

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA  
“ANTONIO NARRO”**

**DIVISION DE AGRONOMIA**



**Resistencia estomática en sábila (Aloe vera L.) bajo condiciones variables de déficit hídrico en el suelo y temperatura de la hoja.**

**Por:**

**VICTOR MANUEL BARRIOS SANCHEZ**

**TESIS**

**Presentada como requisito parcial  
para obtener el título de:**

**INGENIERO AGRONOMO EN PRODUCCION**

**Buenavista, Saltillo Coahuila, México  
Abril del 2004**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”**

**DIVISIÓN DE AGRONOMIA**

**Resistencia estomática en sábila (Aloe vera L.) bajo condiciones variables de déficit hídrico en el suelo y temperatura de la hoja.**

**TESIS**

Presentada por:

**Víctor Manuel Barrios Sánchez**

Que somete a consideración del H. Jurado examinador

como requisito para obtener el título de:

**INGENIERO AGRONOMO EN PRODUCCION**

El presidente del jurado

---

Dra. Diana Jasso Cantú  
Asesor principal

---

Dr. Raúl Rodríguez García  
Asesor

---

Ing. Carlos Rojas Peña  
Asesor

**COORDINADOR DE AGRONOMIA**

---

M. C. Arnoldo Oyervides García  
Buenavista, Saltillo Coahuila, México

Abril de 2004

## **AGRADECIMIENTOS**

**A DIOS** por darme la gran dicha de vivir; realizar mis metas, mis sueños, concluirlos y por darme un día mas de vida.

A la **Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”** por haberme permitido forjar parte de mi vida en sus aulas, adoptarme como su hijo y haberme a cobijado en el transcurso de mis estudios, con la esperanza de que sus egresados la hagan grande.

A la **Dra. Diana Jasso Cantú** por su tiempo y paciencia en la culminación de este trabajo.

Al **Dr. Raúl Rodríguez García** por su colaboración y dedicación.

Al **Ing. Carlos Rojas Peña** por el apoyo moral y sincera amistad que me brindo durante mi estancia en esta institución.

A la **Lic. Sandra Roxana López Betancourt** por su apoyo en la elaboración de este trabajo.

Al **Ing. José Alexander Gil Marín** por su apoyo en la elaboración de este trabajo.

Agradezco al Sr. José Cabrera Álvarez, Apolinar Rangel Garibaldi y Jaime Alvarado Vázquez por su apoyo en la construcción de las estructuras de sombra y en las labores de campo.

A mis compañeros de la generación **XCVI** por todo los momentos que compartimos juntos.

A ustedes muchas gracias.

## **DEDICATORIA**

Con respeto, admiración y con mucho cariño a mis padres:

**Gabina Sánchez Flores**

**José Luis Barrios Arizpe**

Por el inmenso amor que han derramado sobre mí, por saber perdonar mis errores y enseñarme a levantar cuando se ha caído; por sus desvelos y fatigas que sin queja han pasado.

Por ser como son y por que gracias a ustedes soy lo que he logrado ser, a cada uno de ustedes se los dedico con mucho amor.

A ustedes que sin esperar nada a cambio dan su vida por proporcionar a sus hijos un futuro mejor. Gracias a ustedes que no tengo con que pagarles y son lo mejor que me ha dado Dios en mi vida.

**A mi hermano y hermana**

**Maria de los Ángeles**

**y**

**José Alejandro**

A ti Ángeles por darme tu cariño y amistad, a ti Alejandro por darme consejos y por tu amistad, eres el mejor amigo que he tenido en mi vida siempre has estado conmigo en la buenas y en las malas, a ustedes dos nunca los olvidaré y estaremos juntos hasta la eternidad.

**A mis abuelitos:**

**Manuela Velona (†)**

**Maria Santos Flores Alcántara**

**Juan Barrios Galindo (†)**

**Leonardo Sánchez Neri (†)**

Por ser la base de mi familia y por que siempre los recordaré.

**A mis tíos y tías**

**Bonifacio, Gaudencio, Feliciano, Isidro, Nivarda, Alberta.**

A ustedes por apoyarme moralmente y económicamente, por sus consejos e ideas, amistad y por permitirme ser uno mas de su familia.

A todas aquellas mujeres que han tenido un lugar importante en mi vida y que han sido musas de inspiración.

## **A mis amigos:**

Ing. Plutarco T., Ing. Ángel L., Ing. Julio P., Ing. Ignacio P., Ing. Héctor J., Ángel S., Ing. Ángel A., Ing. Maximino S., Ing. Octavio S., Ing. Edgar Q., Ing. Manuel T., Ing. Eduardo C., Ing. Hugo A., Ing. Cristino C., Ing. Mario D., A., Ing. Nelson A., Daniel Ch., Celestino P., Luis S., Luis S., Manolo S., Alfredo C., Pedro C., Arturo P., Agustín C., Alberto U., Omar R., Benjamín P., Gerardo Ch. cci Jorge Luis C., Lic. Luis Hernán, Sergio Z., Hugo C., Javier C., Med. Juan M. A., Rondalla Voces y Guitarras, y a todos aquellos que por el momento no me acuerdo, por los momentos que disfrutamos juntos y por la gran amistad que tenemos, esperando que nunca cambie .

## INDICE DE CONTENIDO

	Página
AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIA	iii
INDICE DE FIGURAS	viii
INDICE DE CUADROS	xi
I. INTRODUCCION	1
Objetivos	3
Hipótesis	4
II. REVISION DE LITERATURA	5
2.1 Origen e Historia	5
2.2 Descripción Botánica	8
2.3 Composición química	15
2.4 Industrialización	17
2.5 Usos	18
2.6 Aspectos fisiológicos de la planta	20
2.6.1 Transpiración	20
2.6.2 Generalidades sobre los estomas	22
2.6.3 Difusión a través de los estomas	22
2.6.4 Factores que afectan la transpiración	23
2.6.5 Factores que afectan la fotosíntesis	28
2.6.6 Medida de la transpiración y apertura estomal	29
2.6.7 Plantas con metabolismo del ácido crasuláceo	30
2.7 Cultivo de sábila en México	33
2.7.1 Características del cultivo	33
2.7.2 Manejo del cultivo	33
2.7.3 Costo del cultivo	36
2.7.4 Costo de establecimiento	36
2.7.5 Costos de producción	38
2.7.6 Superficie de explotación	38
2.7.7 Producción del cultivo de sábila	43
2.7.8 Estrategias para la producción	46
2.8 Rendimiento del cultivo	51
2.9 Aspectos de la comercialización	51
2.10 Comercio exterior	53
2.11 Perspectivas	55

III.	MATERIALES Y METODOS	57
3.1	Localización y características del área de estudio	57
3.1.1	Localización	57
3.1.2	Características climáticas	57
3.2	Metodología	58
3.3	Tratamientos y descripción	58
3.4	Inicio del experimento	60
3.5	Toma de mediciones porométricas	61
3.6	Cálculos para determinar las variable a evaluar	62
IV	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	65
4.1	Información climática	65
4.2	Dinámica de la resistencia estomatal	69
4.3	Comportamiento estomático en campo	73
4.4	Comportamiento estomático en invernadero	78
4.5	Relación entre resistencia estomática y temperatura de la hoja	83
4.6	Relación entre resistencia estomática y humedad relativa	84
V.	CONCLUSIONES	86
VI	RESUMEN	87
VII.	LITERATURA CITADA	90
	APENDICE	97

## INDICE DE FIGURAS

Figura		Página
2.1	Anatomía de la hoja.	10
2.2	Aspecto del corte basal de la penca de <i>Aloe vera</i> L.	17
2.3	Superficie total cosechada a nivel nacional (Has.).	41
2.4	Participación en la producción nacional de sábila, año 2000.	45
2.5	Exportaciones mexicanas de goma, resinas, jugos y extractos vegetales.	54
4.1	Valores promedio mensual de la temperatura (°C) máxima, media, mínima en el año 2003.	66
4.2	Valores promedio mensual de la radiación (cal/cm <sup>2</sup> /día) en el año 2003.	67
4.3	Valores promedio mensual de humedad relativa diaria (%) máxima, media y mínima en el año 2003.	67
4.4	Valores promedio mensual de la precipitación (mm) en el año 2003.	68
4.5	Valores promedio mensual de evaporación diaria (mm/día) en el año 2003.	68
4.6	Evolución de la resistencia estomática y de la radiación solar durante el período de 24 hrs.	72
4.7	Evolución de la resistencia estomática y de la radiación solar durante el período de 24 hrs.	72
4.8	Valores promedio de los 6 tratamientos en campo de la resistencia estomática del día 21/03/03 en el período de las 20 hrs. a las 05 hrs.	75
4.9	Valores promedio de los 6 tratamientos en campo de la resistencia estomática del día 03/04/03 en el período de las 20 hrs. a las 05 hrs.	76

4.10	Valores promedio de los 6 tratamientos en campo de la resistencia estomática del día 20/04/03 en el período de las 20 a las 05 hrs.	76
4.11	Valores promedio de los 6 tratamientos en campo de la resistencia estomática del día 29/08/03 en el período de 20 a las 05 hrs.	77
4.12	Valores promedio de los 6 tratamientos en campo de la resistencia estomática del día 07/11/03 en el período de las 20 a las 05 hrs.	77
4.13	Valores promedio de los 6 tratamientos en campo de la resistencia estomática del día 19/11/03 en el período de las 20 a las 05 hrs.	78
4.14	Valores promedio de los 2 tratamientos en invernadero de la resistencia estomática del día 03/10/03 en el período de las 20 a las 05 hrs.	80
4.15	Valores promedio de los 2 tratamientos en invernadero de la resistencia estomática del día 10/10/03 en el período de las 20 a las 05 hrs.	80
4.16	Valores promedio de los 2 tratamientos en invernadero de la resistencia estomática del día 24/10/03 en el período de las 20 a las 05 hrs.	81
4.17	Valores promedio de los 2 tratamientos en invernadero de la resistencia estomática del día 01/11/03 en el período de las 20 a las 05 hrs.	81
4.18	Valores promedio de los 2 tratamientos en invernadero de la resistencia estomática del día 08/11/03 en el período de las 20 a las 05 hrs.	82
4.19	Valores promedio de los 2 tratamientos en invernadero de la resistencia estomática del día 15/11/03 en el período de las 20 a las 05 hrs.	82

4.20	Relación entre la resistencia y la temperatura de la hoja en sábila. Valores de tratamientos sin déficit hídrico en el suelo y obtenidos de la 20 a las 05 hrs.	84
4.21	Relación entre la resistencia de la hoja en sábila y la humedad relativa. Valores de los tratamientos sin déficit hídrico en el suelo y obtenidos de las 20 a las 05 hrs.	85

## INDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
2.1	Costo de establecimiento del cultivo de sábila en Jaumave, Tamaulipas, 1998.	37
3.1	Mediciones que se realizaron durante el experimento de Marzo a Noviembre de 2003.	63
A1	Valores promedio mensual de precipitación y temperatura del año 2003.	98
A2	Valores promedio mensual de humedad relativa, radiación y evaporación del año 2003.	98
A3	Valores de la resistencia estomática y de la radiación solar durante el periodo de 24 hrs.	99
A4	Valores de la resistencia estomática y de la radiación solar durante el periodo de 24 hrs.	99
A5	Valores de la resistencia estomática y de la radiación solar durante el periodo de 24 hrs.	100
A6	Valores promedio de los 6 tratamientos en campo de la resistencia estomática del día 03/04/03 en el periodo de las 20 a las 05 hrs.	100
A7	Valores promedio de los 6 tratamientos en campo de la resistencia estomática del día 20/04/03 en el periodo de las 20 a las 05 hrs.	100
A8	Valores promedio de los 6 tratamientos en campo de la resistencia estomática del día 29/08/03 en el periodo de las 20 a las 05 hrs.	101
A9	Valores promedio de los 6 tratamientos en campo de la resistencia estomática del día 07/11/03 en el periodo de las 20 a las 05 hrs.	101

A10	Valores promedio de los 6 tratamientos en campo de la resistencia estomática del día 19/11/03 en el periodo de las 20 a las 05 hrs.	101
A11	Valores promedio de los 2 tratamientos en invernadero de la resistencia estomática del día 03/10/03 en el periodo de las 20 a las 05 hrs.	102
A12	Valores promedio de los 2 tratamientos en invernadero de la resistencia estomática del día 10/10/03 en el periodo de las 20 a las 05 hrs.	102
A13	Valores promedio de los 2 tratamientos en invernadero de la resistencia estomática del día 24/10/03 en el periodo de las 20 a las 05 hrs.	102
A14	Valores promedio de los 2 tratamientos en invernadero de la resistencia estomática del día 01/11/03 en el periodo de las 20 a las 05 hrs.	103
A15	Valores promedio de los 2 tratamientos en invernadero de la resistencia estomática del día 08/11/03 en el periodo de las 20 a las 05 hrs.	103
A16	Valores promedio de los 2 tratamientos en invernadero de la resistencia estomática del día 15/11/03 en el periodo de las 20 a las 05 hrs.	103
A17	Valores promedio de la temperatura de la hoja del tratamiento 1 realizada en el invernadero en el periodo de las 20 a las 05 hrs.	104
A18	Valores promedio de la resistencia estomática del tratamiento 1 realizada en el invernadero en el periodo de las 20 a las 05 hrs.	104
A19	Valores promedio de la humedad relativa del tratamiento 1 realizada en el invernadero en el periodo de las 20 a las 05 hrs.	104
A20	Valores promedio de la temperatura de la hoja del tratamiento 1 realizada en el campo en el periodo de las 20 a las 05 hrs.	105
A21	Valores promedio de la temperatura de la hoja del tratamiento 3 realizada en el campo en el periodo de las 20 a las 05 hrs.	105

A22	Valores promedio de la temperatura de la hoja del tratamiento realizada en el campo en el periodo de las 20 a las 05 hrs.	5	105
A23	Valores promedio de la resistencia estomática del tratamiento realizada en el campo en el periodo de las 20 a las 05 hrs.	1	106
A24	Valores promedio de la resistencia estomática del tratamiento realizada en el campo en el periodo de las 20 a las 05 hrs.	3	106
A25	Valores promedio de la resistencia estomática del tratamiento realizada en el campo en el periodo de las 20 a las 05 hrs.	5	106
A26	Valores promedio de la humedad relativa del tratamiento realizada en el campo en el periodo de las 20 a las 05 hrs.	3	107
A27	Valores promedio de la humedad relativa del tratamiento realizada en el campo en el periodo de las 20 a las 05 hrs.	5	107
A28	Valores promedio de la humedad relativa del tratamiento realizada en el campo en el periodo de las 20 a las 05 hrs.	1	107

## I. INTRODUCCION

En las regiones áridas y semiáridas, la alta incidencia de radiación solar, así como la baja precipitación, provoca condiciones hídricas limitantes que complican el establecimiento de las especies vegetales. Las plantas que habitan estos ambientes poseen diversos mecanismos para resistir el estrés hídrico. Uno de ellos se basa en aprovechar al máximo la fijación de CO<sub>2</sub> y reducir la pérdida de agua por evaporación. Las plantas CAM separan en el tiempo las fases luminosa y oscura de la fotosíntesis. Durante la noche abren los estomas para realizar el intercambio gaseoso, en tanto que durante el día se completa la fase luminosa. Parece ser que la apertura de los estomas ocurre como respuesta a las variaciones de la temperatura y la humedad ambiental.

La apertura de estomas durante la noche significa que la toma de CO<sub>2</sub> ocurre en la obscuridad, la cual es una extraña situación reconocida inicialmente a principios del siglo diecinueve.

La sábila (*Aloe vera* L.) es una planta CAM, comercialmente muy importante dentro de la industria farmacéutica y cosmetológica, a nivel mundial por lo que representa una alternativa de cultivo para los productores para los

productores de las zonas semiáridas del norte de México y debido a su capacidad de adaptación a estas zonas por su metabolismo.

Los estudios científicos efectuados en la sábila han dado a conocer sus beneficios curativos, cosmetológicos y alimenticios, de igual manera con el lanzamiento de un sin número de productos derivados de esta planta originaria de África, que han facilitado su comercialización.

La explotación comercial del gel de sábila ha sido efectuada desde hace más de 50 años. Varias compañías de los Estados Unidos son las principales productoras de plantas y realizan el proceso de extracción de gel a gran escala para abastecer el mercado doméstico y de exportación. Algunas otras compañías son procesadoras de productos secundarios de *Aloe vera*.

La producción de sábila en nuestro país en forma comercial, es de historia reciente las estadísticas oficiales disponibles de superficie sembrada se inicia hacia el año de 1986 en Nuevo León, en 1987 se incorporan Zacatecas y Colima en 1989 se une San Luis Potosí, y en 1991 aparecen oficialmente Tamaulipas y Yucatán, estados que en la actualidad se han convertido en los principales productores de planta. Datos oficiales de SAGARPA durante el año 2000, nos indican que sólo seis estados registraron superficies sembradas con un total de 2,846 hectáreas, donde los principales fueron Tamaulipas con 1,788 y Yucatán con 862 hectáreas. Otros Estados reportan menor superficie

sembrada: San Luis Potosí con 159, Durango con 13, Quintana Roo con 10 y Zacatecas con solo 4 hectáreas.

Actualmente se cuenta con poca información científica sobre los procesos fisiológicos de la planta de sábila y en particular sobre la resistencia estomática. Por lo anterior se efectuó el presente estudio bajo condiciones de campo e invernadero con los siguientes objetivos:

- Estudiar el efecto del déficit hídrico en el suelo sobre la resistencia estomática en sábila.
- Estudiar el efecto de la temperatura de la hoja sobre la resistencia estomática en sábila.
- Evaluar el comportamiento de la resistencia estomática durante un periodo de 24 hrs. en sábila .
- Obtener la hora más adecuada para efectuar las mediciones de resistencia estomática.

## Hipótesis

A medida que incrementa la temperatura de la hoja disminuye la resistencia estomática.

## II. REVISION DE LITERATURA

### 2.1 Origen e historia

El nombre genérico *Aloe* proviene del termino árabe “alloeh” y del sinónimo hebreo “hallal”, que significa sustancia brillante y amarga. La procedencia del otro nombre con el que se conoce, sábila, y sus variantes locales sábila, sávila, zábila, zábira, y pita zabila es atribuido a una deformación del vocablo árabe cabila que significa planta espinosa (Taylor, s/f).

Existen alrededor de 200 especies en las laderas soleadas, en lugares rocosos y pedregales de Europa, Asia, África, y en Madagascar. Abundan sobre todo en la región del Cabo de San Buena Esperanza. En las provincias del litoral de la península Ibérica crecen sin cultivarlas diversas especies de este género (Benson, 1957).

El origen del *Aloe vera* es África Oriental y Sudáfrica y se dice que se introdujo a México por los españoles a las Antillas y posteriormente a diversas partes del país (Moroni, 1982).

El uso del *Aloe* se remonta a los orígenes de la humanidad. Los chinos fueron los primeros en usar el *Aloe* y en el antiguo Egipto era comúnmente utilizado para fabricar elixires de larga vida conteniendo zumo de *Aloe* ( papiro de Ebers, Siglo XVI a. C.) y se referían al *Aloe* como la planta de la inmortalidad incluyéndolo entre los regalos funerarios enterrados con los faraones y en los dibujos y jeroglíficos que decoraban sus moradas de eternidad (<http://www.naturdenia.com/spa/aloe/aloevedem.htm>).

También dos reinas históricas utilizaban el *Aloe* para remarcar su belleza: la reina de Saba, en el siglo X a. c., usaba aceites balsámicos con zumos de *Aloes* de su país para cuidar piel y cabellos, tan admirados precisamente por el rey Salomón, y En el siglo I a. c., la famosa reina Cleopatra cuidaba su cutis, tan admirado por Marco Antonio, untándolo con geles de *Aloe*. Aristóteles convenció a Alejandro Magno para conquistar la isla Socotora en el sur de Arabia, porque en ella había gran cantidad de *Aloes* que servirían para la curación de heridas y enfermedades de sus soldados durante las campañas. La Biblia hace referencia repetidas veces al *Aloe*. El cuerpo de Jesús fue envuelto en rollo de mirra y *Aloes* por Nicodemo. (<http://www.naturdenia.com/spa/aloe/aloevedem.htm>).

Ya en el siglo I de nuestra era, Dioscórides escribía en su famoso Tratado De Materia Médica acerca de muchas virtudes del *Aloe*, ya fuera en uso interno (insomnio, desórdenes estomacales, dolores localizados,

estreñimiento, dolor de cabeza), como en uso externo (pérdida de cabello, heridas, dolor de riñones, enfermedades de la boca y encías, manchas y quemaduras de sol). En el siglo XIII, Marco Polo constató el uso y la admiración de los chinos por el *Aloe chinensis*. Los nativos de Centroamérica y Sudamérica han utilizado siempre las hojas del *Aloe* para tratar quemaduras y otros problemas cutáneos, así como para infecciones urinarias, prostatitis, disentería, afecciones gástricas e intestinales, estomatitis, y para aumentar el impulso sexual

(<http://www.naturdenia.com/spa/aloe/aloevedem.htm>).

Los jesuitas españoles trasladaron el *Aloe* desde el continente africano al Nuevo Mundo, probablemente a la isla de Barbados, de la que procedería posteriormente su nombre científico, *Aloe barbadensis*, alrededor de 1590. En el siglo XV, en época de los Reyes Católicos, fue extensamente cultivado en Andalucía, pues era muy apreciado por los árabes. En la India se utiliza desde hace siglos para tratar procesos inflamatorios, y es sabido que Mahatma Gandhi bebía a menudo zumo de *Aloe*.

Si bien es cierto que se ha conservado su uso fitotradicional a través de las generaciones y las culturas de los pueblos, no se redescubrió el valor terapéutico real del *Aloe vera* hasta finalizar la Segunda Guerra Mundial. Las quemaduras causadas en las poblaciones de Hiroshima y Nagasaki por las

explosiones atómicas, se curaron más rápidamente con el *Aloe* y en muchos casos sin dejar señales ni cicatrices.

Actualmente sus propiedades han sido comprobadas clínicamente y los científicos se interesan cada vez más por sus aplicaciones médicas.

La NASA lo utiliza porque absorbe el 90% de la toxicidad de sustancias como el PVC, la fibra de vidrio, los barnices, las pinturas, las radiaciones de los ordenadores, los televisores y demás aparatos electrónicos. Popularmente se le considera portadora de buena suerte, siendo muy utilizada en los rituales chamánicos por su gran poder energético y purificante del alma (<http://www.naturdenia.com/spa/aloe/aloevedem.htm>).

## **2.2 Descripción botánica**

La sábila es una planta perteneciente a la familia de las *Liliáceas* y en apariencia es muy similar al maguey se encuentra muy difundida en nuestro medio. Crece con suma facilidad por lo que es muy común encontrarla en parques y jardines o en el campo donde a veces se le suele encontrar rodeada de pequeños retoños que luego dan lugar a nuevas plantas. La sábila no necesita de mucha agua para vivir ya que sus hojas (pencas) acumulan gran cantidad de líquido lo cual le permite sobrevivir durante mucho tiempo aún después de ser arrancada de la tierra (Jacobsen, 1946).

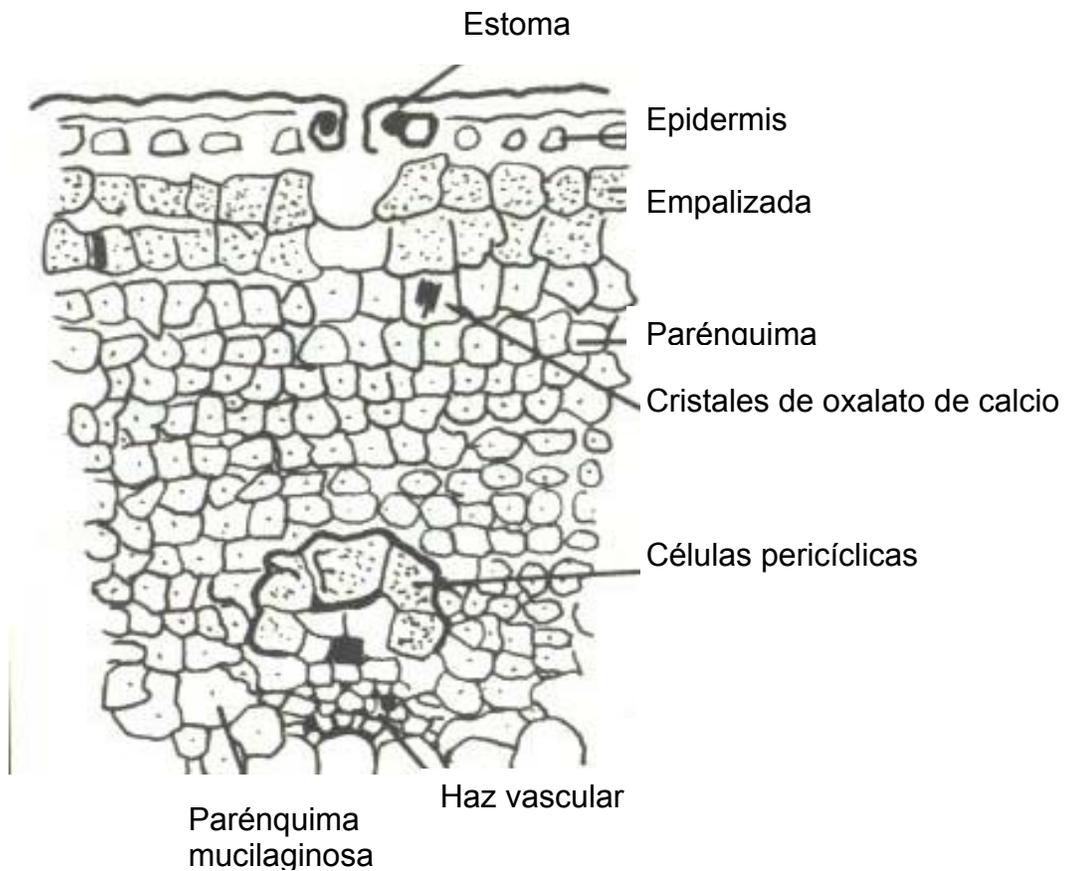
Las especies del género *Aloe* son casi siempre leñosas, pero con las hojas muy grandes y carnudas, dispuestas en grandes rosetones y con una espina recia en su extremo, armada de otras espinas marginales más pequeñas. Las flores son tubulosas, porque las 6 piezas que forman la cubierta floral se soldan todas entre sí en un tubo generalmente recto o encordado algunas veces. Estas flores suelen tener color rojizo, anaranjado o amarillento. Los estambres también son 6, con largos filamentos que arrancan del fondo de la flor, debajo del pistilo, el fruto es una cápsula de paredes inconsistentes y son de forma triangular. En el caso de las especies sin tallo, las hojas se encuentran dispuestas en pisos sucesivos, en forma alterna de 2 a 2, como en el caso del *Aloe saponaria variegata*, o de 3 a 5 como el *Aloe barbadensis variedad mitroformis*, o en rosetas radicales de 4 o más hojas, alternando el ángulo de modo que todas ellas puedan acceder a la luz solar, como en el caso del *Aloe vulgaris*. En el caso de las especies con tronco o tallos, hechan uno o diversos bordos axiliares que rematan en hermosos ramilletes (Jacobsen, 1946).

## Hoja

Hurtado y Martínez (1983-84) citan en cuanto a la taxonomía de la hoja (Fig.1), que las paredes de las células epidérmicas están fuertemente cutinizadas. Debajo de la epidermis se encuentra el mesófilo que se diferencia en una zona cortical externa y otra central interna. La zona cortical comprende varias capas de células con abundantes cloroplastos y algunas con cristales de

oxalato de calcio; la zona interna o central ocupa aproximadamente las 3/5 partes del diámetro total de la hoja, está compuesta por grandes células transparentes de paredes delgadas y con abundantes contenido mucilaginoso. En el límite de la zona cortical (externa) y central se advierten haces, está acompañado por numerosas células pericíclicas, largas tubulares, de paredes delgadas y contenido un zumo amargo que una vez concentrado, constituye la porción utilizada como droga catártica comúnmente llamada acíbar (residuo obtenido por evaporación con fuerte sabor amargo).

Figura 2.1 Anatomía de la hoja de sábila.



Fuente: Hurtado y Martínez, 1983-84.

Por otra parte Moroni (1982) menciona que las hojas son consistentes, gruesas y crecen acomodadas en forma de rosetas, además de ser carnosas y muy variables, caulinares o radicales, presentan también espinas afiladas en los extremos de las mismas y miden 50 cm de largo, de 10-20 de ancho y 5 cm de grueso.

Quer (1978) señala que las hojas son carnosas o pulposas, acaules y alternas, dispuestas en forma de roseta y provistas de espinas en el margen de ellas, la longitud aproximada es de 30-60 cm. Cuando han llegado a la madures, su color es verde grisáceo.

Las hojas pueden ser de color verde y blanco veteado como el *Aloe vulgaris* o verde ceniza plateado. Las hojas pueden cerrar sus estomas (poros) para evitar la pérdida de agua por evapotranspiración durante los períodos estivales y son capaces de reponer rápidamente la epidermis cuando se produce una fractura o un corte en la superficie (Quer, 1978).

## **Flores**

Son generalmente reguladores y hermafroditas y en algunos casos unisexuales, actinomórficas o ligeramente zigomórficas, frecuentemente dispuestas en una inflorescencia axilar o terminal, pero más a menudo umbeladas, en racimo espigado o en panoja, con reducidas brácteas

escariosas. Las flores poseen un periantio comúnmente petaloideo o corolino sin tubo o tubuloso, formado de 6 lóbulos o segmentos dispuestos en 2 series alternas. El androceo presenta generalmente 6 estambres hipóginos en el periantio, además de un pistilo de 3 carpelos unitarios, de filamentos libres o diversamente soldados y anteras cortas alargadas biloculares, con 1 a 3 pistilos raramente libres y generalmente tres estigmas (Swigget, 1967).

Las flores son vistosas, tubulosas, sus colores se componen de 6 pétalos, que forman la cubierta floral y se sueldan todas entre si en un tubo las más veces recto, y en otros casos algo encorvado y biladiado, en ocasiones con un leve ensanchamiento en la parte de la sujeción, donde se alojan los órganos sexuales de la flor. Las flores están dispuestas en racimos que pueden ser verticales (espigas) o colgantes (umbrellas o sombrillas). Estas flores suelen tener un color rojizo blanco, rosa, anaranjado o amarillo. Los estambres son también 6, con largos filamentos que abarcan del fondo de la flor, debajo del pistilo (Conzatti, 1947).

## **Ovario**

El ovario se presenta súpero y trilocular y una gran cantidad de óvulos en placentas axilares (Hutchinson, 1926).

## **Fruto**

Es una cápsula loculicida septicida, la formación de este es sumamente rara, pudiéndose mencionar que casi insignificante. Este consiste de una cápsula de tres válvulas localizadas, oblongas y triangulares (Sapre, 1974).

Por medio de estudios realizados durante la meiosis y mitosis en *Aloe vera*, la formación del fruto es muy limitada. También se han realizado estudios de meiosis que muestran un proceso normal y anormal en esta planta (Sapre, 1974).

El fruto es seco, con una cápsula de paredes dehiscentes (lo que quiere decir que las anteras de la flor y del pericarpo del fruto se abren para dar salida, el primero al polen y el segundo a las semillas). Las cápsulas son alargadas y las semillas son híbridas (Conzatti, 1947).

## **Semillas**

Pueden ser pocas o en gran cantidad, poseen el tegumento membranoso, son endospermáticas y con un embrión recto rara vez encorvado (Hutchison, 1926).

## **Raíz**

Presentan raíz de rizoma, bulbo o carnosa, así como también algunas veces tuberosas (Hutchison, 1926).

## **Tallo**

Es herbáceo o más frecuente leñoso, erecto y elevado que sobresale en el centro de la planta, cilíndrico, sin ramificaciones (Noriega, 1941).

## **Reproducción**

El *Aloe vera* se considera una especie rápida y fácil de reproducir ya que se reproduce vegetativamente por medio de retoños o hijuelos que se desarrollan alrededor de la planta, los cuales son adecuados para ser transplantados en otro lugar, otra forma sería por medio de semillas lo cual no es muy recomendable por su lento crecimiento (Moroni, 1982).

Además de por semillas, el *Aloe* se propaga por codos (parte de la planta se inclina sobre el suelo echando raíces propias); estolones (vástagos enteros que brotan de la base del tallo y se extienden hacia fuera echando raíces, y dando lugar a plantas nuevas); y por gajos (trozos que se arraigan al caer) (Jacobsen, 1946).

## **Floración**

La floración generalmente se da en primavera y verano, y aun en invierno en sus respectivos países de origen (Gates, 1975).

### **2.3 Composición química**

Las hojas del *Aloe* producen un jugo cuajado en una masa sólida de color muy oscuro y muy amarga, llamada acíbar. Generalmente se le obtiene dejando fluir el licor que se escurre de sus hojas cortadas transversalmente, por la cobertura de las cuales rezuma este licor se deja que se concentre y se vaya espesando por el calor del sol o calor artificial, según cual sea el proceso de secado, el acíbar adopta colores que irán desde el marrón rojizo hasta el negro, en forma de terrones similares al barro seco, frágiles, de fractura concoide, a los que hay que proteger de la humedad (Quer, 1978).

La composición del acíbar varía según del *Aloe* del que proceda, la época de recolección y la forma de elaborarlo (Ray, 1979).

El acíbar contiene del 6 a 10% de agua y los de mayor calidad dejan un 2% de cenizas. Lo que más varía es la cantidad de resina, que oscila entre los 40 y 80%, esta resina que no tiene importancia farmacológica, es un éster de ácido paracumárico y un alcohol resínico, el aloerresinotanol. Además, el acíbar

contiene hasta el 20% de aloínas. Por hidrólisis las aloínas dan emodina que es el constituyente activo del acíbar (Ray, 1979).

El *Aloe* contiene también aloemocina, de gran poder antiinflamatorio y analgésico, y aloeuricina, cuya propiedad es activar y fortificar las células epiteliales, lo que la hace de mucha utilidad en las úlceras gástricas y estomacales (Cutak, 1962).

El acíbar contiene gran cantidad de aminoácidos como son la valina, metionina, fenilalanina, lisina y leucina. Posee además al polisacárido lignina, el glucomannan y otros glúcidos como pentosa, galactosa y los ácidos urónicos que proporcionan una profunda limpieza de la piel, pues penetran en todas sus capas, eliminando bacterias y depósitos de grasa que dificultan la oxidación a través de los poros. Entre los elementos constitutivos figuran el yodo, cobre, hierro, zinc, fósforo, sodio, potasio, manganeso, azufre, magnesio y gran cantidad de calcio. Es una de las pocas especies que contiene vitamina B12, además de vitaminas A, B1, B2, B6 y C. contienen fuertes proporciones de germanio que actúa como filtro depurador del organismo, elimina los venenos y desechos de las células, reestructura y rehabilita la médula ósea, reactiva el sistema inmunológico, estimula la producción de endorfinas, que calman el dolor; todas las plantas que contienen germanio han sido consideradas milagrosas y el *Aloe vera* es una de ellas (Martínez, 1978)

El gel obtenido del Aloe (Fig. 2.2) produce seis agentes antisépticos de elevada actividad antimicrobiana: el ácido cinamónico, un tipo de urea nitrogenada, lupeol, fenol, azufre, ácido fólico y un ácido salícico natural que combinado con el lupeol tiene importantes efectos analgésicos (Ray, 1979).

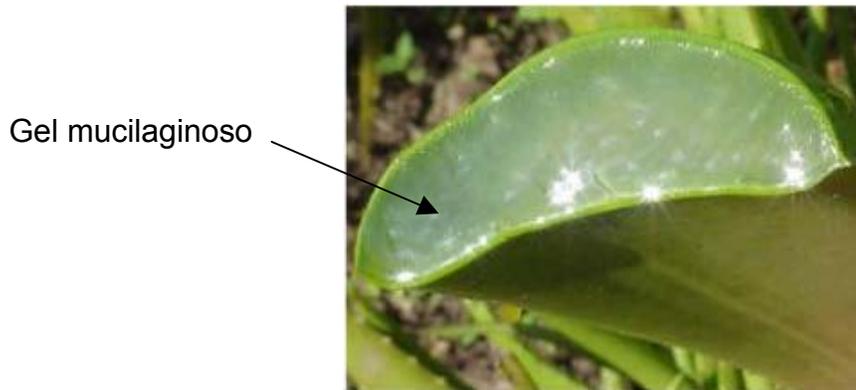


Figura 2.2 Aspecto del corte basal de la penca de *Aloe vera* L. en donde se observa el gel mucilaginoso.

## 2.4 Industrialización

La hoja de sábila se comercializa por kilogramo de hoja una vez realizada su cosecha. Para ser procesada, se trabaja en forma de filete, esto consiste en obtener el contenido de la hoja sin piel, ni aloína. La hoja lavada, es fileteada manual o mecánicamente, debiendo empacarse para su venta en bolsas de polietileno contenidas en tambos con conservadores para evitar que se oxiden, y teniendo a la vez un manejo de bodega y transporte bajo

condiciones de refrigeración. Existe también la obtención de un llamado “guacamole”, que consiste en la hoja molida y que acorde a las proporciones de la mezcla con filete, se obtiene una mezcla con un contenido de aloína de 20 a 30 partes por millón. La sábila, una vez procesada, puede tener diversos subproductos, que se pueden clasificar dentro de cuatro grandes apartados: Extracto o Jugo natural, con aplicaciones diversas; gel patentado para su uso como alimento; gel concentrado con destino de uso en la cosmetología y el gel en polvo para uso farmacéutico. Podemos decir que el gel natural, es aquél que se obtiene de extracción manual o mecánica de la hoja, sin agregar otros procesos; esto sin embargo permite la comercialización del producto, para su posterior industrialización en plantas procesadoras.

El gel de grado alimenticio es conocido como jugo estabilizado y es comercializado bajo formulaciones e inclusive con marcas exclusivas; a este gel también se le denomina jugo estabilizado (Sánchez, 2002).

## **2.5 Usos**

La planta de los mil usos, es una de sus descripciones, así si citamos brevemente cuáles son los usos que tiene la sábila, podremos apreciar el por qué ha logrado una popularidad tan singular, mientras que por otro lado el creciente número de industrias naturistas que elaboran productos a base de esta planta, retoma un auge tal que ha provocado su inserción en grandes

conglomerados o firmas que las agrupan, existiendo una competencia muy grande para ganarse al público consumidor (Sánchez, 2002).

La utilización de la sábila en productos de belleza es porque tiene la particularidad de penetrar en la epidermis, la dermis y la hipodermis, expulsando bacterias y depósitos de grasa de los poros, estimula la producción de nuevas células con los nutrientes naturales, al ser regenerador de células, actúa como cicatrizante, tonificador de la piel, astringente, auxiliando a piel y cabello a recobrar salud y plenitud, tiene acción desodorante. Dentro de los principales usos con fines terapéuticos y clínicos podemos citar que la sábila se utiliza en la boca como un remedio para evitar sangrado de encías, disminuir hinchazón y dolor, reduce y alivia aftas en paladar, esófago y estómago, se usa para úlceras en el tracto digestivo, así como en la corrección de excesos en la dieta diaria. También puede ser un auxiliar para reducir o eliminar reacciones alérgicas, siendo uno de sus usos de excelencia, el de los primeros auxilios para diversos padecimientos. En quemaduras alivia dolor, reduce posibilidades de infección, mejora y hasta desaparece cicatrices. Protege contra la acción del sol como un filtro natural, se usa en cortadas, heridas, hemorroides, várices, acné, picaduras de insectos, irritaciones de ortigas, pies cansados con dolor, dolores musculares, torceduras, dolor en articulaciones, dolor de cabeza, sinusitis, anginas, dolor de cuello, tratamiento de cataratas, soriasis y erupciones eczematosas, picor, pie de atleta, restaura sensibilidad en piel, auxiliar en cáncer de piel, etc. En diversos países se realiza un creciente

número de investigaciones, para evaluar sus propiedades para prevenir y combatir el cáncer (Sánchez, 2002).

## **2.6 Aspectos fisiológicos de la planta**

### **2.6.1 Transpiración**

Se define transpiración como la pérdida de agua en estado de vapor en una superficie libre cuya existencia y extensión está regulada por órganos especiales (estomas en hojas y lenticelas en tallos herbáceos) y que permite una libre comunicación con la atmósfera. Mientras que la pérdida de vapor de agua vía estomas presenta más de un 90% de la pérdida total en la mayor parte de las plantas, la transpiración lenticelar representa solo un 2 a 10 %, dependiendo de los casos, por lo que se considera como muy poco significativa en relación a la primera modalidad (Devlin, 1982).

En el proceso después de que las raíces extraen el agua del suelo pasa a lo largo del xilema hasta llegar a las células del mesófilo de las hojas y existe otra en la que el agua se pierde también en forma de vapor a través de la epidermis (Aguilera y Martínez, 1990).

La transpiración es un mal necesario, ya que los estomas se abren en presencia del estímulo luminoso, para absorber el CO<sub>2</sub> requerido en la

fotosíntesis, aunque el balance hídrico se altere al escaparse el agua de la planta el flujo de agua a través de la planta está inducido por la transpiración, provee un buen sistema de transporte para los minerales, que son absorbidos por las raíces y que se mueven en la corriente transpiratoria. Así mismo, la absorción de agua del suelo, tiene un efecto en la movilización de sales minerales del suelo hacia la raíz, facilitando su absorción, sin un gasto de energía adicional, que implicaría la formación de masas de raíces que exploren amplias superficies de suelo

(<http://www.forest.ula.ve/~rubenhg/transpiracion/#ecofisiologiadelmovimientoestomático>).

Otro efecto de la transpiración es la acción refrigerante de la hoja. La evaporación de agua de la superficie foliar, va acompañada por una pérdida de calor. Podemos concluir que la transpiración ejerce un efecto de enfriamiento de la superficie foliar. Se ha sugerido que la transpiración es necesaria para el crecimiento normal de las plantas, ya que ayuda a mantener un estado de turgor óptimo

(<http://www.forest.ula.ve/~rubenhg/transpiracion/#ecofisiologiadelmovimientoestomático>).

### **2.6.2 Generalidades sobre los estomas**

Los estomas adjuntos a las células guardas en la epidermis de las hojas, a través de la mismas circula el CO<sub>2</sub> y el vapor de agua desde el interior de las hojas. Los estomas están en un rango de 20 µm de longitud y el área de los poros es de 0.5 y 1.2 por ciento del área foliar (cuando el poro está abierto al máximo). El número de estomas es cerca de uno por cinco células (índice estomático) ó de 100 – 450 por mm<sup>-2</sup> (densidad estomática). El número de estomas es significativamente alto en la parte abaxial (abajo), que en la parte adaxial (superior), de la hoja (Nederhoff, 1994).

Nobel (1991) define la resistencia estomática como el proceso mediante el cual los estomas se cierran y no permiten la entrada y salida del flujo desde el interior de las hojas hacia la atmósfera o lo inverso del proceso.

### **2.6.3 Difusión a través de los estomas**

Nobel (1991) y Bidwell (1993), indican que la epidermis de la hoja con su cutícula protege a la hoja de la desecación, pero también reduce el intercambio gaseoso a niveles muy bajos. El sistema de pequeños estomas a través de los cuales, la hoja difunde los gases, así como los pasadizos aéreos dentro de la hoja son sorprendentemente eficaces para el intercambio de bióxido de carbono, en tanto que reducen la evaporación, permitiendo la salida

del vapor de agua desde el interior de las hojas y permitiendo la entrada de CO<sub>2</sub> hacia el interior de las hojas.

Podría esperarse que la difusión fuera extremadamente baja tomando en cuenta el bajo porcentaje del área de los estomas con respecto al área foliar. Sin embargo, se ha demostrado a través de experimentos que por el contrario los gases (oxígeno, bióxido de carbono y vapor de agua) pueden entrar y salir con rapidez. Además, pronto se puso en claro que el gas atraviesa los estomas, puesto que se produce escaso intercambio gaseoso por las superficies foliares carentes de estomas (Torres, 1999).

#### **2.6.4 Factores que afectan la transpiración**

##### ***Concentración de CO<sub>2</sub>***

El cierre estomático fue investigado en la década de los 50 principalmente. Heath y Russell (1954) demostraron que, en trigo los estomas se cierran cuando la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera aumenta desde 0.01 a 0.84% bajo condiciones de iluminación. La intensidad de la luz incidente mostraba determinar la apertura estomática a una concentración dada de dióxido de carbono, lo cual parecía indicar que existía una relación directa entre cantidad de fotosíntesis y apertura. En absoluta oscuridad podía inducirse apertura en ausencia total de dióxido de carbono.

Por otra parte se ha demostrado que la ausencia de oxígeno no afecta al movimiento de los estomas, mientras que impide la producción de almidón en la oscuridad ( Heath, 1959; Walker y Zelitch, 1963). Un tercer inconveniente que podría oponérsele a esta teoría es el importantísimo conjunto de plantas que abren sus estomas durante la noche y que por lo tanto, no regula esta actividad mediante la fijación fotosintética de dióxido de carbono. Por lo general son plantas de ambientes desérticos, de parénquimas especializados en la acumulación de agua, dada su escasez en el suelo y la rareza de las lluvias y, por tanto, adaptadas a la máxima economía de agua. Es lógico, por tanto que la transpiración estomática diurna esté abolida para este tipo de plantas, ya que las pérdidas de vapor a temperaturas ambientales altas, podrían ser irreversibles. Sin embargo, el comportamiento de estas plantas bajo condiciones de laboratorio puede considerarse idéntico al anteriormente descrito, ya que la concentración de dióxido de carbono en las células guarda es determinante de su apertura o cierre. Habría que pensar entonces, en términos de carboxilación no fotosintéticas, para las que la luz no fuera factor imprescindible.

### ***Temperatura***

Para altas temperaturas, dicha concentración alcanza valores muy semejantes a los atmosféricos, lo que determinaría el cierre del ostiolo, mientras que para temperaturas más bajas, de 20 a 25°, la concentración de dióxido de

carbono baja hasta un tercio de la concentración atmosférica, lo que determina que el estoma se abra, temperaturas superiores a 25° C determinan el cierre de los estomas en muchas especies, pudiendo ser también debido este fenómeno a la influencia de la temperatura sobre el CO<sub>2</sub> contenido en las cámaras subestomáticas, como consecuencia de los cambios que aquel factor ejerce sobre el equilibrio entre la respiración y la fotosíntesis. La tasa fotosintética, ya que la planta para evitar excesos de calentamiento transpira en forma de vapor de agua, pero cuando las temperaturas son demasiado elevadas, ésta cierra sus estomas para evitar exceso de desecación. La temperatura de la hoja depende de la tasa de transpiración, intensidad de radiación neta, temperatura ambiental y presión de vapor. Un cierre estomatal provoca un incremento en la resistencia estomatal, pero su respuesta al incremento de la temperatura depende de otros factores como son el déficit de presión de vapor de agua, temperatura del aire y la hoja y contenido de agua en el suelo y hoja, (Heath y Orchard, 1957; Infante, 1988; Linacre, 1964; Devlin, 1979; Biedwell, 1993).

### ***Humedad atmosférica y viento***

La humedad relativa participa en el balance energético entre la planta y la atmósfera al interferir sobre la radiación que recibe la planta y de ésta manera disminuir el calentamiento, modificando al mismo tiempo la transpiración de la planta al establecerse una diferencia de concentración de agua entre la atmósfera y la planta, en este sentido existen dos factores

también de primerísima importancia como reguladores de la transpiración, que son la humedad atmosférica por una parte y por otra el viento. Para al primer factor es lógico suponer que para humedades relativas altas, la saturación de la atmósfera que circunda un estoma se logrará con menor pérdida de vapor de agua, por lo que el índice de transpiración será tanto más bajo cuanto mayor sea la humedad de la atmósfera. Este gradiente puede inducir una reducción o un aumento en la conductancia de la hoja con la cual la transpiración y fotosíntesis se pueden ver afectadas. En cuanto al segundo factor, el viento, juega un papel importantísimo en la anulación de la resistencia del aire a que se difunda el agua a la atmósfera. En una atmósfera quieta, las moléculas saturantes del exterior estomático se alejan de él mediante un lento proceso de difusión a zonas más altas, lo cual quiere decir que con la misma lentitud fluirán nuevas moléculas de agua para sustituir a las difundidas. Pero si el viento barre constantemente la superficie de las hojas, la atmósfera exterior del estoma estará continuamente despejada, por lo que el flujo de vapor de agua a través del ostiolo, al no encontrar resistencia, será mucho más rápido que en ausencia de viento, (Bange, 1953; Infante, 1988; Daubenmire, 1974).

El control de la apertura estomatal es uno de los mecanismos más importantes que posee la planta para su sobrevivencia y crecimiento, la luz es el factor que gobierna el mecanismo de cierre y apertura del estoma en condiciones normales de humedad, temperatura y viento. Un adecuado potencial de agua en la hoja, una cantidad de  $\text{CO}_2$ , en algunos casos los

estomas se abren a los seis segundos de que la luz ha llegado a la superficie de la hoja al provocar cambios fisiológicos en las células guardas, la resistencia del estoma generalmente se incrementa a bajos niveles de iluminación sobre cierto nivel crítico de luz. Esto sugiere que la tasa de transpiración podría ser controlado por el estoma solo bajo un nivel crítico de luz recibida y que desde éste punto de vista la tasa transpirativa podría ser determinada primeramente por el aumento de energía disponible, (Infante, 1988; Rojas, 1984; Gates, 1980; Garcia, 1980).

### ***Planta***

Aplicando estos datos a lo que puede suceder en la población estomática de una hoja determinada, se pueden hacer las siguientes observaciones. En primer lugar la máxima apertura de un estoma no coincide con el perímetro máximo, debido a la especial conformación de las células guarda. Este máximo perímetro se logra con el estoma semiabierto, porque la transpiración periférica de máxima significación, se logrará para un estoma que no haya alcanzado el máximo grado de apertura. En segundo lugar, la máxima apertura provocada por el mayor grado de apertura en las células guarda, tiene como efecto secundario el acercamiento de las atmósferas de saturación de dos estomas vecinos. Una población de estomas semiabierto disminuiría por lo tanto, la resistencia externa al flujo continuo de vapor de agua (Devlin, 1982).

### 2.6.5 Factores que afectan la fotosíntesis.

Berry y Björkman (1980) señala que la fotosíntesis de la planta provee la masa de materia seca para el crecimiento y está fuertemente influenciada por los factores ambientales. Consecuentemente la habilidad de la planta para crecer en un ambiente variable, depende de la capacidad de fotosíntesis en respuesta a los factores ambientales variables. Los factores principales que varían durante el día y durante las estaciones son la radiación y la temperatura. Las plantas tienen habilidad de fotosintetizar bien, bajo un rango de temperaturas durante el día, y así aclimatan su fotosíntesis a largos períodos de cambios de temperaturas estacionales.

Por otra parte Heath (1970), menciona que la fotosíntesis es controlada por un gran número de factores y los clasifica:

- Factores ambientales
  - a) Luz  $\left\{ \begin{array}{l} 1) \text{ intensidad} \\ 2) \text{ calidad} \end{array} \right.$
  - b) Temperatura
  - c) Concentración de CO<sub>2</sub>
  - d) Velocidad del viento
  - e) Disponibilidad de agua

- f) Disponibilidad de nutrientes
- Factores de la planta
  - a) Edad de la hoja
  - b) Contenido de clorofila
  - c) Enzimas contenido de agua en la hoja
  - d) Estructura de la hoja
  - e) Apertura estomática

***Otros factores.***

Se pueden considerar como otros factores que afectan la fotosíntesis de la hoja y de la planta a los daños físicos causados por perturbaciones bruscas de la atmósfera como granizadas, heladas, etc., así como a los provocados por la incidencia de plagas y enfermedades. La aplicación de productos, ya sean antitranspirantes, pesticidas, fitoreguladores, fertilizantes u otros, también modifican la tasa de fotosíntesis (Infante, 1988).

**2.6.6 Medida de la transpiración y apertura estomatal.**

*Porometría.* Permite determinar la conductividad estomática como un índice de la apertura y cierre de los estomas. Mide el flujo de gases o la difusión

que se realiza a través de los estomas. Los porómetros más modernos permiten registros computarizados

(<http://www.forest.ula.ve/~rubenhg/transpiracion/#ecofisiologia> del movimiento estomático)

Kenny y McGruddy (1972) señala que los porómetros consisten básicamente en una pequeña cavidad semiabierta la cual contiene una resistencia tipo sensor de humedad y un sensor de temperatura, el cual es sobrepuesto en la superficie de la hoja. La tasa de humidificación en ésta cavidad está relacionada con la resistencia a la difusión del vapor de agua a través del estoma. El sensor de temperatura, usualmente un termistor, es usando para corregir los efectos de temperatura sobre la presión de vapor de agua.

### **2.6.7 Plantas con el metabolismo del ácido de crasuláceo (CAM)**

La fotosíntesis es el principal proceso en que el  $\text{CO}_2$  es fijado por las plantas verdes; sin embargo hay ciertas plantas suculentas y semisuculentas, que fijan el  $\text{CO}_2$  de noche o en la oscuridad, con un incremento de la acidez vacuolar, como resultado de la acumulación de ácido málico. Estas plantas pueden fijar el  $\text{CO}_2$  en la oscuridad, a velocidades superiores de la que lo expulsan mediante la respiración, resultando en una acumulación neta de  $\text{CO}_2$ . Sí estas plantas se someten a la luz la acidez disminuye. La variación diurna

en la acidez fue descubierta en *Bryophyllum calycinum*, especie perteneciente a la familia *Crassulaceae* y en consecuencia se denominó "Metabolismo ácido de crasuláceas (MAC o CAM)" (Salisbury y Ross, 1997).

El CAM se encuentra presente en algunos géneros de las *Bromeliaceae* (piña, barba de palo), *Agavaceae* (sisal), *Orchidaceae*, *Cactaceae*, *Compositae*, *Amaryllidaceae*, *Euphorbiaceae* y por supuesto en la familia *Crassulaceae*. Hasta ahora se conocen más de 28 familias con plantas CAM, entre las monocotiledóneas y dicotiledóneas (Salisbury y Ross, 1997).

Las plantas con CAM habitan en regiones áridas, donde el factor limitante es el agua, por lo que han desarrollado un mecanismo adaptativo, que les ofrece una ventaja ecológica, como es el cierre de los estomas de día y su apertura nocturna. Estas plantas presentan un ritmo circadiano (dura aproximadamente 24 horas), que consta de dos fases: 1) una oscura que produce una acidificación de la vacuola, por acumulación de ácido málico (C-4), con los estomas abiertos, 2) una luminosa en la que ocurre una desacidificación, producida por la descarboxilación del ácido málico (C-4), su conversión en ácido pirúvico (C-3) y  $\text{CO}_2$ , con los estomas cerrados (Salisbury y Ross, 1997).

El  $\text{CO}_2$  producido a partir del ácido málico, se fija en el ciclo de Calvin en la luz con los estomas cerrados. El  $\text{CO}_2$  se fija en la oscuridad a través de una reacción con PEP(C-3), catalizada por la PEP-carboxilasa. El producto de esta

reacción es el ácido oxalacético (OAA, C-4), el cual se reduce a malato(C-4). El PEP viene de la glucólisis, de tal forma que a medida que se forma malato, el almidón disminuye de noche (Salisbury y Ross, 1997).

El "truco" que emplean las plantas CAM, es que incorporan CO<sub>2</sub> de noche, con los estomas abiertos y con el mínimo peligro de desecarse por evapotranspiración, ya que la humedad relativa es más alta y las temperaturas son más bajas. Durante el día por el contrario, cuando la transpiración es mayor las plantas CAM cierran los estomas, impidiendo la pérdida de agua (Salisbury y Ross, 1997).

En la fotosíntesis "inútil", los estomas se mantienen cerrados durante el día y la noche. Este modelo no permite una ganancia neta de carbono (pues no existe incorporación de CO<sub>2</sub>), pero permite que la pérdida del mismo y de agua sea extremadamente baja. Este proceso explica el porqué algunas plantas de fotosíntesis tipo CAM pueden sobrevivir durante meses sin sistema radicular. Sin embargo, a menudo las plantas CAM pueden realizar fijación directa de CO<sub>2</sub> además de CAM, (Azcón-Bieto Talón, 1993).

## **2.7 Cultivo se sábila en México**

### **2.7.1 Características del cultivo**

La sábila se desarrolla bien en zonas semiáridas, se encuentra en alturas que van desde el nivel del mar hasta los 2,500 metros, las temperaturas anuales promedio que requiere van de 21 a 27 grados centígrados, es muy sensible a las heladas por debajo de los 4 grados centígrados, los requerimientos de agua abarcan un amplio rango de precipitación pluvial que pueden ser desde los 590 a los 4,030 milímetros al año, sin embargo no es capaz de soportar inundaciones o encharcamientos.

Es resistente a sequías, altas temperaturas, se desarrolla en casi todo tipo de suelos, preferentemente en aquellos con buen drenaje y textura limo-arenosa, dándose en suelos pedregosos e incluso con cierto grado de salinidad. La sábila requiere de luz solar directa, por lo que se recomienda cultivar sin la asociación con otros cultivos, es muy sensible a la sombra, así como a la competencia de la maleza por obtener nutrientes (Sánchez, 2002).

### **2.7.2 Manejo del cultivo**

El *Aloe vera* se siembra en transplante cuando inicia la lluvia en los meses de mayo a junio, los vástagos derivados de la división son cuidados en

su crecimiento, se eligen aquellos con buen porte y un tamaño mínimo de 30 centímetros, se siembran directamente en pocetas de 20 cm. De profundidad y de ancho en la tierra húmeda, procurando hacerlo con sombra para evitar el estrés causado por las altas temperaturas. La distancia entre plantas es de 0.50 metros y de 0.70 metros entre surcos, o en otros casos de un 0.70 por un metro para permitir un libre crecimiento de las pencas, aunque varía acorde al terreno, por lo tanto la densidad de siembra en los cultivos comerciales puede estar entre 16,000 y 20,000 plantas por hectárea (Sánchez, 2002).

Vivas (1996) menciona una densidad de plantas que fluctúa entre 10,000 y 11,250 plantas ha<sup>-1</sup>, con plantas sembradas a una separación de 0.80 m a 1 m entre plantas, con un espaciamiento de 1 m entre surcos.

Las labores culturales del suelo más usuales en los cultivos a escala comercial son aquellas destinadas a la preparación del terreno para dejarlo en condiciones adecuadas para la siembra. Entre las primeras labores culturales se tienen: limpia del terreno, barbecho, rastra, cruza, trazo de riego, bordeo y surcado (Vivas, 1996).

También destacar dentro de las labores de cultivo sobre todo el control de malezas. Como el mercado de sábila no acepta el uso de herbicidas, el deshierbe se realiza a mano, requiriendo hasta cuatro labores durante el año,

para evitar afección en los rendimientos que se obtienen de las hojas cosechables (Sánchez, 2002).

Los riegos dependen de la zona, donde se establezca el cultivo y/o plantación, pudiendo ser hasta cinco con frecuencia mensual y cuatro mas precisamente durante una a dos semanas, se realiza antes de cada cosecha, para que la planta adquiera mayor turgencia, aumento de peso y mayor rendimiento en jugo (CONAZA, 1992).

El riego es cada vez más frecuente como elemento para acelerar desarrollo e incremento de rendimientos, así como mantener y elevar la calidad del producto. Se aplican cada 20 días una vez establecida la plantación y se hace en láminas ligeras de 10 a 15 cm (Sánchez, 2002).

Yépez *et al.* (1993) sugiere que la disponibilidad de algún factor determinante en la acumulación de gel y látex, es sin duda las condiciones hídricas, que cuando son favorables (un riego cada ocho días) no es conveniente aplicar fertilizante. También menciona que la frecuencia de riego afecta positivamente la producción del acíbar y cristal.

La práctica de fertilización está cayendo en desuso, debido a la mayor demanda de productos con calidad orgánica. Sin embargo aun se sugiere la aplicación de la fórmula 60 – 40 – 00 aplicada en banda y cubriendo con el paso

de la cultivadora o azadón. En temporal se recomienda la formula 60 – 40- 00 al momento de la plantación o en su defecto aplicar 2-3 kilos de estiércol alrededor de la planta, sin que este toque las raíces, (la mitad de la dosis en la plantación y la otra mitad durante la temporada de lluvias) (Yépez, 1993).

Sánchez (2002) recomienda de dos o tres aplicaciones de fertilizante: en el momento de la siembra, a los dos meses una vez plantadas, y finalmente al término de las lluvias con humedad en el suelo.

### **2.7.3 Costos del cultivo**

En el cultivo de sábila se identifican dos etapas de desarrollo: establecimiento de la plantación y producción, el establecimiento comprende desde la preparación del terreno hasta la siembra o plantación. La producción comprende el conjunto de actividades aplicadas al cultivo después de la plantación hasta la cosecha. Los primeros se identifican como costos de inversión y los segundos como costos de operación o producción (Álvarez, 2000).

### **2.7.4 Costos de establecimiento**

Para el establecimiento de una hectárea de sábila se requiere invertir \$ 10,188 en riego y de \$ 8,798 en temporal, como lo muestra el cuadro 2.1:

Cuadro 2.1 Costos de establecimiento del cultivo de sábila en Jaumave, Tamaulipas, 1998.

<b>CONCEPTO</b>	<b>RIEGO (\$/ha)</b>	<b>TEMPORAL (\$/ha)</b>
<b>Limpia del terreno</b>	<b>120</b>	<b>120</b>
<b>Barbecho</b>	<b>300</b>	<b>300</b>
<b>Rastra</b>	<b>120</b>	<b>120</b>
<b>Nivelación</b>	<b>90</b>	<b>90</b>
<b>Trazo de plantación</b>	<b>300</b>	<b>300</b>
<b>Surcado</b>	<b>78</b>	<b>78</b>
<b>Trazo de riego</b>	<b>120</b>	
<b>Construcciones de regaderas</b>	<b>34</b>	
<b>Tumba de regaderas</b>	<b>20</b>	
<b>Cuota del agua</b>	<b>96</b>	
<b>Adquisición de hijuelos (\$ .5C. c/u)</b>	<b>7,500</b>	<b>6,500</b>
<b>Riego de transplante</b>	<b>120</b>	
<b>Trasplante</b>	<b>750</b>	<b>750</b>
<b>Flete de acarreo de planta</b>	<b>540</b>	<b>540</b>
<b>TOTAL</b>	<b>10,188</b>	<b>8,798</b>

Fuente: Agrosociedad Nueva Época, Vol. 1 No. 2, ene-jun del 2000.

### **2.7.5 Costos de producción**

Los costos de producción estimados para el paquete tecnológico recomendado por la SAGAR (1997 – 1998) son de \$ 7,774 por hectárea en riego y de \$ 5 ,674 en temporal. Los costos se aplican a una unidad de producción con densidad de siembra de 15, 000 plantas por hectárea para sistema de riego y de 13,000 plantas para temporal y se cosechan dos cortes al año. La producción obtenida por hectárea es de 30 toneladas en riego y de 24 en temporal. En temporal se considera el segundo año como base del cálculo (SAGAR 1997 – 1998).

### **2.7.6 Superficie de explotación**

Sánchez (2002) presentó una descripción de la producción de sábila en México y menciona que en nuestro país en forma comercial, este cultivo es de historia reciente, las estadísticas oficiales disponibles de superficie sembrada, se inician hacia el año de 1986 en Nuevo León; en 1987 se incorporaron con superficies sembradas Zacatecas y Colima, en 1989 se une San Luis Potosí, y en 1991 aparecen oficialmente Tamaulipas y Yucatán, estados que en la actualidad se han convertido en los principales productores de esta planta. Existen antecedentes de que el cultivo en regiones de Tamaulipas ya se había establecido desde 1982, para aprovechar la ventaja ante la cercanía con procesadoras establecidas en los Estados Unidos, y la puesta en marcha de

programas de nuevos cultivos, como alternativos para zonas semiáridas. El cultivo es predominantemente de temporal, ya que en promedio durante los últimos 5 años las superficies sembradas a nivel nacional muestran que en este régimen hídrico representaron el 79.23% mientras que para riego fueron del 20.77% restante. Los datos oficiales de SAGARPA durante el año 2000, nos indican que sólo 6 estados registraron superficies sembradas con un total de 2,846 hectáreas, donde, los principales contribuyentes fueron Tamaulipas con 1,798 y Yucatán con 862 hectáreas, mientras que San Luis Potosí con 159, Durango con 13, Quintana Roo con 10, y Zacatecas con sólo 4 hectáreas. El crecimiento mostrado por las superficies sembradas dedicadas a este cultivo durante la década de los noventa es evidente. Así se tiene que, partiendo del año de 1990, para el año 2000 se ha conseguido una tasa promedio de crecimiento anual de 37.45 %, a pesar de que hubo una importante disminución de áreas durante el período 1996-97 correspondiente al 30.71 % del total registrado el año previo.

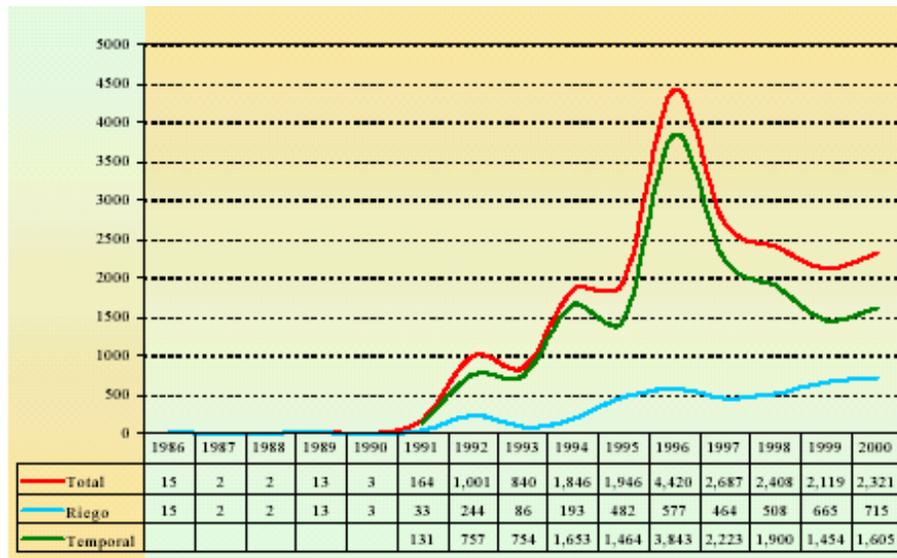
Referente a las superficies cosechadas totales a nivel nacional (Fig. 2.3), de las 2,321 hectáreas, Tamaulipas y Yucatán participaron con 1,798 y 498 hectáreas respectivamente, mientras que una marginal participación tuvieron Durango con 12, San Luis Potosí con 9 y Zacatecas con 4 hectáreas. El cultivo en los primeros años, por ser de hecho desconocido, mostró un gran porcentaje de superficies siniestradas representativas, aunque debido principalmente a que los cultivos no eran cosechados por la falta de mercado, vemos que en los años

recientes tiene una tendencia a disminuir la llamada siniestralidad, como se puede ver en el comparativo histórico mostrado en la gráfica. Así, mientras que en los primeros años se muestra un porcentaje de siniestralidad muy elevado, hacia el año de mayor repunte en las superficies, alcanzó casi el cero, siendo cosechadas la casi totalidad de áreas sembradas. Como ya lo mencionamos, Tamaulipas y Yucatán tienen las mayores áreas dedicadas al cultivo. Por un lado el impulso dado a alternativas de producción, la implantación de sábila como cultivo adecuado para zonas semiáridas, así como el establecimiento en Tamaulipas de industrias procesadoras y en Yucatán por la casi desaparición del cultivo del henequén, fueron detonadores de esta actividad. Así tenemos que a partir de 1991 mostraron su creciente desarrollo como se puede apreciar en la gráfica respectiva.

Podemos observar cómo a partir de su máximo registrado en 1996, las superficies sembradas de esta planta se mantienen más o menos constantes. Para el caso de Yucatán, las plantaciones de sábila se remontan a hace 20 años en la región de Valladolid, donde por iniciativa de inversionistas norteamericanos se invitó a cultivarla con el compromiso de comprar la producción obtenida. Estas acciones fueron seguidas por el impulso de plantaciones de una compañía procesadora de sábila en la planta citrícola de Akil. Las regiones productoras se establecieron hacia 1985 por el Fideicomiso Henequenero, y se ubican en los ejidos de Maxcanú y Halachó; sin embargo este esfuerzo del gobierno fue semiabandonado, y retomado con mayor fuerza

ante la permanencia de dos plantas de procesamiento en el estado, Valladolid y Mérida. Retoma fuerza en 1991 y finalmente tiene aceptación plena hacia 1994 al ser incluidas las plantaciones de sábila como parte del Programa Regional de Desarrollo de la Zona Henequenera de Yucatán, extendiéndose a los municipios de Acanceh, Cacalchén, Chocholá, Dzidzantún, Halachó, Izamal, Maxcanú, Tecoh, Umán, Timucuy y Samahil.

Figura 2.3 Superficie total cosechada a nivel nacional (Has.).



Fuente: Aserca con datos del STACOM del Centro de estadística Agropecuaria de la SAGARPA.

En Tamaulipas el cultivo se establece en cuatro distritos principales como: Jaumave, Victoria, González y Mante. Este estado es la principal región

productora de la *liliácea* en México desde 1964, sin embargo no se tienen registros confiables que nos muestren los resultados del cultivo. Acorde con las fuentes investigadas, es a partir del año de 1984 cuando se establecen 235 hectáreas de sábila de secano por el Comité Técnico para el Empleo Rural en regiones de Jaumave, Tula y Bustamante para su explotación colectiva en terrenos ejidales. Como consecuencia de las heladas que afectan al estado norteamericano de Texas, las superficies en Tamaulipas presentan un gran impulso, y entre 1990 y 1991, se incrementa la venta de hijuelos y hojas, situación que se da en paralelo a la relocalización de empresas transnacionales, que deciden un cambio de áreas de materia prima de Texas a Tamaulipas, por causas climatológicas y económicas. A partir de ese momento se ven muy favorecidas las áreas hasta alcanzar la estabilidad mencionada a partir de 1997. A pesar de ser superficies pequeñas, comparadas a otros cultivos, la generación de divisas que la comercialización de sábila derrama sobre la región es importante. El cultivo demanda mano de obra de la región, cada hectárea requiere de alrededor de 78 jornales para establecimiento del cultivo en sistemas de riego, y 60 en temporal. Para su explotación y mantenimiento durante la vida útil de la plantación que es de 10 a 15 años, se calcula una mano de obra de 168 jornales en riego y 114 jornales en temporal. Para el año 2001, el registro de las superficies sembradas en los diversos distritos muestran cifras para González que representaron el 47.65 %, Jaumave el 32.83%, mientras que Mante y Cd. Victoria tuvieron el 12.50 % y 7.01 % respectivamente del total de Tamaulipas. Estos niveles de demanda se duplican

cuando se utilizan niveles intensivos de explotación. Así a manera de ejemplo durante 1997 el cultivo generó en campo cerca de 72,897 jornales, siendo alrededor de 300 el número de empleos generados para su procesamiento en siete plantas existentes del estado de Tamaulipas (Sánchez, 2002).

### **2.7.7 Producción del cultivo de la sábila**

En cuanto a niveles de producción nacional, que durante el año 2000 fue de 48,694 toneladas, la participación porcentual estatal en la producción de sábila se puede apreciar en la Fig. 4, donde se observa cómo Tamaulipas con el 72.59 % de la producción nacional es estado líder, seguido de Yucatán con 27.07 % y se tiene a otros tres estados más: Durango, San Luis Potosí y Zacatecas que en conjunto sólo tuvieron una producción del 0.33 %, equivalente a 160 toneladas. Así se resalta la concentración existente en la producción de esta planta.

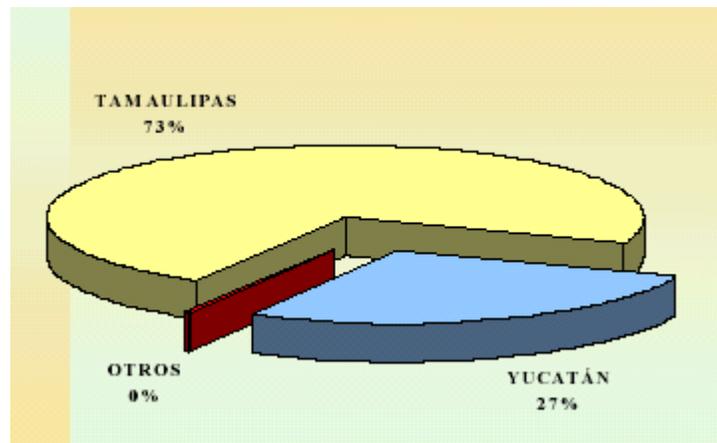
Tratando de mostrar cuál ha sido la evolución de la producción de sábila en la última década, tenemos que la brecha existente entre riego y temporal se reduce año con año, esto gracias a los altos rendimientos que se logran vía la utilización cada vez más común, de sistemas de riego para el cultivo, asegurando con mucho una producción más elevada, uniforme y de calidad estándar.

Esta situación es resultado de la clara orientación exportadora que se tiene para este cultivo, ya que su comercio, depende del procesamiento industrial para generar la materia prima de exportación, que cumple con estándares bien definidos, por lo que en los años venideros es posible esperar una reversión en la que los porcentajes de producción con riego, rebasen a los de temporal en el total nacional.

La producción de sábila durante estos años, período 1991-2000, tiene una tasa de crecimiento anual de 36.21 %, que muestra la positiva evolución que ha tenido, así también en el caso de las superficies dedicadas al cultivo. Los volúmenes han tendido a estabilizarse durante los últimos años. La baja tan severa que se observa en la producción de sábila, (de 1996 a 1998) fue resultado de un fenómeno comercial que se reflejó en los niveles de producción.

Ante el establecimiento de las grandes compañías procesadoras, de contratos de compra-venta de gel y derivados, las empresas abarcan también las actividades primarias, comprando o rentando tierras para la producción de materia prima, que consiste en la asistencia técnica, así como el establecimiento y control de los procesos de operación. Nuestro territorio se ve integrado a un proceso más lineal e intensivo de explotación de las tierras dedicadas al cultivo, pero controladas por las procesadoras.

Figura 2.4 Participación en la producción nacional de sábila año 2000.



Fuente: Aserca con datos del STACOM del Centro de Estadística Agropecuaria de la SAGARPA.

El fenómeno anterior estuvo acompañado de una reducción importante en los volúmenes de los productores ejidales y pequeños propietarios, que tiene como causa una reducción de la superficie bajo cultivo. Estos comportamientos se encuentran estrechamente ligados a la variación que sufren en el mercado los precios que se obtienen de los productos importados por los Estados Unidos, como el jugo y extracto natural, señalando una relación inversamente proporcional; esto es que ante el incremento de volúmenes de origen nacional, los precios pagados van a la baja.

Para Tamaulipas en 1997 se estimaban cerca de 600 productores de sábila, asentados en la región de Jaumave concentrando el 90% de los mismos

y el resto distribuido en las regiones de González y Padilla. En la actualidad se estima que esta cifra de productores es ligeramente mayor, reubicando su establecimiento con disminución en Jaumave y un incremento ligero, sobre todo en el distrito de González, aunque, con menores superficies establecidas individuales por la falta de un mayor número de demandantes o industrias consumidoras.

La explotación de sábila, se mantiene con expectativas de crecimiento y además de expansión. Así podemos citar que el cultivo existe en otros Estados del país como Michoacán, Puebla, Estado de México y Morelos que aunque no aparecen en las estadísticas oficiales, muestra que el cultivo se está difundiendo con nuevas plantaciones que se orientan a requerimientos locales para pequeñas agroindustrias poco conocidas y tecnificadas (Sánchez, 2002).

### **2.7.8 Estrategias para la producción**

#### ***Mallas para sombreo***

-

La colocación de una pantalla sobre el cultivo disminuye la cantidad de radiación luminosa que incide sobre las plantas durante el día y reduce la pérdida de radiación de onda larga emitida por el cultivo durante la noche. Como consecuencia de esta modificación de la luz y del balance energético del invernadero, se produce una variación de otros parámetros climáticos como la

temperatura y la humedad, afectando de forma directa a los procesos de fotosíntesis y transpiración del cultivo, que se traducen en su desarrollo y productividad (Valera *et al*, 2001).

La radiación neta bajo la pantalla depende principalmente del porcentaje de sombra que la malla proporciona y del tipo de material que lo constituye. Con el fin de aumentar la reflexión de las mallas, las láminas pueden estar metalizadas con aluminio, denominándose en este caso como mallas aluminizadas. Estas últimas absorben menos radiación, calentándose menos y logrando una mayor disminución de la temperatura, siempre y cuando el invernadero esté suficientemente ventilado (Valera *et al.*,2001).

Las mallas de sombreo combinadas con una buena ventilación provocan una reducción de la temperatura interior del invernadero así como de la transpiración del cultivo. Deben transmitir la mayor cantidad de radiación fotosintéticamente activa posible, y reflejar la máxima cantidad de radiación de infrarrojo corto proveniente del sol.

(<http://www.marienber.cl/aespanol/productos/mallas/sombracorta.htm>)

La mayoría de las mallas de sombreo son de color negro o aluminizadas, aunque existen en diversos colores. Sin embargo, las mallas coloreadas presentan el inconveniente de absorber una parte de radiación del espectro, lo que provoca el doble efecto negativo de una disminución de la radiación

fotosintéticamente activa y un aumento de la temperatura de la malla (y por tanto de la temperatura interior del invernadero)

(<http://www.marienber.cl/aespanol/productos/mallas/sombracorta.htm>)

### ***Acolchado sobre el suelo***

Bradley (1994), menciona que el acolchado plástico tiene un efecto sobre algunos factores, creando un microclima más favorable alrededor del cultivo.

Los factores sobre los que ejerce mayor influencia son:

#### Efecto sobre la humedad del suelo

La cantidad del agua bajo el plástico es generalmente superior a la del suelo desnudo. Con el uso de cualquier tipo de plástico la mayor pérdida de agua es por percolación, tanto en el agua de irrigación como después de una lluvia abundante, ya que el acolchado impide la evaporación casi totalmente manteniendo la humedad a disposición constante y regular de las plantas. El acolchado plástico permite un ahorro de agua de un 50% hasta 60% en comparación con el sistema tradicional. El ahorro de agua también se incrementa con la ausencia de malas hierbas por que estas no consumen agua y el agua disponible está a favor del cultivo (Ibarra y Rodríguez, 1991).

Al igual que con la temperatura, los efectos del acolchado sobre la humedad del suelo se logran si éste es lo suficiente amplio en torno a la planta. Al efectuar adecuadamente el suministro de agua de irrigación y explotación de las características del acolchado respecto a la humedad del suelo, se mantiene un régimen hídrico constante del terreno muy cercano al óptimo. Este efecto positivo no se determina sólo por la mayor cantidad de agua, sino además por su distribución sobre el perfil del suelo (Ibarra y Rodríguez, 1991).

Coffey *et al.*, (1999), efectuaron un estudio con la finalidad de observar el efecto de varios colores de acolchado plástico sobre el contenido de humedad y temperatura del suelo; obteniendo que no hubo diferencia entre colores en cuanto a contenido de humedad, pero si hubo diferencia entre estaciones del año. En cuanto a los resultados, en la estación temprana del año, el contenido de humedad fue alto en todo los colores, en comparación con la tardía, el rojo mantuvo el nivel más alto de humedad. En cuanto a las temperaturas registradas fueron en promedio similar en todos los colores.

#### Efecto sobre la temperatura

La temperatura del suelo es uno de los principales factores que se ven modificados por la acción directa del acolchado con películas plásticas, e influye directamente en las diversas alteraciones del medio ambiente en que se desarrollan los cultivos, ya que de la energía almacenada como calor en el

suelo, depende la velocidad de los procesos fisiológicos más importantes para la planta como son: absorción de nutrientes por la planta y por consiguiente un mejor crecimiento y desarrollo (Robledo y Martín, 1981).

Durante el día el plástico transmite al suelo la radiación recibida por el sol, haciendo el efecto de invernadero. Durante la noche la película plástica deja salir una parte de calor acumulado, que será de beneficio para la planta cultivada, evitando los riesgos por enfriamiento e incluso de helada. El efecto sobre la temperatura del suelo está fuertemente influenciado por el tipo de plástico que se utilice (ya sea por la composición química o por la coloración del mismo). Por otra parte, para que dicho efecto sea relevante, la faja del suelo acolchado deberá ser suficiente amplia (el acolchado total de su suelo es lo ideal) alrededor ser suficientemente amplia (el acolchado total de su suelo es lo ideal) alrededor de un metro como mínimo (Ibarra y Rodríguez, 1991).

Argall y Stewar (1991), en un estudio realizado en Québec, Canadá, evaluaron la influencia de combinaciones de acolchado y túnel sobre el crecimiento y desarrollo de melón. En este trabajo se concluyó que una película de plástico transparente, ya sea como acolchado o instalada en túnel, puede servir para incrementar la temperatura del suelo, el acolchado claro con o sin túnel es apropiado. El túnel blanco implicó costos adicionales, pero proporciona una protección significativa contra las bajas temperaturas en comparación a un

tratamiento expuesto al medio. El acolchado negro/túnel transparente ofreció un óptima protección contra heladas.

## **2.8 Rendimiento del cultivo**

Los rendimientos del cultivo varían de acuerdo a la densidad de siembra y al tipo de explotación que se realice en la plantación. Si vemos en la gráfica correspondiente a los históricos de rendimiento podemos apreciar claramente cómo varían y han alcanzado máximos históricos. Así tenemos que dentro de este comportamiento el peor registro que se tiene en cuanto al promedio de rendimientos a nivel nacional se observa en 1994 con 6 toneladas por hectárea, mientras que el máximo se registró en 1997 con 41 toneladas por hectárea.

El rendimiento es resultado de la relación de superficie y producción, sin embargo para esta liliácea, existe una particularidad, la capacidad reproductiva de las plantaciones se puede medir en forma extraordinaria y su rendimiento anual refleja, ante todo, la intensidad de explotación de la plantación (Sánchez, 2002).

## **2.9 Aspectos de la comercialización**

La comercialización de la sábila, no cuenta con intermediarios, la venta se realiza directamente entre productores y procesadores. Sin embargo, existe

en muchas ocasiones, una parte más que se integra al proceso comercial, es aquél que se encarga de ubicar las plantaciones susceptibles de corte, y realizar la cosecha, con cortadores propios y experimentados, encargándose además, de realizar el transporte hacia la planta. Este prestador de servicios, trabaja en forma casi exclusiva para un solo cliente, con el que establece una estrecha relación comercial para surtir adecuadamente en tiempo y forma, la materia prima para las diversas sabileras. El productor paga o recibe un descuento por esta actividad. En la actualidad se maneja un precio promedio preestablecido de 150 pesos por tonelada, por lo que al productor le quedan 450 pesos por tonelada, cuyo pago se realiza en un término promedio dentro de la semana en la que se realiza el corte.

Es práctica común que se realicen anticipos económicos otorgados por la procesadora, que le son descontados al productor al momento de la liquidación del producto recibido en la planta. Como ya lo mencionamos la mayoría de las áreas sembradas son de temporal, y el producto se vende solamente una vez al año, por lo que es difícil mantener una relación de compraventa bajo contrato entre este tipo de productores y las sabileras de la región. En aquellas plantaciones que son de riego, en las cuales se encuentra una relación muy cercana con las plantas procesadoras, a las que surten la materia prima, se lleva a cabo la agricultura por contrato, lo que permite a las sabileras, programar y cubrir los pedidos existentes de producto por entregar. Además es una práctica común que el, o los socios, de las sabileras, sean a la vez

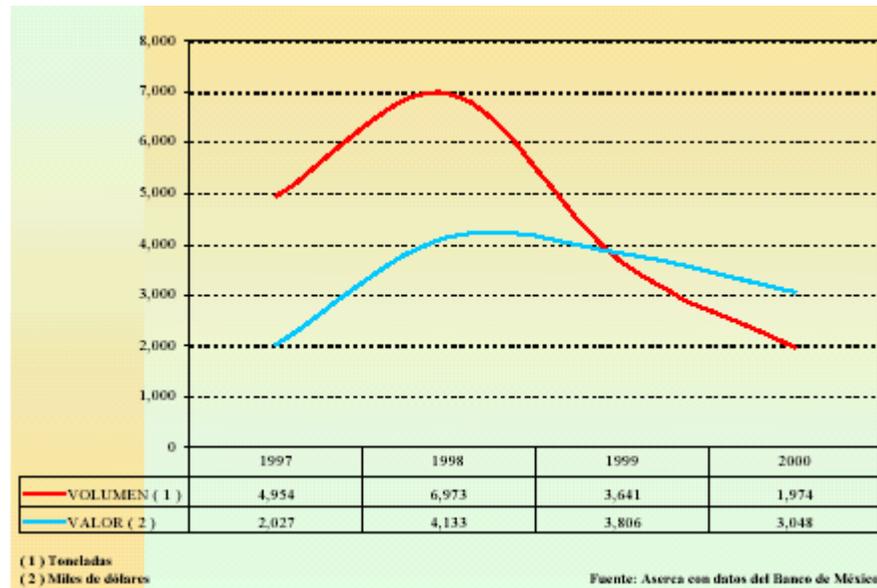
propietarios de tierras bajo explotación de riego, lo que les permite asegurar el círculo de producción comercialización con gran éxito, además de permitirles planear en una forma optimizada la producción a procesar.

Esta planeación, no abarca normalmente a las tierras de temporal, donde la producción en épocas de cosecha, no puede ser absorbida en su totalidad por la capacidad instalada de las procesadoras cuando se llegan los meses de producción, mientras que en los meses en las que la producción declina, y existe demanda de sábila, se recurre a la compra de materia prima de otras zonas o estados que tengan disponibilidad en sus plantaciones. Existe también la maquila de materia prima dando paso a la venta de filete de una planta a otra, o bien como materia prima procesada en jugo, para su tratamiento y entrega en forma de un producto con uno o más procesos adicionales (Sánchez, 2002).

## **2.10 Comercio exterior**

Debido a las características, formas y presentaciones en las que se realizan las negociaciones internacionales de estos productos derivados de *Aloe* o sábila, no fue posible establecer un seguimiento completo de los volúmenes comercializados del producto. En la clasificación arancelaria no se identifica de manera específica los volúmenes en las exportaciones del producto.

Figura 2.5. Exportaciones mexicanas de gomas, resinas, jugos y extractos vegetales. Fracc. (13.02.19.99).



Fuente: Aserca con datos del Banco de México.

Dentro del Capítulo “plantas vivas y productos de la floricultura”, las fracciones números 0602.10.01 y 0602.90.01 referente a “Las demás plantas vivas (incluidas sus raíces), esquejes y demás partes de plantas para plantar e injertos; blanco de setas. Esquejes sin enraizar, y las demás. De sábila o *Aloe*, cuando sea de origen silvestre”. Igualmente se aprecian en la fracción No. 1302.19.99 referente a “Jugos y extractos vegetales; materias pépticas, pectinatos y pectatos; agar-agar y demás mucílagos y espesativos derivados de los vegetales , incluso modificados” (Fig. 2.5).

Esta manera de englobar diversos productos, no permite una clara identificación de los volúmenes de sábila que se exportan, sin embargo cabe citar los siguientes: Bajo la fracción 1302.19.99, las exportaciones mexicanas con un volumen de 363.113 toneladas con un valor de 143,947 dólares durante 1989, en 1992 subieron a 2,015 toneladas con valor de 1,309,126 dólares. En el año de 1995 el valor de las exportaciones fue de 1,249,000 dólares con un volumen de 425.68 toneladas; para el 98 se alcanzó un gran volumen con 6,972.73 con valor de 4.133 millones de dólares, el máximo registrado bajo esta fracción, como puede apreciarse en la gráfica correspondiente. Las cifras muestran las variaciones que reflejan una demanda dinámica de los procesadores internacionales, que acorde con la demanda del mercado, año con año prevén los volúmenes de materia prima a ocupar para productos terminales en las diversas industrias que utilizan el producto en sus formulaciones. Como mencionamos, la solicitud de materia prima, principalmente con destino a los Estados Unidos, mantiene un importante papel para compensar los precios del mercado internacional, aún cuando se conoce que otros destinos son los mercados de Europa y Asia (Sánchez, 2002).

## **2.11 Perspectivas**

El mercado, a decir de los propios productores e industrializadores, guarda una proyección muy favorable en un futuro inmediato, así como en el mediano y largo plazo, con un mercado nacional casi virgen, ante un mercado

internacional creciente y una industria innovadora de productos con sábila. Es imperativo incrementar la difusión para que nuestro país se convierta, no sólo en un productor exitoso de materia prima, sino en un consumidor de excelencia de los productos que contengan esta planta, con los beneficios de salud que conlleva este consumo.

Es importante desarrollar la industria sabilera requerida para la fabricación de productos de vanguardia, que consuman materia prima de origen natural, adhiriéndose a la tendencia mundial, de sustituir los productos elaborados con derivados químicos, que poco a poco están siendo desplazados en el consumo preferente en los países desarrollados (Sánchez, 2002).

### **III. MATERIALES Y METODOS**

#### **3.1 Localización y características del área de estudio**

##### **3.1.1 Localización**

El presente trabajo de investigación se realizó en el campo experimental “el Bajío” y en el invernadero 4 de la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”, ubicado en Buenavista, Saltillo, Coahuila; México, en el kilómetro 07 de la carretera 54 Saltillo – Concepción del Oro Zacatecas, en los paralelos de 25° 23’ de latitud norte y los 100° 00’ longitud oeste del meridiano de Greenwich, a una altitud de 1743 msnm.

El experimento se desarrolló durante los meses de Marzo a Noviembre de 2003.

##### **3.1.2 Características climáticas**

En los terrenos de la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” predomina el clima:

BW, (X) (e); un clima seco, semiseco templado con lluvias escasas todo el año, precipitación invernal mayor al 18% con respecto al total anual, verano cálido. La temperatura media anual varía entre 12 °C y 18 °C, siendo los meses más cálidos Junio, Julio, Agosto, con temperaturas máximas de 37 °C.

La precipitación media anual es de 461 mm siendo los meses más lluviosos Julio, Agosto, Septiembre y Octubre. El mes con lluvias más abundantes es Julio y el mes más seco, Marzo. Las lluvias en invierno son moderadas, en el ambiente se registra un 64% de humedad relativa media anual, el verano es la estación de mayor humedad relativa, e invierno y primavera de mayor sequía.

Los vientos predominantes son del Sureste durante casi todo el año, a excepción del invierno donde predominan los del Noreste, y se presentan con mayor intensidad en los meses de Febrero y Marzo.

### **3.2 Metodología**

Como se citó con anterioridad, la finalidad de la investigación fue conocer el comportamiento estomático de *Aloe vera* en condiciones contrastantes de déficit hídrico en el suelo y en diferente condición ambiental, debido al acolchado, al sombreado o en invernadero, para cumplir con los objetivos se evaluaron los siguiente tratamientos en el campo y en invernadero.

### **3.3 Tratamientos y descripción**

Tratamientos en campo

TC-1.- Cobertura plástica con menor déficit hídrico en el suelo

TC-2.- Cobertura plástica con mayor déficit hídrico en el suelo

TC-3.- Sombra con menor déficit hídrico en el suelo

TC-4.- Sombra con mayor déficit hídrico en el suelo

TC-5.- Sin cobertura plástica con menor déficit hídrico en el suelo

TC-6.- Sin cobertura plástica con mayor déficit hídrico en el suelo

## Tratamientos en invernadero

TI-1 .- Con menor déficit hídrico

TI-2 .- Con mayor déficit hídrico

Los tratamientos de cobertura plástica, con menor y mayor déficit hídrico consistieron cada uno en una cama de 6 m de largo y separación de 1.80 m. Entre los dos tratamientos había una cama que servía para evitar el traslape de humedad entre tratamientos.

El bordo de la cama tenía un ancho de 1.20 m con dos líneas de plantas, la separación entre plantas fue de 0.42 m, para un densidad de 25,000 ptas/ ha. El riego se efectuó por cintilla en cada cama se instalaron dos cintillas.

Los tratamientos con sombra con mayor o menor déficit hídrico en el suelo, consistieron cada uno en dos surcos de 6 m de largo separados a 1 m. Los dos tratamientos tienen un surco intermedio separándolos con la finalidad de evitar el traslape de humedad entre tratamientos.

Las plantas estuvieron separadas a 0.4 para una población de 25, 000 ptas/ha. Cada surco contaba con una línea de cintilla.

Sobre los surcos se instaló una infraestructura tubular para sostener las mallas de sombreo a una altura de 1.9 m la cuales interfieren la luz en un 30%.

Los tratamientos 5 y 6 no contaron con cobertura plástica y sombreo, también tuvieron el mismo número de surcos, densidad de población y método de riego, que los tratamientos anteriores.

El criterio de conducir el cultivo con menor déficit hídrico en el suelo, se llevó a cabo regando las plantas cuando la tensión de humedad del suelo

indicada por un tensiómetro, alcanzara un valor de 60 centibares. El tratamiento con mayor déficit hídrico consistió en efectuar el riego cuando el contenido de humedad disponible en el suelo se abatiera en su totalidad en una profundidad de 30 a 50 cm.

Los tratamientos en invernadero, consistieron en plantas colocadas en macetas de 10 litros. Cada tratamiento contó con 5 plantas o macetas. El criterio de riego fue similar a los de campo. El riego se efectuó manualmente.

### **3.4 Inicio del experimento**

A principios de Marzo de 2003 se inició el establecimiento del experimento. se comenzó con una labor cultural, que consistió en limpiar el terreno, eliminando las malezas existentes y cualquier otro objeto indeseable, como piedras, plásticos, entre otros. La eliminación de malezas se realizó 3 veces durante el periodo del experimento, debido a que los riegos fundamentaban la aparición de malezas. A continuación se mencionan las principales malezas que se encontraron en el área de estudio: *Cynodon dactylon* (L.) Pers, *Taraxacum officinale* Wig, *Echinochloa crusgalli* (L.) Beauv, *Setaria geniculata* (Lam.) Beauv, *Rumex crispus* L, *Kochia scoparia* (L.) Roth, *Diploaxis muralis* (L.) DC, *Datura quercifolia* H.B.K, *Nicotiana trigonophy* Dun, *Solanum elaeagnifolium* Cav. Enseguida se continuó con la colocación de la cintilla en cada uno de los tratamientos, después se colocó el acolchado en las camas (tratamiento 1 y 2), el plástico fue perforado con un tubo PVC con un diámetro de 5 pulgadas con el fin de que el plástico cubriera el suelo por completo, después se colocó la estructura del sombrero e inmediatamente después se colocó la malla sombra (tratamientos 3 y 4), se podaron las plantas con una navaja dejando un promedio de 6 hojas por planta, se regaron todos los tratamientos con el fin de homogenizar la humedad del suelo, después se regó hasta alcanzar 30 centibares dependiendo del déficit hídrico por tratamiento, unas plantas se pusieron en macetas en el invernadero para que el

cultivo se desarrollara en temperaturas mas altas, todo lo anterior se realizó manualmente, con el siguiente material:

- Plástico negro para acolchar de 100 micras de espesor con un ancho de 1m.
- Azadones
- Palas
- Tubería galvanizada
- Malla para sombreo
- Tensiómetros
- Navajas
- Pinzas

### **3.5 Toma de mediciones porométricas**

Las mediciones se realizaron durante los meses de Marzo a Noviembre, en algunas ocasiones durante 24 hrs. y en otras durante 12 hrs., en intervalos de una hora entre cada medición con una duración de 30 minutos en promedio (Cuadro 3.1).

Las variables medidas con un porómetro de estado estable (modelo LICOR 1600) fueron : transpiración en  $\mu\text{g cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , resistencia estomática en  $\text{s cm}^{-1}$ , radiación fotosintéticamente activa (PAR) en  $\mu\text{mols}^{-1}\text{m}^{-2}$ , humedad relativa en %, temperatura de la hoja en °C.

La toma de datos se efectuó en 2 plantas por tratamiento, en una hoja por planta. Las mediciones se realizaron en el haz y envés de la hoja, tomando en cuenta que la hoja estuviera en buenas condiciones y que fuera de las más grande para mejor comodidad en la toma de datos y que no presentara daños mecánicos.

Al momento en que se tomaron los datos, se requirieron 3 personas, una persona sostenía la hoja y la cubeta del porómetro, la segunda persona equilibraba la aguja del porómetro y la tercera persona escribía los datos proporcionados por el porómetro, ambas personas contaban con linternas, ya que la mayoría de los datos fueron tomados en la noche y algunas en el día. Todo lo anterior se realizó en campo y en invernadero.

### **3.6 Cálculos para determinar las variables a evaluar**

Con la siguiente formula se calculó la resistencia estomática de la hoja:

$$R_{\text{hoja}} = \frac{R_{\text{haz}} + R_{\text{envés}}}{R_{\text{haz}} \times R_{\text{envés}}}$$

Donde:

$R_{\text{hoja}}$  = Resistencia estomática de la hoja

$R_{\text{haz}}$  = Resistencia estomática del haz de la hoja

$R_{\text{envés}}$  = Resistencia estomática del envés de la hoja

Las variables de transpiración, radiación fotosintéticamente activa (PAR), humedad relativa y temperatura de la hoja se calcularon sacando las medias en cada medición durante la evaluación este trabajo.

Cuadro 3.1 Mediciones que se realizaron durante el experimento de Marzo a Noviembre de 2003.

<b>Medición</b>	<b>Fecha</b>	<b>Periodo de mediciones</b>	<b>Frecuencia de mediciones</b>	<b>Medidas efectuadas</b>	<b>Día o noche</b>	<b>Inicio de medición</b>	<b>Fin de la medición</b>
* 1	21 de Marzo	11 hrs.	Cada hora	Tr, RE, PAR, HR, TH.	Noche	20:00 hrs, 21 de Marzo	7:38 am, 22 de Marzo
* 2	3 de Abril	13 hrs	Cada hora	Tr, RE, PAR, HR, TH.	Noche	19:06pm, 3 de Abril	7:38 am, 4 de Abril
* 3	30 de Abril	14 hrs	Cada hora	Tr, RE, PAR, HR, TH.	Noche	19:57 pm, 30 de Abril	09:00 am, 1 de Mayo
* 4	23 de Agosto	11hrs	Cada hora	Tr, RE, PAR, HR, TH.	Día	07:00 am, 23 de Agosto	18:28 pm, 23 de Agosto
* 5	29 de Agosto	24 hrs	Cada hora	Tr, RE, PAR, HR, TH.	Día y noche	07:00 am, 29 de Agosto	08:am, 30 de Agosto
& 6	3 de Octubre	12 hrs	Cada hora	Tr, RE, PAR, HR, TH.	Noche	20:00 pm, 3 de Octubre	09:00am, 4 de Octubre
& 7	10 de Octubre	15 hrs	Cada hora	Tr, RE, PAR, HR, TH.	Noche	19:17 pm, 10 de Octubre	10:19 am, 11 de Octubre
& 8	24 de Octubre	14 hrs	Cada hora	Tr, RE, PAR, HR, TH.	Noche	19:10 pm, 24 de Octubre	09:00 am, 25 de Octubre
& 9	1 de	12 hrs	Cada hora	Tr, RE, PAR,	Noche	19:05 pm, 1 de	07:00 am, 2 de

	Noviembre			HR, TH.		Noviembre	Noviembre
* 10	7 de Noviembre	24 hrs	Cada hora	Tr, RE, PAR, HR, TH.	Día y noche	07:20 am, 7 de Noviembre	07:50 am, 8 de Noviembre
& 11	8 de Noviembre	12 hrs	Cada hora	Tr, RE, PAR, HR, TH.	Noche	19:05 pm, 8 de Noviembre	07:55 am, 9 de Noviembre
* 12	12 de Noviembre	12 hrs	Cada hora	Tr, RE, PAR, HR, TH.	Día	07:15 am, 12 de Noviembre	18:50 pm, 13 de Noviembre
& 13	15 de Noviembre	12 hrs	Cada hora	Tr, RE, PAR, HR, TH.	Noche	19:28 pm, 15 de Noviembre	17:51 am, 16 de Noviembre
* 14	19 de Noviembre	13 hrs	Cada hora	Tr, RE, PAR, HR, TH.	Noche	19:20 pm, 19 de Noviembre	08:00 am, 20 de Noviembre

Tr = Transpiración

RE = Resistencia Estomática

PAR = Radiación Fotosintéticamente Activa

HR = Humedad Relativa

TH = Temperatura de hoja

\* = Campo

& = Invernadero

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Información climática

En las Fig. 4.1 a 4.5 se presentan los promedios mensuales de las condiciones climáticas de temperatura, radiación, humedad relativa, precipitación y evaporación presentados durante la investigación.

En la Fig. 4.1 se presentan las temperaturas máximas, medias y mínimas del año 2003, la temperatura mínima reportada fue de 8.3 (Marzo) y la máxima de 31.5°C (Mayo).

En la Fig. 4.2 se presenta la radiación promedio durante el año 2003, el rango en que fluctuó fue de 278.6 (Septiembre) a 456.23 cal/cm<sup>2</sup>/día (Mayo).

En la Fig. 4.3 se presenta la humedad relativa, la mínima fue de 17% (Marzo-Abril) y máxima de 97% (Septiembre).

En la Fig. 4.4 se presenta la precipitación del año 2003, el rango en que fluctuó fue de 0.1 (Marzo-Abril) a 9.4 mm (Julio) .

En la Fig. 4.5 se presenta la evaporación del año 2003, el rangos en que fluctuó fué de 2.37 a 9.83 mm en Septiembre y Mayo respectivamente.

En los primeros 3 meses del año 2003, las plantas se encontraban con un gran número de hojas dañadas debido a que las bajas temperaturas las afectaron. En el mes de Abril al iniciar el establecimiento del experimento, el cultivo empezó a mejorar ya que se tenían nuevas hojas, en el periodo de lluvias, en los meses de Julio y Septiembre no se realizaron mediciones ya que todos los tratamientos se mantuvieron con altos contenidos de humedad.

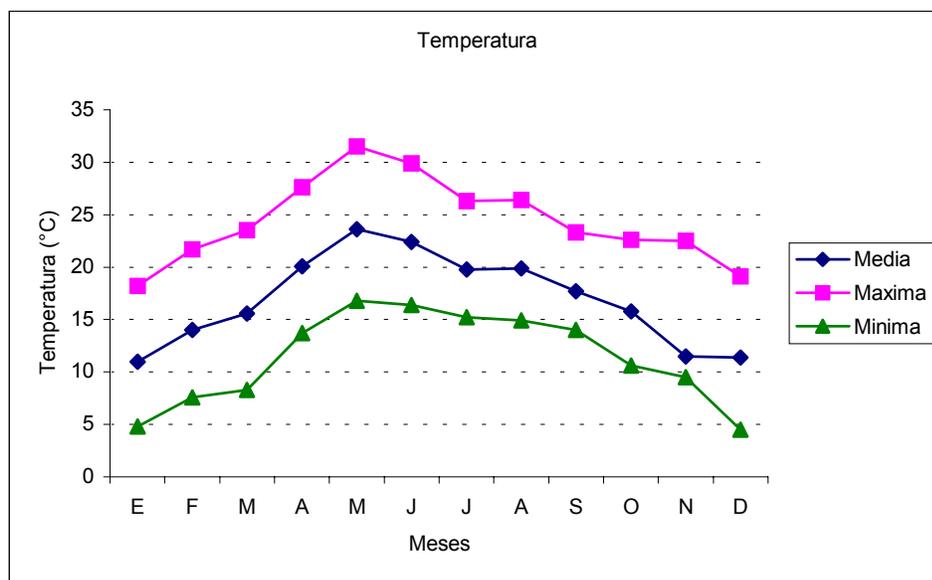


Figura. 4.1 Valores promedio mensual de la temperatura (°C) máxima, media y mínima en el año 2003.

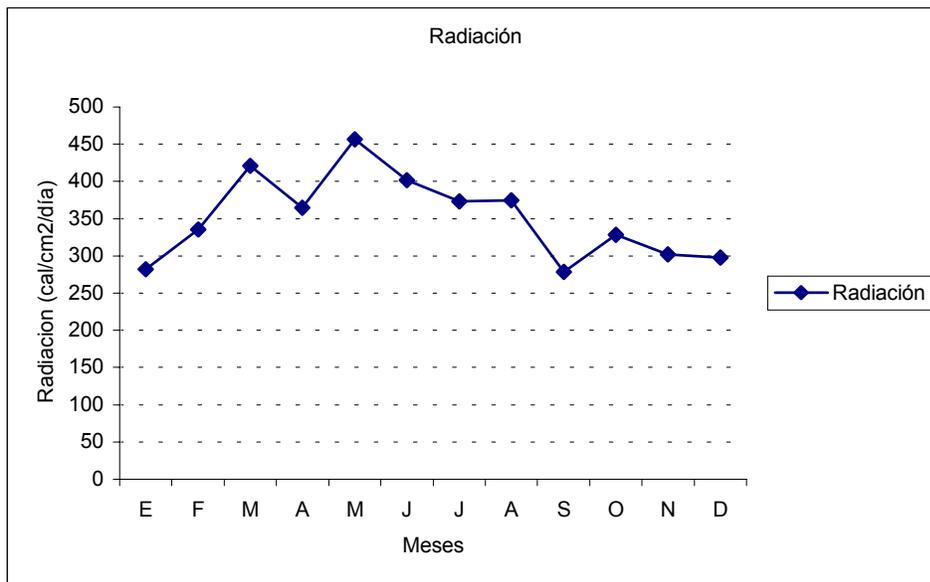


Figura 4.2 Valores promedio mensual de la radiación ( $\text{cal}/\text{cm}^2/\text{día}$ ) en el año 2003.

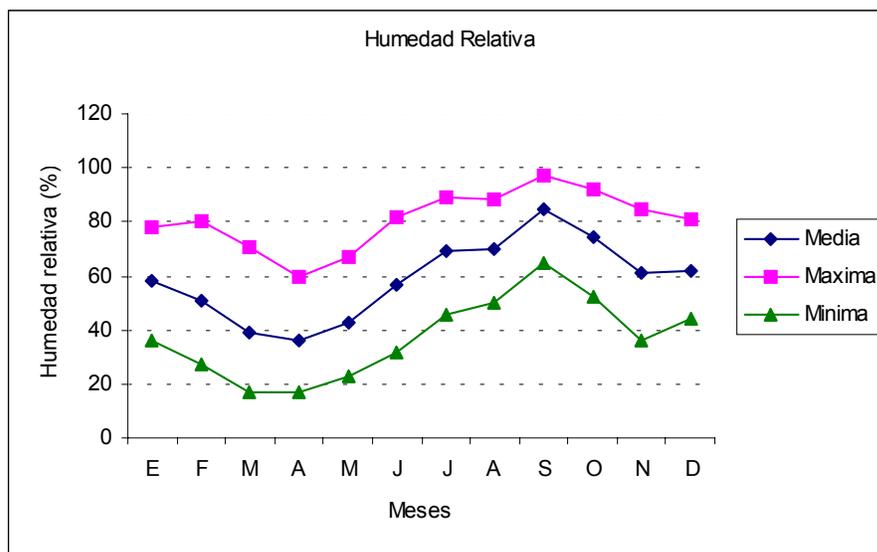


Figura 4.3 Valores promedio mensual de humedad relativa diaria (%) máxima, media y mínima en el año 2003.

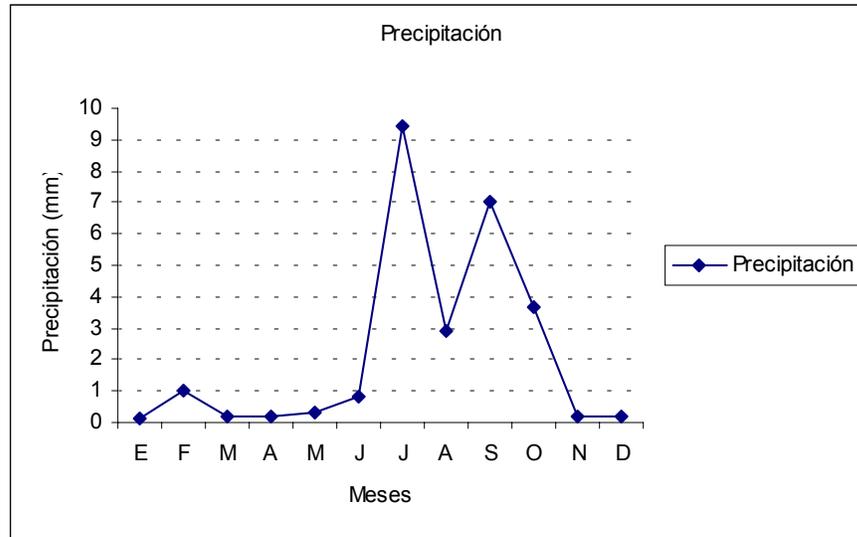


Figura 4.4 Valores promedio mensual de la precipitación (mm) en el año 2003.

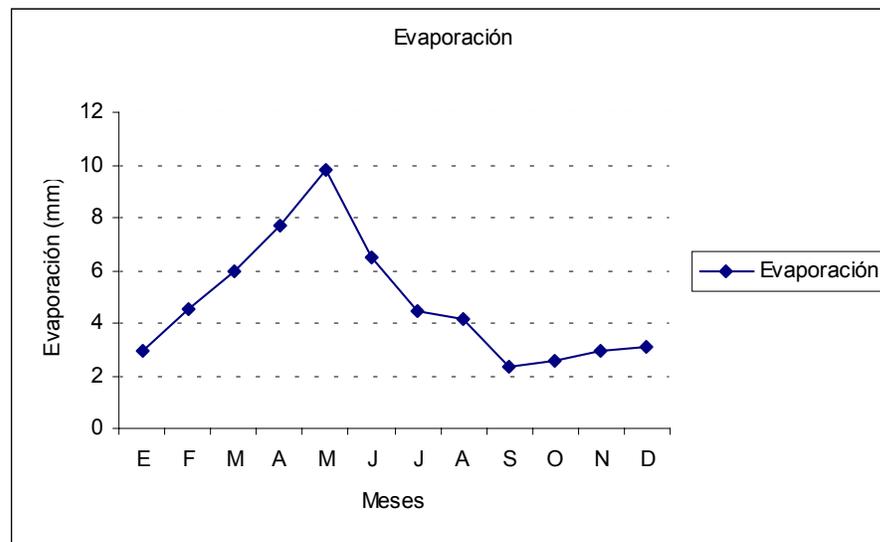


Figura 4.5 Valores promedio mensual de evaporación diaria (mm/día) en el año 2003.

## 4.2 Dinámica de la resistencia estomatal

En las Figs. 4.6 y 4.7 se presentan la evolución de la resistencia estomatal durante 24 hrs. en dos días diferentes, en las gráficas se representan los promedios de tres tratamientos con menor déficit hídrico y la evolución de la radiación solar.

Los datos muestran que a medida que incrementa la radiación solar la resistencia estomática aumenta. (Fig. 4.6). El máximo valor de resistencia en los tratamientos es de  $15.673 \text{ scm}^{-1}$  coincidente con el máximo valor de la radiación solar de  $525.62 \mu\text{mols}^{-1}\text{m}^{-2}$  a las 14 hrs. hora local. Entre las 19 y 20 hrs. se alcanza la oscuridad y los valores de resistencia tienden al mínimo valor que fluctúa entre 0.19 y  $0.223 \text{ scm}^{-1}$ , los cuales se mantienen hasta las 5 de la mañana del siguiente día. La salida del sol a partir de las 6 de la mañana ocasiona que se incremente la resistencia estomática.

Para el caso de la Fig. 4.7 el máximo valor de resistencia en los tratamientos es de  $10.52 \text{ scm}^{-1}$  coincidente con el máximo valor de la radiación solar de  $701.6 \mu\text{mols}^{-1}\text{m}^{-2}$  a las 14 hrs. hora local. Entre las 18 y 19 hrs. se alcanza la oscuridad y los valores de resistencia tienden al mínimo valor que fluctúa entre 0.021 y  $0.203 \text{ scm}^{-1}$  los valores se mantienen hasta las 7 de la mañana del siguiente día. La salida del sol a partir de las 7 de la mañana ocasiona que se incremente la resistencia estomática.

Las plantas bajo déficit hídrico abren sus estomas por la noche, sin embargo, se reduce mientras que el cierre se mantiene a través del día. El índice de la transpiración de las plantas del *Aloe* es notablemente bajo. La transpiración ocurre por la noche en que los estomas están abiertos, y la pérdida por transpiración es insignificante o ausente por el día en que los estomas son cerrados y temperatura del aire ambiente está en su nivel máximo (Sheteawi *et al.* 2001).

Para ambas figuras a medida que aumenta la radiación solar la resistencia también aumenta y al disminuir la radiación solar, la resistencia estomática también disminuye.

Por otra parte Anzures (s/f) trabajó con *O. decumbens* que a pesar de las variaciones en la energía solar, no se observaron variaciones aparentes en la apertura de los estomas. Más interesante aún es el hecho de que los estomas estuvieron abiertos durante el día. Teóricamente esta especie es una planta con metabolismo CAM, por lo cual se esperaría que al medio día todos sus estomas estuviesen cerrados. Lo que estamos observando es un comportamiento como  $C_3$  facultativa. Hubiese sido interesante tomar impresiones también durante la madrugada y la noche, para observar el momento de cierre y apertura de los estomas.

Para ambos días se alcanza la oscuridad entre las 18 y 20 hrs., en la Fig. 4.6 tenemos que las bajas resistencias estomatales empiezan a partir de la media noche (00:00 hrs.) y termina a las 6 de la mañana en cambio para la Fig. 4.7 la baja resistencia estomatal comienza a partir de las 17 hrs. y termina a las 7 de la mañana del día siguiente. El comportamiento estomático para ambas fechas no fue similar ya que pudo influir las condiciones climáticas, cabe mencionar que para ambos días tanto como de día y noche los estomas se mantuvieron abiertos.

Este comportamiento no solo es debido al efecto de la humedad del suelo, sino también debido a las condiciones climáticas que influyen sobre el comportamiento estomático de este cultivar. Hall *et al.* (1976) señalan que el cierre estomático no solamente es debido a la disminución de radiación.

Es importante señalar que en comparación con otras especies CAM, como el *Agave* presenta una resistencia estomática de  $900 \text{ scm}^{-1}$  (Nobel, 1976), en *O. Basilaris* y *O. Acanthocarpa*  $620 \text{ scm}^{-1}$ , *O. Bigelovii*  $1020 \text{ scm}^{-1}$  (Ting *et al.* 1972); los valores de resistencia de la sábila son menores, lo cual podría indicar que los estomas no están completamente cerrados durante el día o en su caso que puede haber cierto grado de transpiración cuticular.

El factor más importante que afecta la resistencia de los estomas es la apertura de éstos, la cual, en condiciones naturales, está primeramente bajo la

influencia de la intensidad luminosa y del potencial hídrico de la hoja; a un cuando el efecto de intensidad de la luz y en menor grado, el efecto del potencial hídrico, se encuentran modificados por la concentración interna de bióxido de carbono (Kramer, 1974).

Más aún, plantas CAM bien regadas generalmente toman algo de CO<sub>2</sub> en la mañana y al final de la tarde, mientras que las plantas C<sub>3</sub> y C<sub>4</sub> no toman nada de CO<sub>2</sub> durante la noche. Así, cuando se considera todo un período de 24 horas hay una toma similar de CO<sub>2</sub> entre las plantas altamente productivas de los tres sistemas fotosintéticos (Nobel, 1999).

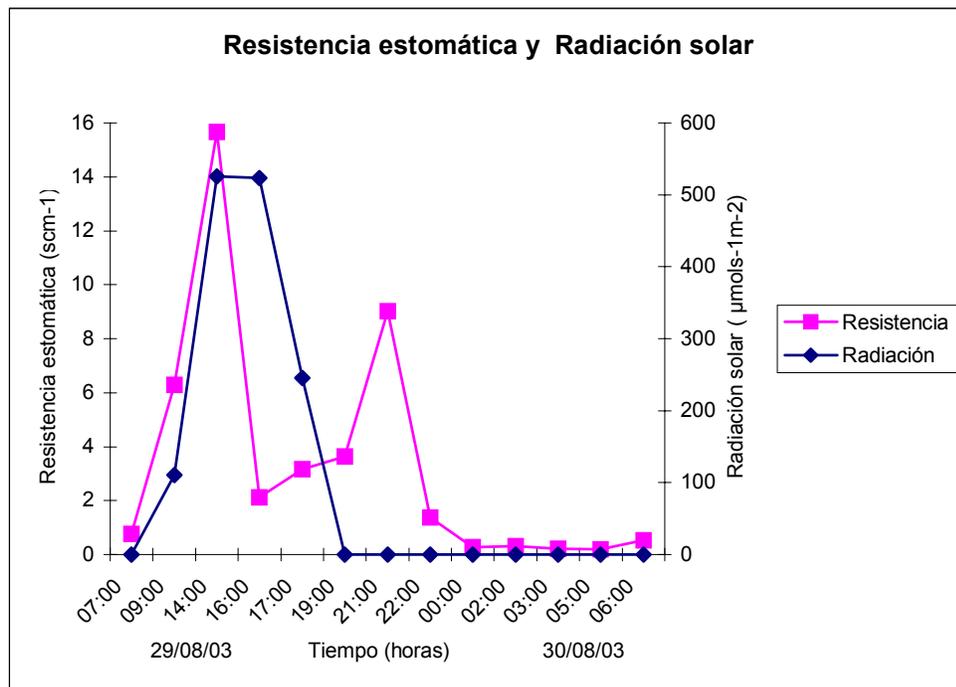


Figura 4.6 Evolución de la resistencia estomática y de la radiación solar durante el período de 24 hrs.

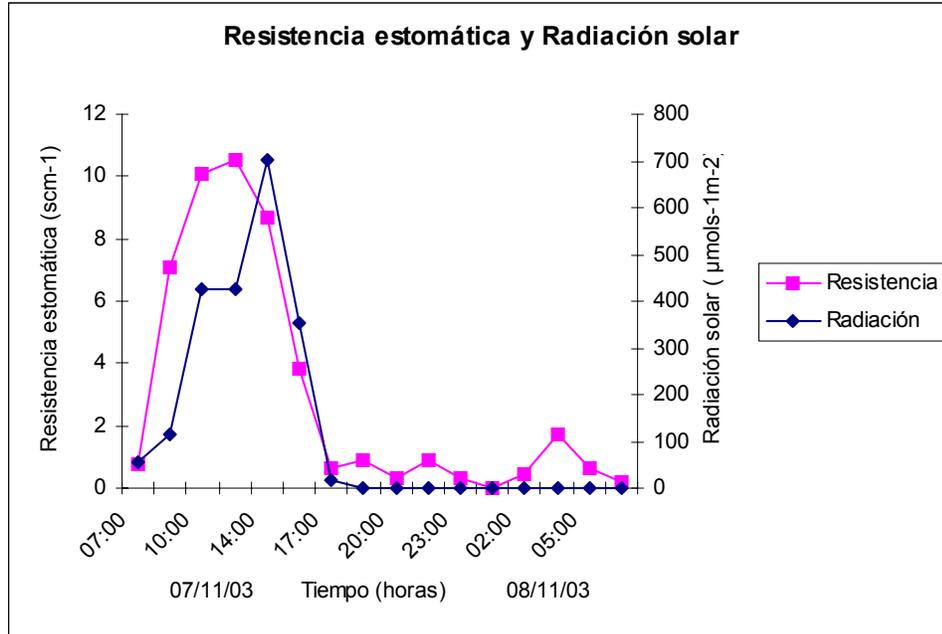


Figura 4.7 Evolución de la resistencia estomática y de la radiación solar durante el período de 24 hrs.

### 4.3 Comportamiento estomático en campo

En las Figs. de la 4.8 a 4.13 se presenta en comportamiento de la resistencia estomática de las 20:00 hrs. de la noche a 05:00 hrs. de la mañana con el fin de ver el comportamiento de los estomas en un período completamente oscuro, es importante señalar que no se detectaron fuertes diferencias entre tratamientos, lo cual fue debido a las lluvias que se presentaron durante el desarrollo del cultivo, que no permitieron que los tratamientos que se tenían contemplados con mayor déficit alcanzaran esta situación.

En las Figs. 4.8 a la 4.10 el máximo valor de resistencia estomática estuvo dentro de los rangos de  $14.586 \text{ scm}^{-1}$  a  $13.757 \text{ scm}^{-1}$  entre las 21 y 04:00 hrs. hora local y el valor mínimo se presentó en los rangos de  $5.025 \text{ scm}^{-1}$  a  $2.403 \text{ scm}^{-1}$  entre las 01 y 03:00 hrs. hora local.

Cabe destacar que en las 3 primeras mediciones se tuvieron mayores resistencias que en las últimas mediciones en campo, esto se debió tal vez a las condiciones climáticas que se presentaron durante los meses de Marzo y Abril, en estas 3 primeras mediciones como se observa no se tienen diferencias entre tratamientos. A medida que transcurre la noche los estomas se mantienen abiertos en todos los tratamientos. También en las Figs. 4.8 a la 4.10 se observó que durante las 21 y 03:00 hrs. se representaron menores resistencias, en todos los tratamientos.

En las Figs. 4.11 a la 4.13 el máximo valor de resistencia estomática estuvo dentro de los rangos de  $4.74$  a  $2.15 \text{ scm}^{-1}$  entre las 00 y 04:00 hrs. (hora local) y el valor mínimo estuvo en los rangos de  $0.07$  a  $0.22 \text{ scm}^{-1}$  entre las 21 y 01:00 hrs. (hora local).

En estas últimas 3 mediciones en campo se mantuvo la resistencia estomática con valores inferiores de  $5 \text{ scm}^{-1}$ , este el comportamiento estomático pudo estar influido por las condiciones climáticas de Agosto y Noviembre, de igual manera con forme pasa la noche los estomas se

mantienen abiertos. Reyes (1989) reporta que la apertura estomática es afectada por la interacción de cada uno de los parámetros ambientales, lo que puede sugerir que posiblemente la apertura esté dada por el parámetro ambiental que sea más importante. En las Figs. 4.11 a la 4.13 los estomas se encuentran abiertos de 21, 01 y 03:00 hrs. Cabe señalar que en todas las mediciones que se hicieron en el campo, la única ocasión que se tuvo el estoma completamente abierto fué en la medición 5, del día 07/11/03 con un valor cercano a cero.

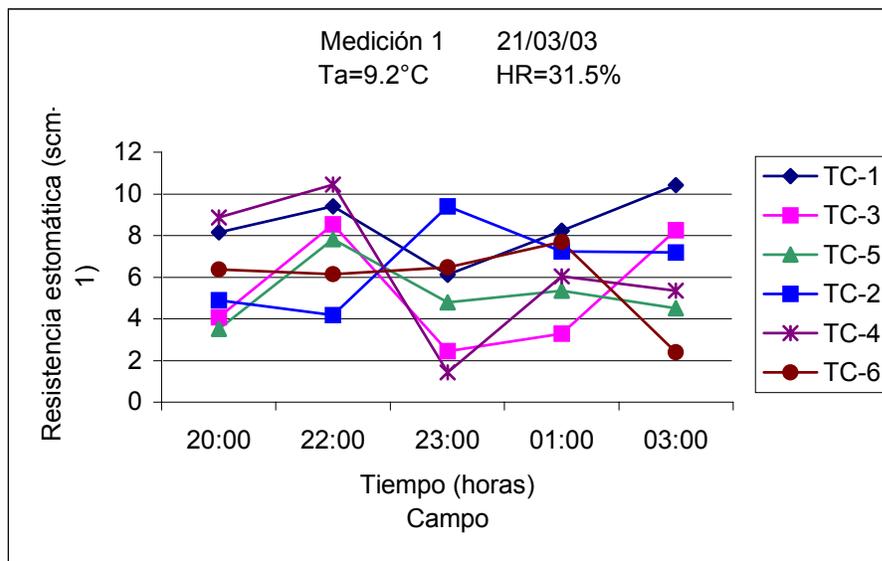


Figura 4.8 Valores promedio de los 6 tratamientos en campo de la resistencia estomática del día 21/03/03 en el periodo de las 20 hrs. a las 05 hrs. Ta: Temperatura ambiente; HR: Humedad relativa.

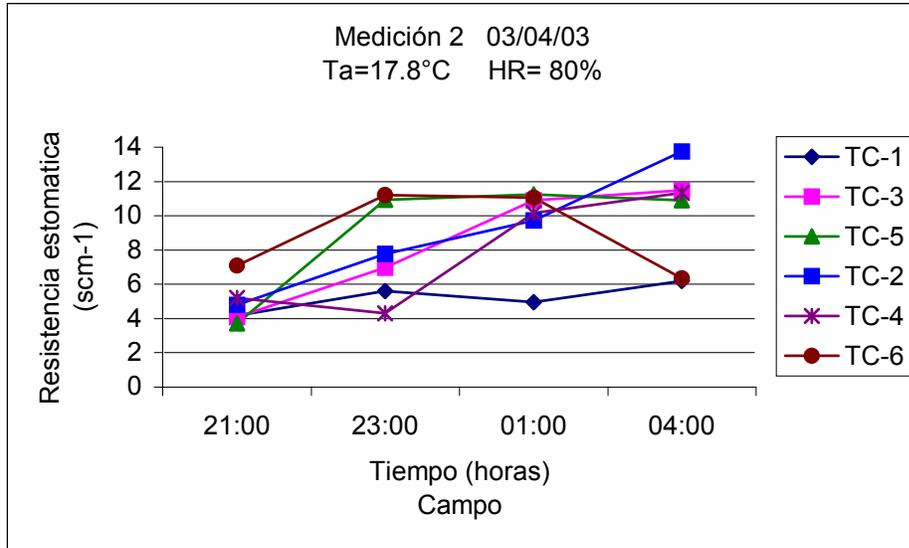


Figura 4.9 Valores promedio de los 6 tratamientos en campo de la resistencia estomática del día 03/04/03 en el periodo de las 20 a las 05 hrs. Ta: Temperatura ambiente; HR: Humedad relativa.

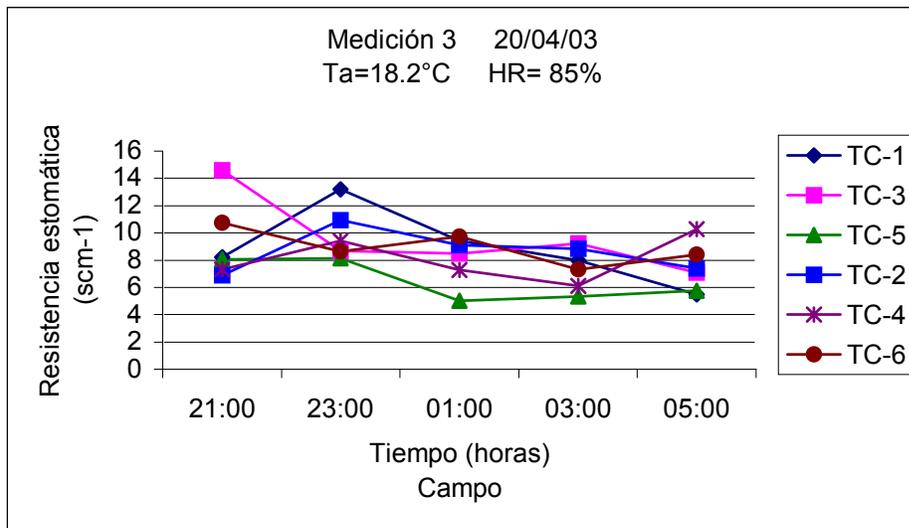


Figura 4.10 Valores promedio de los 6 tratamientos en campo de la resistencia estomática del día 20/04/03 en el periodo de las 20 a las 05 hrs. Ta: Temperatura ambiente; HR: Humedad relativa.

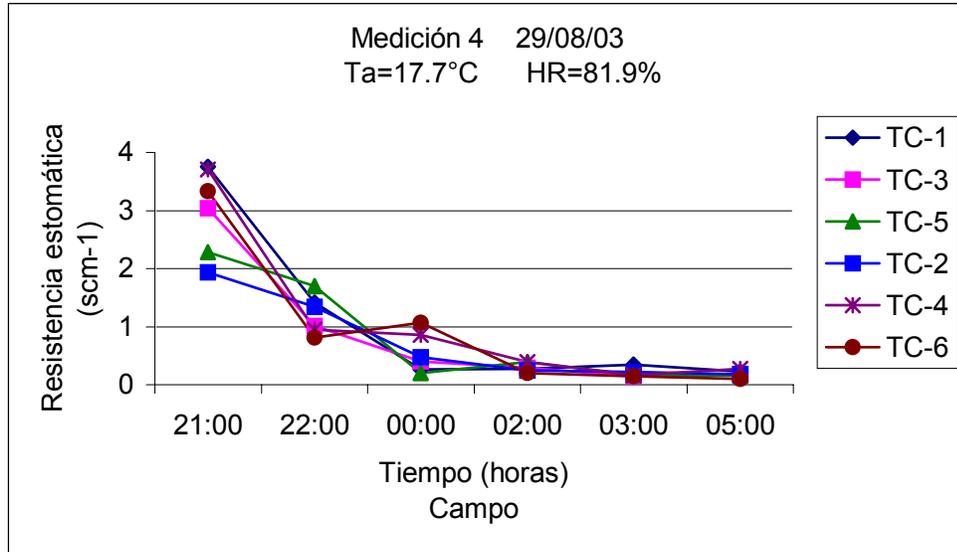


Figura 4.11 Valores promedio de los 6 tratamientos en campo de la resistencia estomática del día 29/08/03 en el periodo de 20 a las 05 hrs. Ta: Temperatura ambiente; HR: Humedad relativa.

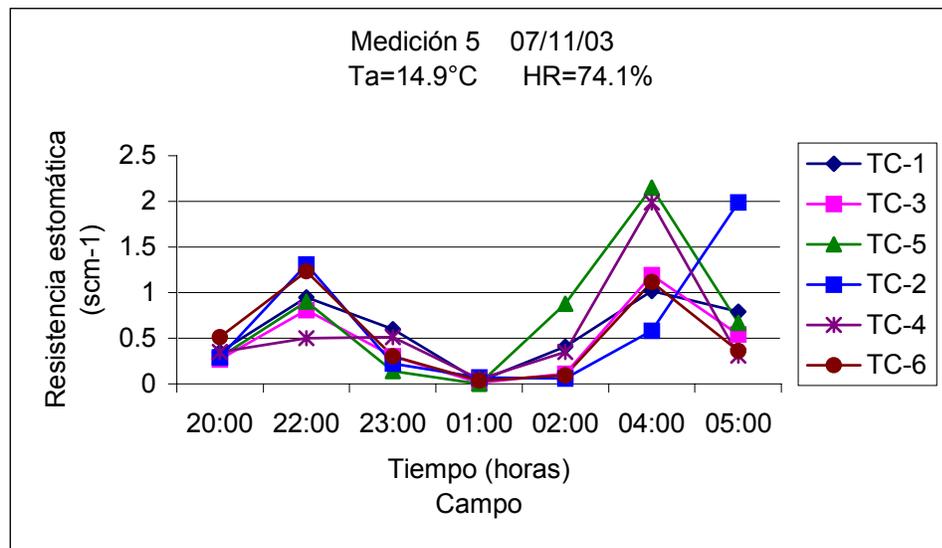


Figura 4.12 Valores promedio de los 6 tratamientos en campo de la resistencia estomática del día 07/11/03 en el periodo de las 20 a las 05 hrs. Ta: Temperatura ambiente; HR: Humedad relativa.

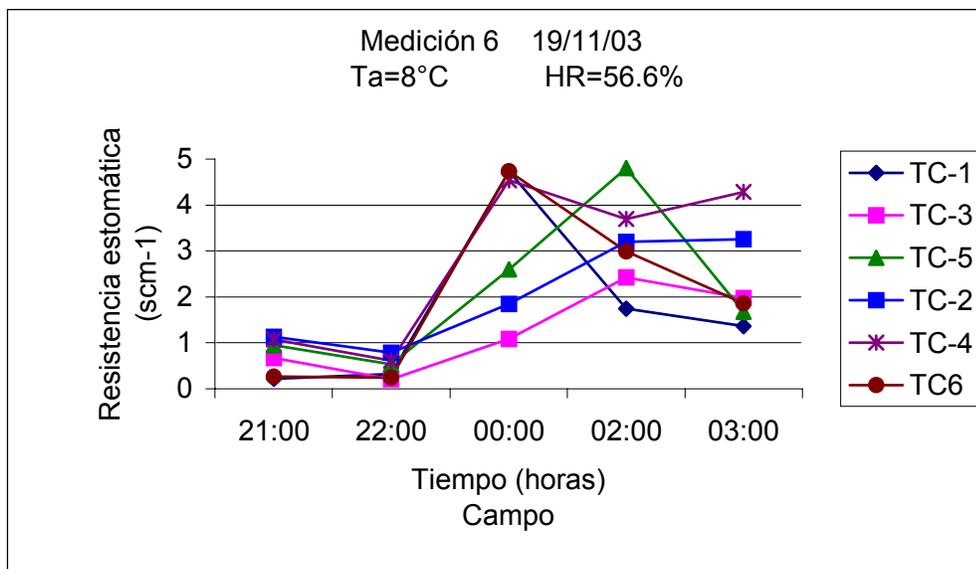


Figura 4.13 Valores promedio de los 6 tratamientos en campo de la resistencia estomática del día 19/11/03 en el periodo de las 20 a las 05 hrs. Ta: Temperatura ambiente; HR: Humedad relativa.

#### 4.4 Comportamiento estomático en invernadero

En las Figs. 4.14 a la 4.19 se presenta el comportamiento de la resistencia estomática de las 20:00 hrs. de la noche a 05:00 hrs. de la mañana con el fin de ver el comportamiento de los estomas en un período completamente oscuro, en los dos tratamientos. En las Fig. 4.14 a la 4.19 el máximo valor de resistencia estomática esta dentro de los rangos de 6.344 a 2.449  $\text{scm}^{-1}$  entre las 04:00 hrs. hora local y el valor mínimo esta en los rangos de 2.43 a 0.76  $\text{scm}^{-1}$  entre las 22 y 02:00 hrs. hora local.

En todas las mediciones que se hicieron en el invernadero los valores de resistencia estomática no rebasaron de  $7 \text{ scm}^{-1}$  esto quiere decir que durante el período de 20:00 hrs. a 05:00 hrs. los estomas se mantuvieron abiertos, en este tratamiento con menor déficit hídrico en todas las mediciones que se hicieron no hay diferencias entre estas, cabe señalar que en la medición del día 10 de Octubre de 2003 la resistencia estomática no rebasó de  $1.5 \text{ scm}^{-1}$  esto quiere decir que en esta única medición los estomas se encontraban la mayoría abiertos.

Comparando los valores del campo e invernadero no hay diferencias entre tratamientos a excepción de una medición que alcanzó un valor de  $15 \text{ scm}^{-1}$  de resistencia estomática, solo se da una pequeña diferencia en campo en las 3 primeras mediciones ya que el valor máximos de  $14 \text{ scm}^{-1}$ , tal vez pudo influir las condiciones climáticas del campo y las condiciones en que se encontraba el invernadero.

Los estomas se mantienen abiertos tanto en campo como en invernadero durante el período oscuro de 20:00hrs. a 05:00 hrs. Comparando las gráficas de la 4.8 a la 4.19 nos indican que en el período de oscuridad tenemos los mínimos valores de resistencia estomática, para encontrar los estomas abiertos en campo e invernadero podremos hacer mediciones de las 23:00 hrs. o la 01:00 hrs. En ambas situaciones de campo e invernadero no

tuvieron diferencia debido a que los tratamientos no se desarrollaron en condiciones de fuerte déficit hídrico en el suelo.

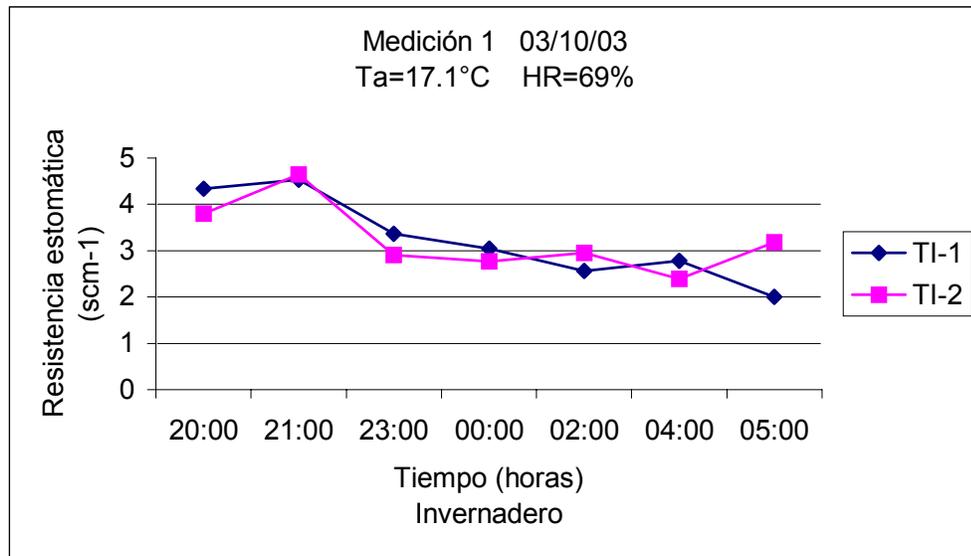


Figura 4.14 Valores promedio de los 2 tratamientos en invernadero de la resistencia estomática del día 03/10/03 en el periodo de las 20 a las 05 hrs. Ta: Temperatura ambiente; HR: Humedad relativa.

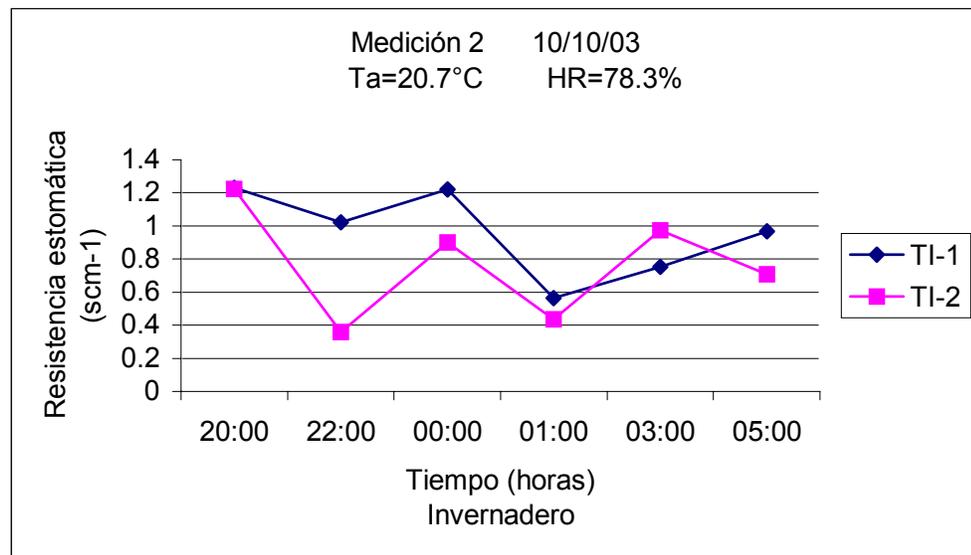


Figura 4.15 Valores promedio de los 2 tratamientos en invernadero de la resistencia estomática del día 10/10/03 en el periodo de las 20 a las 05 hrs.

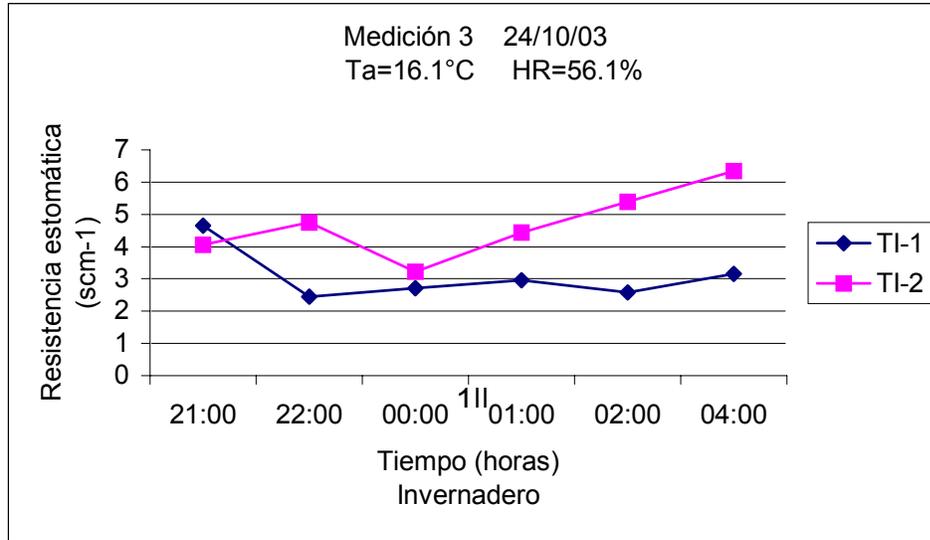


Figura 4.16 Valores promedio de los 2 tratamientos en invernadero de la resistencia estomática del día 24/10/03 en el periodo de las 20 a las 05 hrs. Ta: Temperatura ambiente; HR: Humedad relativa.

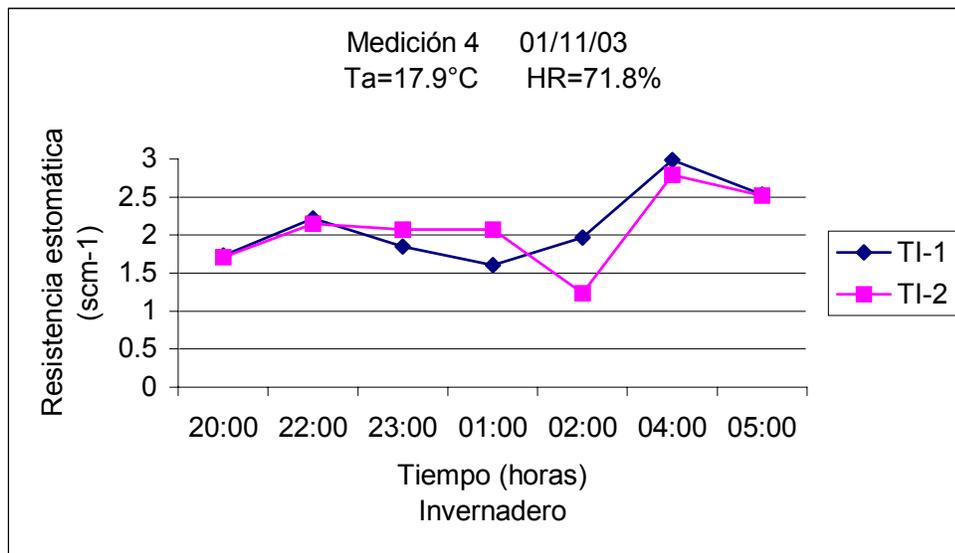


Figura 4.17 Valores promedio de los 2 tratamientos en invernadero de la resistencia estomática del día 01/11/03 en el periodo de las 20 a las 05 hrs. Ta: Temperatura ambiente; HR: Humedad relativa.

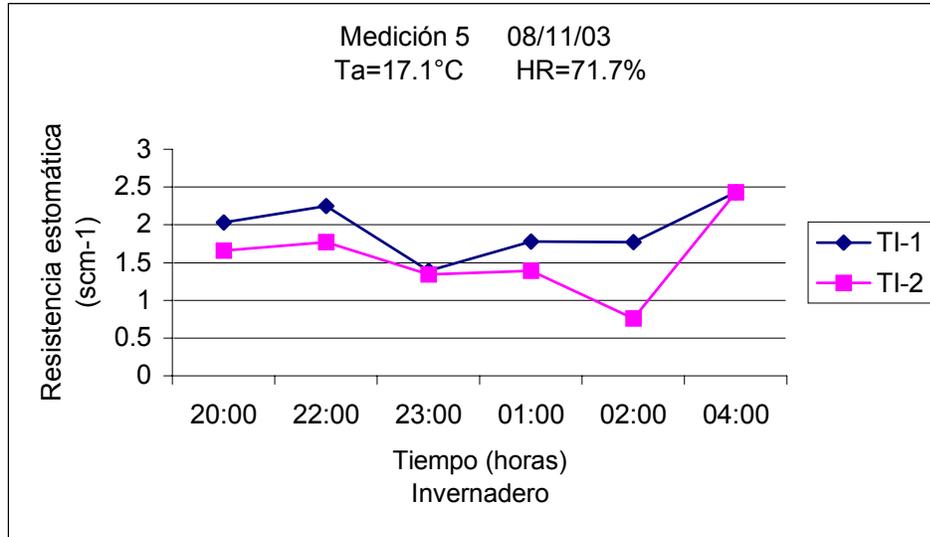


Figura 4.18 Valores promedio de los 2 tratamientos en invernadero de la resistencia estomática del día 08/11/03 en el periodo de las 20 a las 05 hrs. Ta: Temperatura ambiente; HR: Humedad relativa.

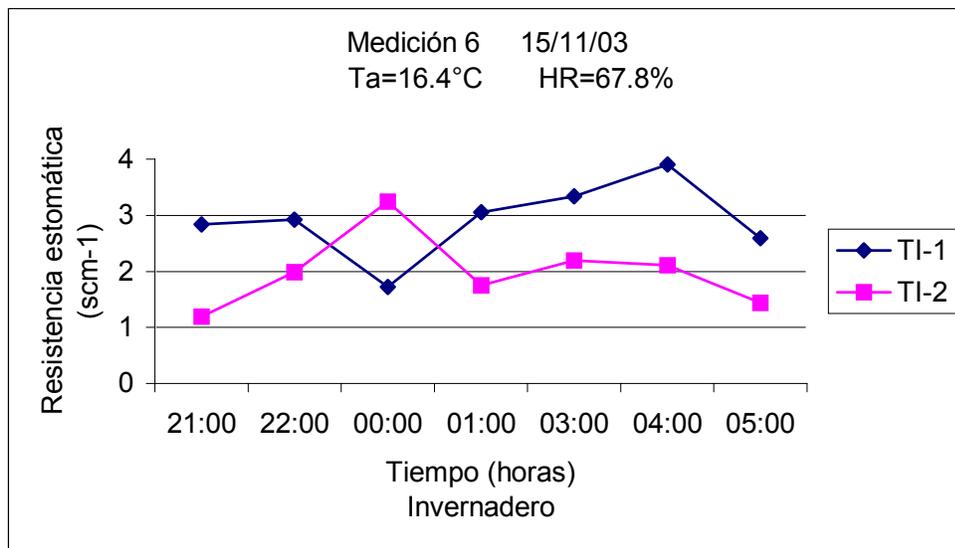


Figura 4.19 Valores promedio de los 2 tratamientos en invernadero de la resistencia estomática del día 15/11/03 en el periodo de las 20 a las 05 hrs. Ta: Temperatura ambiente; HR: Humedad relativa

#### 4.5 Relación de temperatura de hoja y resistencia estomática

En la Fig. 4.20 se presenta la relación entre la resistencia estomática y temperatura de hoja, de los tratamientos de menor déficit hídrico, tanto en campo como invernadero, esta gráfica muestra que no existe relación entre las variables ya que los valores se dispersan, pero se presentan la mayor parte de estos puntos se agrupan en temperaturas de 12 a 20°C durante este rango se tiene una resistencia como máximo de  $3 \text{ scm}^{-1}$ , también se observa que en ambos tratamientos no se tienen diferencias, cabe destacar que los valores del invernadero se agrupan entre los rangos de 15 a 18°C.

De acuerdo a un estudio efectuado por Nobel (1976) en la especie del desierto *Agave deserti*, la cual dispone de mecanismo CAM, está influida por la temperatura de la hoja. A medida que aumenta la temperatura de la hoja se incrementa la resistencia estomática en *Agave deserti*, lo que permite a la planta evitar la pérdida de agua.

Con la finalidad de detectarse en sábila existía el mismo comportamiento que en *A. deserti*, fue que se representó la relación entre las dos variables (Fig. 20) para los tratamientos de menor déficit hídrico tomados en campo e invernadero durante el periodo de 20 a 05 hrs. La gran dispersión de los datos representados en la Fig. 4.20, indica que la temperatura de la hoja no es un factor determinante en el cierre estomático en las hojas de sábila.

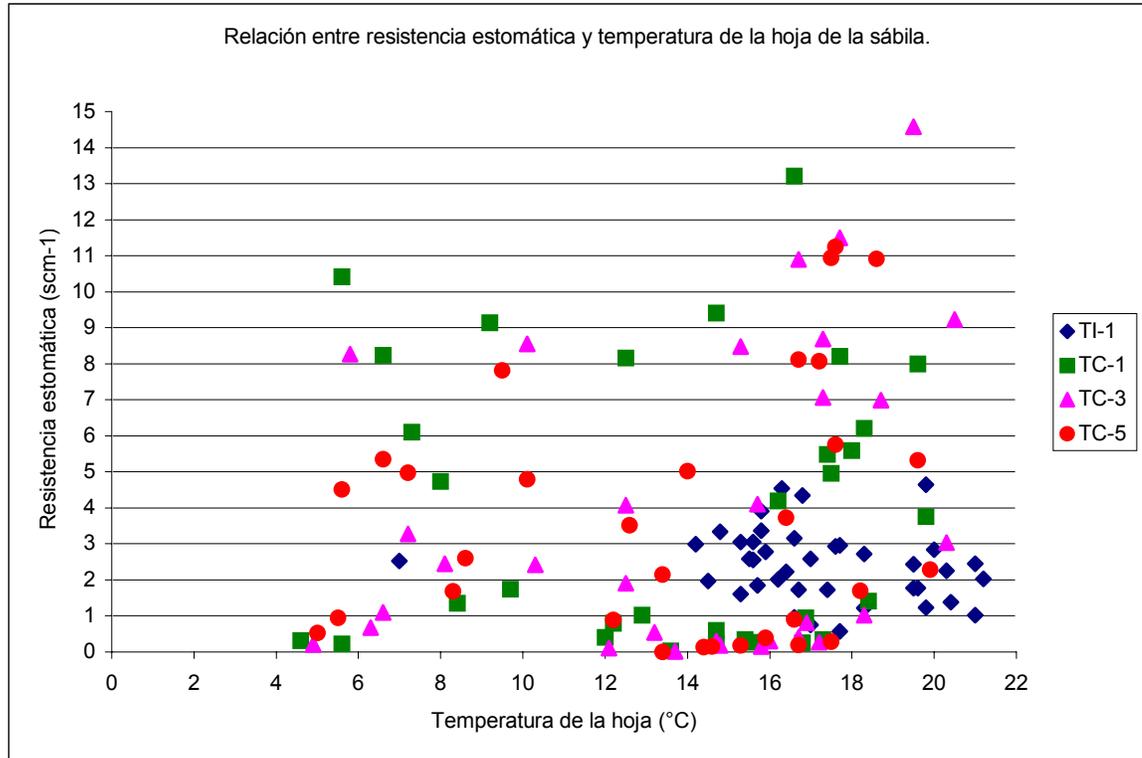


Figura 4.20 Relación entre la resistencia y la temperatura de la hoja en sábila. Valores de tratamientos sin déficit hídrico en el suelo y obtenidos de la 20 a las 05 hrs.

#### 4.6 Relación de resistencia estomática y humedad relativa

Con la finalidad de determinar si existía una variable climática que influyera sobre la resistencia estomática, fue que se representó la resistencia estomática en función de la humedad relativa, los datos se encuentran representados en la Fig. 4.21. La tendencia de los datos muestra que la resistencia estomática, tiene como comportamiento abrir los estomas a mayor humedad relativa.

Es importante señalar que la sábila no es una especie que se origine de condiciones de clima desértico, sino en condiciones semitropicales pudiendo ser la respuesta a mayor humedad relativa una adaptación a este tipo de clima.

La apertura de los estomas también conduce a una pérdida inevitable de agua desde dentro de las hojas y los tallos meristemáticos; la apertura de los estomas durante el día conduce a una mayor pérdida de agua que la que hay por los mismos estomas que abren durante la noche cuando la temperatura es más baja y la humedad es más alta (Nobel, 1999).

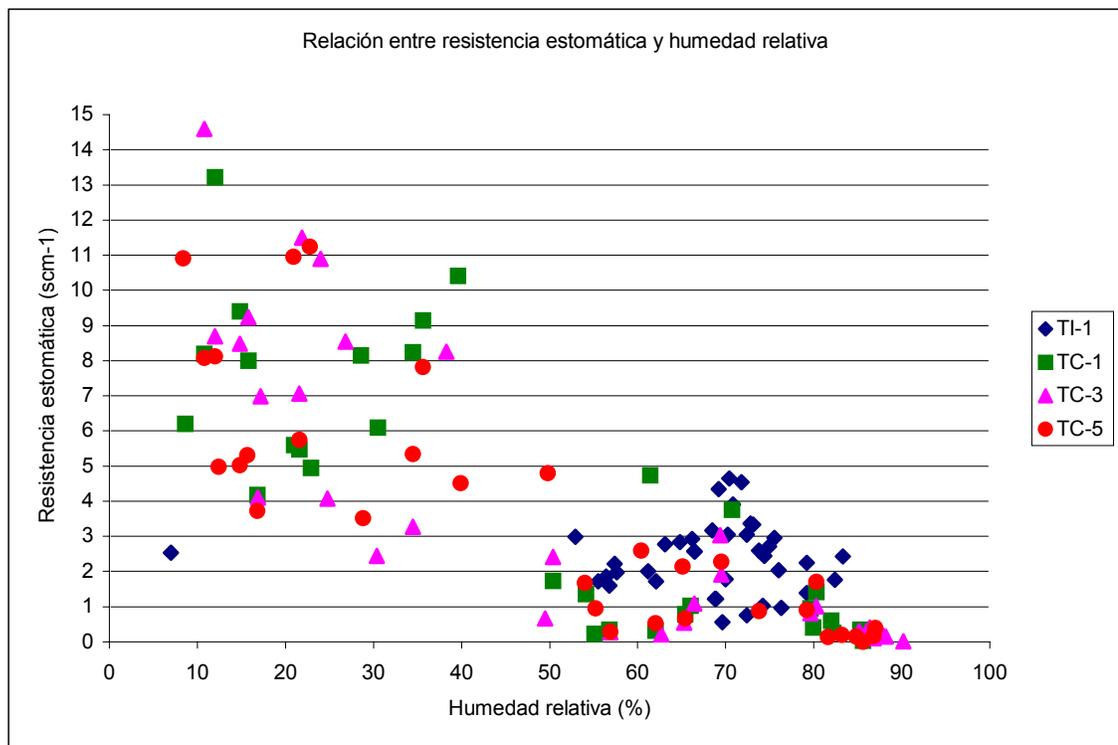


Figura 4.21 Relación entre la resistencia de la hoja en sábila y la humedad relativa. Valores de los tratamientos sin déficit hídrico en el suelo y obtenido de las 20 a las 05 hrs.

## V. CONCLUSIONES

- Los valores de resistencia estomática en el día indican que los estomas en sábila no están completamente cerrados.
- En el campo la humedad el suelo se mantuvo alta debido a las lluvias, lo que impidió tener diferencia entre tratamientos.
- En invernadero no se detectaron diferencias entre tratamientos de mayor y menor déficit hídrico.
- La temperatura de la hoja no influye en gran parte con la resistencia estomática.
- La tendencia de los datos experimentales mostró que a mayor humedad relativa se promueve la apertura estomatal.
- Las horas más convenientes para realizar la mediciones de resistencia estomática son de las 23 a las 1:00hrs.

## RESUMEN

La sábila (*Aloe vera* L.) es una planta CAM, comercialmente muy importante dentro de la industria farmacéutica y cosmetológica, a nivel mundial por lo que representa una alternativa de cultivo para los productores para los productores de las zonas semiáridas del norte de México y debido a su capacidad de adaptación a estas zonas por su metabolismo. Los estudios científicos efectuados en la sábila han dado a conocer sus beneficios curativos, cosmetológicos y alimenticios, de igual manera con el lanzamiento de un sin número de productos derivados de esta planta originaria de África, que han facilitado su comercialización. Actualmente se cuenta con poca información científica sobre los procesos fisiológicos de la planta de sábila y en particular sobre la resistencia estomática.

Por lo anterior se efectuó el presente estudio bajo condiciones de campo e invernadero con los siguientes objetivos: estudiar el efecto del déficit hídrico en el suelo sobre la resistencia estomática en sábila, estudiar el efecto de la temperatura de la hoja sobre la resistencia estomática en sábila, evaluar el comportamiento de la resistencia estomática durante un periodo de 24 hrs. en sábila, obtener la hora más adecuada para efectuar las mediciones de

resistencia estomática, El presente trabajo de investigación se realizó en el campo experimental “el Bajío” y en el invernadero 4 de la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”, ubicado en Buenavista, Saltillo, Coahuila; México, en el kilómetro 07 de la carretera 54 Saltillo – Concepción del Oro Zacatecas, en los paralelos de 25° 23’ de latitud norte y los 100° 00’ longitud oeste del meridiano de Greenwich, a una altitud de 1743 msnm. El experimento se desarrolló durante los meses de Marzo a Noviembre de 2003.

Los tratamientos en campo fueron: TC-1.- Cobertura plástica con menor déficit hídrico en el suelo, TC-2.- Cobertura plástica con mayor déficit hídrico en el suelo, TC-3.- Sombra con menor déficit hídrico en el suelo, TC-4.- Sombra con mayor déficit hídrico en el suelo, TC-5.- Sin cobertura plástica con menor déficit hídrico en el suelo, TC-6.- Sin cobertura plástica con mayor déficit hídrico en el suelo. En invernadero fueron: TI-1 .- Con menor déficit hídrico, TI-2 .- Con mayor déficit hídrico. Las mediciones se realizaron durante los meses de Marzo a Noviembre, en algunas ocasiones durante 24 hrs. y en otras durante 12 hrs., en intervalos de una hora entre cada medición con una duración de 30 minutos en promedio.

Las variables medidas con un porómetro de estado estable (modelo LICOR 1600) fueron : transpiración en  $\mu\text{g cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ , resistencia estomática en  $\text{s cm}^{-1}$ , radiación fotosintéticamente activa (PAR) en  $\mu\text{mols}^{-1}\text{m}^{-2}$ , humedad relativa en %, temperatura de la hoja en °C.

No se encontraron diferencias de resistencia estomática entre tratamientos de campo e invernadero, no se encontró relación entre la resistencia estomática y temperatura de la hoja, se encontró que los estomas tienden a abrirse a medida que se incrementa la humedad relativa, se detectó que los estomas en sábila no se encuentran cerrados durante el día. Se determinó las horas más adecuadas para hacer mediciones de 23 a 01:00 hrs. en campo e invernadero.

## LITERATURA CITADA

- Aguilera Contreras M., Martínez Elizondo R. 1990. Relaciones agua suelo planta atmósfera. Tercera Edición. UACH.
- Argall, J.F. and Stewar K.A. 1991. The influence of much/tunnel combinations on melo growth and development. national congress of plastic in agriculture. Portland, Oregon.
- Álvarez, M.G. 1987. Estudio de viabilidad técnica y financiera del cultivo de la sábila (*Aloe vera L.*) en la zona centro de Tamaulipas. Tesis de maestría en ciencias. Universidad Autónoma de Tamaulipas. Cd. Victoria, Tamaulipas. 140 p.
- Alvarez, M.G. 2000 Producción de sábila (*Aloe barbadensis Miller*) revista agrosociedad nueva época. Vol.1. No.2., Enero-Junio 2000. México p.p.23.
- Ánzures D. A. (s/f). Apertura estomática de *Opuntia decumbens* en dos horas del día.
- Azcón-Bieto, J. M. Talon. 1993. Bioquímica y fisiología vegetal. Editorial Interamericana McGraw Hill, México, pp. 63, 73, 135–142.
- Bailey, L.M. and Bailey, E.Z. 1978. Comps hortus third; a concise dictionary of plants cultivated in the United States and Canada. Editorial McMillan.

- Bauer, E.G.W. 1992. El establecimiento de cultivos comerciales de la sábila (Zabila) *Aloe vera* en la Comarca Lagunera. *Aloe Science Council, Inc.* Torreón, Coah. Méx.
- Bange, G.G.J. (1953): *Acta Bot. Neerl.*, 2, 215.
- Benson, L. 1957. *Plant classification*. Boston, Mass. Ed. Purnell.
- Berry, J.A. and Björkman. 1980. Photosynthesis responses and adaptation to temperature in higher plantas. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 31: 491 – 543.
- Bidwell, R. G. S. 1993. *Fisiología vegetal*. Primera Edición en Español. AGT Editor. 3(12): 46. México.
- Bradley, M. 1994. *Plastics for crop production*. *Ornamental Horticultur.*2 (2): Abstracts. Vol. 64(1): 847.
- Coffey, D. L., Buschermohle., Wills, J.B., Burns., R.T., Yoder, R. E., Honea, G.s. and Summerlin, J.R. 1999. Soil temperature and moisture conditions and performance of tomatoe grow on colored plastic mulch. *Proc. Natl. Agric. Plastics. Cong.* 28: 54 – 59. University of Georgia, Tallahassee, Florida.
- CONAZA. 1992 . *Sábila Aloe vera (L) Burm.* Cultivo alternativo para las zonas áridas y semiáridas de México. Ed. CONAZA-INE. México, D.F. 29 p.
- Conzatti, C. 1947 *Flora taxonómica mexicana (plantas vasculares)* Tomo II, México, D.F.
- Cutak, L. 1962 *Cactus and Succulent*. *Botanical Journal.* 34 (2):62.
- Daubenmire, R.F. 1974. *Plan and environment. A textbook of autoecology*. Third edition. Ed. Hohn Wiley and Son s. USA. 421p.
- Devlin, R.M. 1979. *Fisiología vegetal*. Ed. Omega, S.A. Barcelona, España.

García de la R, M.A. 1980. Mecanismos de apertura estomática, la transpiración y métodos para determinarla. Tesis Licenciatura. U.A.N.L.

Gates, G. 1975. My favorite plant *Aloe vera*. American Horticultural. 54(5):37.

Gates, D.M. 1980. Biophysical ecology. Springer – Verlag. New York. 611 p.

Hall, E. A. D. Schulze and Lang O. L. 1976. Current perspectives of steady-state stomatal responses to environment and plant life p: 169-187. Springer. Verlag, Berlin.

Heath, O.V.S. and Orchard, B. 1957. Temperature effects on the minimum intercellular space CO<sub>2</sub> concentration. Nature. 180: 180 – 182.

Heath, O.V.S. 1959. The water relations of stomatal cells and mechanisms of stomatal movement, In F.C. Steward (ed.), Plant Physiology. Academic Press, New York. 2:193 – 199.

Heath, O.V.S. and Russell, J. 1954. Studies in stomatal behaviour. VIII. Effects of anaerobic conditions upon stomatal movement a test of willams hypothesis of stomatal mechanism. J. Exptl. Botany. 7:313 – 319.

Heat, O.V.S. 1970. The physiological aspects of photosynthesis. Heineman Educational Book. L. T. D. London. 310 p.

[http://www.marienberg.cl/a\\_espanol/productos/mallas/sombra\\_corta.htm](http://www.marienberg.cl/a_espanol/productos/mallas/sombra_corta.htm)

<http://www.naturdenia.com/spa/aloe/aloevedem.htm>

[http://www.forest.ula.ve/~rubenhg/transpiracion/#ecofisiologiadel movimiento estomático](http://www.forest.ula.ve/~rubenhg/transpiracion/#ecofisiologiadel_movimiento_estomático)

Hurtado, Ch. L. G. y Martínez, M. M. L. 1983-84. *Aloe vera*. Fac. Química. UNAM. Tesis.

- Hutchinson, J. 1926. The families of flowering plants. Dicotyledons and monocotyledons. Ed. McMillan.
- Infante, M.G.D. 1988. Fotosíntesis, conductancia estomática y transpiración del Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) bajo condiciones de campo. Tesis Licenciatura. UAAAN.
- Ibarra, J. L., y Rodríguez, P. A. 1991. Acolchado de suelos con películas plásticas. Editorial Limusa, S. A. de C. V. México.
- Jacobsen, H. 1946. Succulent plants; description, cultivation and uses of succulent plants, other than cacti. 2<sup>nd</sup> Edition. Ed. Abbey Garden Press. U.S.A.
- Kramer, J.D. 1974. Relaciones Hídricas del Suelo y Planta. EDUTEX, S. A. México 538 p.
- Kenny, P. And P.J. McGruddy. 1972. A circuit for a self-timing stomatal diffusion porometer. Agric. Meteorol. 10:393 – 389.
- Linacre, E.T. 1964. A note on a feature of leaf and air temperature. Agric. Meteorol. 27: 141 – 144.
- Martínez, M. 1978 Flora Medicinal del Estado de México. Dirección de Recursos Naturales. CODAGEM. Toluca México.
- Moroni, P. 1982. Aloe in cosmetic formulations. Terry Corporation. 3270 Pineda Avenue. Melbourne, Fl. 32935.
- Neales, T. F. 1973. The effect of night temperature on CO<sub>2</sub> assimilation, transpiration, and water use efficiency in *Agave americana* L. Aust. J. Biol. Sci. 26: 705-714.

- Nederhoff, E.M, 1994. Effects of CO<sub>2</sub> concentration on photosynthesis, transpiration and production of greenhouse fruit vegetable crops. The glasshouse crops research station. Netherlands. Págs. 93 – 101.
- Noriega, J.M 1941. Compendio de historia de las drogas. 2ª Edición, Ed. Purrúa, México.
- Nobel, Park S. 1976. Water relation and photosynthesis of a desert CAM plant, *Agave deserti*. Plant. Phylol. 58: 576 – 582.
- Nobel, Park S. 1991. Physicochemical and environmental plant physiology. Depart, Ent. of biology, University of California, Los Angeles. Academic Press, INC. Harcourt Brce Jovanovich, Publishers, Los Angeles, California, USA. Pags. 373-411, 478-479.
- Nobel, P.S. 1999. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Agroecología, cultivos y usos del nopal.
- Ortiz, V. B. Y Ortiz, S. C. 1990. Edafología UACH. Chapingo México. P.p. 262 – 263.
- Poter, C.L. 1966. Taxonomy of flowering plants. 2<sup>nd</sup>. Edition. Ed. Freeman.
- Quer, P.F. 1978. Plantas medicinales. 3ª Edición. Ed. Labor. México.
- Ray, H. 1979. An updated review of Aloe vera. Terry Corporation, Indian Harbour Beach, Florida. Cosmetics and Toiletries.94:42-46.
- Reyes López, A. 1989. La transpiración y el medio ambiente. Apuntes de Fisiología Vegetal. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coah. Méx.
- Robledo, P.F. y Martín V.L. 1981. Aplicaciones de plásticos en la agricultura. Editorial Mundi-prensa, Madrid España.

- Rojas, G. M. 1984. Fisiología vegetal aplicada. Segunda Ed. McGraw – Hill. México. 262 p.
- Salisbury, B.F. Ross, W.C. 1997. Fisiología vegetal. Grupo Editorial Iberoamérica S.A. de C.V. México, D.F.
- Sánchez Robles J. R. 2002. La sábila, una planta milenaria de la salud. En Claridades Agropecuarias. ASERCA (ed.) p. 22-37.
- SAGAR. 1997-1998. Distrito de desarrollo rural No. 159. Sistema producto sábila. Cd. Victoria, Tamaulipas México.
- Sapre, A.B. 1974. Meiosis and pollen mitosis in *Aloe barbadensis* Mill. Cytology.40 (314) :525-533.
- Swigget, H. 1967. Savila. Newspaper “San Antonio Express New”.
- Sheteawi, Soad A.,Kawther M., Tawfik and Zeinab Abd El-Gawad. 2001. Water relation, transpiration rate, stomatal behavior and leaf sap pH of *Aloe vera* and *Aloe eru*. Egyptian Journal of Biology. Vol. 3, pp 140-148.
- Schulz, E.D. 1986. Carbon dioxide and water vapor exchange in response to drought in the atmosphere and in the soil. Ann. Rev. Plant Physiol. 37: 247 – 274.
- Taylor, L.D. (S/F) Aloe, the miracle of *Aloe vera* forever living products, Inc. P.O. Box 29041. Phoenix, Ariz. 85038.
- Turner, N.C. 1969. Stomatal resistance to transpiration in three contrasting canopies. Crop Sci. 9:303 – 307.

- Torres, B. J. A. 1999. Relación entre los cambios en los componentes del balance de energía y la resistencia estomática en melón por efecto del acolchado plástico. Tesis Maestría. UAAAN.
- Ting, I. P., H.B. Johnson and S.R. Szarek. 1972. Net CO<sub>2</sub> fixation in crassulacean acid metabolism plants. In: C. C. Black, end., Net carbon dioxide assimilation in higher plants. Cotton, Inc., Raleigh, N. C. pp. 26-53.
- Valera D. Molina F. y Gil J. 2001. El quincenal vida rural No. 139. (<http://www.eumedia.es/articulos/vr/hortofrut/139mallas.html>).
- Vivas, E.M.L 1996. “Prácticas del cultivo de sábila *Aloe barbadensis Miller* y algunos factores edafológicos que podrían influir sobre la calidad del gel” Tesis, Ing. Agrónomo Esp. Zonas Áridas, URUZA – UACH. Bermejillo, Dgo.
- Walker, D.A. and Zelitch, Israel. 1963. Some effects of metabolic inhibitors, temperature, and anaerobic conditions on stomatal movement. Plant Physiology. Vol. 38 No. 2 Pág. 390 – 396.
- Yepez, M.L.; Diaz M.L.; Granadillo E.; Chacin F. 1993 Frecuencia optima de riego y fertilización en *Aloe vera L.* Turrialba, 1993, 43:4, 261 – 267.

# A P E N D I C E

Cuadro. A1. Valores promedio mensual de precipitación y temperatura del año 2003.

Meses	Precipitación	Media	Temperatura	
			Máxima	Mínima
E	0.1	11	18.2	4.8
F	1	14	21.7	7.6
M	0.2	15.6	23.5	8.3
A	0.2	20.1	27.6	13.7
M	0.3	23.6	31.5	16.8
J	0.8	22.4	29.9	16.4
J	9.4	19.8	26.3	15.2
A	2.9	19.9	26.4	14.9
S	7	17.7	23.3	14
O	3.7	15.8	22.6	10.6
N	0.2	11.5	22.5	9.5
D	0.16	11.4	19.1	4.5

Cuadro. A.2 Valores promedio mensual de humedad relativa, radiación y evaporación del año 2003.

Meses	Media	Hum. Rel.		Radiación	Evaporación
		Máxima	Mínima		
E	58	78	36	281.77	2.91
F	51	80	27	335.71	4.52
M	39	71	17	421.03	5.94
A	36	60	17	364.93	7.73
M	43	67	23	456.23	9.83
J	57	82	32	401.93	6.51
J	69	89	46	373.46	4.49
A	70	88	50	374.33	4.17
S	85	97	65	278.6	2.37
O	74	92	52	328.51	2.57
N	61	85	36	301.86	2.97
D	62	81	44	297.71	3.06

Cuadro. A.3 Valores de la resistencia estomática y de la radiación solar durante el periodo de 24 hrs.

<b>Hora</b>	<b>Resistencia</b>	<b>Radiación</b>
07:00	0.768	0
09:00	6.286	110.66
14:00	15.673	525.62
16:00	2.13	523.62
17:00	3.171	245.66
19:00	3.633	0
21:00	9.026	0
22:00	1.376	0
00:00	0.269	0
02:00	0.32	0
03:00	0.223	0
05:00	0.19	0
06:00	0.527	0

Cuadro. A4 Valore de la resistencia estomática y de la radiación solar durante el periodo de 24 hrs.

<b>Hora</b>	<b>Resistencia</b>	<b>Radiación</b>
07:00	0.754	53.2
09:00	7.063	113.6
10:00	10.056	424.94
12:00	10.52	423.66
14:00	8.7	701.6
15:00	3.8	355.3
17:00	0.636	17
18:00	0.87	0
20:00	0.303	0
22:00	0.886	0
23:00	0.346	0
01:00	0.021	0
02:00	0.465	0
04:00	1.693	0
05:00	0.666	0
07:00	0.203	0

Cuadro. A5 Valores promedio de los 6 tratamientos en campo de la resistencia estomática del día 21/03/03 en el periodo de las 20 a las 05 hrs.

<b>Hora</b>	<b>TC-1</b>	<b>TC-2</b>	<b>TC-3</b>	<b>TC-4</b>	<b>TC-5</b>	<b>TC-6</b>
20:00	8.155	4.904	4.067	8.878	3.51	6.365
22:00	9.412	4.185	8.546	10.435	7.821	6.136
23:00	6.104	9.4058	2.45	1.429	4.798	6.478
01:00	8.233	7.227	3.274	6.049	5.344	7.706
03:00	10.414	7.192	8.262	5.343	4.507	2.403

Cuadro. A6 Valores promedio de los 6 tratamientos en campo de la resistencia estomática del día 03/04/03 en el periodo de las 20 a las 05 hrs.

<b>Hora</b>	<b>TC-1</b>	<b>TC-2</b>	<b>TC-3</b>	<b>TC-4</b>	<b>TC-5</b>	<b>TC-6</b>
21:00	4.186	4.796	4.1	5.208	3.721	7.086
23:00	5.597	7.759	6.983	4.293	10.949	11.227
01:00	4.957	9.729	10.89	10.153	11.243	11.047
04:00	6.208	13.757	11.5	11.334	10.905	6.339

Cuadro. A7 Valores promedio de los 6 tratamientos en campo de la resistencia estomática del día 20/04/03 en el periodo de las 20 a las 05 hrs.

<b>Hora</b>	<b>TC-1</b>	<b>TC-2</b>	<b>TC-3</b>	<b>TC-4</b>	<b>TC-5</b>	<b>TC-6</b>
21:00	8.199	6.896	14.586	7.326	8.066	10.75
23:00	13.213	10.92	8.685	9.407	8.12	8.648
01:00	9.402	9.114	8.479	7.291	5.025	9.731
03:00	7.994	8.853	9.235	6.117	5.314	7.301
05:00	5.485	7.415	7.066	10.296	5.754	8.42

Cuadro. A8 Valores promedio de los 6 tratamientos en campo de la resistencia estomática del día 29/08/03 en el periodo de las 20 a las 05 hrs.

<b>Hora</b>	<b>TC-1</b>	<b>TC-3</b>	<b>TC-5</b>	<b>TC-2</b>	<b>TC-4</b>	<b>TC-6</b>
21:00	3.757	3.038	2.285	1.938	3.708	3.33
22:00	1.413	1.016	1.701	1.341	0.951	0.815
00:00	0.263	0.403	0.202	0.472	0.857	1.073
02:00	0.273	0.296	0.392	0.247	0.397	0.204
03:00	0.351	0.147	0.173	0.221	0.16	0.144
05:00	0.228	0.187	0.155	0.185	0.27	0.103

Cuadro. A9 Valores promedio de los 6 tratamientos en campo de la resistencia estomática del día 07/11/03 en el periodo de las 20 a las 05 hrs.

<b>Hora</b>	<b>TC-1</b>	<b>TC-3</b>	<b>TC-5</b>	<b>TC-2</b>	<b>TC-4</b>	<b>TC-6</b>
20:00	0.35	0.27	0.29	0.29	0.35	0.51
22:00	0.95	0.81	0.9	1.31	0.5	1.23
23:00	0.6	0.3	0.14	0.22	0.51	0.3
01:00	0.029	0.014	0	0.07	0.05	0.035
02:00	0.405	0.11	0.88	0.06	0.35	0.095
04:00	1.02	1.191	2.15	0.58	1.99	1.119
05:00	0.79	0.54	0.67	1.99	0.31	0.36

Cuadro. A10 Valores promedio de los 6 tratamientos en campo de la resistencia estomática del día 19/11/03 en el periodo de las 20 a las 05 hrs.

<b>Hora</b>	<b>TC-1</b>	<b>TC-3</b>	<b>TC-5</b>	<b>TC-2</b>	<b>TC-4</b>	<b>TC6</b>
21:00	0.22	0.67	0.95	1.13	1.07	0.26
22:00	0.32	0.21	0.53	0.79	0.61	0.24
00:00	4.74	1.09	2.6	1.85	4.54	4.74
02:00	1.74	2.42	4.8	3.2	3.7	2.99
03:00	1.36	1.97	1.68	3.26	4.28	1.86

Cuadro. A11 Valores promedio de los 2 tratamientos en invernadero de la resistencia estomática del día 03/10/03 en el periodo de las 20 a las 05 hrs.

<b>Hora</b>	<b>TI-1</b>	<b>TI-2</b>
20:00	4.339	3.803
21:00	4.536	4.644
23:00	3.366	2.903
00:00	3.045	2.768
02:00	2.56	2.948
04:00	2.783	2.39
05:00	2.007	3.18

Cuadro. A12 Valores promedio de los 2 tratamientos en invernadero de la resistencia estomática del día 10/10/03 en el periodo de las 20 a las 05 hrs.

<b>Hora</b>	<b>TI-1</b>	<b>TI-2</b>
20:00	1.229	1.225
22:00	1.022	0.359
00:00	1.222	0.901
01:00	0.565	0.435
03:00	0.753	0.973
05:00	0.968	0.708

Cuadro. A13 Valores promedio de los 2 tratamientos en invernadero de la resistencia estomática del día 24/10/03 en el periodo de las 20 a las 05 hrs.

<b>Hora</b>	<b>TI-1</b>	<b>TI-2</b>
21:00	4.645	4.059
22:00	2.449	4.746
00:00	2.718	3.213
01:00	2.963	4.434
02:00	2.585	5.387
04:00	3.163	6.344

Cuadro. A14 Valores promedio de los 2 tratamientos en invernadero de la resistencia estomática del día 01/11/03 en el periodo de las 20 a las 05 hrs.

<b>Hora</b>	<b>TI-1</b>	<b>TI-2</b>
20:00	1.727	1.707
22:00	2.22	2.15
23:00	1.849	2.07
01:00	1.606	2.073
02:00	1.97	1.238
04:00	2.987	2.789
05:00	2.531	2.516

Cuadro. A15 Valores promedio de los 2 tratamientos en invernadero de la resistencia estomática del día 08/11/03 en el periodo de las 20 a las 05 hrs.

<b>Hora</b>	<b>TI-1</b>	<b>TI-2</b>
20:00	2.03	1.66
22:00	2.25	1.77
23:00	1.39	1.34
01:00	1.78	1.39
02:00	1.77	0.76
04:00	2.429	2.43

Cuadro. A16 Valores promedio de los 2 tratamientos en invernadero de la resistencia estomática del día 15/11/03 en el periodo de las 20 a las 05 hrs.

<b>Hora</b>	<b>TI-1</b>	<b>TI-2</b>
21:00	2.835	1.192
22:00	2.925	1.986
00:00	1.721	3.243
01:00	3.052	1.751
03:00	3.341	2.194
04:00	3.91	2.111
05:00	2.589	1.437

Cuadro. A17 Valores promedio de la temperatura de la hoja del tratamiento 1 realizada en el invernadero en el periodo de las 20 a las 05 hrs.

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
20	21.2	17.4	19.8	18.4	16.8
17.6	20.3	16.4	21	17.6	16.3
16.7	20.4	15.7	18.3	17.7	15.8
15.3	19.6	15.3	17.7	16.8	15.6
14.8	19.5	14.5	17	16.5	15.6
15.8	19.5	14.2	16.6	15.3	15.9
15.5			15.8		16.2

Cuadro. A18 Valores promedio de la resistencia estomática del tratamiento 1 realizada en el invernadero en el periodo de las 20 a las 05 hrs.

<b>6</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>
2.835	2.03	1.727	4.645	1.229	4.339
2.925	2.25	2.22	2.449	1.022	4.536
1.721	1.39	1.849	2.718	1.222	3.366
3.052	1.78	1.606	2.963	0.565	3.045
3.341	1.77	1.97	2.585	0.753	2.56
3.91	2.429	2.987	3.163	0.968	2.783
2.589		2.531			2.007

Cuadro. A19 Valores promedio de la humedad relativa del tratamiento 1 realizada en el invernadero en el periodo de las 20 a las 05 hrs.

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
64.8	76	55.5	70.4	68.9	69.2
66.2	79.2	57.4	74.4	74.2	71.8
62.1	79.2	56.4	74.9	68.8	72.8
72.4	70	56.8	75.5	69.6	70.2
73.1	82.4	57.6	66.4	72.4	66.5
70.8	83.3	52.9	68.5	76.3	63.1
73.8			72.6		61.2

Cuadro. A20 Valores promedio de la temperatura de la hoja del tratamiento 1 realizada en el campo en el periodo de las 20 a las 05 hrs.

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
12.5	16.2	17.7	19.8	17.3	5.6
9.2	18	16.6	18.4	16.87	4.6
7.3	17.5	14.7	16.8	14.7	8
6.6	18.3	19.6	15.6	13.6	9.7
5.6		17.4	15.4	12	8.4
			14.7	12.9	
				12.2	

Cuadro. A21 Valores promedio de la temperatura de la hoja del tratamiento 3 realizada en el campo en el periodo de las 20 a las 05 hrs.

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
12.5	15.7	19.5	20.3	17.2	6.3
10.1	18.7	17.3	18.3	16.9	4.9
8.1	16.7	15.3	16.7	14.7	6.6
7.2	17.7	20.5	16	13.7	10.3
5.8		17.3	15.8	12.1	8.8
			14.8	12.5	
				13.2	

Cuadro. A22 Valores promedio de la temperatura de la hoja del tratamiento 5 realizada en el campo en el periodo de las 20 a las 05 hrs.

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
12.6	16.4	17.2	19.9	17.5	5.5
9.5	17.5	16.7	18.2	16.6	5
7.2	17.6	14	16.7	14.4	8.6
6.6	18.6	19.6	15.9	13.4	10.1
5.6		17.6	15.3	12.2	8.3
			14.6	13.4	
				12.3	

Cuadro. A23 Valores promedio de la resistencia estomática del tratamiento 1 realizada en el campo en el periodo de las 20 a las 05 hrs.

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
8.155	4.186	8.199	3.757	0.35	0.22
9.142	5.597	13.213	1.413	0.95	0.32
6.104	4.957	9.402	0.263	0.6	4.74
8.233	6.208	7.994	0.273	0.029	1.74
10.414		5.485	0.351	0.405	1.36
			0.228	1.02	
				0.79	

Cuadro. A24 Valores promedio de la resistencia estomática del tratamiento 3 realizada en el campo en el periodo de las 20 a las 05 hrs.

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
4.067	4.1	14.586	3.038	0.27	0.67
8.546	6.983	8.685	1.016	0.81	0.21
2.45	10.89	8.479	0.403	0.3	1.09
3.274	11.5	9.235	0.296	0.014	2.42
8.262		7.066	0.147	0.11	197
			0.187	1.91	
				0.54	

Cuadro. A25 Valores promedio de la resistencia estomática del tratamiento 5 realizada en el campo en el periodo de las 20 a las 05 hrs.

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
3.51	3.721	8.066	2.285	0.29	0.95
7.821	10.949	8.12	1.701	0.9	0.53
4.98	11.243	5.025	0.202	0.14	2.6
5.344	10.905	5.314	0.392	0	4.8
4.507		5.754	0.173	0.88	1.68
			0.155	2.15	

Cuadro. A26 Valores promedio de la humedad relativa del tratamiento 3 realizada en el campo en el periodo de las 20 a las 05 hrs.

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
24.8	16.9	10.8	69.4	56.9	49.5
26.8	17.2	12	80.3	79.6	62.7
30.4	24	14.8	86.4	85.2	66.4
34.5	21.9	15.8	86	90.2	50.4
38.3		21.6	88.2	86.8	55.6
			87.9	69.5	
				65.3	

Cuadro. A27 Valores promedio de la humedad relativa del tratamiento 5 realizada en el campo en el periodo de las 20 a las 05 hrs.

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
28.8	16.8	10.8	69.5	56.9	55.2
35.6	20.9	12	80.3	79.2	62
12.4	22.8	14.8	83.2	81.6	60.4
34.5	8.4	15.7	87	85.6	49.8
39.9		21.6	86.8	73.8	54
			84.8	65.1	
				65.4	

Cuadro. A28 Valores promedio de la humedad relativa del tratamiento 1 realizada en el campo en el periodo de las 20 a las 05 hrs.

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
28.6	16.8	10.8	70.7	56.8	55.1
35.6	21	12	80.3	79.6	62
30.5	22.9	14.8	82.2	82	61.4
34.5	8.6	15.8	85.3	85.6	50.4
39.6		21.6	85.3	79.9	54.1
			85.8	66	48.4
				65.4	54.8