestinal puede ser debido a la presencia de derivados de glucósidos antranoides de los cuales está compuesta la aloína principalmente. Debido a que estimula actividad del colon, acelerando el proceso (Celestino *et al.*, 2013). Otro uso de la es la cicatrización de heridas, ya que la solución de aloína puede estimular el cierre de heridas. Debido a esta propiedad la aloína puede ser utilizada para el tratamiento de heridas (Li *et al.*, 2017). Otros usos que tiene la aloína según sus propiedades es que tiene efecto en el cáncer, la diabetes, el sistema antioxidante, el sistema cardiovascular, las enzimas, la inflamación, entre otros.

La composición física y química de la sábila depende en gran medida de la especie, clima y condiciones de cultivo. Las zonas agroecológicas o agroclimáticas comprenden el clima, características edáficas, y sistemas de producción, potencialidades y limitaciones para los cultivos (FAO, 1997; White *et al.*, 2001).

El contenido de aloína en exudados de hojas está influenciado por factores genéticos (especies) al igual que la cantidad de gel. Los mayores contenidos de aloína se han encontrado en *A. marlothii* seguido de *A. arborescens* y en *A. claviflora* y *A. barbadensis*; Así mismo aumenta en estrés hídrico. El mayor contenido de aloína se encontró a 20% de disponibilidad de agua mientras que el menor contenido de aloína se encontró al 80% de disponibilidad de agua. La concentración de aloína se ve afectada por la edad de la planta, se ha encontrado que es mayor en plantas jóvenes; También varía en plantas parcialmente soleadas, pero no existen diferencias en

comparación con las plantas completamente soleadas (Paez *et al.*, 2000; Lucini *et al.*, 2013; Cardarelli *et al.*, 2017; Hazrati *et al.*, 2017).

La técnica para la cuantificación de la aloína utilizada es la cromatografía líquida de alta eficiencia o HPLC, por sus siglas en inglés, debido a que este es un método que sirve para la caracterización y cuantificación de compuestos bioactivos, diversos autores (Gajbhiye y Maiti, 2010; Mandrioli *et al.*, 2011; Chiang *et al.*, 2012 y Brown *et al.*, 2014) son los que han descrito esta metodología para el análisis de la aloína, siendo la metodología descrita por Brown *et al.*, (2014) en la cual se basa este trabajo.

Sin embargo, existen pocos o nulos trabajos sobre la caracterización y cuantificación de aloína bajo el efecto de diferentes condiciones climáticas. Por tanto, el objetivo del presente trabajo fue comparar el efecto de las condiciones climáticas y el estado de madurez de las hojas de sábila sobre el contenido de aloína.

3.2 MATERIALES Y MÉTODOS

Las plantas de sábila se obtuvieron de dos estados productores sábila con fines comerciales durante los meses de mayo, con una precipitación media para Puebla de 79 mm y Veracruz de 50 mm, y agosto, con una precipitación media para Puebla de 141 mm y Veracruz de 285 mm, 2018. Las colectas fueron realizadas en Chietla, Puebla (18° 28' 47.8" LN, 98° 35' 24.0" LO y 18° 26' 18.1" LN, 98° 39' 40.6" LO, respectivamente) y Puente Nacional, Veracruz (19° 18' 30.1" LN, 96° 28' 52.5" LO), tomando tres plantas por plantación tanto en la época de sequía y lluvia en ambos estados.

Se obtuvieron 16 tratamientos; ocho en la época de sequía y 8 en la época de lluvia, separadas por lugar de procedencia, estado de madurez (maduras y tiernas) y estas a su vez se dividieron en

hoja completa y hoja para procesar (sin cola y punta); las muestras se analizaron por duplicado. La aloína se colectó por escurrimiento durante 30 minutos por hoja, realizándose en dos etapas: la primera se realizó cuando se desprendió la penca del tallo (hoja completa) y la segunda cuando se cortaron la cola y punta de la penca, a los 13 y 33 cm respectivamente. Posteriormente se ultra congeló a $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ y se liofilizó en un equipo LABCONCO, modelo FreeZone 1, en condiciones de $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$ y 0.034 mbar.

El método para la cuantificación y determinación de aloína utilizado fue el de Cromatografía Líquida de Alta Eficiencia (HPLC por sus siglas en inglés), para determinar la aloína A y B. Los viales se prepararon con una dilución realizada de 50 μg de extracto seco de aloína en 500 μl de agua Milli-Q y 500 μl de metanol grado HPLC, posteriormente se tomó 500 μl de esa dilución y se filtró a través de un acrodisco de 0.2 μm en el vial HPLC, aforándolo a 1 ml con 500 μl de metanol grado HPLC filtrado de la misma forma, logrando una concentración de 25 $\mu\text{g}/\text{ml}$.

El estándar de referencia utilizado para la curva de calibración fue Aloin from *Aloe barbadensis* Miller leaves, =97%, 25 mg; para esto se realizaron 7 puntos a partir de una solución madre, siguiendo la metodología de Brown et al., 2014, lo cual se detalla a continuación: punto 1) 50 $\mu\text{g}/\text{ml}$ (500 μl de solución madre con 500 μl de metanol grado HPLC), punto 2) 25 $\mu\text{g}/\text{ml}$ (250 μl de solución madre con 750 μl de metanol grado HPLC), punto 3) 10 $\mu\text{g}/\text{ml}$ (100 μl de solución madre con 900 μl de metanol grado HPLC), punto 4) 5 $\mu\text{g}/\text{ml}$ (100 μl del punto 1 con 900 μl de metanol grado HPLC), punto 5) 1 $\mu\text{g}/\text{ml}$ (100 μl del punto 3 con 900 μl de metanol grado HPLC), punto 6) 0.5 $\mu\text{g}/\text{ml}$ (100 μl del punto 4 con 900 μl de metanol grado HPLC) y punto 7) 0.3 $\mu\text{g}/\text{ml}$ (300 μl del punto 5 con 700 μl de metanol grado HPLC) (Figura 5).

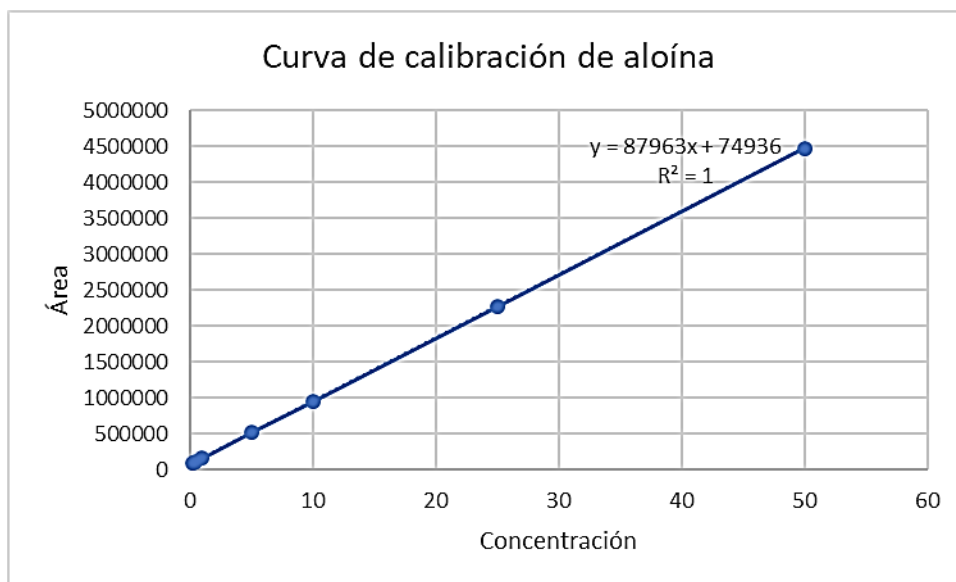


Figura 5. Curva de calibración de aloína.

Los solventes utilizados fueron agua Milli-Q con ácido acético glacial (Fase A) y Acetonitrilo con ácido acético glacial, (v/v) a 0.1% y filtrados con un filtro de nylon de 0.2 μm ; con un flujo de 1.850 ml/min, con un tiempo de 18 minutos por corrida; con condiciones de elución isocrática para la Fase B de 17% hasta el minuto 11:59, 100% hasta el minuto 13:59 y 17% hasta el minuto 18. Las condiciones de HPLC fueron detector UV a 357 nm, columna C_{18} a una temperatura de 30 $^{\circ}\text{C}$

El análisis de los resultados obtenidos se realizó según la metodología descrita por Brown et al., 2014, para obtener el porcentaje de aloína con la siguiente formula: aloína, % (w/w) = $[(C)(FV)(D)(100\%)]/W$ donde C = concentración ($\mu\text{g}/\text{ml}$) del análisis de la regresión lineal, FV = el volumen final (ml) de la preparación de la muestra, D = factor de dilución de la preparación de la muestra, y W = el peso de la muestra (mg). Adicionalmente se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para determinar diferencias entre los tratamientos y pruebas de correlación de Pearson para medir relaciones del contenido de aloína con variables climáticas.

3.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimiento

El número de hojas fue mayor en el estado de Veracruz comparado con el número de hojas obtenidas en el estado de Puebla en plantas de sábila; sin embargo, el peso total de hojas maduras y tiernas no se diferenció entre estos; los mayores rendimientos de exudado seco (ES) se obtuvieron durante la época de lluvia, entre la comparación de rendimiento entre hojas maduras y tiernas los valores mayores se obtuvieron en las tiernas para ambos estados; caso similar al rendimiento de exudado seco/kg de hoja (Cuadro 17).

Cuadro 17. Rendimientos de acíbar (base seca) de hojas de sábila maduras y tiernas en dos épocas de cosecha.

Variable	Hojas maduras				Hojas tiernas			
	Sequía		Lluvia		Sequía		Lluvia	
	Puebla	Veracruz	Puebla	Veracruz	Puebla	Veracruz	Puebla	Veracruz
No. de hojas	44	58	44	61	45	51	49	53
Kg de hoja	20.49	22.16	31.08	26.56	14.08	15.95	25.88	21.42
ES (g)	21.3	19.3	50.75	35.52	43	33.8	76.41	49.72
Rendimiento	1.03	0.87	1.59	1.33	3.05	2.11	2.95	2.32

Rendimiento= exudado seco/kg de hoja fresca

La diferencia en el número de hojas entre zonas agroecológicas se debe al manejo que reciben los cultivos en estas, es importante mencionar que los cultivos de sábila en Puebla se encuentran

bajo riego, mientras que los cultivos en Veracruz se encuentran bajo temporal; esto provoca que los tiempos de cosecha sean diferentes para ambos cultivos, donde en Puebla se cultiva tres veces al año y en Veracruz dos. Los rendimientos de exudado concuerdan con lo reportado en la literatura, donde la mayor producción se encuentra en las hojas tiernas. Sin embargo, no se observan diferencias marcadas entre época del año (sequía y lluvia), esto puede deberse a que la producción de exudado probablemente no tiene relación con la concentración de aloína, debido a que en el exudado se encuentran otros compuestos bioactivos.

Análisis de varianza

Para el porcentaje de aloína A, los resultados obtenidos en el ANOVA muestran que para HMC no existe diferencia estadística ($p > 0.05$) entre zonas agroecológicas y épocas del año; para HMP no se encontraron diferencias entre zonas agroecológicas, pero sí entre épocas del año, encontrándose una concentración mayor en época de sequía; caso similar a HTC y HTP (Cuadro 18).

En el caso de aloína B, en el ANOVA no se encontraron diferencias estadísticas ($p > 0.05$) entre zonas agroecológicas y época del año para HMC, HTC y HTP; caso contrario a HMP, donde no se encontraron diferencias entre zonas agroecológicas, pero sí entre época del año, siendo mayor en época de lluvia (Cuadro 19).

Cuadro 18. Contenido de aloína A (mg/mg exudado seco) en el extracto obtenido en época de sequía y lluvia en dos zonas agroecológicas.

Variable	Sequía		Lluvia	
	Puebla	Veracruz	Puebla	Veracruz
HMC	9.41±0.02 ^a	9.48±0.19 ^a	8.42±3.80 ^a	7.46±0.40 ^a
HMP	11.12±0.92 ^a	8.56±1 ^{ab}	6.41±1.18 ^b	6.81±0.59 ^b
HTC	8.38±0.08 ^a	9.19±0.70 ^a	6.20±0.20 ^b	6.60±0.20 ^b
HTP	9.33±0.55 ^a	9.22±0.56 ^a	5.54±0.72 ^b	6.90±0.63 ^{ab}

HMC= hoja madura completa, HMP= hoja madura procesada, HTC= hoja tierna completa, HTP= hoja tierna procesada.

Cuadro 19. Contenido de aloína B en época de sequía y lluvia en dos zonas agroecológicas.

Variable	Sequía		Lluvia	
	Puebla	Veracruz	Puebla	Veracruz
HMC	6.96±0.29 ^a	7.24±0.31 ^a	6.31±1.93 ^a	4.63±0.41 ^a
HMP	7.68±0.24 ^a	6.81±0.56 ^a	4.98±0.08 ^b	4.01±0.20 ^b
HTC	6.87±0.26 ^a	6.54±1.02 ^a	4.90±1.02 ^a	3.71±0.82 ^a
HTP	6.86±0.18 ^a	6.77±0.60 ^a	5±1.31 ^a	4.43±0.19 ^a

HMC= hoja madura completa, HMP= hoja madura procesada, HTC= hoja tierna completa, HTP= hoja tierna procesada.

Los valores obtenidos de aloína A y B fueron mayores que los reportados por Pandey et al., 2016, en un estudio donde evaluaron la producción de aloína de plantas con crecimiento natural y crecimiento *in vitro* en plantas de sábila, esta diferencia puede ser el resultado del tipo de manejo al que se sometieron las plantas de ambos estudios; los valores obtenidos indican que existe una menor concentración de aloína B en el exudado de las plantas de sábila, esto se debe a que la aloína B se forma a partir de la aloína A. Los resultados concuerdan con lo reportado por Franco-Salazar et al., 2014 y Hazrati et al., 2017, quienes encontraron mayores cantidades de aloína en plantas con estrés hídrico.

3.4 CONCLUSIÓN

Los resultados obtenidos indican que existe una mayor producción de exudado en la temporada de lluvia, sobre todo en las hojas tiernas de las plantas de sábila y que existe un efecto de la sequía en la concentración de aloína A y B.

3.5 LITERATURA CITADA

Brown P. N., R. Yu, C. H. Kuan, J. Finley and E. M. Mudge (2014) Determination of Aloin A and Aloin B in *Aloe vera* Raw Materials and Finished Products by High-Performance Liquid Chromatography: Single-Laboratory Validation. *Journal of AOAC International* 97: 1-7.

Cardarelli M., Y. Roupael, M. Pellizzoni, G. Colla and L. Lucini (2017) Profile of bioactive secondary metabolites and antioxidant capacity of leaf exudates from eighteen *Aloe* species. *Industrial Crops & Products* 108: 44-51.

Celestino V. R. L., H. M. L. Maranhão, C. F. B. Vasconcelos, C. R. Lima, G. C. R. Medeiros, A. V. Araújo and A. G. Wanderley (2013) Acute toxicity and laxative activity of *aloe ferox* resin. *Revista Brasileira de Farmacognosia* 3: 279-283.

Chiang H.-M, Y.-T. Lin, P.-L. Hsiao, Y.-H. Su, H.-T. Tsao and K.-C. Wen (2012)

Determination of Marked Components —aloin and aloe-emodin— in *Aloe vera* before and after hydrolysis. *Journal of Food and Drug Analysis* 20: 646-652.

Franco-Salazar V. A., J. A. Véliz, y R. Valerio C. (2014) Algunos parámetros fisiológicos de

Aloe vera (L.) burm. f. (sábila) en Guayacán, península de Araya, estado Sucre, Venezuela.

Revista Multidisciplinaria del Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente 26: 18-24.

Gajbhiye N. A. and S. Maiti (2010) Distribution of aloin-A in different leaves of *Aloe*. *Indian*

Journal of Horticulture 64: 563-566

Hazrati S., Z. Tahmasebi-Sarvestani, A. Mokhtassi-Bidgoli, S. A. M. Modarres-Sanavy, H.

Mohammadi and S. Nicola (2017) Effects of zeolite and water stress on growth, yield and chemical compositions of *Aloe vera* L. *Agricultural Water Management* 181: 66-72.

Li L.-J., S.-Q. Gao, L.-H. Peng, X.-R. Wang, Y. Zhang, Z.-J. Hu and J.-Q. Gao (2017)

Evaluation of efficacy of aloin in treating acute trauma in vitro and in vivo. *Biomedicine & Pharmacotherapy* 88: 1211-1219.

Lucini L., M. Pellizzoni and G. P. Molinari (2013) Anthraquinones and b-polysaccharides

content and distribution in *Aloe* plants grown under different light intensities. *Biochemical Systematics and Ecology* 51: 264-268.

Mandrioli R., L. Micolini, A. Ferranti, S. Fanali and M. A. Raggi (2011) Determination of

aloe emodin in *Aloe vera* extracts and commercial formulations by HPLC with tandem UV absorption and fluorescence detection. *Food Chemistry* 126: 387-393.

FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (1997)

Zonificación agro-ecológica. 14 p.

Pandey D. K., S. Parida and A. Dey (2016) Comparative HPTLC analysis of bioactive marker

barbaloin from in vitro and naturally grown *Aloe vera*. *Revista Brasileira de Farmacognosia* 26: 161-167.

Patel K. and D. K. Patel (2013) Medicinal importance, pharmacological activities, and analytical

aspects of aloin: A concise report. *Journal of Acute Disease* 262-269.

Pedroza S. A., F. Gómez L., Samaniego-Gaxiola, J. A. T. Calzada R. y J. Ruiz T. (2009)

Caracterización del proceso de industrialización y comercialización de la sábila: Estudio de caso. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas* 8: 241-246.

Paez A., G. M. Gebre, M. E. Gonzalez and T. J. Tschaplinski (2000) Growth, soluble

carbohydrates, and aloin concentration of *Aloe vera* plants exposed to three irradiance levels. *Environmental and Experimental Botany* 44: 133-139.

Salas Z. M. E. (2013) Análisis del Comercio de Materias Primas Derivadas de Sábila en el

Mercado de los Estados Unidos 1999-2012. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 3 p.

White D. H., G. Lubulwa, K. Menz, H. Zuo, W. Wint and J. Slingenbergh (2001) Agroclimatic

classification systems for estimating the global distribution of livestock numbers commodities. *Environment International* 27: 181-187.

CONCLUSIONES GENERALES

Las técnicas de investigación participativa en el caso del cuestionario (análisis financiero) mostró que el cultivo de sábila en la zona costera central del estado de Veracruz es rentable para los tres grupos (fertilización química, orgánica y sin fertilización), donde la fertilización química tuvo un VPN y una TIR mayor que los cultivos que reciben otro tipo de manejo, sin embargo, estos resultados evidencian que un manejo adecuado de las plantas de sábila puede incrementar la producción del cultivo independientemente de la época del año. La entrevista semiestructurada reveló como iniciaron los productores de sábila a cultivarla, las soluciones que ellos buscan para mejorar su producción y el futuro que prevén para el cultivo en el municipio. La lluvia de ideas (rankeo) permitió identificar los principales problemas del cultivo de sábila a través de la experiencia de los productores de este cultivo, lo que permite buscar posibles soluciones.

Se encontró que existen diferencias morfológicas en las plantas de sábila respecto a las zonas agroecológicas, particularmente en la época de lluvia, para las plantas de Puebla donde se obtuvieron los mayores valores principalmente en peso de hoja, peso de hoja útil y peso de gel. Además de que las condiciones edafo-climáticas afectan el crecimiento de las plantas de sábila. Por lo tanto, se concluye que las zonas agroecológicas influyen en el contenido de gel de las plantas de sábila, por lo que no se rechaza la hipótesis nula planteada.

Existe mayor producción de exudado en las hojas tiernas de las plantas de sábila, sobre todo en época de lluvia y en las hojas tiernas; además hay un efecto de la sequía sobre la concentración de aloína, pero no entre zonas agroecológicas, por lo que no existe un efecto de éstas sobre la concentración de aloína, pero si existe diferencia en la producción de exudado.